MARCELA MADANÊS CHAVIER

FABRICAÇÃO DIGITAL COMO PROCESSO PEDAGÓGICO PARA ENSINO DE GEOMETRIA ESPACIAL POR MEIO DO TINKERCAD E DA IMPRESSÃO 3D

Barra do Bugres/MT
2024

MARCELA MADANÊS CHAVIER

FABRICAÇÃO DIGITAL COMO PROCESSO PEDAGÓGICO PARA ENSINO DE GEOMETRIA ESPACIAL POR MEIO DO TINKERCAD E DA IMPRESSÃO 3D

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), *campus* Universitário Dep. Est. Renê Barbour, Barra do Bugres.

Orientadora: Minéia Cappellari Fagundes.

Linha de pesquisa: Tecnologias Digitais no Ensino de Ciências e Matemática.

Barra do Bugres/MT
2024

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA - PPGECM
Campus Universitário Dep. Est. Renê Barbour – Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências e Matemática – PPGECM. Rua A, s/n, Bairro Cohab São Raimundo, CEP 78.390-000, Barra do Bugres-MT. Fone: (65) 3361-1413, e-mail: ppgecm@unemat.br

UNEMAT
Universidade do Estado de Mato Grosso

Walter Clayton de Oliveira CRB 1/2049

CHAVIER, Marcela Madanês.
C512f Fabricação Digital como Processo Pedagógico para Ensino de Geometria Espacial por Meio do Tinkercad e da Impressão 3D / Marcela Madanês Chavier – Barra do Bugres, 2024.
181 f.; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Ensino de Ciências e Matemática, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Câmpus de Barra do Bugres, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2024.
Orientador: Minéia Cappellari Fagundes

1. Ensino. 2. Cultura Maker. 3. Manufatura Aditiva (Ma). 4. Aprendizagem Baseada em Projetos (Abp). 5. Teoria Fundamentada nos Dados (Tfd). I. Marcela Madanês Chavier. II. Fabricação Digital como Processo Pedagógico para Ensino de Geometria Espacial por Meio do Tinkercad e da Impressão 3D: .
CDU 004:51

Governo de Mato Grosso
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO

MARCELA MADANÊS CHAVIER

FABRICAÇÃO DIGITAL COMO PROCESSO PEDAGÓGICO PARA ENSINO DE GEOMETRIA ESPACIAL POR MEIO DO TINKERCAD E DA IMPRESSÃO 3D.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências e Matemática – PPGECM - da Universidade do Estado de Mato Grosso CARLOS ALBERTO REYES MALDONADO, *Câmpus* Univ. Dep. Est. "Renê Barbour" – Barra do Bugres - MT, como requisito obrigatório para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Aprovado em: 30 de abril de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Minéia Cappellari Fagundes (PPGECM/UNEMAT)
Orientadora

Profª. Dra. Daise Lago Pereira Souto (PPGECM/UNEMAT)
Examinadora Interna

gov.br Documento assinado digitalmente
APARECIDA SANTANA DE SOUZA CHIARI
Data: 07/05/2024 21:00:46-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Dra. Aparecida Santana de Souza Chiari (UFMS)
Examinadora Externa

UNEMATDIC202427210

Assinado com senha por MINEIA CAPPELLARI FAGUNDES - PROFESSOR UNEMAT LC 534/2014 / NVM-FACISAA - 08/05/2024 às 09:30:17 e DAISE LAGO PEREIRA SOUTO - PROFESSOR UNEMAT LC 534/2014 / BBG-FACET - 08/05/2024 às 19:13:38.
Documento Nº: 16984670-5653 - consulta à autenticidade em https://www.sigadoc.mt.gov.br/sigaex/public/app/autenticar?n=16984670-5653

SIGA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus ancestrais, através dos quais a vida chegou até mim; ao meu pai, Hermino Chavier da Silva, e à minha mãe (*in memoriam*), Cleusa Aparecida Madanês, por me conduzirem da melhor forma possível até a vida adulta. Ao meu esposo, Thiago Alexandre de Brito, e às minhas mães do coração Irlei Andrade, Iris Helena e Izelinda Marques.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar, proteger e por ter concedido sabedoria e a resiliência necessária em todos os momentos difíceis que encontrei na minha trajetória.

Ao meu amado companheiro de vida, Thiago Alexandre de Brito, meu porto seguro e maior incentivador, sempre me fazendo acreditar em meu potencial.

À minha orientadora, professora Dra. Minéia Cappellari Fagundes, que com toda a sabedoria e paciência permitiu autonomia acadêmica na condução da pesquisa e soube entender o tempo de produção individual, conduzindo as demandas com muita leveza. Nunca deixou de me atender, mostrando sua dedicação e empenho para que eu chegasse ao final dessa pesquisa com sucesso. Gratidão também por ir além da academia e ser um ser humano tão acolhedor. Que Deus abençoe você e sua família grandemente.

À professora Dra. Daise Pereira Lago Souto, que nos inspira com sua sabedoria e força, por todo aprendizado na disciplina ministrada e condução como coordenadora do PPGECM, que sempre mostra oportunidades para os bolsistas. Além de toda a contribuição como banca avaliadora dessa pesquisa.

À professora Dra. Aparecida Santana de Souza Chiari, pela dedicação em ler o trabalho criteriosamente e pelas ricas contribuições.

Às minhas famílias (isso mesmo no plural – família biológica, adotiva e a que fui presenteada ao me casar) por todo apoio nessa jornada, em especial a tia Iris Helena que é uma mulher admirável e forte, e ao meu irmão, Marcos Vinicios Madanês Chavier, de quem tenho muito orgulho.

Ao irmão de orientação, Josemar Pereira Hidalgo, que tornou este percurso mais leve ao compartilhar angústias, alegrias e discussões teóricas. E a todos os colegas e amigos do mestrado turma 2022, acredito ser injusto citar apenas alguns, pois cada um foi importante de alguma forma nesse processo, a turma do “sorvete” ficou para a história. Minha gratidão à Daiane Pereira, uma pessoa do coração enorme que pude conhecer nesse percurso e me ajudou na adaptação na cidade.

À minha amiga da graduação para a vida, Bruna Borges, que me ensinou muito sobre pesquisa, e sempre me ouve quando necessário, gratidão pela sua vida. E também a minha amiga da escola para vida, Victória Santi, que sempre me motiva.

À todos os professores do PPGECM de Barra do Bugres pelos ensinamentos, em especial ao professor Dr. Diego Piasson, com quem cursei duas disciplinas e foi avaliador do projeto que deu início a essa pesquisa; ao professor Dr. João Severino Filho, que também esteve na minha banca de qualificação de projeto e forneceu ricas contribuições e por meio de quem conheci o programa; ao professor Dr. William Vieira Gonçalves, que me forneceu uma chave do *software* de análise de dados qualitativos, minha gratidão; e ao professor Dr. Márcio Urel Rodrigues, que me permitiu juntar-me ao seu grupo de estudo em uma viagem a um evento científico muito importante. Gratidão também ao secretário Emerson pela disponibilidade em atender e passar informações importantes sobre o programa.

À UNEMAT – Universidade do Estado de Mato Grosso, pela oportunidade de ser filha desta instituição pela segunda vez, permitindo que meus sonhos profissionais fossem sempre subindo de degraus e concretizando com o passar do tempo.

Sou grata também à CAPES, pois "O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001".

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi investigar a viabilidade da Fabricação Digital (FD) para o ensino de geometria espacial, utilizando o *software* Tinkercad e a Impressora 3D como recursos principais. Esta investigação segue uma abordagem qualitativa e, para análise dos dados, utilizou-se a Teoria Fundamentada nos Dados (TFD). A amostragem inicial foi constituída de dezessete estudantes de uma turma da 2ª série do Ensino Médio da Escola de Tempo Integral Deputado Bertoldo Freire. Para a coleta de dados, foi realizado um curso de extensão intitulado "*Geo3Dprint: geometria espacial por meio da Fabricação Digital, com uso do software Tinkercad e da impressora 3D*". Utilizaram-se, como instrumento de coleta de dados, os diários de campo da pesquisadora e dos estudantes, questionário inicial e final com os estudantes, gravação de uma roda de conversa, registros fotográficos e os memorandos redigidos pela pesquisadora. A produção dos dados foi realizada por meio da codificação inicial e focalizada. A análise dos dados foi realizada segundo a vertente construtivista de Charmaz (2009), em que se buscou chegar a uma teoria substantiva emergida da interpretação dos dados. Chegamos a três categorias relacionadas aos memorandos: Categoria 1 (C1): Modelagem no Tinkercad como estratégia de ensino de geometria espacial; Categoria 2 (C2): Programação no Tinkercad como estratégia de ensino de geometria espacial; e Categoria 3 (C3): A combinação entre o *software* de modelagem 3D Tinkercad e impressão 3D no ensino de geometria espacial. Fizemos a etapa de classificação, em que se comparam os memorandos, e chegamos à explicitação da FD como um processo pedagógico que pode contribuir para o ensino de geometria espacial por meio do Tinkercad e da impressora 3D. Entretanto, essa contribuição só acontece se o ensino for interativo, em que o estudante é ativo no processo de aprendizagem, trabalhando colaborativamente com os pares, com o professor e com as tecnologias – o professor como mediador ou tutor mais experiente e as abordagens de ensino embasadas na cultura *maker* de aprender criando.

Palavras-chave: Ensino; Cultura *maker*; Manufatura Aditiva (MA); Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP); Teoria Fundamentada nos Dados (TFD).

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the feasibility of Digital Fabrication (FD) for teaching spatial geometry, using Tinkercad software and 3D Printer as main resources. This investigation follows a qualitative approach and the Data-Based Theory (TF) was used to analyze the data. The initial sample consisted of seventeen students from a 2nd grade high school class at Escola de Tempo Integral Deputado Bertoldo Freire. To collect data, an extension course entitled "Geo3Dprint: spatial geometry through Digital Fabrication, using Tinkercad software and a 3D printer" was carried out. The researcher's and students' field diaries, initial and final questionnaires with students, recording of a conversation circle, photographic records and memos written by the researcher were used as data collection instruments. Data production was carried out through initial and focused coding. Data analysis was carried out according to the constructivist approach of Charmaz (2009), in which we sought to arrive at a substantive theory emerging from the interpretation of the data. We arrived at three categories related to the memos: Category 1 (C1): Modeling in Tinkercad as a strategy for teaching spatial geometry; Category 2 (C2): Programming in Tinkercad as a strategy for teaching spatial geometry and Category 3 (C3): The combination between the 3D modeling software Tinkercad and 3D printing in teaching spatial geometry. We carried out the classification stage in which the memos were compared and arrived at the explanation of FD as a pedagogical process that can contribute to the teaching of spatial geometry through Tinkercad and the 3D printer. However, this contribution only happens if teaching is interactive, in which the student is active in the learning process, working collaboratively with peers, the teacher and technologies – the teacher as a more experienced mediator or tutor and teaching approaches based on the maker culture of learning by creating.

Keywords: Teaching; Maker culture; Additive Manufacturing (AM); Project-Based Learning (PBL); Grounded Theory (TF).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da dissertação. 21
Figura 2: Tipos de objetos matemáticos. 25
Figura 3: FD tecnologias e processos. 31
Figura 4: Mapa Fab Labs brasileiros. 34
Figura 5: Manufatura Aditiva x Manufatura Subtrativa. 37
Figura 6: Tecnologias de impressão 3D. 38
Figura 7: Representação das principais etapas da manufatura por camada. 38
Figura 8: Fases e atividades do processo de RSL. 47
Figura 9: Seleção dos estudos. 54
Figura 10: Localização da instituição de ensino em que houve a coleta de dados. 84
Figura 11: Jardim construído pelos estudantes como projeto de eletiva. 85
Figura 12: Horta escolar construída pelos estudantes em projeto de eletiva. 86
Figura 13: Interface do software de modelagem 3D Tinkercad. 88
Figura 14: Sala de aula virtual no Tinkercad. 88
Figura 15: Plano de trabalho Projeto 3D do Tinkercad. 89
Figura 16: Bloco de Códigos do Tinkercad. 90
Figura 17: Características essenciais da ABP. 92
Figura 18: Fôlder do curso. 99
Figura 19: Caderno de campo e definição de funções dentro da equipe de trabalho. 103
Figura 20: Atividade gamificada no Wordwall 104
Figura 21: Dinâmica desenho às cegas. 105
Figura 22: Roda de conversa finalização do curso. 106
Figura 23: Comunicação – culminância das eletivas. 107
Figura 24: Representação das fases do método de análise da TFD. 113
Figura 25: Exploração dos tutoriais do Tinkercad. 119
Figura 26: Exemplos de situações-problema dos tutoriais Tinkercad. 120
Figura 27: Algumas formas disponíveis na biblioteca de formas do Tinkercad. 122
Figura 28: Fabricação das canecas personalizadas. 122
Figura 29: Relatos escritos sobre o processo de modelagem da caneca personalizada. 125
Figura 30: Mapa conceitual colaborativo para integração dos temas dos projetos de ABP. 126
Figura 31: Construção de sólidos geométricos no Tinkercad. 127
Figura 32: Sólidos de Platão disponíveis na biblioteca de formas. 128
Figura 33: Parâmetro “lado” dos prismas e pirâmides na opção Projetos 3D. 130
Figura 34: Criação de GIFs sobre sólidos geométricos. 131
Figura 35: Sequência de passos para criação de uma animação que representa um poliedro não convexo. 131
Figura 36: *Print* da programação da animação, poliedro não convexo e QR Code para visualizar a animação. 132
Figura 37: *Print* da programação, poliedro convexo e QR Code para visualização do GIF. 133
Figura 38: Print da primeira parte da programação do dodecaedro feito pelo G2. 134
Figura 39: Print da segunda parte da programação do dodecaedro feito pelo G2. 134
Figura 40: Print da programação, dodecaedro e QR Code para visualizar o GIF feito pelo G2. 135
Figura 41: Print da programação, prisma quadrangular e QR Code para visualizar a animação. 136
Figura 42: Print da programação, pirâmide quadrangular e QR Code para visualizar o GIF feito pelo G4. 138
Figura 43: Print da programação, dos sólidos cilindro, cone e esfera feitos pelo G5 e QR Code para visualização dos GIFs. 141
Figura 44: Relatório da prática de programação dos sólidos de revolução realizado pelo G5. 142
Figura 45: Canecas personalizadas impressas em 3D. 150

Figura 46: Relatório sobre o processo de impressão 3D. 151
Figura 47: Etapas da impressão 3D. 153
Figura 48: Interface *software slicer* Ultimaker Cura. 154
Figura 49: Fatiamento do artefato no Ultimaker Cura. 155
Figura 50: Sistematização das relações entre as categorias e a FD. 156

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Habilidades relacionadas aos objetos de conhecimento de geometria espacial EFAI 27
Quadro 2: Habilidades relacionadas aos objetos de conhecimento de geometria espacial EFAF 28
Quadro 3: Habilidades relacionadas aos objetos de conhecimento de geometria espacial EM 29
Quadro 4: Uso de critérios PICO para elaboração da questão da RSL 48
Quadro 5: Teste de aderência para palavras-chave 49
Quadro 6: Identificação dos estudos nas bases bibliográficas 53
Quadro 7: Metadados dos estudos selecionados 51
Quadro 8: Avaliação da qualidade dos estudos 61
Quadro 9: Desafios quanto aos aspectos técnicos e pedagógicos do Tinkercad, segundo as pesquisas 72
Quadro 10: Vantagens quanto aos aspectos técnicos e pedagógicos do Tinkercad, segundo as pesquisas 74
Quadro 11: Associação do Tinkercad e da impressora 3D como tecnologias da FD 78
Quadro 12: Significado das siglas de extensão do *software* Tinkercad 90
Quadro 13: Funções dentro de cada grupo de trabalho cooperativo 94
Quadro 14: Módulos e estratégias de ensino do curso Geo3Dprint 96
Quadro 15: Módulos e estratégias de ensino do curso Geo3Dprint atualizados 98
Quadro 16: Projeto de ABP planejamento do professor 101
Quadro 17: Rubrica de avaliação do projeto de ABP 99
Quadro 18: Características comuns e diferenciadoras da TFD 111
Quadro 19: Parte da codificação e categorização dos dados da pesquisa 116

LISTA DE SIGLAS

ABP – Aprendizagem Baseada em Projetos

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

CAM – (*Computer Aided Manufacturing*) Manufatura Auxiliada por Computador

CNC - Controle Numérico Computadorizado

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

DRC – Documento de Referência Curricular

EFAF – Ensino Fundamental Anos Finais

EFAI – Ensino Fundamental Anos Iniciais

EM – Ensino Médio

EMIEP – Ensino Médio Integrado à Educação Profissional

ENOPEM - Encontro Nacional Online de Professores que Ensinam Matemática

FAPEMAT – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso

FD – Fabricação Digital

MA – Manufatura Aditiva

MS – Manufatura Subtrativa

ODA – Objetos Digitais de Aprendizagem

PLA – Polímero Termoplástico (filamento para impressora 3D)

PPGECM – Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ensino de Ciências e Matemática

RP – Prototipagem Rápida

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

TD – Tecnologias Digitais

TDIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

TFD – Teoria Fundamentada nos Dados

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
1.1 Contextualizando 15
1.2 Minha trajetória na construção da identidade docente 17
1.3 Estrutura da dissertação 20
2 REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAÇÃO – PILARES PARA A TEORIA 22
2.1 Tecnologias digitais, geometria e a BNCC 22
2.1.1 Reflexões sobre o ensino de geometria: um olhar para a geometria espacial 24
2.2 O que é essa tal “Fabricação Digital (FD)”? 30
2.2.1 Espaços de FD 32
2.2.2 Tecnologia da FD: Prototipagem Rápida (RP) 36
2.2.3 Abordagens de ensino para promoção da FD e da criatividade 39
2.3 Algumas considerações 44
3 TINKERCAD, IMPRESSÃO 3D E GEOMETRIA ESPACIAL: UMA ANÁLISE SISTEMÁTICA NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO BÁSICA 46
3.1 Planejamento 47
3.1.1 Questão de pesquisa da RSL 48
3.1.2 Estratégia de busca 49
3.1.3 Fontes de pesquisa e *strings* de busca 50
3.1.4 Critérios de seleção (inclusão e exclusão) 50
3.1.5 Critérios de qualidade 51
3.2 Condução 52
3.2.1 Identificação de Estudos 52
3.2.2 Seleção de estudos 53
3.2.3 Extração e sintetização dos dados 55
3.3 Resultados e discussões 65
3.3.1 Exploração do *software* de modelagem 3D Tinkercad e da impressão 3D no ensino de geometria espacial 66
3.3.1.1 Abordagens de ensino para integração do Tinkercad e da impressão 3D no processo educacional 67
3.3.1.2 Integração entre o Tinkercad e a impressão 3D no ensino de geometria espacial: algumas possibilidades 70
3.3.2 Vantagens e desafios do uso do Tinkercad no ensino de geometria 72
3.3.3 Impressão 3D no ensino de geometria: benefícios e desafios 76
3.3.4 Associação das tecnologias Tinkercad e impressão 3D à FD 78
3.4 Algumas considerações 80
4 CAMINHO METODOLÓGICO 82
4.1 Abordagem qualitativa de pesquisa 82
4.2 Cenário da pesquisa: instituição educacional e recursos tecnológicos 83
4.2.1 Identificação da unidade escolar e contexto socioeconômico 83
4.2.2 Participantes da pesquisa 86
4.2.3 *Software* de modelagem 3D Tinkercad 87
4.3 Abordagem de ensino: Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) 91
4.4 Curso “Geo3DPrint: Geometria espacial por meio da Prototipagem Rápida com uso do *software* Tinkercad e da impressão 3D” 94

4.4.1 Cronograma e descrição do curso de extensão Geo3DPrint 95
4.5 Pressupostos da Teoria Fundamentada nos Dados (TFD) 107
4.5.1 O método de análise da TFD na perspectiva construtivista 112
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 118
5.1 Categoria 1 (C1): Modelagem no Tinkercad como estratégia de ensino de geometria espacial 118
5.1.1 Prática 1: Conhecendo o Tinkercad 118
5.1.2 Prática 2: Modelando canecas personalizadas 121
5.1.3 Prática 3: Modelando poliedros 126
5.1.4 Tensões e compromissos: modelagem no Tinkercad 128
5.2 Categoria 2 (C2): Programação no Tinkercad como estratégia de ensino de geometria espacial 130
5.2.1 Grupo 1: GIF Poliedro Convexo e Não Convexo 131
5.2.2 Grupo 2: GIF Dodecaedro 133
5.2.3 Grupo 3: GIF Prisma 135
5.2.4 Grupo 4: GIF Pirâmide 137
5.2.5 Grupo 5: GIFs Sólidos de Revolução 140
5.2.6 Tensões e compromissos: programação no Tinkercad 142
5.3 Categoria 3 (C3): A combinação entre o *software* de modelagem 3D Tinkercad e a impressão 3D no ensino de geometria espacial 145
5.3.1 Tensões e compromissos: acesso à impressora 3D, *softwares slicers*, parametrização e tempo de impressão 153
5.4 Relações possíveis entre as categorias e a explicitação da Fabricação Digital como processo pedagógico 156
5.5 Manuscrito: a FD como um processo pedagógico para ensino de geometria espacial por meio do Tinkercad e da impressora 3D 158
CONSIDERAÇÕES FINAIS 163
REFERÊNCIAS 167
APÊNCIDE A – Rubrica de avaliação dos artefatos 173
APÊNDICE B – *Webquest*: Instruções personalizadas para cada grupo 175

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão abordadas de forma geral as temáticas da dissertação, apresentados os objetivos, justificativa e problemática que deram origem a este estudo. Serão discutidas também a relevância da pesquisa para o ensino de geometria espacial, a trajetória da pesquisadora na construção da identidade docente e, por fim, uma descrição da estrutura do trabalho.

1.1 Contextualizando

> *Pesquisadora: Antes vocês já sabiam que tinham essas três dimensões?*
> *Todos: Não!*
> *A03: Eu achava que era tudo igual.* ***Eu achava que o cubo e o quadrado eram a mesma coisa.***

Como professora, pesquisava temas de sala de aula havia algum tempo e a geometria sempre me chamou atenção, principalmente a geometria espacial, porque o ensino tradicional pautado no livro didático ou na lousa não dá conta de contemplá-la. O trecho acima retrata um breve relato de uma estudante da 2ª série do Ensino Médio que participou do curso de extensão que gerou os dados desta pesquisa, durante a roda de conversa.

Por esse relato é possível observar que a estudante chegou ao Ensino Médio sem desenvolver uma habilidade geométrica que aparece na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do Ensino Fundamental Anos Iniciais: diferenciar figuras planas e espaciais. Esse é um exemplo sobre as dificuldades relacionadas à geometria, que às vezes é ensinada de forma mecânica, ou as vezes nem é ensinada.

Pois, há mais de duas décadas, autores clássicos como Pavanello (2009) e Lorenzato (1995) discutiam o abandono do ensino de geometria e destacavam que o ensino de geometria na Educação Básica foi negligenciado por um longo período, sendo elucidações apontadas para este fato: uma deficiência na formação inicial docente, que o leva a ter insegurança por não dominar o tema; uma priorização da álgebra devido à falta de tempo para cumprir toda a ementa planejada; a forma como os objetos de conhecimentos são dispostos no livro didático, em que normalmente são encontrados como tema final; a carência de um método que contemple a álgebra e a geometria de forma conjunta (Lorenzato, 1995, p. 3-4), além da

ausência do uso de materiais manipuláveis e concretos que valorizem o aspecto dinâmico da geometria e demonstrem que a mesma faz parte do cotidiano.

Apesar da importância de seu ensino e aprendizagem para uma matemática mais contextualizada e para compreensão da realidade, pesquisadores como Rogenski e Pedroso (2019) evidenciam em seu estudo que geralmente o ensino e aprendizagem da geometria não possui vínculo com a realidade, pois "nem sempre é apresentada ao aluno inter-relacionada com os demais conteúdos estruturantes, como a álgebra e números, torna-se mera ilustração e exemplificação, sem entendimento de conceitos e propriedades" (Rogenski; Pedroso, 2019, p. 2).

Diante dessas problemáticas relacionadas ao ensino de geometria e em concordância com Rogenski e Pedroso (2019, p. 5), ao exporem que conceitos não são ensinados diretamente, em vez disso, pode-se criar e apresentar situações e experiências que auxiliarão na sua formação, é primordial permitir que os alunos façam atividades experimentais e, por meio de diferentes situações, formem os conceitos que serão utilizados em outros momentos no decorrer de sua aprendizagem.

Sendo assim, diante do exposto e da experiência em sala da aula da pesquisadora, é evidenciada uma necessidade de buscar abordagens, teorias de ensino e aprendizagem, bem como recursos pedagógicos que trabalhem a geometria de forma mais dinâmica, contextualizada, e proporcionem, além da visualização, níveis mais formais do conhecimento geométrico e espacial.

Dessa forma, voltamos nosso olhar para as tecnologias associadas à Fabricação Digital (FD), especificamente o *software* de modelagem 3D Tinkercad e a impressora 3D. Ao realizarmos a revisão da literatura, foram revelados potencialidades e desafios associados ao ensino de geometria com essas tecnologias, fornecendo *insights* valiosos sobre suas aplicações educacionais.

Apesar de já possuir alguns estudos exploratórios sobre o uso do Tinkercad e da impressão 3D no ensino de geometria espacial, a literatura ainda apresenta lacunas, pois como afirmam Nolla *et al.* (2021, p. 101), a introdução da impressão 3D na sala de aula está em fase de experimentação, assim como os tipos de atividades que podem ser trabalhadas com os alunos para obter suporte para a aprendizagem de conceitos matemáticos. Dessa forma, evidencia-se que há espaço para investigações com o uso dessas tecnologias. Além disso, a variedade de projetos e atividades exploradas até o momento sugere que existe uma oportunidade para a exploração de diferentes contextos educacionais e tipos de projetos.

Bhaduri *et al.* (2021) chamam atenção para a necessidade de definir práticas e entender melhor como utilizar o Tinkercad e a impressão 3D com a finalidade de aprendizado em modelagem 3D, mantendo o envolvimento e o interesse dos alunos por essas tecnologias e apoiando o desenvolvimento do pensamento espacial.

Assim, a integração do Tinkercad e da impressão 3D pode oportunizar potencialidades no ensino de geometria espacial, tornando os conceitos mais tangíveis. Contudo, para além das potencialidades, os desafios técnicos e a escassez de pesquisas no contexto nacional apontam para a necessidade de investigações sobre a aplicação desses recursos em sala de aula.

Dessa forma, ao verificar que há uma necessidade de compreender como abordar o ensino de geometria espacial e que há à disposição recursos tecnológicos que podem proporcionar aos estudantes novos desafios, é colocada a seguinte questão de pesquisa: "Como a Fabricação Digital pode contribuir com o ensino de geometria espacial por meio do *software* Tinkercad e da impressora 3D?".

Em busca de responder à questão de pesquisa, teve-se como objetivo geral: Desenvolver uma teoria substantiva emergente da interpretação dos dados, sobre como a Fabricação Digital, por meio do uso do *software* Tinkercad e da impressão 3D, contribui para o ensino de Geometria Espacial em uma turma do Ensino Médio.

1.2 Minha trajetória na construção da identidade docente

Faça o teu melhor, na condição que você tem,
enquanto você não tem condições melhores,
para fazer melhor ainda!
(Mário Sérgio Cortella)

Como a "palavra é o instrumento através do qual a narração descreve e analisa o vivido, o percebido e o concebido" (Stecanela, 2009, p. 71), venho por meio deste espaço pensar o movimento da docência e a relação com o saber na constituição da minha identidade docente. Considerando que aspectos como o contexto local e a trajetória de vida são elementos constituintes do ser professora, este momento de escrita configura-se como um espaço de reflexão e ressignificação dos "saberes docentes e de produção de conhecimentos" (Pimenta; Lima, 2004, p. 129).

Venho de uma família de baixa renda, com minha mãe trabalhando como faxineira e meu pai como prestador de serviços gerais em uma fazenda. Ambos tiveram educação formal apenas até a quarta série (atualmente chamado de 5º ano). No entanto, minha mãe tinha paixão pelos estudos e demonstrava isso comprando materiais escolares decorados e coloridos para mim, como se estivesse realizando o sonho dela. Desde cedo, eu tinha um grande interesse em estudar e facilidade para aprender; o ambiente escolar era o meu favorito. O que mais me marcou foram o carinho e os ensinamentos dos professores, uma profissão pela qual me apaixonei. Assim, mesmo com todas as dificuldades financeiras e mudanças frequentes de cidade, continuei progredindo nos estudos.

Durante o Ensino Fundamental, eu me destacava nas disciplinas de exatas. No oitavo ano, meu professor de Matemática percebeu algum talento em mim, desafiou-me e designou-me como monitora da turma. Ingressei no Ensino Médio Integrado à Educação Profissional (EMIEP), mas, devido ao fato de ser em tempo integral, tive que sair para trabalhar e não consegui concluir o curso, embora já demonstrasse aptidão para a tecnologia.

Em seguida, retornei ao ensino regular e, durante o terceiro ano do Ensino Médio, recebi uma medalha de bronze na Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas. Foi nesse período que uma professora, ciente das dificuldades em minha família, convidou-me para morar em sua casa, onde teria acesso a materiais de estudo e auxiliaria com as tarefas domésticas. Após esse ano de convivência, prestei o ENEM e escolhi minha graduação, Licenciatura Plena em Matemática na Unemat de Cáceres/MT, ano de 2013.

Durante minha graduação, vivenciei experiências incríveis que contribuíram para a formação de minha identidade como professora e proporcionaram momentos de reflexão. Estudamos vários autores importantes para a Educação e Educação Matemática, como Paulo Freire e Ubiratan D'Ambrosio. Participei do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência – PIBID, por meio do qual, desde o terceiro bimestre do curso, tive acesso e pude investigar o ambiente escolar – o que permitiu conexão entre teoria e prática e conhecimento sobre metodologias de ensino e tendências no ensino de matemática, como ludificação, etnomatemática, TDIC, entre outras. Tudo isso me fez refletir sobre qual professora eu queria ser. Assim, já experimentava a docência, motivada pela admiração que tinha pelos professores.

Durante minha pesquisa de monografia, a importância da mudança na Educação ficou ainda mais clara quando investiguei os paradigmas educacionais e constatei que muitos professores ainda adotam uma abordagem técnica no ensino. Essa fase foi crucial, pois estudei a história da Matemática no Brasil e percebi uma ruptura entre as disciplinas de formação

científica específica e formação pedagógica, bem como uma desconexão entre o que é ensinado na universidade e o que é exigido dos professores na Educação Básica.

Em 2017, antes de concluir minha graduação, já estava lecionando em uma escola particular. Em 2018, assinei um contrato temporário como professora da SEDUC/MT, na cidade de Cáceres. Em 2019, retornei à cidade de São José dos Quatro Marcos/MT, e atuei na E. E. Dep. Bertoldo Freire, uma escola de Ensino Médio de Tempo Integral, na qual havia cursado o Ensino Médio.

Esse modelo de escola, denominada plena, foi inspirado na Escola da Escolha, fundada em Pernambuco, e possui princípios educacionais que enfatizam o protagonismo juvenil, os quatro pilares da educação (aprender a aprender, aprender a fazer, aprender a conviver e aprender a ser), a pedagogia da presença e a educação interdimensional. Em sua base diversificada, entre outras, havia a disciplina de Prática Experimental, que permite aos componentes curriculares das áreas de Ciências da Natureza e Matemática trabalhar experimentos que relacionem a teoria com a prática.

Nos anos de 2020 e 2021, atuei como orientadora das áreas de Ciências da Natureza e Matemática, em que tinha como função acompanhar os planejamentos dos professores, desenvolver formação específica da área e orientações sobre práticas educativas. Devido ao período pandêmico, pude encorajar e trabalhar com os professores sobre Tecnologias Digitais (TD), pois, no novo paradigma que a pandemia nos impôs, além de saber sobre nosso componente curricular e práticas educativas, se fez essencial saber lidar com as tecnologias.

Nessa conjectura, ocorreu de certa forma um avanço na educação, porque há muito se discutiam metodologias ativas e a inserção das TD na educação, mas com a pandemia esse processo se acelerou e agora temos estudantes aprendendo com as tecnologias em ambientes escolares e não escolares. E foi possível ter resultados significativos, entretanto, há algumas problemáticas nesse cenário, como o aumento da desigualdade e do acesso a essas tecnologias pelos estudantes, sendo necessário pensar políticas para infoinclusão, bem como a integração das TD pelo professor em sua prática pedagógica.

Conforme descrito por Bittar (2010, p. 220), há diferença entre inserção e integração das TD na prática pedagógica. A inserção das TD refere-se à prática comum em muitas escolas, em que os computadores são disponibilizados, mas seu uso ocorre de maneira desconectada, os computadores são utilizados de forma esporádica, em situações isoladas e muitas vezes não avaliadas, permanecendo como instrumentos estranhos à rotina de ensino.

Em contrapartida, a integração das TD implica em incorporá-las como parte integrante do processo de ensino e aprendizagem, em que as tecnologias são utilizadas de forma

planejada e sistemática, em diferentes momentos e contextos de ensino, visando contribuir com o aprendizado dos alunos. Assim, a integração das TD envolve uma mudança na prática do professor, que as incorpora como recurso essencial para promover a aprendizagem dos estudantes, indo além do uso isolado e esporádico comum na inserção das tecnologias na escola.

Além da formação continuada oferecida na escola, fiz cursos de letramento digital e pensamento computacional. Elaborei uma atividade gamificada intitulada “Missão Energia no Google Formulário” e fui convidada a apresentá-lo na *live* de troca de experiências de práticas exitosas de Mato Grosso – e essa atividade realmente foi exitosa, os estudantes foram autônomos e meu papel realmente foi de mediadora. Nas férias, participei do II ENOPEM e conheci, durante as oficinas de que participei, uma professora do PPGECM e a pesquisa sobre pensamento computacional; fiquei encantada e percebi que essa área da tecnologia realmente era do meu interesse.

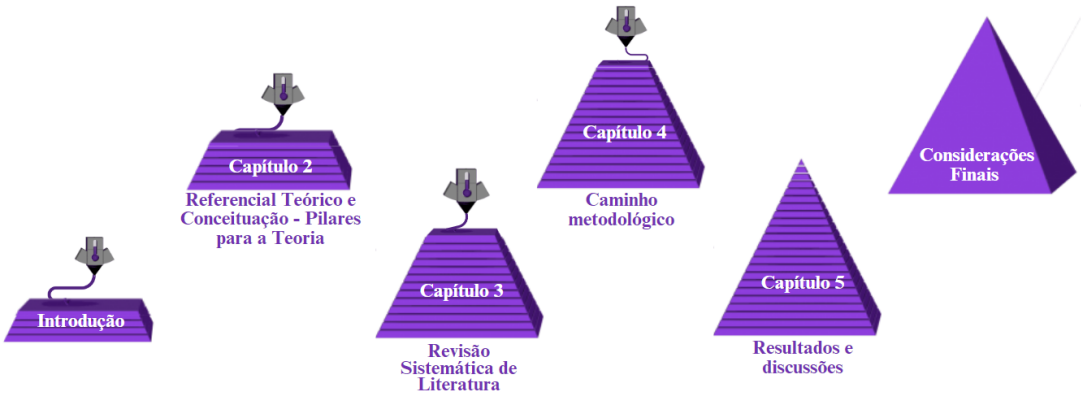
Inscrevi-me no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM) da Unemat de Barra do Bugres/MT, na linha de pesquisa de Tecnologias Digitais no Ensino de Ciências e Matemática; fui aprovada, consegui também bolsa da CAPES e assim pude me dedicar integralmente ao programa. No meu projeto sugeri a integração do *software* Tinkercad e da impressora 3D para ensinar geometria espacial, com o início da pesquisa descobrimos que há uma denominação para essa integração.

Vejo a formação continuada do professor como essencial. Todas as experiências me proporcionaram reflexões, como a importância de “ver” nossos estudantes e não enxergar neles apenas objetos do nosso trabalho. Sempre vi o professor como um agente de mudanças na sociedade, um intelectual; estou apenas no começo, mas já evolui bastante e quero seguir aprendendo.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada conforme a Figura 1. Iniciamos com uma introdução em que apresentamos a questão de pesquisa, os objetivos e a relevância da pesquisa para a linha Tecnologias Digitais no ensino de ciências e matemática, especificamente no ensino de geometria espacial.

Figura 1: Estrutura da dissertação.



Fonte: Autoria própria (2023).

O capítulo dois é dedicado ao referencial teórico e conceituação, com discussão sobre geometria espacial, TD, FD e abordagens de ensino, temas que são base para a teoria emergente.

No capítulo três é apresentada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) sobre o *software* de modelagem 3D Tinkercad e a impressão 3D no ensino de geometria espacial na Educação Básica, expondo vantagens e desafios, bem como a associação dessas tecnologias à FD nos estudos que fazem parte do *corpus* de análise.

No capítulo quatro é detalhado o Caminho Metodológico da pesquisa, que teve uma abordagem qualitativa e seguiu as etapas da TFD na vertente construtivista de Charmaz (2009).

A coleta de dados foi realizada com uma turma da 2ª série do Ensino Médio da Escola de Tempo Integral Deputado Bertoldo Freire, em São José dos Quatro Marcos/MT. Ocorreu por meio do curso de extensão intitulado "*Geo3Dprint: geometria espacial por meio da Fabricação Digital, com uso do software Tinkercad e da impressora 3D*", em que se utilizaram as notas de campo da pesquisadora e dos estudantes, questionários com os estudantes, gravação de uma roda de conversa e os memorandos redigidos pela pesquisadora para a produção dos dados.

O capítulo cinco traz os Resultados e Discussões, em que são apresentados os memorandos e as categorias que emergiram dos dados, bem como o manuscrito final da teoria interpretativa. Posteriormente são descritas as Considerações Finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAÇÃO – PILARES PARA A TEORIA

A democratização das tecnologias digitais (TD) provocou um novo modo de participação na sociedade contemporânea, desencadeando transformações nas esferas política, econômica, social e científico-tecnológica. Ao examinarem os avanços tecnológicos relacionados à indústria sob uma perspectiva histórica, os autores Nikolaus (2014) e Lasi *et al.* (2014) destacam que estamos vivenciando a Quarta Revolução Industrial, conhecida como Indústria 4.0, caracterizada pelo uso de sistemas ciberfísicos, que envolvem mudanças tecnológicas que integram *hardware* e *software*. Além disso, de acordo com Gershenfeld *et al.* (2017), a Terceira Revolução Digital, que engloba a fabricação digital (FD) ou a Fabricação Pessoal, está prestes a acontecer.

Essas revoluções demandam uma reorganização da sociedade, uma vez que transformam o mercado de trabalho, levando à extinção de algumas profissões e atividades, enquanto novas oportunidades emergem. Isso também exerce pressão sobre o sistema educacional, que precisa se adaptar ao novo paradigma. Essa adaptação é justificada pelo fato de que as Tecnologias Digitais introduzem novas formas de criação, leitura e circulação de informações na sociedade, o que por sua vez gera novos métodos de ensino e aprendizagem.

Sendo assim, torna-se fundamental que os professores se apropriem dessas tecnologias e busquem formas alternativas de incorporá-las ao ambiente escolar e às práticas educativas. Nesse contexto, este capítulo visa contribuir para o debate sobre os desafios e as oportunidades do uso das TD, com foco na caracterização da FD como recurso pedagógico no ensino de geometria espacial.

2.1 Tecnologias digitais, geometria e a BNCC

Com a construção teórica, procura-se refletir sobre a necessidade do uso das TD no ensino, para desenvolver, nos jovens, competências e habilidades necessárias no século XXI, bem como apresentar como são citadas tais tecnologias na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

A BNCC é um documento normativo que define as aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem desenvolver durante as etapas e modalidades da Educação Básica. O documento é organizado por etapa de educação: Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio. Além das competências e habilidades específicas de cada área do

conhecimento, o documento define dez Competências Gerais para a Educação Básica. Dentro dessas competências gerais, o foco desta pesquisa recai na Competência 5, que versa sobre a Cultura Digital:

> Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva (Brasil, 2018, p. 11).

Observa-se um avanço no sentido da integração das TD na Educação Básica, uma vez que está prevista na normativa nacional, e nessa competência geral o estudante deve, além de utilizar TD, compreender e criar, vindo ao encontro da discussão desta pesquisa. No referencial teórico, a BNCC expõe que a escola de Ensino Médio deve ter compromisso com os **fundamentos científicos tecnológicos** da produção de saberes, e promover, por meio da articulação entre diferentes áreas do conhecimento:

> • a compreensão e a utilização dos conceitos e teorias que compõem a base do conhecimento científico, e dos procedimentos metodológicos e suas lógicas;
> • o reconhecimento da necessidade de continuar aprendendo e aprimorando seus próprios conhecimentos;
> • a **apropriação das linguagens das tecnologias digitais e a fluência em sua utilização**; e
> • a apropriação das linguagens científicas e sua utilização na comunicação e na disseminação desses conhecimentos. (Brasil, 2018, p. 466, grifo nosso).

O que é corroborado quando, na etapa do Ensino Médio, é apresentado o subtítulo *As finalidades do E.M. na Contemporaneidade*, que aborda a Lei de Diretrizes e Bases da Educação, que prevê: no inciso I, a finalidade de consolidação e aprofundamento das aprendizagens adquiridas no Ensino Fundamental; no inciso II, a preparação para o trabalho e cidadania; no inciso III, o pensamento crítico; e, no inciso IV, "a compreensão dos fundamentos **científico-tecnológicos** dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina" (LDB, Art. 35). Em outras palavras, no inciso IV fica claro que os fundamentos científico-tecnológicos devem ser abordados como tema transversal em cada disciplina do currículo.

Há também o subtítulo *As tecnologias digitais e a computação*, que caracteriza diferentes dimensões da computação e TD, e no primeiro ponto discorre sobre as capacidades relacionadas ao pensamento computacional: "compreender, analisar, definir, modelar, resolver, comparar e automatizar problemas e suas soluções, de forma metódica e sistemática, por meio do desenvolvimento de algoritmos" (Brasil, 2018, p. 476).

Quanto ao componente curricular de Matemática e suas Tecnologias, o documento prevê que, para a continuidade das aprendizagens das etapas anteriores, o foco deve ser a construção de uma visão integrada da Matemática, aplicada à realidade, em diferentes contextos, e desenvolver habilidades relativas a processos de investigação, de construção de modelos e de resolução de problemas (Brasil, 2018, p. 530). Nesta pesquisa, o aprofundamento será especificamente na área de Geometria, que também é descrita neste regimento, mas será discutida na próxima subseção.

Considerando as finalidades do Ensino Médio, que incluem a formação para o trabalho e a cidadania na sociedade contemporânea, é inegável que o uso das TD se tornou essencial, assim como a habilidade de resolver problemas. Nesse contexto, esta pesquisa se propõe a explorar o processo de FD como parte de uma abordagem pedagógica para o ensino de geometria. Acredita-se que a FD não apenas incorpora diversas tecnologias, mas também pode promover autonomia e senso crítico nos estudantes. Na subseção seguinte, são expostas reflexões sobre a importância do ensino de geometria, como é realizado e como é apresentado nos documentos oficiais.

2.1.1 Reflexões sobre o ensino de geometria: um olhar para a geometria espacial

A Geometria existe por toda a parte. É preciso,
porém, olhos para vê-la, inteligência para
compreendê-la e alma para admirá-la.
(Johannes Kepler)[1]

A geometria é presença frequente em nosso cotidiano, por isso é tão importante seu ensino. As crianças, quando iniciam os movimentos, iniciam também o reconhecimento dos objetos no espaço que as cerca. O posterior desenvolvimento psicomotor permite ampliar competências geométricas como de localização, de reconhecimento de deslocamentos, de representação de objetos do mundo físico, de classificação de figuras geométricas e de sistematização do conhecimento. (Lima; Pitombeira, 2010, p. 135). Segundo Freudenthal (*apud* Fonseca, 2001, p. 497):

> A Geometria é uma das melhores oportunidades que existem para aprender a matematizar a realidade. É uma oportunidade de fazer descobertas [...]. Com certeza, os números são também um domínio aberto às investigações, e pode-se aprender a pensar através da realização de cálculos, mas as descobertas feitas pelos próprios

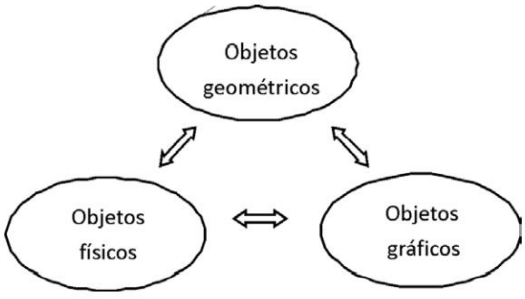
[1] Disponível em: https://www.matematicaparafilosofos.pt/categoria/geometria/.

> olhos e mãos são mais surpreendentes e convincentes. Até que possam de algum modo ser dispensadas, as formas no espaço são um guia insubstituível para a pesquisa e a descoberta.

Em outras palavras, a geometria é uma oportunidade única para investigar matematicamente a realidade e fazer descobertas tangíveis. Lima e Pitombeira (2010, p. 137) refletem sobre a importância de um enfoque que não seja puramente geométrico, mas que seja estudado em conjunto com as grandezas em geral. Um exemplo é definir quadrado como um quadrilátero constituído de quatro ângulos retos e quatro lados de mesmo comprimento – isso é um objeto abstrato, não tem como efetuar medições. Agora, quando há exemplos, que pode ser um desenho, as medições fornecerão sempre valores iguais dos lados e das aberturas dos ângulos. E o comprimento e a largura do quadrado poderão ser concebidos em centímetros, metros ou outra unidade de comprimento.

Há também a necessidade da interação entre o abstrato e o concreto no estudo da geometria, devendo ser possibilitado o manuseio e a visualização de objetos do mundo físico (abstrações mentais), pois são "importantes as atividades que envolvam as representações gráficas – desenhos e imagens – desses objetos" (Lima; Pitombeira, 2010, p. 138). Após o manuseio e a visualização, inserir progressiva e simultaneamente atividades que permitam também relacionar os conceitos matemáticos aos fenômenos e objetos físicos, e às suas representações. Por meio dessas relações, obtêm-se modelos abstratos de objetos da realidade, ou de representações gráficas de objetos físicos. Dessa forma, têm-se três tipos de objetos, como representado na Figura 2:

Figura 2: Tipos de objetos matemáticos.



Fonte: Lima e Pitombera (2010).

A abordagem das dimensões na geometria é sugerida pelos autores supracitados que seja realizada de forma integrada, e não como era recomendado há algum tempo: partir das figuras unidimensionais, seguidas das bidimensionais e, depois, das tridimensionais.

Para a constituição do pensamento geométrico, as percepções vindas dos movimentos e dos sentidos do tato e da visão têm função fundamental. A visão na formação do pensamento geométrico está relacionada a duas capacidades que interdependem: “De um lado, captar e interpretar as informações provenientes do mundo que nos cerca e que são mediadas pela visão humana, bem como constituir imagens mentais e ideias baseadas nessas informações. Por outro lado, traduzir as imagens mentais e as ideias em objetos visíveis.” (Lima; Pitombeira, 2010, p. 144).

Nesta pesquisa, a prática será desenvolvida com foco maior na segunda capacidade, de tornar visíveis as ideias e imagens mentais, por meio de objetos físicos. Essa capacidade recebe a denominação de **visualização**, pelos autores em questão, mas há estudos que podem trazer a primeira capacidade com a mesma denominação – mas o que pode ser dito sem dúvidas é que as duas capacidades são inseparáveis.

E a BNCC, o que diz sobre a geometria espacial? No documento, as habilidades sobre geometria espacial são encontradas desde os anos iniciais do Ensino Fundamental. Optou-se por incluir essas habilidades nesta subseção, pois, apesar de a prática ter sido trabalhada com os estudantes do Ensino Médio, observou-se que habilidades como de diferenciar formas planas e espaciais ou de associá-las ao mundo real não haviam sido desenvolvidas.

Sendo assim, de acordo com Brasil (2018, p. 271), a geometria abrange uma variedade de conceitos e técnicas essenciais para resolver problemas do mundo físico e de diversas áreas do conhecimento. Estudar posição, deslocamento, formas e relações entre elementos das figuras planas e espaciais pode desenvolver o pensamento geométrico dos alunos, capacitando-os a investigar propriedades, formular conjecturas e apresentar argumentos geométricos convincentes. Além disso, é crucial considerar o aspecto funcional da geometria, particularmente as transformações geométricas, como as simetrias.

No Ensino Fundamental Anos Iniciais (EFAI), o que se espera dos alunos sobre geometria? Que possam identificar pontos de referência, construir representações de espaços, estimar distâncias, reconhecer características de formas geométricas, associar figuras espaciais a suas planificações, nomear e comparar polígonos. No Quadro 1 são apresentados os objetos de conhecimento e habilidades relacionadas à geometria espacial no EFAI.

Ainda segundo a BNCC, o estudo das simetrias deve ser introduzido através da manipulação de representações de figuras geométricas planas, utilizando quadriculados ou *softwares* de geometria dinâmica. Portanto, é fundamental que o ensino de geometria vá além da simples aplicação de fórmulas matemáticas, permitindo aos alunos explorar conceitos fundamentais e desenvolver habilidades analíticas e de resolução de problemas.

Quadro 1: Habilidades relacionadas aos objetos de conhecimento de geometria espacial EFAI.

Objetos de conhecimento	Habilidade
1º ano	
Localização de objetos e de pessoas no espaço, utilizando diversos pontos de referência e vocabulário apropriado	**(EF01MA11)** Descrever a localização de pessoas e de objetos no espaço em relação à sua própria posição, utilizando termos como à direita, à esquerda, em frente, atrás. **(EF01MA12)** Descrever a localização de pessoas e de objetos no espaço segundo um dado ponto de referência, compreendendo que, para a utilização de termos que se referem à posição, como direita, esquerda, em cima, em baixo, é necessário explicitar-se o referencial.
Figuras geométricas espaciais: reconhecimento e relações com objetos familiares do mundo físico	**(EF01MA13)** Relacionar figuras geométricas espaciais (cones, cilindros, esferas e blocos retangulares) a objetos familiares do mundo físico.
2º ano	
Localização e movimentação de pessoas e objetos no espaço, segundo pontos de referência, e indicação de mudanças de direção e sentido	**(EF02MA12)** Identificar e registrar, em linguagem verbal ou não verbal, a localização e os deslocamentos de pessoas e de objetos no espaço, considerando mais de um ponto de referência, e indicar as mudanças de direção e de sentido.
Figuras geométricas espaciais (cubo, bloco retangular, pirâmide, cone, cilindro e esfera): reconhecimento e características	**(EF02MA14)** Reconhecer, nomear e comparar figuras geométricas espaciais (cubo, bloco retangular, pirâmide, cone, cilindro e esfera), relacionando-as com objetos do mundo físico.
3º ano	
Localização e movimentação: representação de objetos e pontos de referência	**(EF03MA12)** Descrever e representar, por meio de esboços de trajetos ou utilizando croquis e maquetes, a movimentação de pessoas ou de objetos no espaço, incluindo mudanças de direção e sentido, com base em diferentes pontos de referência.
Figuras geométricas espaciais (cubo, bloco retangular, pirâmide, cone, cilindro e esfera): reconhecimento, análise de características e planificações	**(EF03MA13)** Associar figuras geométricas espaciais (cubo, bloco retangular, pirâmide, cone, cilindro e esfera) a objetos do mundo físico e nomear essas figuras. **(EF03MA14)** Descrever características de algumas figuras geométricas espaciais (prismas retos, pirâmides, cilindros, cones), relacionando-as com suas planificações.
4º ano	
Localização e movimentação: pontos de referência, direção e sentido, paralelismo e perpendicularismo	**(EF04MA16)** Descrever deslocamentos e localização de pessoas e de objetos no espaço, por meio de malhas quadriculadas e representações como desenhos, mapas, planta baixa e croquis, empregando termos como direita e esquerda, mudanças de direção e sentido, intersecção, transversais, paralelas e perpendiculares.
Figuras geométricas espaciais (prismas e pirâmides): reconhecimento, representações, planificações e características	**(EF04MA17)** Associar prismas e pirâmides a suas planificações e analisar, nomear e comparar seus atributos, estabelecendo relações entre as representações planas e espaciais
5º ano	
Plano cartesiano: coordenadas cartesianas (1º quadrante) e representação de deslocamentos no plano cartesiano	**(EF05MA14)** Utilizar e compreender diferentes representações para a localização de objetos no plano, como mapas, células em planilhas eletrônicas e coordenadas geográficas, a fim de desenvolver as primeiras noções de coordenadas cartesianas. **(EF05MA15)** Interpretar, descrever e representar a localização ou movimentação de objetos no plano cartesiano (1º quadrante), utilizando coordenadas cartesianas, indicando mudanças de direção e de sentido e giros.

Figuras geométricas espaciais: reconhecimento, representações, planificações e características	**(EF05MA16)** Associar figuras espaciais a suas planificações (prismas, pirâmides, cilindros e cones) e analisar, nomear e comparar seus atributos.

Fonte: Adaptado de Brasil (2018).

Da mesma forma que na fase anterior, a aprendizagem em Matemática no Ensino Fundamental Anos Finais (EFAF) também está intrinsecamente relacionada à apreensão de significados dos objetos matemáticos. Esses significados resultam das conexões que os alunos estabelecem entre os objetos e seu cotidiano, entre eles e os diferentes temas matemáticos e, por fim, entre eles e os demais componentes curriculares. Nessa fase, precisa ser destacada a importância da comunicação em linguagem matemática com o uso da linguagem simbólica, da representação e da argumentação. No Quadro 2 são apresentados os objetos de conhecimento e habilidade de geometria espacial para essa etapa de ensino.

Quadro 2: Habilidades relacionadas aos objetos de conhecimento de geometria espacial EFAF.

Objetos de conhecimento	**Habilidade**
6º ano	
Plano cartesiano: associação dos vértices de um polígono a pares ordenados	**(EF06MA16)** Associar pares ordenados de números a pontos do plano cartesiano do 1º quadrante, em situações como a localização dos vértices de um polígono
Prismas e pirâmides: planificações e relações entre seus elementos (vértices, faces e arestas)	**(EF06MA17)** Quantificar e estabelecer relações entre o número de vértices, faces e arestas de prismas e pirâmides, em função do seu polígono da base, para resolver problemas e desenvolver a percepção espacial.
Polígonos: classificações quanto ao número de vértices, às medidas de lados e ângulos e ao paralelismo e perpendicularismo dos lados	**(EF06MA18)** Reconhecer, nomear e comparar polígonos, considerando lados, vértices e ângulos, e classificá-los em regulares e não regulares, tanto em suas representações no plano **como em faces de poliedros**.
7º ano	
Simetrias de translação, rotação e reflexão	**(EF07MA21)** Reconhecer e construir figuras obtidas por simetrias de translação, rotação e reflexão, usando instrumentos de desenho ou *softwares* de geometria dinâmica e vincular esse estudo a representações planas de obras de arte, elementos arquitetônicos, entre outros.

Fonte: Adaptado de Brasil (2018).

No Ensino Médio, a BNCC da área de Matemática e suas Tecnologias busca fortalecer e expandir as aprendizagens fundamentais adquiridas no Ensino Fundamental. Em relação à geometria, os alunos desenvolvem competências para interpretar e representar a localização e o movimento de figuras no plano cartesiano, identificam transformações isométricas e realizam ampliações e reduções de figuras. Eles também são desafiados a formular e resolver problemas em diferentes contextos, aplicando conceitos de congruência e semelhança. As habilidades e objetos de conhecimento listados para essa etapa do ensino na BNCC podem ser apreciados no Quadro 3.

Quadro 3: Habilidades relacionadas aos objetos de conhecimento de geometria espacial EM.

Objetos de conhecimento	Habilidade
Ensino Médio	
Geometria das Transformações: isometrias (reflexão, translação e rotação) e homotetias (ampliação e redução). Noções de geometria dos fractais.	**(EM13MAT105)** Utilizar as noções de transformações isométricas (translação, reflexão, rotação e composições destas) e transformações homotéticas para construir figuras e analisar elementos da natureza e diferentes produções humanas (fractais, construções civis, obras de arte, entre outras).
Conceitos e procedimentos de geometria métrica. Sistema métrico decimal e unidades não convencionais. Funções, fórmulas e expressões algébricas.	**(EM13MAT201)** Propor ou participar de ações adequadas às demandas da região, preferencialmente para sua comunidade, envolvendo medições e cálculos de perímetro, de área, de volume, de capacidade ou de massa.
Geometria Métrica: poliedros e corpos redondos. Área total e volume de prismas, pirâmides e corpos redondos.	**(EM13MAT309)** Resolver e elaborar problemas que envolvem o cálculo de áreas totais e de volumes de prismas, pirâmides e corpos redondos em situações reais (como o cálculo do gasto de material para revestimento ou pinturas de objetos cujos formatos sejam composições dos sólidos estudados), com ou sem apoio de tecnologias digitais.
Noções básicas de Matemática Computacional. Algoritmos e sua representação por fluxogramas.	**(EM13MAT315)** Investigar e registrar, por meio de um fluxograma, quando possível, um algoritmo que resolve um problema.
Noções elementares de matemática computacional: sequências, laços de repetição, variáveis e condicionais. Algoritmos: modelagem de problemas de soluções. Linguagem da programação: fluxogramas.	**(EM13MAT405)** Utilizar conceitos iniciais de uma linguagem de programação na implementação de algoritmos escritos em linguagem corrente e/ou matemática.
Sólidos geométricos (prismas, pirâmides, cilindros e cones). Cálculo de volume de sólidos geométricos.	**(EM13MAT504)** Investigar processos de obtenção da medida do volume de prismas, pirâmides, cilindros e cones, incluindo o princípio de Cavalieri, para a obtenção das fórmulas de cálculo da medida do volume dessas figuras.
Polígonos regulares e suas características: ângulos internos, ângulos externos etc. Pavimentações no plano (usando o mesmo tipo de polígono ou não). Linguagem algébrica: fórmulas e habilidade de generalização.	**(EM13MAT505)** Resolver problemas sobre ladrilhamento do plano, com ou sem apoio de aplicativos de geometria dinâmica, para conjecturar a respeito dos tipos ou composição de polígonos que podem ser utilizados em adrilhamento, generalizando padrões observados.
Transformações geométricas (isometrias e homotetias). Posição de figuras geométricas (tangente, secante, externa). Inscrição e circunscrição de sólidos geométricos. Noções básicas de cartografia (projeção cilíndrica e cônica).	**(EM13MAT509)** Investigar a deformação de ângulos e áreas provocada pelas diferentes projeções usadas em cartografia (como a cilíndrica e a cônica), com ou sem suporte de tecnologia digital.

Fonte: Adaptado de Brasil (2018).

Sendo assim, no Ensino Médio, o foco está na construção de uma visão integrada da Matemática, aplicada em diversos contextos da realidade. Considerando as experiências diárias dos estudantes, influenciadas por avanços tecnológicos, demandas do mercado de trabalho e dinâmicas sociais, destaca-se a importância do uso de TD e aplicativos para investigação matemática e continuação do desenvolvimento do pensamento computacional.

É importante ressaltar que, desde os anos iniciais do Ensino Fundamental, a BNCC enfatiza o uso de tecnologias como calculadoras e planilhas eletrônicas, preparando os alunos para, nos anos finais e no Ensino Médio, desenvolverem habilidades de pensamento computacional, interpretando e criando algoritmos, inclusive aqueles representados por fluxogramas.

A área de Matemática e suas Tecnologias "propõe a consolidação, a ampliação e o aprofundamento das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental" (Brasil, 2018, p. 529), bem como promoção do letramento matemático, estimulando a reflexão, abstração e autonomia na resolução de problemas em diversos contextos. Para isso, é essencial desenvolver habilidades de investigação, construção de modelos e resolução de problemas ao longo do processo educacional.

A partir da seleção das habilidades de matemática que abordam especificamente objetos de conhecimento da geometria espacial, vimos que podem ser desenvolvidas com ou sem o uso de TD e abarcam ações como utilizar, propor, resolver e elaborar problemas, e investigar. Esse subtítulo se faz importante para saber o que se espera do ensino de geometria na educação básica. Agora, na próxima subseção, será conceituada a FD.

2.2 O que é essa tal "Fabricação Digital (FD)"?

Fabricação é um termo derivado da junção das palavras 'fabricar' mais 'ação' e expressa o ato de fabricar (Fabricar, 2012). O homem, há tempos, produz artefatos *no* e *para* o mundo por meio de ações sobre a natureza. Assim, fabricar pode ser considerado uma manifestação da ação humana, e implica, de acordo com Rosa (2019), dizer que a fabricação é uma atividade intrínseca ao ser humano.

O ser humano sempre precisou fabricar ferramentas e instrumentos que o auxiliassem na vida cotidiana e no trabalho. Com as inovações advindas da era moderna, essa concepção de fabricação foi modificada (Souza, 2013, p. 18). Pois, com o surgimento de novas máquinas, surgem também formas novas de fabricar objetos, e nesse processo houve também a "separação entre trabalho intelectual e trabalho manual, entre homo sapiens e *homo faber*." (Antunes; Pinto, 2017, p. 107). E a fabricação manual foi substituída progressivamente pela automatização das indústrias.

Todavia, com a popularização do movimento "Faça Você Mesmo" (*Do it yourself* – D.I.Y.) e do Movimento *Maker*, parece que houve uma retomada da valorização do trabalho manual e artesanal, bem como dos processos criativos envolvidos na produção de artefatos, o

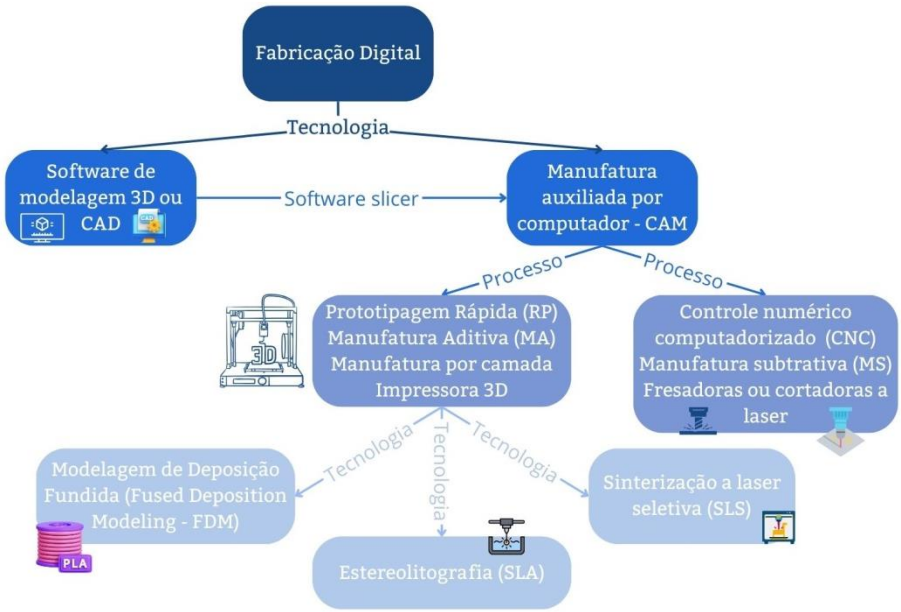
que Anderson (2012) considera uma manifestação artesanal no mundo digital. Neste contexto, com princípios da Terceira Revolução Digital e da Indústria 4.0 surge o termo Fabricação Digital.

De acordo com Seely (2004), FD são denominados os processos de projeto e produção que usam desenhos assistidos por computador (*Computer Aided Design* – CAD), associados com manufatura auxiliada por computador (*Computer Aided Manufacturing* – CAM). Essa definição é corroborada pelo *site* Wishbox (2015):

> A Fabricação Digital é um processo de manufatura em que os dados digitais acionam o projeto diretamente ao equipamento de fabricação para formar variadas geometrias de peças. Esses dados geralmente vêm do CAD (do inglês *Computer Aided Design*), que é então transferido para o *software* CAM (do inglês *Computer Aided Manufacturing*). A saída do *software* CAM é um dado que direciona uma máquina específica, como uma impressora 3D ou uma fresadora CNC.

Em outras palavras, a FD pode ser definida como um novo tipo de indústria que utiliza ferramentas e processos controlados por computador, para transformar projetos digitais em produtos físicos (Igoe; Mota, 2011). No âmbito educacional, ao invés de um *software* CAD, pode ser utilizado um *software* de modelagem tridimensional, pois eles são mais acessíveis e intuitivos. Na Figura 3, fizemos um esquema demonstrando as principais tecnologias e processos de FD.

Figura 3: FD tecnologias e processos.



Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 3 demonstra o processo de fabricação digital que precisa de um *software* para modelagem do artefato, seja de modelagem 3D ou CAD, de um *software* fatiador e de uma máquina que usará um processo para materializar o artefato. Como o foco da pesquisa é a Manufatura Aditiva (MA), não serão detalhadas as tecnologias da Manufatura Subtrativa (MS).

A FD tem um papel importante na disseminação das tecnologias digitais por meio de laboratórios de fabricação e prototipagem. Esses espaços para FD são laboratórios constituídos por uma plataforma de prototipagem rápida destinada a empreendedores, *designers*, estudantes e artistas, com o intuito de criar seus próprios objetos, desde o desenvolvimento até a realização física (Eychenne; Neves, 2013). Na próxima seção serão apresentadas as nomenclaturas e características sobre os espaços e laboratórios de criação/FD "mão na massa" nos ambientes educativos.

2.2.1 Espaços de FD

Segundo Arusievicz, Peres e Bertagnolli (2022), há diversas nomenclaturas para os espaços de criação "mão na massa" ou de FD no ambiente educativo, e para cada uma delas há uma abordagem pedagógica como embasamento. Sendo assim, nesta seção pretende-se elucidar três dessas nomenclaturas, sendo elas: espaços *makers*, Fab Lab e FabLearn Lab, que serão brevemente descritos a seguir.

Os **espaços *makers***, também conhecidos como laboratórios *makers* ou espaços de criação, recebem diferentes denominações de acordo com a instituição ou organização que os implementa. Esses locais são destinados a realizar atividades criativas com estudantes ou usuários, podendo estar vinculados a instituições de ensino ou a organizações governamentais ou não governamentais, que oferecem o espaço à comunidade de forma gratuita ou paga.

Para Assunção (2019), no início as pessoas utilizavam esses espaços como um *hobby*, para a criação de seus artefatos. Hoje, apesar de serem espaços repletos de conectividade, impressora 3D e diferentes tecnologias, também podem ser desenvolvidos considerando a baixa tecnologia, com materiais de sucata, fitas, papelão, linha e materiais de costura, pois acabam estimulando a criatividade e a inovação, fato este que tem atraído sua implementação por parte de governos, empresas, organizações e instituições de ensino.

Raabe e Gomes (2018) mencionam que espaços informais de aprendizagem também podem ser chamados de *hackerspaces*, onde entusiastas de tecnologia podem manipular e criar utilizando-se de tecnologias, microcontroladores, ferramentas e maquinários disponíveis.

Esses ambientes são flexíveis, e são constituídos por um conjunto variado de tecnologias e conceitos, podendo incluir desde ferramentas simples de marcenaria até impressoras 3D e cortadoras *laser*. No contexto educacional, recomenda-se a adoção desses espaços pela flexibilidade que oferecem, permitindo adaptações conforme a disponibilidade de recursos e o orçamento das instituições.

Assim, de acordo com Arusievicz, Peres e Bertagnolli (2022, p. 06):

> [...] pode-se definir como espaços makers, os locais de criação sem relação com teorias de aprendizagem ou comunidades, mas que servem para promover a criatividade e a inovação a partir da criação de objetos, produtos e protótipos de acordo com o objetivo de cada usuário.

Já os **Laboratórios de Fabricação Digital (Fab Labs)** tiveram sua origem no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) em 2001, em uma disciplina acadêmica chamada "Como fazer 'quase' qualquer coisa", lecionada pelo professor Neil Gershenfeld, no laboratório interdisciplinar Center for Bits and Atoms (CBA).

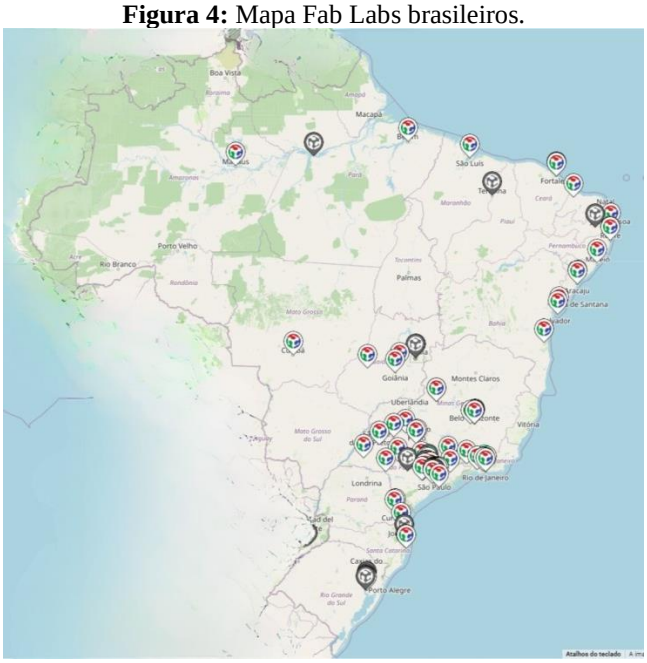
Devido aos *feedbacks* positivos de seus estudantes, Gershenfeld utilizou a disciplina como modelo para outras unidades, o que proporcionou levar a diferentes locais o conhecimento técnico e os equipamentos para criação e experimentação, deixando disponível, de forma aberta, ao público em geral.

O projeto se tornou uma rede com laboratórios espalhados pelo mundo e tem como missão "fornecer acesso às ferramentas, ao conhecimento e aos meios financeiros para educar, inovar, e inventar usando tecnologia e Fabricação Digital para permitir que qualquer pessoa faça (quase) qualquer coisa" (Fabfoundation, 2022).

A fabricação digital e os Fab Labs têm sido considerados importantes meios para a educação, por permitirem que as pessoas possam entrar nos laboratórios e utilizar os recursos disponíveis para construir projetos de seu interesse (Gershenfeld, 2012).

No Brasil, o primeiro Fab Lab foi criado em 2011 na Universidade de São Paulo (USP), pelo professor Paulo Fonseca de Campos (Silva; Merkle, 2016). Até o mês de setembro de 2023, estavam registrados, no *site* oficial da rede Fab Lab, 154 laboratórios brasileiros (Figura 4).

Figura 4: Mapa Fab Labs brasileiros.



Fonte: *Site* oficial Fab Lab[2] (2023).

Pelo mapa da Figura 4, percebe-se que, no Brasil, a maior concentração de Fab Labs é no Sudeste, sendo o SESI-SP a maior rede de Fab Labs da América Latina, com 33[3] destes laboratórios. Outros exemplos de Fab Labs voltados à educação são: Fab Learn (SP), Educação *Maker* SESI-SC, Sagui Lab (SP), rede de laboratórios Fab Lab Livre SP, Labtec@ (AL), Garagem Fab Lab (SP) e POAlab (RS).

Todavia, nem todos os Fab Labs brasileiros desenvolvem projetos educacionais, ou visam a outros objetivos além da capacitação e do uso das próprias ferramentas dos laboratórios (Borges *et al.*, 2010). No estado de Mato Grosso, há apenas um Fab Lab[4], localizado na capital, Cuiabá, em uma sala cedida pela Universidade Federal do Estado de MT (UFMT). Este é um Mini FabLab, com uma vertente em marcenaria digital, arquitetura e urbanismo e artes plásticas. Lá se faz prestação de serviços, ministram-se oficinas e treinamentos, orienta-se na elaboração e fabricação de projetos.

Consoante Eychenne e Neves (2013), os Fab Labs podem ser classificados em três categorias diferentes:

> a) **FabLabs Acadêmicos** - são mantidos por universidades e escolas, e além dos projetos de seus alunos, podem atender também ao público externo. Possuem como foco o desenvolvimento de projetos mão-na-massa, por parte de seus alunos, possibilitando a aplicação prática da teoria ensinada nas salas de aula de forma interdisciplinar;

[2] Disponível em: https://www.fablabs.io/labs/map.
[3] Disponível em: https://www.sesisp.org.br/educacao/fab-lab-escola.
[4] Disponível em: https://www.fablabs.io/labs/fablabcuiaba.

> b) **FabLabs Profissionais** - sua utilização é paga pelos seus usuários, mas podem receber investimentos de empresas públicas ou de empresas privadas. São os laboratórios com o foco nas empresas, em profissionais, startups e empreendedores individuais. Porém, para manterem o espírito do FabLab, devem dar acesso à comunidade, de forma gratuita, pelo menos uma vez por semana, a comunidade só paga o custo dos materiais que utilizar;
> c) **FabLabs Públicos -** O propósito dos FabLabs Públicos é o de "dar acesso às máquinas digitais, às práticas e à cultura do movimento maker e da fabricação digital. Estes lugares são vistos como vetores de emancipação [...]". Esses laboratórios são mantidos por instituições públicas ou por organizações e comunidades locais. Possuem acesso à comunidade em geral sem custo algum, oferecerem oficinas, workshops a fim de abranger o maior público possível. (Eychenne; Neves, 2013, p. 23)

Por meio do levantamento dos projetos educacionais de alguns Fab Labs voltados à educação, Rosa (2019, p. 58) diz compreender que a FD pode ter potencial para a aprendizagem. A autora em questão, em sua pesquisa de mestrado, fez uma análise da literatura científica sobre a FD e chegou a quatro finalidades da Fabricação Digital:

> a) Fabricação Digital para disseminação/democratização das tecnologias e construção da cidadania; b) Fabricação Digital para proporcionar a aprendizagem; c) Fabricação Digital para fomentar a inovação e o empreendedorismo e estimular o pensamento criativo; d) Fabricação Digital para promover a transformação no mundo do trabalho e na indústria. (Rosa, 2019, p. 32).

Segundo a autora supracitada, os excertos retirados dos estudos para a análise convergiam em três enfoques principais. "O primeiro enfoque está na busca pela disseminação e pela democratização das TD. O segundo está na importância atribuída à cooperação na FD e ao compartilhamento de arquivos e conhecimentos. E o terceiro e último enfoque está na aprendizagem potencializada pela FD" (Rosa, 2019, p. 34).

Por fim, segundo Arusievicz, Peres e Bertagnolli (2022, p. 8), a abordagem pedagógica dos Fab Labs utilizada na educação baseia-se na aprendizagem por pares, em trabalho por projetos, *workshops* e cursos livres sobre ferramentas, maquinários e possibilidades de sua utilização em situações da vida cotidiana dos aprendizes.

No tocante à terceira nomenclatura, **FabLearn Labs**, tem seu surgimento essencialmente relacionado ao professor e pesquisador Paulo Blikstein, em 2008. Os autores Blikstein, Martinez e Pang (2014) destacam a origem do FabLearn Lab, quando desenvolveram o primeiro laboratório de FD para uma escola na Universidade de Stanford. Anteriormente, Blikstein já havia iniciado suas pesquisas sobre esses espaços como parte de seu doutorado, a partir de 2004. Hoje, Blikstein é professor associado na Universidade de Columbia e faz parte do Transformative Learning Technologies Lab (TLTL).

Os FabLearn Labs são baseados no conceito original de Fab Lab idealizado por Neil Gershenfeld no Media Lab do MIT, porém com foco educacional direcionado para escolas e suas práticas pedagógicas. Conforme Blikstein, Martinez e Pang (2014), os FabLearn Labs são espaços físicos de construção presentes no Ensino Fundamental e Médio, desenvolvidos pelo TLTL e gerenciados em colaboração com parceiros dos EUA e internacionais. Os princípios do FabLearn embasam todo o trabalho nesses espaços, priorizando a aprendizagem personalizada, significativa, transdisciplinar e holística, onde os alunos são incentivados a aprender de forma criativa, relevante e interdisciplinar.

De acordo com Arusievicz, Peres e Bertagnolli (2022, p. 9):

> A ideia é usufruir do FabLearn Lab com suas ferramentas e tecnologias disponíveis, utilizando-as como uma forma de resolver problemas explorando a criatividade, os termos científicos, necessários para a compreensão de como as tecnologias funcionam, vinculando teoria e prática na solução de problemas. Logo, para que isso ocorra faz-se necessário que os alunos pratiquem e não apenas copiem o conhecimento científico, promovendo a reflexão pela ação e compreendendo o conteúdo que está inerente àquela construção.

Em resumo, os princípios do FabLearn Lab colocam os alunos como protagonistas ativos de sua própria aprendizagem, promovendo um ambiente de aprendizagem desafiador e significativo, com os professores atuando como facilitadores desse processo. A tecnologia é vista como um recurso para ampliar as possibilidades de criação de novos conceitos, artefatos e conhecimentos, promovendo uma abordagem educacional transdisciplinar e holística.

Porém, em locais que não possuem esses espaços montados, isso não impede que sejam desenvolvidas práticas mão na massa e de FD. No caso do curso de extensão que desenvolvemos, utilizamos a impressora 3D e *chromebooks* para o desenvolvimento dos projetos. Descritos os ambientes de fabricação digital, vamos agora elucidar uma tecnologia da FD, que é a prototipagem rápida, que será abordada no próximo tópico, apresentando os elementos que envolvem esse processo de manufatura.

2.2.2 Tecnologia da FD: Prototipagem Rápida (RP)

A prototipagem rápida (*Rapid Prototyping* – RP) são processos aditivos de material, os quais fazem uso da Manufatura Aditiva, enquanto os processos subtrativos de material são denominados controle numérico computadorizado (*Computer Numeric Control* – CNC).

Segundo Kostakis (2015), a Manufatura Aditiva (MA) é o termo técnico dado à tecnologia popularmente conhecida como “Impressão 3D”, a qual se encontra inserida em um conjunto de diversas tecnologias de Fabricação Digital.

A manufatura aditiva (MA) refere-se ao conglomerado de processos e tecnologias que produzem peças a partir da adição de material, camada sobre camada. Difere de outros métodos de fabricação, como a usinagem, que compreende a retirada sucessiva de material de um bloco – esses métodos são chamados de processos de Manufatura Subtrativa (MS).

Os processos de MA têm destaque, pois viabilizam a produção de peças com *designs* inovadores, que muitas vezes não são possíveis de serem fabricados por outros processos, além de proporcionarem economia de matéria-prima e a redução de custos de produção, principalmente para pequenos lotes de peças com geometria complexa e customizada.

Na Figura 5, pode-se analisar as características e vantagens de cada forma de manufatura, por exemplo, a manufatura aditiva permite mais liberdade geométrica e tem maior nível de personalização, a resistência das peças é um pouco inferior à do outro método, mas gera menos resíduos, risco menor de operação, ocupa menos espaço e o custo por peça é menor.

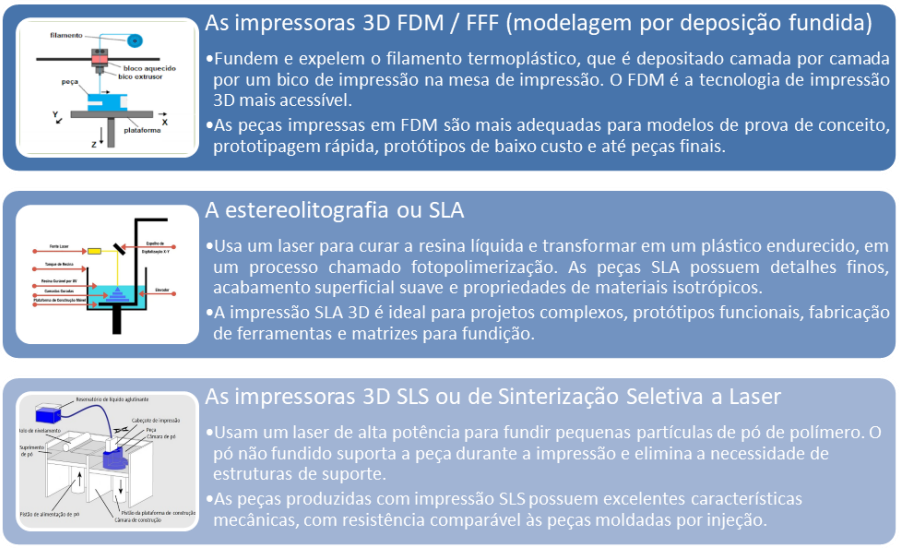
Figura 5: Manufatura Aditiva x Manufatura Subtrativa.

	Manufatura Aditiva	Manufatura Subtrativa
Liberdade geométrica	✪✪✪✪✪	✪✪
Nível de personalização	✪✪✪✪✪	✪✪✪
Resistência das peças	✪✪✪	✪✪✪✪✪
Requer mão de obra qualificada	✪✪	✪✪✪✪✪
Resíduos gerados	✪	✪✪✪✪✪
Risco de operação	✪	✪✪✪✪
Set-up para operação	✪	✪✪✪✪
Espaço necessário	✪	✪✪✪✪
Custo por peça	✪	✪✪✪✪

Fonte: Wishbox Technologies (2021).

A manufatura aditiva permite a fabricação de geometrias complexas, peças com estruturas internas ou ocas, e pode ser uma pequena fábrica, pois sozinha pode produzir peças do início ao fim. Há várias tecnologias utilizadas para a MA, porém, as mais populares são: a Modelagem de Deposição Fundida (*Fused Deposition Modeling* – FDM), a Estereolitografia (SLA) e a Sinterização a *laser* seletiva (SLS). A FDM é a mais utilizada, devido a seu custo ser mais acessível. Mas que tecnologias são essas? São a forma de funcionamento e o material utilizado pela impressora 3D (Figura 6).

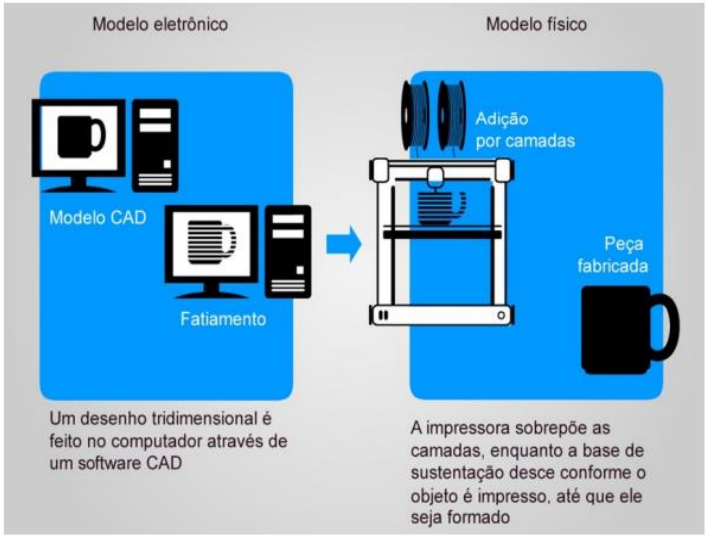
Figura 6: Tecnologias de impressão 3D.



Fonte: Adaptado de Wishbox (2015).

Independentemente da tecnologia utilizada, a impressão tridimensional é um processo que tem três passos principais, conforme a Figura 7:

Figura 7: Representação das principais etapas da manufatura por camada.



Fonte: Jucá (2016).

O primeiro passo é o desenvolvimento do projeto em 3D, para isso deve-se definir o *design* e as medidas, por meio de um *software* CAD ou de modelagem 3D. O segundo passo consiste em dividir o projeto em camadas/fatias, devendo-se, para isso, exportar o projeto do *software* CAD para um *software* denominado *slicer* (fatiador). Depois de parametrizado no *slicer*, será gerado um arquivo em formato G-code. Em seguida, tem-se o terceiro passo, o arquivo G-code é enviado para a impressora 3D, que irá responder às coordenadas pré-configuradas e fará a deposição do material em camadas, até a produção completa do objeto.

Existem *softwares* CAD, de modelagem 3D e *slicer* gratuitos e *online*, que podem ser utilizados na própria *web*, sem precisar baixar no dispositivo. Dessa forma, boa parte do processo de manufatura está sendo popularizado, podendo ser acessado com *e-mail*, inclusive por instituições escolares. Exemplos são: o *software* de modelagem 3D Tinkercad[5], o fatiador Kiri:Moto[6] e o fatiador Ulti*Maker* Cura[7].

Disponibilizar *softwares* CAD, de modelagem 3D e *slicers* gratuitos e *online* amplia consideravelmente o alcance da prototipagem rápida, tornando-a acessível a uma variedade de usuários, incluindo instituições educacionais. No entanto, apenas o acesso não é suficiente para democratizar completamente a TD.

É necessário também considerar a capacitação dos usuários para aproveitar plenamente esses recurso e compreender seu potencial. Além disso, é crucial problematizar as potencialidades e as limitações da prototipagem rápida como recurso educacional. Isso envolve explorar como a RP pode ser utilizada no processo de ensino e de aprendizagem, bem como identificar desafios e oportunidades associados ao seu uso na educação.

Portanto, a democratização da RP deve ser vista em termos de acesso a recursos adequados, capacitação e uso da prototipagem rápida como um recurso educacional, levando em consideração suas implicações e potenciais impactos no contexto educacional contemporâneo.

Em suma, a prototipagem rápida é um processo de manufatura acessível e que pode ser utilizado para vários fins, como *design*, fabricação individual, empreendedorismo e inclusive na educação. Para isso, é necessário pensar em abordagens de ensino que implementem o uso dessas tecnologias. No próximo tópico, apresentam-se algumas ponderações para levar em consideração ao se planejarem ações pedagógicas baseadas na FD.

2.2.3 Abordagens de ensino para promoção da FD e da criatividade

> *O processo é semelhante ao trabalho de um jardineiro que cuida de suas plantas, criando um ambiente no qual elas possam florescer. Da mesma forma, podemos criar um ambiente de aprendizagem onde a criatividade floresça.*

[5] Disponível em: https://www.Tinkercad.com/.
[6] Fatiador de projetos 3D *online* e gratuito. Disponível em: https://grid.space/kiri/.
[7] Cura é um aplicativo de fatiamento de código aberto para impressoras 3D. Disponível em: https://web-staging.ultimaker.com/software/ultimaker-cura.

Portanto, sim, é possível ensinar alguém a ser criativo, contanto que vejamos o ensino como um processo orgânico e interativo.
(Mitchel Resnick, 2020, p. 20)

No Brasil, os índices de aprendizagem de matemática na Educação Básica são baixos, evidenciando dificuldades nesse processo. Uma das dificuldades é que há uma cultura de que o componente curricular de Matemática é muito difícil, o que faz com que os estudantes tenham uma aversão à disciplina. Outra dificuldade é a desconexão da matemática escolar com o cotidiano do estudante:

> [...] em classes tradicionais de Matemática os estudantes são ensinados pela primeira vez a teoria e, em seguida, eles são convidados a resolver alguns exercícios e problemas que têm mais ou menos soluções algorítmicas usando mais ou menos o mesmo raciocínio e que raramente são conectados com as atividades do mundo real (Stoica, 2015, p. 702).

Sendo assim, como contribuir com um ensino de matemática mais contextualizado? As TD permeiam o cotidiano das pessoas, mas muitas vezes são excluídas do ambiente escolar, sendo um desafio imposto aos professores promover sua integração nas aulas, de forma que os estudantes aprendam *por meio* e *com* as TD. Entretanto, deve-se ter atenção, pois, de acordo com Resnick (2020, p. 23), o foco não deve ser quais tecnologias as crianças estão usando, mas o que elas estão fazendo com esses recursos.

A BNCC aborda a importância do uso das TD de forma crítica e reflexiva no contexto escolar, "nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva" (Brasil, 2017, p. 9). Assim, faz-se necessário substituir os processos de ensino que priorizam a exposição e que levam a uma passividade do educando, que percebe o conteúdo como um conjunto estático de conhecimentos e técnicas (D'Ambrosio, 2012).

A introdução da cultura *maker* no ambiente escolar pode ter um papel importante na mudança de metodologias alicerçadas em modelos tradicionais. Para Gershenfeld, Philibert e Boehm (2005), a Terceira Revolução Digital pauta-se na FD pessoal e na criação de espaços físicos, que proporcionem processos de criação e desenvolvimento, que são ignições para a diferenciação na educação, pois permitem desenvolver projetos inovadores para necessidades concretas, destacando os Fab Labs como espaço de enorme potencial nas práticas

educacionais. Dessa forma, os princípios *makers* (criatividade, colaboratividade, sustentabilidade e escalabilidade) e a FD aparecem como uma alternativa para o processo de ensino e aprendizagem.

Para Mitchel Resnick (2020), apesar de muitos educadores e pesquisadores defenderem o *aprender fazendo*, arguindo que a melhor forma de aprender é estar ativamente envolvido em *fazer*, por meio de atividades "mão na massa", essa ação não é suficiente na cultura do movimento *maker*, "pois não é suficiente fazer algo: é preciso criar" (Resnick, 2020, p. 34). Defendendo que as aprendizagens mais valiosas ocorrem quando o estudante está ativamente envolvido no desenvolvimento, na construção ou na criação de algo – quando *aprende criando*.

Resnick (2020) trabalhou com Seymour Papert no MIT, e considera que este deveria ser o santo padroeiro do movimento *maker*, pois ele desenvolveu bases teóricas do aprender criando, além de tecnologias e estratégias de apoio. Defende que, quando a maioria dos pesquisadores adotou uma abordagem de *ensino assistido por computador*, Papert tinha uma visão diferente do uso do computador, não como substituto de professores, mas como um novo meio de expressão, um novo recurso para criar coisas.

Sendo assim, com base na teoria construtivista de Piaget, Seymour Papert defendeu que as crianças constroem conhecimento quando se envolvem ativamente na construção de coisas no mundo, ou seja, quando estão criando. Essa abordagem foi chamada de Construcionismo.

Seymour Papert criou o Logo, uma linguagem de programação para que crianças aprendessem geometria por meio da programação. Resnick e sua equipe, com base nessas ideias, criaram o Scracth, uma linguagem de programação em blocos que permite a criação de animações, jogos e histórias interativas.

Resnick (2020, p. 44) vê a "programação como uma forma de fluência e expressão, assim como a escrita", ou seja, considera a programação uma forma de comunicar ideias a outras pessoas. Considera que, quando se expressam e compartilham ideias por meio da programação, as crianças começam a se ver sob novas formas e a enxergar a possibilidade de contribuir ativamente com a sociedade.

Entendendo ser possível aprender *por meio* e *com* as TD, Resnick (2020, p. 20) faz uma analogia de como nutrir a criatividade das crianças, de modo que diz que "o processo é semelhante ao trabalho de um jardineiro que cuida de suas plantas, criando um ambiente no qual elas possam florescer"; sendo assim, o papel do professor seria o de criar um ambiente de

aprendizagem que oportunize a criatividade, e para isso o ensino deve ser orgânico e interativo.

Resnick (2020, p. 103) defende ainda que bons professores e mentores, no processo de ensino, se adaptam aos papéis de catalisadores, consultores, conectores e colaboradores. Catalisadores acendem a "faísca" que acelera o processo de aprendizagem. Um exemplo é quando o estudante fica paralisado durante a execução de um projeto, então o professor pode lhe mostrar exemplos de projetos e fazer perguntas como: "Como chegou a essa ideia?", "Por que acha que isso acontece?".

Consultores, papel em que os professores oferecem dicas técnicas sobre as tecnologias, ajudam a refinar suas ideias e dão apoio emocional quanto às frustrações do processo, para que não desistam.

Conectores, quando os professores e os mentores não têm condições de dar aos estudantes todo o suporte necessário. Assim, uma parte importante do seu trabalho é conectá-los a outras pessoas com quem eles possam trabalhar e aprender (Resnick, 2020, p. 104).

Colaboradores, quando os professores e mentores, além de darem apoio e conselhos nos projetos que os jovens e crianças desenvolvem, trabalham em seus próprios projetos e os chamam para participarem.

Sendo assim, Resnick (2020) nos dá indícios de como conduzir o ensino para estimular a criatividade e a construção de aprendizagens com o uso das TD, por meio da criação.

De acordo com Blikstein (2013), desde os anos 1970, os pesquisadores têm trabalhado arduamente na criação de recursos para tornar a programação mais fácil de aprender. Ferramentas de programação como Scratch (Resnick *et al.*, 2009) e NetLogo (Wilensky, 1999) alcançaram popularidade sem precedentes e tornaram a codificação acessível a milhões de estudantes e professores. O mundo aderiu à ideia de que não só os meios computacionais poderiam ser um veículo para ideias poderosas em matemática, engenharia e ciências – um novo e importante tipo de alfabetização –, mas também uma atividade acessível nas escolas.

Blikstein (2013) faz uma analogia entre o Logo e os Fab Labs, ao dizer que "o que o Logo fez pela geometria e pela programação – colocando a matemática complexa ao alcance das crianças em idade escolar – os laboratórios de fabricação podem fazer pelo *design* e pela engenharia." A analogia com o desenvolvimento do Logo é clara: simultaneamente, a tecnologia de FD tornou-se melhor e mais acessível, e as atividades intelectuais possibilitadas pela nova tecnologia tornaram-se mais valorizadas e importantes.

A fabricação e o "fazer" digital podem ser um capítulo novo e importante neste processo de levar ideias poderosas, literacias e recursos tecnológicos às crianças. Hoje, a gama de conhecimentos disciplinares aceitos expandiu-se para incluir não apenas programação, mas também engenharia e *design* (Astrachan; Hambrusch; Peckham; Settle, 2009; Yasar; Landau, 2003). Além disso, há apelos em todo o lado para abordagens educativas que promovam a criatividade e a inventividade.

Essa visão é corroborada por Paio (2021), ao expor que o século XXI traz novas problemáticas que necessitam de TD e da FD como recursos de resposta ao estabelecimento de metodologias de ensino e aprendizagem. A autora destaca três pilares de suporte vertical de ensino e aprendizagem que devem ser compreendidos e utilizados pelos professores:

> (1) o FabLab@ School, que traz para as escolas novas ferramentas e o conceito de aprendizagem profunda (*deep learning*) e aprender fazendo (*hands-on learning*) em que o errar faz parte do processo; (2) a STEAM (acrónimo de *Science, Tecnology, Engineering, Arts and Mathematics*), que promove a importância da criatividade na aprendizagem centrada em projetos (*project-based learning*) e no aluno (*student centered learning*); e, (3) o *Design Thinking* na aprendizagem, para o qual é fundamental a colaboração (*collaborative learning*) e um conhecimento profundo do contexto (*contextual learning*). (Paio, 2021, p. 17).

É importante frisar que não é somente um recurso tecnológico ou espaço físico que vai fazer com que o estudante aprenda determinados conceitos matemáticos, afinal, a atividade deve ser organizada pelo professor de forma que permita ao educando investigar, descobrir, conectar, criar e refletir com autonomia e colaboração, na busca por resolver um problema real ou criar um produto. E, assim, desenvolver o pensamento crítico e um raciocínio que lhe possibilite criar conjecturas e abstrair suas ideias, tornando-as conhecimentos formais.

Apesar de esse tipo de laboratório não ser acessível a todos os sistemas escolares, pode-se, a partir da própria FD, usando processos de Manufatura Aditiva (impressoras 3D) e/ou subtrativos, criar um ambiente baseado na cultura *maker*.

A abordagem STEAM é baseada no desenvolvimento de projetos, e pode estar alinhada à Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP). Segundo Bacich e Holanda (2020, p. 44), um dos grandes desafios de projetos STEAM moldados na ABP é a garantia de que os estudantes tenham oportunidades originais para o "planejamento e elaboração de artefatos, por meio de etapas que estimulem a criatividade e que estejam conectadas com a investigação de conceitos, alinhados com a proposta de *design*".

Além da abordagem de *design* de artefatos, outra prática comumente adotada em projetos de STEAM é o *Design Thinking*, que consiste em um conjunto de conceitos empregados por *designers* para conceber e implementar soluções centradas nas necessidades

dos usuários. Embora não seja formalmente uma metodologia, mas sim uma mentalidade para solucionar problemas, o *Design Thinking* é um recurso que pode auxiliar no planejamento de atividades de ensino focadas na criação de artefatos. Esse processo é composto por cinco fases: empatizar, definir, gerar ideias, prototipar e testar.

Assim, o professor é concebido como um *design* de experiências autênticas de aprendizagem, que deve construir um amplo repertório de conhecimentos técnicos e pedagógicos, além da reflexão sobre a prática. É preciso criatividade e persistência para superar os desafios, porque muitas vezes é necessário adaptar recursos, organizar aulas com outros professores e repensar projetos durante a aplicação, com base nas evidências coletadas.

Diante do que foi mencionado, uma possibilidade para promover um ensino contextualizado por meio e com TD da FD é a adoção de abordagens de ensino interativas, nas quais os estudantes desempenham um papel ativo e aprendem por meio da criação, enquanto os professores planejam ambientes propícios para a construção do conhecimento.

2.3 Algumas considerações

A BNCC é um documento normativo que define as aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem desenvolver durante as etapas e modalidades da Educação Básica no Brasil. Neste documento, as TD são importantes recursos. Quanto à geometria espacial, a BNCC traz habilidades a serem desenvolvidas desde o EFAI até o EM. E, para complementar a discussão sobre a geometria, trouxemos Lima e Pitombeira (2010), que argumentam sobre seu ensino de forma não linear, pois, segundo eles, não é preciso apresentar primeiro formas unidimensionais, depois bidimensionais e somente a seguir as formas tridimensionais – isso pode acontecer de forma integrada.

Ao buscarmos caracterizar a FD, vimos que o ato de fabricar se trata de uma manifestação da ação intrínseca ao ser humano. Com as inovações da Indústria 4.0 e da Terceira Revolução Digital, a fabricação é considerada uma manifestação artesanal no digital, e assim a FD caracteriza-se como uma indústria que utiliza ferramentas e processos controlados por computador para transformar projetos digitais em produtos físicos. Ou seja, o ensino por meio da FD utiliza-se de dois tipos primordiais de tecnologias: uma para construção digital do artefato, que pode ser um *software* CAD ou de modelagem 3D, e uma para materializar o artefato, como a impressora 3D ou uma fresadora.

Uma das finalidades da FD apontadas por Rosa (2019) é proporcionar a aprendizagem. E, para que a aprendizagem seja potencializada pela FD, algumas possibilidades são

discutidas, como o trabalho pedagógico baseado na cultura *maker*, a implementação de Fab Labs educacionais e abordagens de ensino como a STEAM, ABP e o *Design Thinking*. Paio (2021) considerada essas possibilidades (*FabLab schools,* STEAM e *Design Thinking*) como pilares de suporte vertical ao desenvolvimento de metodologias alternativas de ensino e aprendizagem no século XXI.

Também foram apresentados espaços que democratizam as tecnologias associadas à FD, como espaços *makers*, Fab Labs e FabLearn. E abordagens de ensino baseadas na cultura *maker* do aprender criando, de forma interativa, para a promoção da criatividade, que podem ser associadas ao processo de FD. Bem como foi exposta a importância da programação e da modelagem para o ensino e aprendizagem.

Dessa forma, a discussão do uso da fabricação digital como recurso pedagógico no ensino é apenas introdutória, mas se mostra promissora, uma vez que a prototipagem rápida pode possibilitar a materialização de modelos mentais, a visualização de objetos tridimensionais, a testagem de conjecturas e a abstração.

Portanto, a FD se apresenta como uma possibilidade de inovação no ensino, mas as pesquisas e as tecnologias associadas a essa revolução ainda são recentes, sendo necessária a ampliação de trabalhos científicos que corroborem o desenvolvimento da área. Bem como o repensar dos papéis do professor e dos alunos no processo pedagógico.

3 TINKERCAD, IMPRESSÃO 3D E GEOMETRIA ESPACIAL: UMA ANÁLISE SISTEMÁTICA NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO BÁSICA

Com o crescente emprego de TD na educação, torna-se essencial explorar abordagens inovadoras para o ensino de conceitos complexos, como a geometria espacial. Nesse contexto, surge a curiosidade e a adoção do *software* Tinkercad e da impressora 3D como ferramentas educacionais, oferecendo uma oportunidade para tornar o aprendizado da geometria tangível e envolvente.

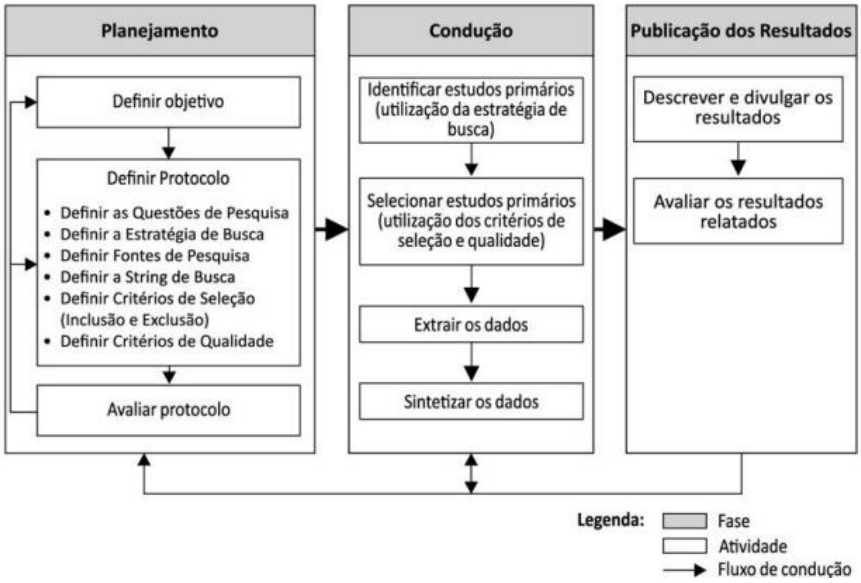
Dentro dessa perspectiva, a justificativa para a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) se fundamenta na necessidade de analisar como o uso do Tinkercad e da impressão 3D tem sido explorado no ensino de geometria espacial na Educação Básica, por meio dos estudos científicos. Dessa forma, no presente capítulo, é apresentada uma visão abrangente das pesquisas mais recentes e relevantes, realizadas nos últimos cinco anos, que se concentram na temática.

A RSL teve sua origem na medicina, com o propósito de gerar diagnósticos mais confiáveis, uma vez que não se fundamenta exclusivamente na experiência do especialista, mas sim em resultados experimentais, ou seja, em evidências. Ela, segundo Kitchenham *et al.* (2009), é um estudo secundário e um dos principais métodos para sintetizar evidências de pesquisa.

Esse tipo de revisão segue uma sequência de fases bem definidas, sendo considerada rigorosa, confiável e passível de auditorias. Isso resulta na redução de vieses e na identificação de lacunas na literatura sobre um tema específico, além da síntese de evidências para tomada de decisões e inferências (Brereton *et al.*, 2007). Por esses motivos, essa abordagem tem sido implementada em diversas áreas do conhecimento, como Saúde, Computação, Educação, entre outras.

Os autores Felizardo *et al.* (2017) propõem três fases para a execução da RSL: planejamento, condução e publicação dos resultados. Cada fase com atividades específicas (Figura 8):

Figura 8: Fases e atividades do processo de RSL.



Fonte: Felizardo *et al.* (2017, p. 19).

Considerando as informações apresentadas, optou-se por esse método para analisar os estudos relacionados à temática da pesquisa. Nesse cenário, o objetivo da revisão definido foi: Compreender como o uso do Tinkercad e da impressão 3D tem sido explorado no ensino de geometria espacial na Educação Básica, por meio dos estudos científicos. Posteriormente, o protocolo de pesquisa foi delineado de acordo com a estrutura proposta por Felizardo *et al.* (2017), conforme será detalhado nos próximos subtítulos.

3.1 Planejamento

Para a elaboração do protocolo, foram conduzidas buscas piloto, com o objetivo de definir as *strings* de busca e aprimorar o protocolo. Pois, de acordo com Kitchenham e Charters (2007), identificar uma combinação de termos que seja capaz de recuperar a maior quantidade possível de estudos primários relevantes, de maneira precisa, requer experiência e conhecimento sobre a área de pesquisa.

Nessa conjectura, a realização de buscas preliminares torna-se importante para avaliar a *string* mais apropriada, uma vez que, frequentemente, aqueles que conduzem a RSL podem não ser especialistas ou podem estar investigando um tópico recente, no qual novos termos podem emergir com certa frequência (Zhang; Babar, 2013).

Essa situação, descrita por Zhang e Babar (2013), ocorre nesta pesquisa. Além de ser pesquisadora iniciante, o tópico de pesquisa é inovador. Assim, iniciou-se a pesquisa no programa de pós-graduação *stricto sensu* em 2022, e foram realizadas buscas nas bases bibliográficas utilizando o termo "Tinkercad". Os resultados em inglês trouxeram termos

como "*prototyping*", "3D *printing*", "3D *modeling*", "*maker education*", "*Digital fabrication*" e "*prototype development*". Alguns desses termos, como "Fabricação Digital" (FD) e "prototipagem rápida", eram desconhecidos pela equipe que conduzia a pesquisa. No entanto, esses termos se mostraram essenciais para a compreensão, inovação e fundamentação da pesquisa em curso, sendo empregados também nesta revisão.

3.1.1 Questão de pesquisa da RSL

A etapa inicial do planejamento compreende a formulação da questão de pesquisa, para a qual utilizamos o conjunto de critérios PICO, originalmente derivados da área médica (Pai *et al.*, 2004). PICO é um acrônimo que representa: P (população, paciente ou problema), I (intervenção), C (comparação, controle ou comparador) e O (resultados, do termo em inglês *outcomes*). Sendo assim, no Quadro 4, estabelecem-se a população, a intervenção e o resultado que foram considerados para a elaboração da questão orientadora da RSL. O item comparação não se aplica à questão de pesquisa, pois o objetivo é identificar e compreender como os recursos têm sido trabalhados na literatura, e não fazer comparações entre metodologias de ensino e/ou recursos educacionais.

Quadro 4: Uso de critérios PICO para elaboração da questão da RSL.

Critérios	Descrição
População	Estudos científicos que abordam Tecnologias Digitais no ensino e/ou aprendizagem de geometria espacial na Educação Básica.
Intervenção	O uso do *software* Tinkercad e da impressão 3D como recurso/abordagem de ensino para a geometria espacial.
Comparação	Não se aplica.
Resultado	Entender as percepções, experiências e resultados concretos observados nas investigações anteriores sobre o uso do Tinkercad e da impressão 3D no ensino de geometria espacial.

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Felizardo *et al.* (2017, p. 48).

Dessa maneira, busca-se responder, por meio da RSL, às seguintes perguntas: Como tem ocorrido a exploração do uso do *software* Tinkercad e da impressão 3D no ensino de geometria espacial na Educação Básica, com base nos estudos científicos? Esses estudos associam essas tecnologias à Fabricação Digital? Para responder a essas questões, foram desenvolvidas estratégias de busca de estudos, as quais serão detalhadas no próximo subtítulo.

3.1.2 Estratégia de busca

A estratégia de busca utilizada foi formulada por meio de testes de aderência, nas bases bibliográficas, das palavras-chave e dos termos principais referentes ao problema de pesquisa.

O teste de aderência das palavras-chave foi conduzido considerando o período de 2018 a 2022, utilizando tanto o Google Acadêmico quanto a base de dados Portal Periódicos CAPES. No Google Acadêmico, a opção "incluir citação" foi desativada e o idioma foi definido como "qualquer idioma". Na plataforma Periódicos CAPES, somente a categoria "artigos" foi selecionada. Os principais conceitos relacionados ao tema da RSL foram organizados em três grupos: Grupo 1. *Software* de Modelagem 3D; Grupo 2. Prototipagem Rápida; e Grupo 3. Contexto da Geometria Espacial. No Quadro 5, é exibida a quantidade de estudos identificados até a data de 07 de agosto de 2023.

Quadro 5: Teste de aderência para palavras-chave.

Grupo	**Produção Científica**				
	Palavra-chave	**Google Acadêmico**	**R%**	**Periódicos CAPES - artigos**	**R%**
1 *Software* de modelagem 3D	"Tinkercad"	5.970	1,47%	34	0,04%
2 Prototipagem rápida	"Prototipagem rápida"	3.170	0,78%	33	0,04%
	"Rapid prototyping"	25.800	6,37%	9.317	11,37%
	"3D printing"	214.000	52,82%	36.774	44,89%
	"Impressora 3D"	5.540	1,37%	63	0,08%
	"Impressão 3D"	8.340	2,06%	152	0,19%
	"Impressão tridimensional"	1.130	0,28%	46	0,06%
	"Additive manufacturing"	109.000	26,90%	34.141	41,68%
	"Manufatura aditiva"	3.770	0,93%	61	0,07%
	"Digital fabrication"	15.400	3,80%	780	0,95%
	"Fabricação Digital"	1.700	0,42%	59	0,07%
3 Contexto da geometria espacial	"spatial geometry"	8.300	2,05%	395	0,48%
	"Geometria espacial"	3.040	0,75%	62	0,08%
Total		405.160	100%	81.917	100%

Fonte: Autoria própria (2023).
R% = representatividade percentual[8]

[8] O cálculo realizado foi a razão entre a quantidade de estudos retornados com a palavra-chave e o total de estudos encontrados na base de dados.

De acordo com o Quadro 5, observamos que os termos em inglês retornam um número maior de estudos, e a palavra-chave "*3D printing*" apresenta 52,82% dos estudos encontrados no Google Acadêmico e 44,89% da quantidade de estudos retornados no Portal Periódicos CAPES. Dessa forma, o Quadro 5 foi considerado para a construção das *strings* de busca.

3.1.3 Fontes de pesquisa e *strings* de busca

Para selecionar as fontes bibliográficas que foram utilizadas e elaborar as *strings* de busca, utilizamos as palavras-chave do Quadro 5. Para realizar as combinações de palavras-chave, foram empregados operadores booleanos e o *software* de mesclar palavras Toptal[9]. Os critérios para a escolha das fontes bibliográficas incluíram a disponibilidade *online* e a acessibilidade a arquivos sem restrições.

Assim, foram organizados no Excel quarenta e seis termos em língua portuguesa e trinta e seis em inglês, abrangendo oito bases diferentes: Google Acadêmico, Periódicos CAPES, ACM Digital Library, Science Direct, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD), Catálogo de Teses e Dissertações CAPES (CTDC), SciELO e Springer Link.

Após a realização dos testes, as escolhas se direcionaram para quatro bases específicas: Google Acadêmico, Portal Periódicos CAPES, BDTD e Catálogo de Teses e Dissertações CAPES (CTDC). Essas escolhas foram motivadas pelo fato de que essas bases atenderam aos critérios mencionados anteriormente e forneceram estudos mais alinhados com o objetivo desta revisão. Além disso, o Google Acadêmico também incluiu artigos presentes em outras fontes.

As *strings* de buscas que retornaram estudos mais alinhados com o objetivo da revisão foram: Tinkercad AND (educação OR ensino OR geometria espacial); Tinkercad AND (education OR teaching OR spatial geometry); Tinkercad AND "Fabricação Digital" AND geometria espacial; "Impressão 3D" AND "geometria espacial".

3.1.4 Critérios de seleção (inclusão e exclusão)

De acordo com Felizardo *et al.* (2017, p. 61), os critérios de inclusão estabelecem as características que um estudo deve apresentar para ser considerado relevante dentro do escopo da RSL. Por outro lado, os critérios de exclusão determinam as características que levam à exclusão de estudos considerados irrelevantes em relação ao contexto definido.

[9] Disponível em: https://www.toptal.com/marketing/mergewords.

Conforme esse entendimento, formularam-se os critérios apresentados a seguir, com base na questão de pesquisa da RSL. Por meio desses critérios, buscou-se delinear claramente os parâmetros que guiaram a seleção dos estudos que melhor se alinharam aos objetivos e ao escopo desta pesquisa.

Critérios de inclusão:

a) Trabalhos publicados e integralmente acessíveis nas bases de dados utilizadas;
b) Produções científicas, incluindo artigos, dissertações e teses, no período compreendido entre 2018 e 2022;
c) Foi requerido que os estudos contivessem de forma específica os termos: Tinkercad e/ou ao menos um dos termos do grupo 2 (apresentados no Quadro 5) – prototipagem rápida, *rapid prototyping*, impressão 3D, *3D printing*, manufatura aditiva, *additive manufacturing*, Fabricação Digital, *digital fabrication* – no título, resumo ou palavras-chave;
d) Os estudos deviam possuir como escopo o ensino e/ou a aprendizagem de geometria no contexto da educação básica.

Critérios de exclusão:

1. O estudo foi publicado apenas como resumo;
2. Não inclusão de revisões de literatura, focando somente em estudos primários;
3. Não foi possível ter acesso ao estudo completo.

3.1.5 Critérios de qualidade

Os critérios empregados para avaliar os estudos selecionados em uma RSL geralmente se concentram na qualidade metodológica e na relevância dos estudos em relação aos objetivos da revisão. Esses critérios são formulados como perguntas pelos pesquisadores responsáveis pela condução da pesquisa. Dentro desse contexto, a seguir, são apresentados os critérios estabelecidos para avaliar os estudos, os quais têm sua fundamentação embasada na relevância e na metodologia de pesquisa e de ensino.

1. Relevância:

• O estudo aborda de forma direta a temática do ensino e/ou aprendizagem de geometria espacial? (Sim/Não)

• Os objetivos da pesquisa estão organizados de forma clara e coerente? (Sim/Não)

2. Metodologia de ensino:

• O estudo explora o uso do Tinkercad e/ou da impressão 3D para o ensino de geometria? (Sim/Não)

• O estudo descreve de forma clara a abordagem/estratégia de ensino utilizada? (Sim/Não)

3. Aspecto metodológico:

• O estudo é baseado em uma aplicação/experimento de ensino na Educação Básica? (Sim/Não)

3.2 Condução

A etapa de condução representa o momento de executar o que foi previamente planejado. Nas seções subsequentes, serão descritas a identificação e seleção dos estudos, além da apresentação da extração e síntese dos dados.

3.2.1 Identificação de Estudos

Para a identificação dos estudos destinados à análise, as *strings* de busca e as bases bibliográficas foram utilizadas conforme estruturado na etapa de planejamento. Em todas as bases selecionadas, optou-se por estabelecer um intervalo temporal que abrangesse estudos recentes, compreendendo o período de 2018 a 2022. No Google Acadêmico, a opção "incluir citação" foi desativada e o idioma de busca foi definido como "qualquer idioma". Na plataforma Periódicos CAPES, a categoria selecionada foi exclusivamente "artigos". Na BDTD e no CTDC, utilizou-se apenas o filtro de tempo.

Os resultados das buscas, apresentados no Quadro 6, refletem a quantidade de estudos retornados. As buscas foram realizadas nos dias 11 e 12 de agosto de 2023.

Quadro 6: Identificação dos estudos nas bases bibliográficas.

***String* de busca**	**Google Acadêmico**	**Portal Periódico CAPES**	**BDTD**	**Catálogo de Teses e Dissertações CAPES**
Tinkercad AND (educação OR ensino OR geometria espacial)	303	4	0	0
Tinkercad AND (education OR teaching OR spatial geometry)	694	17	0	0
Tinkercad AND "Fabricação Digital" AND geometria espacial	4	0	0	0
"Impressão 3D" AND "geometria espacial"	65	0	2	1

Fonte: Autoria própria (2023).

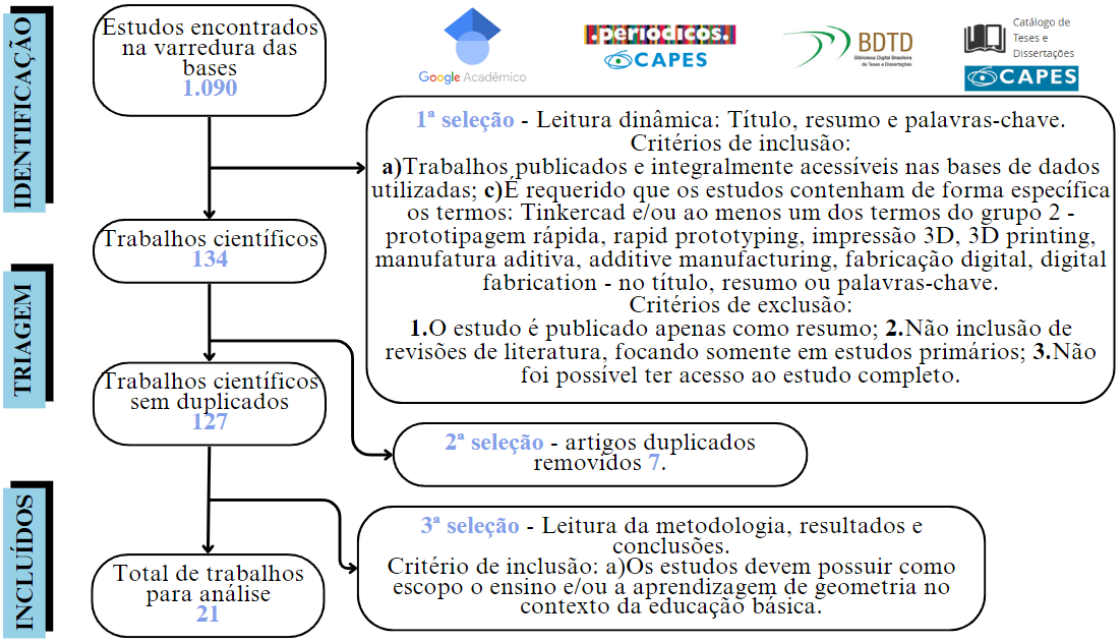
No Quadro 6, pode-se observar que tanto a BDTD quanto o Catálogo de Teses e Dissertações CAPES trouxeram um número reduzido de estudos. No entanto, optou-se por mantê-las no conjunto de bases devido à relevância dos estudos apresentados, os quais estão alinhados com o escopo desta revisão. Por sua vez, o Portal Periódicos CAPES apresentou um total de 21 estudos, enquanto o Google Acadêmico trouxe 1.066 resultados. A decisão de manter o Google Acadêmico foi baseada na amplitude de estudos que essa fonte oferece.

Com a conclusão dessa etapa, que englobou a identificação dos estudos, a pesquisa está preparada para avançar para a próxima fase: a seleção dos estudos que serão incorporados à síntese dos dados.

3.2.2 Seleção de estudos

A estratégia empregada para seleção dos estudos foi baseada na *string* de busca, e nos critérios de inclusão e exclusão descritos no protocolo. Os títulos, resumos e palavras-chave devem conter ao menos dois termos de grupos diferentes, sendo um do grupo 2 (Quadro 5), sobre o tema de estudo. Segue o detalhamento da seleção dos estudos para análise (Figura 9).

Figura 9: Seleção dos estudos.



Fonte: Autoria própria (2023).

Após a identificação dos 1.090 trabalhos, não foi realizado o *download* imediatamente. Foi conduzida uma primeira seleção, considerando critérios como a disponibilidade integral dos trabalhos nas bases de dados, a presença dos termos "Tinkercad" e/ou do grupo 2 nos títulos, resumos ou palavras-chave, além da exclusão de resumos e revisões de literatura. No Google Acadêmico, a opção "salvar" foi utilizada para inserir os estudos selecionados na "Minha biblioteca" daquela base, enquanto, nas demais bases, os trabalhos selecionados foram baixados diretamente. Como resultado desse processo, obtiveram-se 134 trabalhos.

Na etapa subsequente de seleção, os 134 estudos que atendiam aos critérios foram exportados para o Mendeley[10]. Durante essa fase, a funcionalidade "*duplicates*" foi empregada para identificar possíveis duplicatas. Embora apenas um caso tenha sido identificado por essa busca, a leitura dos metadados revelou a existência de mais seis duplicatas.

Na terceira etapa de seleção, com o objetivo de compor o portfólio de análise, foi realizada uma leitura mais detalhada dos estudos. O foco foi compreender o escopo de cada pesquisa. Nesse processo, foram excluídas as pesquisas que não abordavam o ensino e/ou a aprendizagem de geometria espacial na Educação Básica, e que não estavam alinhadas com o objetivo desta revisão.

[10] Mendeley é um gerenciador de referências bibliográficas gratuito. Disponível em: https://www.mendeley.com/download-reference-manager/windows.

Dessa forma, foram selecionados 21 estudos para análise, sendo 1 tese, 2 dissertações e 18 artigos.

3.2.3 Extração e sintetização dos dados

A extração é a atividade na qual são obtidos dados a partir da leitura completa dos estudos primários incluídos na atividade de seleção. O objetivo dessa atividade é registrar, de maneira precisa, os dados necessários para responder às questões de pesquisa estabelecidas para a RSL (Kitchenham; Charters, 2007).

Os primeiros dados a serem extraídos são os metadados. Segundo Kitchenham e Charters (2007), esses metadados podem ser: título, autores, veículo de publicação (por exemplo, nome do evento ou periódico), nome do(s) revisor(es) e data da extração. Também pode ser considerado o ano de publicação, a afiliação dos autores, entre outros. A decisão sobre quais metadados considerar depende dos objetivos da RSL.

No Quadro 7, apresentamos os metadados extraídos dos estudos selecionados.

Quadro 7: Metadados dos estudos selecionados.

Número	Autores	Título	Ano de publicação	Tipo de estudo	Objetivo	Instituição Local	Base bibliográfica
E01	Hedler, L. W. M.	Desenvolvimento do pensamento geométrico espacial: GeoGebra, Impressora 3D e Abstração Reflexionante	2020	Tese	Analisar como as tecnologias digitais, possibilitando a construção e manipulação de objetos espaciais, com *software* de geometria dinâmica GeoGebra e com impressão 3D, proporcionam interações e experiências que contribuem com o processo de abstração reflexionante na construção do pensamento geométrico espacial.	UFRGS Porto Alegre – RS/BR	BDTD
E02	Santos, R. S.; Soares, R. A. L.	O processo de impressão 3D como ferramenta mediadora no ensino e aprendizagem de geometria espacial na educação básica	2021	Dissertação Mestrado profissional	Analisar quais os efeitos no ensino e aprendizagem de Geometria Espacial em decorrência da utilização do processo de impressão 3D nas práticas educativas na Educação Básica.	IFPI Floriano – PI/BR	CTDC
E03	Dos Santos, J. L.; Sganzerla, M. A. R.	Impressora 3D de baixo custo para auxiliar cegos e/ou baixa visão na construção de sólidos geométricos: Projeto Mark	2018	Artigo	Visando uma alternativa financeiramente viável, foi desenvolvida uma impressora 3D utilizando uma placa Arduino Mega como unidade central de processamento com um custo muito inferior ao verificado em impressoras industriais e, assim, mais financeiramente acessível.	ULBRA Guaíba – RS/BR	Google Acadêmico
E04	Barboza, L. R.; Sabba, C. G.	O estudo da matemática com o uso da impressora 3D na educação básica no Estado de São Paulo	-	Artigo	Apresentar a aplicabilidade da utilização da impressora 3D no ensino da matemática no Ensino Fundamental, com a finalidade de superação do ensino tradicional, meramente teórico e decorativo, buscando uma aprendizagem significativa da matemática.	Uninove – SP/BR	Google Acadêmico
E05	Bandeira, L. M. S. A. *et al.*	Instrumento de Avaliação do *Software* Educacional Tinkercad: uma visão fundamentada na BNCC	2019	Artigo	Este trabalho propõe um instrumento de avaliação de *software* educativo, priorizando quatro dimensões: as Competências Gerais do documento da Base Nacional Comum Curricular (BNCC); as Competências e Habilidades específicas para a área de matemática (BNCC); pedagógica; e técnica.	UFRN Natal – RN/BR	Google Acadêmico
E06	Cadena-Blanco, F.; Arias-Rueda, M. J.; Arias-Rueda, J.	Geometría y emprendimiento con Tinkercad desde el enfoque de la educación STEAM	2022	Artigo	Promover o desenvolvimento de competências centradas no aprender produzindo, através da abordagem STEAM Education, aplicando estratégias de aprendizagem baseadas na investigação e no *Design Thinking*.	Universidad Católica Boliviana San Pablo – La Paz/ Bolívia	Google Acadêmico

E07	Freitas, R. de *et al.*	InCircle: uma versão planar do jogo da Torre de Hanoi na aprendizagem de conceitos matemático-computacionais	2019	Artigo	Neste trabalho é apresentado o jogo InCircle, como uma nova versão do jogo clássico da Torre de Hanoi, de lógica matemática e raciocínio lógico, aqui apresentado como uma forma de se trabalharem processos de aprendizagem de conceitos matemáticos e computacionais.	UFAM – AM/BR	Google Acadêmico
E08	González Yanes, B.; Pérez, J. L. S.	Estudio de la Geometría Tridimensional Mediante *Software* de Modelado 3D.	2020	Dissertação	O objetivo deste projeto é verificar as possibilidades e benefícios que a utilização de programas de modelagem 3D pode trazer para o desenvolvimento de conteúdos de geometria tridimensional.	Universida de de La Laguna – Espanha	Google Acadêmico
E09	Bhaduri, S. *et al.*	3DnST: A framework towards understanding children's interaction with Tinkercad and enhancing spatial thinking skills	2021	Artigo	Neste estudo, propôs-se uma estrutura desenvolvida por meio de codificação de vídeo a partir da análise de gravações de tela do uso de uma ferramenta de modelagem 3D - Tinkercad por alunos do ensino médio.	University of Colorado Boulder – Colorado/ EUA	Google Acadêmico
E10	Voráÿová, Š.	Learning congruence through ornaments and tiling	2021	Artigo	Neste artigo, apresentam-se algumas propostas de metodologias para o ensino de simetria no plano com tecnologias digitais, atividades manipulativas e exploração controlada.	Universida de Técnica Tcheca em Praga - República Checa	Google Acadêmico
E11	Dilling, F.; Vogler, A.	Fostering spatial ability through computer-aided design: A case study	2021	Artigo	Este artigo explora a promoção da capacidade espacial por meio de *software* de ***design*** auxiliado por computador.	University of Siegen – Alemanha	Google Acadêmico
E12	Pielsticker, F.; Witzke, I; Vogler, A.	Edge Models with the CAD *Software*: Creating a New Context for Mathematics in Elementary School	2021	Artigo	Este artigo examina um exemplo retirado de um estudo realizado em uma escola primária alemã, mostrando como as crianças desenvolvem um modelo de um sólido geométrico usando objetos digitais específicos e autoprojetados no *software* Tinkercad, de desenho auxiliado por computador (CAD).	University of Siegen – Alemanha	Google Acadêmico

E13	Lieban, D.; Lavicza, Z.	Dissecting a cube as a teaching strategy for enhancing students' spatial reasoning: Combining physical and digital resources	2019	Artigo	Pretendeu-se enfatizar os propósitos educacionais desses exemplos e discutir algumas possibilidades de ensino em que as competências matemáticas e tecnológicas dos alunos são desenvolvidas por meio de manipulativos físicos e digitais, particularmente a concepção de um quebra-cabeça matemático.	IFRS – RS/BR; Johannes Kepler University Linz – Áustria	Google Acadêmico
E14	Budinski, N.; Lavicza, Z.; Houghton, T.	Opportunities for 3D printing in Hybrid Education	2022	Artigo	Os objetivos específicos, nos quais se baseou estudo, foram comunicar abordagens inovadoras com alunos em salas de aula híbridas; ensinar os alunos a compreender o processo de impressão 3D; conectar o conteúdo geométrico com as configurações do mundo real; e aprender com os erros de *design* de classe por meio do monitoramento contínuo de ambientes e pedagogias.	Johannes Kepler University Linz – Áustria	Google Acadêmico
E15	Huang, C. Y.; Wang, J. C.	Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: Developing and evaluating an elementary school design-oriented model course	2022	Artigo	Neste estudo, foi desenvolvido um curso de modelo orientado para impressão tridimensional para alunos do ensino fundamental, e sua eficácia de aprendizagem foi investigada.	National Kaohsiung Normal University – Taiwan	Google Acadêmico
E16	Kadeeva O. E. *et al.*	Creation of the Simplest 3d Models for Additional Education	2020	Artigo	Apresentar e resumir as possibilidades de uso de modelos 3D no espaço de educação do ensino médio.	FEFU – Rússia	Google Acadêmico
E17	Reichenberger, S. *et al.*	3D Printing to Address Solids of Revolution at School	2019	Artigo	Neste artigo pretendeu-se oferecer exemplos em que o uso da impressão 3D pode apoiar a investigação de sólidos de revolução.	Johannes Kepler University Linz – Áustria	Google Acadêmico
E18	Jung, Y. C.; Lee, K. T.	A STEAM Experience Activity Task: Making and Experiencing Goods for the Disabled with Physical Computing Tools and 3D Printing Technology	2022	Artigo	Desenvolver uma tarefa de atividade de experiência STEAM que pode ser aplicada a alunos do ensino médio com o tema 'fazer e experimentar colheres com compensação de inclinação para deficientes'.	Universidade Nacional de Educação da Coreia	Google Acadêmico

E19	Mangione, G. R. J.; Garzia, M.; Esposito, A.	Verso un curricolo *Maker* 5-8 K. Principi e applicazioni per lo sviluppo della competenza geometrica tramite 3D printing	2019	Artigo	Este artigo considera a pesquisa educacional e as conceituações pedagógicas da educação *maker* no contexto do currículo atual nas escolas italianas. Em particular, baseia-se na pesquisa que o INDIRE promove sobre o ensino usando impressoras 3D e nos resultados preliminares de um estudo piloto em andamento, que visa aumentar a compreensão das associações potenciais entre a pedagogia *maker* e as habilidades visuais e geométricas espaciais.	INDIRE, Istituto Nazionale Documentazione Innovazione e Ricerca Educativa – Itália	Google Acadêmico
E20	Nolla, A. *et al.*	Impresión 3D como un recurso para desarrollar el potencial matemático	2021	Artigo	O primeiro objetivo deste artigo é apresentar a experiência do Clube de Matemática da Scuola Italiana de Madri com a impressão 3D e realizar uma análise e discussão de produções estudantis. Além disso, como segundo objetivo, é realizada uma classificação do tipo de atividades de modelagem e impressão 3D realizadas pelos alunos.	Universidad Autónoma de Madrid – Espanha	Google Acadêmico
E21	Molina, C. D.; González, J. R.	Uso de las impresoras 3D para la Enseñanza de la Geometría de los sólidos siguiendo el modelo de Van Hiele	2018	Artigo	Esta comunicação detalha uma série de atividades seguindo as fases de aprendizagem do modelo Van Hiele, que permitem uma primeira introdução da tecnologia de impressão 3D na sala de aula.	UDIMA – Espanha	Google Acadêmico

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Dessa forma, é possível observar que, no contexto brasileiro, a pesquisa sobre essa temática ainda é limitada, uma vez que, dos 21 estudos selecionados, apenas 6 são brasileiros, isto é, 28,6% da amostra. Além disso, a análise do Quadro 7 indica que o tema tem sido abordado em diversos países, com maior ênfase na literatura de língua inglesa, que representa 47,6% dos trabalhos. Quanto à tipologia dos estudos, 86% correspondem a artigos. No que tange às datas de publicação, o ano de 2021 concentra o maior número de publicações, totalizando 6. Ele é seguido por 2019, com 5 publicações; 2022, com 4; 2020, com 3; e 2018, com 2 – o que indica uma tendência recente na abordagem desse tema.

Como próximo passo antes de avançar para a etapa de síntese dos dados, será realizada uma avaliação da qualidade dos estudos (conforme o Quadro 8), preparando-se para a subsequente análise das evidências. É importante ressaltar que a avaliação da qualidade dos estudos não se refere às características dos estudos em si, mas sim às qualidades ou características que contribuem para responder à pergunta da revisão.

Quadro 8: Avaliação da qualidade dos estudos.

Estudo	Relevância		Metodologia de ensino		Aspecto metodológico
	O estudo aborda de forma direta a temática do ensino e/ou aprendizagem de geometria espacial?	**Os objetivos da pesquisa estão organizados de forma clara e coerente?**	**O estudo explora o uso do** Tinkercad **e/ou da prototipagem rápida para o ensino de geometria?**	**O estudo descreve de forma clara a abordagem/estratégia de ensino utilizada?**	**O estudo é baseado em uma aplicação/experimento de ensino na Educação Básica?**
E01	SIM	SIM	SIM (GeoGebra[11] e Impressão 3D)	SIM	SIM
E02	SIM	SIM	SIM (GeoGebra/Tinkercad e Impressão 3D)	SIM	SIM
E03	NÃO	SIM	SIM (SolidWorks 2017 [12]e Impressão 3D)	NÃO	NÃO
E04	SIM	SIM	SIM (3Dbuilder[13]/GeoGebra e Impressão 3D)	SIM	NÃO
E05	NÃO	SIM	SIM (Tinkercad[14])	NÃO	NÃO
E06	SIM	SIM	SIM (Tinkercad)	SIM	SIM
E07	SIM	SIM	SIM (Tinkercad e Impressão 3D)	SIM	NÃO
E08	SIM	SIM	SIM (Tinkercad)	SIM	SIM
E09	SIM	SIM	SIM (Tinkercad e Impressão 3D)	SIM	SIM
E10	SIM	SIM	SIM (Tinkercad)	SIM	SIM
E11	SIM	SIM	SIM (Tinkercad)	SIM	SIM
E12	SIM	SIM	SIM (Tinkercad)	SIM	SIM
E13	SIM	SIM	SIM (Thingiverse[15]/GeoGebra e impressão 3D)	SIM	NÃO
E14	SIM	SIM	SIM (GeoGebra e Impressão 3D)	SIM	SIM
E15	NÃO	SIM	SIM (Tinkercad e Impressão 3D)	SIM	SIM
E16	NÃO	SIM	SIM (Tinkercad)	SIM	NÃO
E17	SIM	SIM	SIM (GeoGebra e Impressão 3D)	SIM	NÃO

[11] GeoGebra é um aplicativo computacional livre de matemática dinâmica, que combina conceitos de geometria e álgebra. Disponível em: https://www.geogebra.org/?lang=pt.
[12] SolidWorks é um *software* de *design* 3D pago. Disponível em: https://help.solidworks.com/2017/portuguese-brazilian/SolidWorks/install_guide/hid_state_download_options.htm.
[13] 3D Builder é uma ferramenta de *design* 3D desenvolvida pela Microsoft. Com ela, pode-se visualizar, criar e personalizar. Disponível em: https://apps.microsoft.com/store/detail/3d-builder/9WZDNCRFJ3T6?hl=pt-br&gl=br.
[14] Tinkercad é um aplicativo da *web* gratuito para *design* 3D, eletrônica e codificação. Disponível em: https://www.Tinkercad.com/.
[15] Thingiverse é um *site* dedicado ao compartilhamento de arquivos de *design* digital criados por usuários. Disponível em: https://www.thingiverse.com/.

E18	NÃO	SIM	SIM (Tinkercad e Impressão 3D)	SIM	SIM
E19	SIM	SIM	SIM (SugarCAD[16]/Doodle3D [17]/Tinkercad e Impressão 3D)	SIM	SIM
E20	NÃO	SIM	SIM (Tinkercad e Impressão 3D)	SIM	SIM
E21	SIM	SIM	SIM (Tinkercad e Impressão 3D)	SIM	SIM

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

[16] SugarCAD é um sistema autônomo para projetar 3D, imprimir 3D e gerenciar o conteúdo da aula. Disponível em: https://3d.indire.it/sugarcad/index.php?act=login&lang=en.

[17] Doodle3D Transform é um aplicativo da web gratuito e de código aberto que torna o design em 3D fácil e divertido! Disponível em: https://doodle3d.com/.

No que diz respeito ao Quadro 8, seis estudos (E03, E05, E15, E16, E18 e E20), embora mencionem a geometria na descrição de suas práticas, revelaram, após uma análise mais aprofundada, que a geometria se apresenta como um ‘pano de fundo’ ou uma consequência secundária, não constituindo o principal foco dessas pesquisas. Os estudos E03 e E05 não descrevem de forma clara a abordagem/estratégias de ensino e os estudos E03, E04, E05, E07, E13, E16 e E17 não apresentam uma aplicação/experimento de ensino na Educação Básica. Todavia, apesar de não satisfazerem a todos os critérios de qualidade, foram excluídos apenas os trabalhos E03, E05, E15 e E16. A seguir, são feitos uma breve descrição e apontamentos sobre esses estudos que não contemplaram todos os critérios.

O estudo E03, conduzido por um aluno e uma professora do curso de Sistemas de Informação, apresenta um modelo passo a passo para a construção de uma impressora de baixo custo que pode se configurar como uma alternativa viável para a Educação Básica, considerando os custos elevados das impressoras comerciais. Além de enfatizar a economia, a pesquisa também teve como foco a acessibilidade, empregando a impressora como tecnologia assistiva. Para verificar sua aplicabilidade na produção de materiais didáticos, os pesquisadores modelaram formas no *software* SolidWorks 2017 e as imprimiram. Foi selecionado um conjunto de sólidos geométricos frequentemente utilizados no ensino, incluindo pirâmide, cubo, octaedro, esfera, cone e cilindro.

Na sequência, esses sólidos foram submetidos à análise tátil de quatro alunos, com idades entre 7 e 10 anos, com deficiência visual, bem como de três professores. Os resultados demonstraram que os estudantes foram capazes de identificar que as figuras impressas tinham características diferentes. Além disso, os três professores que manipularam os sólidos foram unânimes na aprovação das impressões e sua aplicabilidade pedagógica.

Contudo, é importante destacar que o estudo em questão não aborda diretamente o uso da impressão 3D ou o estudo da geometria pelos estudantes, tampouco apresenta um método de ensino para o uso desta tecnologia em sala de aula. Assim, será excluído da análise, pois não contribui diretamente para responder à pergunta central da revisão. Entretanto merece ser registrado que este trabalho oferece *insights* valiosos para a construção de impressoras 3D acessíveis e ainda contribui para evidenciar um dos potenciais usos da impressão 3D na educação, que é como tecnologia assistiva.

O estudo E05 merece destaque devido ao desenvolvimento de um instrumento avaliativo de *softwares* educacionais com base em quatro dimensões: Competências Gerais da BNCC; Competências e Habilidades específicas para a área de matemática (BNCC);

abordagem pedagógica; e aspectos técnicos. Esse instrumento foi aplicado ao *software* Tinkercad.

Para realizar a avaliação, os participantes do estudo, dois monitores de uma escola de Robótica Educacional e uma pedagoga, seguiram um plano guiado que abordava conhecimentos da interface do *software* e de matemática. O conhecimento do uso da ferramenta inclui noções como agrupamento, cópia de modelos, distinção entre sólido e orifício, movimentação da câmera e operações de rotação, translação e escala. No âmbito dos conhecimentos matemáticos, foram incorporados temas como geometria espacial (sólidos geométricos, área, volume, aresta, vértice, face, raio, entre outros), operações booleanas, ângulo, medida, plano cartesiano, proporção geométrica, escala, números e conversão de medidas. Contudo, vale mencionar que o detalhamento desse plano não é fornecido no artigo.

Durante a avaliação, foi observado que o Tinkercad possui potencial para contribuir efetivamente para o ensino de matemática, incluindo a área de geometria. No entanto, o artigo não apresenta uma estrutura clara do método de ensino ou exploração do *software* para esse contexto. Devido a essa lacuna, o artigo foi excluído do conjunto de análise.

Os estudos E07 e E13 não satisfazem ao critério relativo ao aspecto metodológico de aplicação/experiência de ensino na Educação Básica. No entanto, esses estudos são pertinentes para a presente revisão, pois apresentam uma abordagem potencial para a utilização de um *software* de modelagem 3D associado com a impressão 3D no contexto do ensino de geometria.

O artigo E15 descreve uma experiência educacional que incorpora o uso do Tinkercad e da impressora 3D a um curso voltado para o *design* no Ensino Fundamental, seguindo a abordagem de ensino conhecida como *Design Thinking*. O estudo ressalta a eficácia do desenho assistido por computador como uma ferramenta poderosa para auxiliar os alunos na compreensão de conceitos, estimulando sua criatividade e motivação para aprender. O estudo também destaca que, por meio do treinamento em desenho, os alunos adquirem maior familiaridade com as propriedades das arestas, cantos e áreas de triângulos e quadriláteros (Huang; Wang, 2022, p. 23).

Apesar desses aspectos positivos, o estudo E15 foi excluído da análise devido à falta de foco específico no ensino de geometria. No entanto, é relevante registrar essa experiência devido ao método de ensino empregado, que demonstra a importância de habilidades geométricas e espaciais mesmo em projetos nos quais a geometria não seja o foco central.

Já o trabalho científico E16 aborda a investigação do Tinkercad como tecnologia educacional no campo da educação complementar e apresenta uma possibilidade de ementa

para a disciplina de “ciências da computação”. Por não discorrer sobre ensino e/ou aprendizagem de geometria, o estudo foi excluído do *corpus* de investigação.

O artigo E18, apesar de não se concentrar especificamente no ensino de geometria espacial, relata uma experiência de ensino por meio da abordagem STEAM (acrônimo, em inglês, para Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática), que envolveu a modelagem e impressão de uma colher com compensação de inclinação, direcionada para pessoas com deficiências. No contexto do tópico "Matemática", o estudo aborda a necessidade de desenvolver conhecimentos relacionados às propriedades de formas tridimensionais. Por essa razão, o artigo foi incluído no conjunto de análise.

O mesmo acontece com a pesquisa E20, que não versa especificamente da geometria, mas relata uma experiência de ensino com STEAM e aprendizagem baseada em projetos com uso do *software* Tinkercad e da impressora 3D em clubes de matemática da Escola Italiana de Madrid.

Portanto, após a avaliação dos critérios de qualidade, foi determinada a exclusão dos estudos E03, E05, E15 e E16 do conjunto de análise da revisão. Dessa forma, permanecem 17 trabalhos científicos que serão analisados no próximo tópico.

Entre os estudos incorporados à análise, onze deles conduziram aplicações ou experimentos de ensino envolvendo estudantes da Educação Básica. Dentre esses, cinco foram conduzidos no Ensino Médio, enquanto três se concentraram no Ensino Fundamental II (8º e 9º anos), e três foram direcionados ao Ensino Fundamental I (4º e 5º anos).

Dos 17 trabalhos inclusos para a análise (E01, E02, E04, E06, E07, E08, E09, E10, E11, E12, E13, E14, E17, E18, E19, E20 e E21), 5 abordam somente o uso do Tinkercad, enquanto 5 discorrem sobre a integração entre um *software* de modelagem e a impressora 3D e 7 exploram especificamente a relação entre o *software* de modelagem Tinkercad e a impressão 3D, como explicitado na 4ª coluna do Quadro 8. O uso combinado de um *software* de modelagem e da impressora 3D ocorre porque a construção de um objeto impresso requer sua prévia modelagem. No próximo tópico, serão apresentados e discutidos os resultados e a análise desses estudos.

3.3 Resultados e discussões

Com o objetivo de responder à pergunta que originou a presente Revisão Sistemática da Literatura (RSL), será utilizada a metodologia da metassíntese para analisar os resultados encontrados. A metassíntese é uma abordagem qualitativa na qual se descrevem e explicam

eventos ou experiências específicas, e suas integrações interpretativas requerem habilidades por parte dos pesquisadores, para compreender e sintetizar os resultados individuais dos estudos, a fim de alinhá-los e permitir conclusões que possuam validade científica (Lopes; Fracolli, 2008).

Segundo Fiorentini (2013, p. 78), a metassíntese:

> [...] visa produzir interpretações ampliadas de resultados ou achados de estudos qualitativos obtidos por estudos primários (como são as dissertações, teses e pesquisas de professores), os quais são selecionados atendendo a um interesse específico do pesquisador acerca de um fenômeno a ser investigado e/ ou teorizado.

Em outras palavras, por meio da metassíntese, os resultados individuais são combinados e analisados de forma a ampliar a compreensão sobre o tema em questão, permitindo que sejam identificados padrões, relações e *insights* que podem não ser tão evidentes em cada estudo isoladamente. Assim, após um trabalho de identificação de padrões e temas, com o uso do *software* de análise MAXQDA[18] chegou-se a quatro categorias com os aspectos relevantes das perguntas da revisão: exploração do *software* de modelagem 3D Tinkercad e impressão 3D no ensino de Geometria Espacial; vantagens e desafios do uso do Tinkercad no ensino de geometria; impressão 3D no ensino de geometria: benefícios e desafios; associação das tecnologias Tinkercad e impressão 3D à Fabricação Digital.

3.3.1 Exploração do *software* de modelagem 3D Tinkercad e da impressão 3D no ensino de geometria espacial

Conforme ressaltado por Pielsticker, Witzke e Vogler (2021, p. 20), existe uma distinção clara entre os contextos virtual e físico. Enquanto o *software* de modelagem tridimensional oferece um ambiente com projeções ajustáveis de forma dinâmica, a impressão 3D possibilita a concretização e a manipulação de objetos sólidos.

Além disso, Lieban e Lavicza (2019) indicam que a capacidade de construir representações de objetos geométricos 2D e 3D pode ser desenvolvida por meio de diversas ferramentas para resolver problemas de projeto e compreender os efeitos das transformações simples e suas composições.

Nesse sentido, Lieban e Lavicza (2019, p. 1) ressaltam a importância de tarefas que integrem a modelagem e a impressão 3D, ao escrever que:

[18] MAXQDA é um *software* para análise de dados qualitativos e métodos mistos em pesquisas acadêmicas, científicas e comerciais. Disponível em: https://www.maxqda.com/pt/software-analise-qualitativa?gclid=Cj0KCQjw3JanBhCPARIsAJpXTx5SGlcMdoHjJhL7eyMnRuUwYR4NyXggceUZgh2Lm8IDwquqMOCoLgcaAqehEALw_wcB.

> [...] projetar tarefas para fins educacionais combinando a modelagem e os aspectos exploratórios dos Sistemas Geométricos Dinâmicos (DGS), bem como conectar facilmente esses resultados com a impressão 3D para abrir as mentes de alunos e professores para novas ideias e estratégias em modelagem matemática e resolução de problemas. [...] Esta atividade também aborda as questões de adaptação de ideias matemáticas e de design, e como esse processo se baseia e como ele nutre a criatividade matemática por meio da modelagem geométrica e das múltiplas estratégias dos alunos para resolver as tarefas.

Devido a essa diferença nas ações, tomadas de decisões e desenvolvimento de raciocínio proporcionados por cada tecnologia, e considerando que a construção de um objeto impresso requer sua prévia modelagem e que, segundo Voráÿová (2021, p. 2), os desafios no desenvolvimento individual ou em grupo para projetar uma estrutura que possa ser impressa em 3D desempenham um papel notável na motivação dos alunos. Torna-se relevante investigar como explorar essas tecnologias no ensino de geometria na sala de aula da Educação Básica. Além disso, é importante compreender as abordagens de ensino utilizadas por pesquisadores na área. Para isso, essa categoria foi dividida em duas subcategorias.

3.3.1.1 Abordagens de ensino para integração do Tinkercad e da impressão 3D no processo educacional

A convergência entre o Tinkercad, *software* de modelagem 3D, e a tecnologia prototipagem rápida, impressão 3D, oferece possibilidades para explorar abordagens pedagógicas que transcendem as fronteiras das disciplinas tradicionais, promovendo um aprendizado alinhado às competências do século XXI. Assim, neste tópico, serão consideradas diversas estratégias educacionais, que emergiram dos estudos analisados nesse contexto:

1. *Design Thinking* (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022 e Freitas *et al.*, 2019): Por meio da abordagem do *Design Thinking*, como ilustrado por Cadena-Blanco, Arias-Rueda e Arias-Rueda (2022), foi possível aplicar conceitos geométricos em contextos reais, gerando empreendimentos como chaveiros, carteiras e miniaturas. Este processo segue um roteiro estruturado de cinco etapas – empatizar, definir, idealizar, prototipar e avaliar. Isso desencadeia a criatividade e a colaboração dos alunos na resolução de problemas práticos, empoderando-os para enfrentar desafios do mundo real.

Essa mesma abordagem também foi explorada por Freitas *et al.* (2019, p. 1), para o planejamento e desenvolvimento da estrutura física de um jogo chamado InCircle. Nesse projeto, as fases de imersão, ideação e prototipação foram fundamentais para a concretização

do jogo. Ambos os estudos evidenciam como o *Design Thinking* pode ser uma estratégia valiosa para promover a compreensão da geometria, por meio de aplicações práticas e colaborativas com tecnologias da indústria 4.0.

2. Educação STEAM (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022; Jung; Lee, 2022):

A abordagem STEAM busca integração entre Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática na resolução de problemas. Por meio da integração do Tinkercad e da impressão 3D, os estudantes têm a oportunidade de vivenciar a interdisciplinaridade, aplicando conhecimentos em projetos práticos e desenvolvendo habilidades analíticas e criativas. De acordo com Cadena-Blanco, Arias-Rueda e Arias-Rueda (2022, p. 3), a STEAM promove o desenvolvimento de competências centradas no aprender produzindo.

Outro exemplo da aplicação dessa abordagem de ensino está presente na pesquisa de Jung e Lee (2022), que envolveu a criação e teste, pelos alunos, de colheres de compensação de inclinação para deficientes. Os estudantes foram desafiados a compreender e aplicar ferramentas de computação física e tecnologia de impressão 3D. Nesse contexto, os estudantes não apenas tiveram que acionar conhecimentos geométricos espaciais, mas também demonstraram como a dimensão matemática é essencial na resolução de problemas tecnológicos e na promoção da conscientização sobre questões de acessibilidade (Jung; Lee, 2022, p. 4).

3. Filosofia *Maker* (Nolla *et al.*, 2021; Mangione; Garzia; Esposito, 2019): A abordagem *maker*, conforme explorado por Nolla *et al.* (2021), coloca ênfase na aprendizagem prática e na materialização de ideias. Com o suporte do Tinkercad e da impressão 3D, os estudantes se envolvem em projetos concretos, estimulando o pensamento crítico e a resolução tangível de problemas.

Quanto à implementação de um currículo *maker* voltado para o desenvolvimento de competências geométricas por meio da impressão 3D, a Itália tem promovido um estudo piloto. Esse projeto visa ampliar a compreensão das potenciais associações entre a pedagogia *maker* e as habilidades visuais e geométricas espaciais. O piloto, conforme relatado por Mangione, Garzia e Esposito (2019, p. 5), segue um modelo de co-*design* que envolve os professores da escola, facilitando a adoção de abordagens mais reflexivas para a avaliação da competência dos alunos.

4. Aprendizagem Experimental (Budinski; Lavicza; Houghton, 2022): Budinski, Lavicza e Houghton (2022, p. 2) investigam um exemplo de como ensinar alunos sobre a

impressão 3D, ao combinar métodos ativos multidisciplinares com aprendizagem experimental.

Esses autores fundamentaram seu estudo e projeto de aula na Teoria da Aprendizagem Experiencial de Kolb (1984), enfatizando a importância da experiência e o seu papel no processo de aprendizagem. Essa abordagem teórica propõe que qualquer experiência pode ser transformada em uma fonte confiável de conhecimento, tornando assim a aprendizagem mais significativa. O processo proposto consiste em quatro etapas: vivenciar, refletir, pensar e agir. No caso de sua pesquisa, os objetivos estavam alinhados com essas etapas: pensar (introdução de novas tecnologias), atuar (modelagem de impressão 3D), experimentar (obter o resultado físico final) e refletir (observar os resultados e realizar melhorias) (Budinski; Lavicza; Houghton, 2022, p. 3).

5. Aprendizagem Baseada em Projetos e/ou Resolução de Problemas (Reichenberger *et al.*, 2019; Voráÿová, 2021; Nolla *et al.*, 2021): Reichenberger *et al.* (2019, p. 4), além de discutirem exemplos relacionados ao conceito matemático de volume e sólidos de revolução, evidenciam que a impressão 3D revela potencialidades em abordar outros tópicos, como a resolução de problemas cotidianos.

Voráÿová (2021) concentrou-se na resolução de problemas, apresentando à turma sequências potenciais de problemas para orientar a resolução. Um exemplo foi o estudo do ladrilhamento. Este enfoque demonstra como o Tinkercad e outros *softwares* CAD podem ser utilizados para explorar conceitos matemáticos por meio da abordagem de problemas reais.

Nolla *et al.* (2021, p. 95), ao analisarem projetos desenvolvidos por estudantes de clubes de matemática com o uso do Tinkercad e da impressão 3D, identificaram quatro categorias distintas de projetos. Essas categorias surgiram tanto pela aplicação de conteúdos e processos matemáticos quanto pelo notável trabalho colaborativo que se originou:

Objeto comum com vários *designs*: O objetivo é projetar um objeto de uso diário, próximo dos alunos, que possa ser abordado de diversas formas, como uma bolsa ou um chaveiro.

Objeto projetado para uma situação real específica: Ao enfrentar um problema real, os alunos projetam um objeto que o solucione, como uma peça sobressalente ou um suporte.

Projeto integrado: Cada aluno desenha um elemento que contribui para um projeto em uma escala maior, como o *design* dos edifícios em uma maquete de cidade, ou elementos de uma rua ou cômodo.

Projetos modulares: Essa abordagem busca projetar um objeto complexo, inicialmente uno, que pode ser dividido em partes ou módulos. Os módulos podem ser designados a diferentes alunos e combinados para formar uma estrutura completa, como um robô. Alternativamente, o objeto final pode ser construído a partir de módulos iguais ou similares, como um mosaico ou uma construção no estilo Lego.

6. Fases de Van Hiele (Molina; González, 2018): A estrutura das fases de aprendizagem proposta por Molina e González, baseada no modelo de Van Hiele, oferece uma progressão gradual em direção à compreensão geométrica. O uso do Tinkercad e da impressão 3D pode ser integrado a estas fases (informação, orientação dirigida, explicação, orientação livre e integração), proporcionando uma abordagem estruturada para o desenvolvimento do conhecimento.

Assim, a combinação do Tinkercad e da impressão 3D, alinhada a estratégias de ensino inovadoras, se configuram como oportunidade de enriquecer o processo educacional. Em resumo, a exploração das abordagens de ensino ressaltadas, como *Design Thinking*, Educação STEAM, Filosofia *Maker*, Aprendizagem Experimental e Aprendizagem Baseada em Projetos e/ou Resolução de Problemas, evidencia um vasto leque de possibilidades proporcionado pela integração dessas ferramentas ao ensino da geometria na Educação Básica. Ao conectar conceitos matemáticos às aplicações práticas e colaborativas, esses métodos ampliam a compreensão, o engajamento e a capacidade dos estudantes de enfrentar desafios do mundo real, preparando-os para um aprendizado prático e dinâmico na contemporaneidade.

3.3.1.2 Integração entre o Tinkercad e a impressão 3D no ensino de geometria espacial: algumas possibilidades

A integração entre o Tinkercad e a impressão 3D no ensino de geometria espacial abre diversas possibilidades de exploração de temas relevantes e o aprofundamento de conceitos geométricos. Essa abordagem inovadora é acompanhada por uma variedade de elementos que demonstram como o *software* de modelagem e a impressora 3D são utilizados no contexto educacional, segundo os estudos analisados.

Um dos principais temas explorados é a visualização de sólidos geométricos. Por meio do Tinkercad, os alunos podem criar, modificar e manipular virtualmente diferentes formas, compreendendo melhor suas propriedades e características. A impressão 3D permite que esses sólidos sejam materializados em objetos tangíveis, proporcionando uma experiência prática e

concreta. Isso promove a compreensão tridimensional e o desenvolvimento do raciocínio espacial (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021; Santos; Soares, 2021).

Enquanto a impressão 3D permite uma exploração tátil e comparação física com objetos da vida real, o aspecto dinâmico permite observar uma variedade de casos com um simples movimento de arrastar e uma valiosa representação interna, graças à possibilidade de controlar a transparência/opacidade dos modelos (Reichenberger *et al.*, 2019, p. 3)

Outro aspecto explorado é a explanação de propriedades geométricas. Com o *software*, os alunos podem realizar operações como dimensionamento, corte, duplicação e encaixe de formas, proporcionando uma compreensão mais profunda das relações entre diferentes elementos. A impressão 3D permite que eles vejam essas operações se concretizando em objetos físicos, tornando os conceitos abstratos mais concretos (Voráÿová, 2021; Nolla *et al.*, 2021).

A criação de projetos integrados e práticos também é uma abordagem explorada. Os alunos podem projetar objetos que resolvam problemas reais ou que exemplifiquem conceitos geométricos, utilizando o Tinkercad para criar os modelos virtuais e a impressão 3D para produzir as versões físicas. Isso incentiva a aplicação dos conhecimentos em situações do cotidiano e estimula a criatividade e o pensamento crítico (Reichenberger *et al.*, 2019; Mangione; Garzia, Esposito, 2019).

Além disso, a interatividade proporcionada pelo Tinkercad e a possibilidade de modelagem dinâmica são elementos importantes. Os alunos podem mover, redimensionar, agrupar e manipular objetos virtualmente, experimentando diferentes cenários e relações. Essa abordagem contribui para a compreensão de transformações geométricas e propriedades dos sólidos, ampliando a visão sobre a geometria espacial (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022; Lieban; Lavicza, 2019).

As atividades também podem ser conduzidas de maneira colaborativa, em que os alunos trabalham em equipe para criar projetos e resolver desafios. O *software* Tinkercad facilita a cocriação de modelos virtuais, e a impressão 3D transforma esses modelos em objetos físicos que podem ser compartilhados e discutidos. Isso promove a aprendizagem colaborativa, a troca de ideias e o desenvolvimento de habilidades de trabalho em equipe (Nolla *et al.*, 2021; Freitas *et al.*, 2019).

Em conclusão, a integração do Tinkercad e da impressão 3D no ensino de geometria espacial envolve uma abordagem diversificada de temas geométricos e proporciona elementos práticos e interativos para o aprendizado. Desde a visualização de sólidos até a modelagem dinâmica, criação de projetos e colaboração, essas tecnologias oferecem uma nova dimensão

ao ensino de geometria, preparando os alunos para uma aprendizagem significativa e aplicação dos conceitos no mundo real.

3.3.2 Vantagens e desafios do uso do Tinkercad no ensino de geometria

As vantagens e desafios associados ao uso do Tinkercad como recurso educacional, conforme evidenciado nos estudos, podem ser classificados em duas subcategorias fundamentais: os aspectos técnicos do *software* e os aspectos pedagógicos. Budinski, Lavicza e Houghton (2021, p. 6), ao investigarem as dificuldades no uso do Tinkercad, encontraram duas categorias abrangentes: 1) habilidades de pensamento espacial e 2) interface do Tinkercad.

Sendo assim, serão apresentados no primeiro momento os desafios sobre o uso do *software* Tinkercad apontados nos estudos, os quais foram organizados no Quadro 9. Nele, apresentam-se os aspectos técnicos e pedagógicos do *software* em questão, a partir de excertos dos trabalhos científicos incluídos no *corpus* de análise.

Quadro 9: Desafios quanto aos aspectos técnicos e pedagógicos do Tinkercad, segundo as pesquisas.

Desafios	
Aspectos técnicos do Tinkercad	**Aspectos pedagógicos do Tinkercad**
Os alunos geralmente lutam para saber como agrupar formas para criar uma nova forma complexa, não conseguem mover as formas no Tinkercad *Workplane*, não sabem como aumentar a altura de objetos/formas e têm dificuldade em redimensionar objetos. (Bhaduri *et al.*, 2021, p. 6).	Mudança de perspectiva. Uma das categorias de habilidades de pensamento espacial é a mudança/tomada de perspectiva. A mudança de perspectiva é a capacidade de imaginar como um objeto ou cena parece de diferentes perspectivas para outro observador. Frequentemente, os alunos lutam com diferentes visualizações ou perspectivas ao criar modelos 3D. Eles não giram instintivamente para diferentes perspectivas para criar ou depurar seus modelos. Ao não fazer isso, eles não estão visualizando o modelo de diferentes ângulos e trabalhando em apenas uma visão/perspectiva. (Bhaduri *et al.*, 2021, p. 6).
Possui apenas a versão *Online*, portanto é necessária uma conexão com a internet. (González Yanes; Pérez, 2020, p. 18).	Rotação Mental. Rotação mental, outro desafio com habilidades de pensamento espacial é a capacidade mental de girar objetos 2D ou 3D para um determinado ângulo no sentido horário ou anti-horário. (Bhaduri *et al.*, 2021, p. 6).
	Formação do Modelo Mental. Outra categoria de pensamento espacial, formação de modelo mental, é a capacidade de juntar objetos para criar formas ou visualizações mais complexas e a capacidade de transformar objetos mentalmente, geralmente de um esboço 2D para um design 3D ou vice-versa. (Bhaduri *et al.*, 2021, p. 6).

	[...] os alunos inicialmente julgam seus resultados no programa apenas pela aparência. No nosso caso, não era um desenho e sim uma projeção na interface do programa Tinkercad. De acordo com o Axioma 4, os alunos julgam a precisão do ft no programa se o resultado desejado pode ser entregue (ou seja, se a borda (cilindro) se encaixa ou não no recesso do canto (cubo), que pode ser testado empurrando a borda para o recesso do canto no programa. (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021 p. 18).
	[...] os alunos não precisam fazer conexões conclusivas (por exemplo, comparação de dimensões ou diâmetros). Assim, podemos descrever o primeiro processo de raciocínio como um procedimento puramente empírico. (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021, p. 18).
	[...] eles tiveram que gastar mais tempo nas tarefas do que o esperado. Alguns alunos enviaram uma solução incorreta, mas imprimível, para a tarefa que era 3D. (Budinski; Lavicza; Houghton, 2022, p. 1).

Fonte: Excertos retirados dos estudos que constituem o *corpus* de análise da RSL.

De acordo com o Quadro 9, dois aspectos técnicos do Tinkercad são percebidos como desafios em sua utilização: a existência apenas da versão *online* e a dificuldade de agrupar formas para criar geometrias complexas, bem como ajustar dimensões como altura, largura e comprimento dos objetos.

Em relação aos desafios encontrados sobre os aspectos pedagógicos, Bhaduri *et al.* (2021) enfatizam o desenvolvimento de habilidades de pensamento espacial, incluindo a mudança de perspectiva, a formação de modelos mentais tridimensionais e a rotação mental. Além disso, Budinski, Lavicza e Houghton (2022) apontam a necessidade de dedicar mais tempo para a realização de atividades com o *software* como uma dificuldade.

Os autores Pielsticker, Witzke e Vogler (2021) identificaram como um desafio pedagógico o fato de alguns estudantes utilizarem uma abordagem de tentativa e erro ao solucionar problemas com o *software*. Por exemplo, ao encaixar um cilindro em uma abertura circular de um cubo, eles tendem a ajustar aleatoriamente as dimensões sem considerar o diâmetro adequado para o encaixe.

Assim, pontuados os desafios enfrentados na utilização do Tinkercad segundo os estudos analisados, agora serão discutidas as vantagens identificadas nos estudos. No Quadro 10, serão apresentadas as vantagens destacadas pelos pesquisadores, que contribuem para uma compreensão abrangente dos benefícios proporcionados pelo uso desse *software* no ensino de geometria espacial.

Quadro 10: Vantagens quanto aos aspectos técnicos e pedagógicos do Tinkercad segundo as pesquisas.

Vantagens	
Aspectos técnicos do Tinkercad	**Aspectos pedagógicos do Tinkercad**
[...] o Tinkercad herda uma abordagem particularmente intuitiva de modelar objetos tridimensionais (3D) diretamente, fornecendo acesso fácil a esse *software* para usuários iniciantes, como alunos do ensino fundamental. (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021, p. 2).	Permite abranger diferentes níveis de raciocínio dentro do modelo de Van Hiele, pode ser usado por alunos entre o primeiro e o terceiro nível. (Molina; González, 2018, p. 3).
[...] o *software* Tinkercad permitiu que os desenhos de todos os alunos fossem reunidos em uma tela, observando sua criatividade e engenhosidade na construção. (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022, p. 18).	[...] com a função de régua, é fácil medir objetos construídos com precisão. (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021, p. 16).
O *software* de desenho 3D utilizado foi o Tinkercad, pois além de ser gratuito e ter uma gestão *Online* simples e intuitiva, possui uma vasta comunidade educativa (inclui um vasto repositório de modelos e tutoriais) e permite a criação de Salas de Aula onde os modelos podem ser partilhados entre os alunos e o professor. É de realçar a utilidade desta ferramenta uma vez que o professor pode acompanhar continuamente o trabalho que os alunos vão realizando. (Nolla *et al.*, 2021, p. 92).	A unidade didática trabalhada foi a Geometria, os sólidos platônicos, para a qual o *software* utilizado, o Tinkercad, foi muito útil para demonstrar e exemplificar conceitos. Além disso, os conceitos dos anos anteriores foram reforçados com o uso contínuo de unidades de comprimento e sua conversão entre diferentes sistemas, e o *software* permitiu que os alunos visualizassem os ângulos nas diferentes faces do corpo geométrico e contextualizassem os conceitos de vértices, arestas, geratriz e apótema. (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022, p. 10).
[...] interface de usuário ilustrativa com uma caixa de ferramentas limitada torna o Tinkercad mais intuitivo do que o SketchUp e mais fácil de aprender, o que é um recurso excelente em um ambiente educacional. (Voráÿová, 2021, p. 2).	Como se pode constatar, os conhecimentos adquiridos sobre sólidos geométricos e a utilização de *software* como ferramenta de apoio, permitiram a criação de diversos objetos de uso diário. (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022, p. 13).
É uma ferramenta muito intuitiva. É relativamente fácil criar figuras com base na composição de poliedros regulares, seja por adição ou subtração. [...] Para usá-lo, você só precisa de um navegador da Web e, portanto, funciona com qualquer tipo de sistema operacional, seja Windows, Linux, Mac ou Chromium. (Molina; González, 2018, p. 3).	Ao analisar o trabalho de dois alunos com o Tinkercad, foi possível identificar oito ações básicas com o *software* CAD. Estes podem ser ligados aos cinco aspectos da habilidade espacial (percepção espacial, visualização, rotação mental, relação espacial, orientação espacial) de acordo com Maier (1994). Os resultados mostram que o *software* CAD [19] tem potencial para abordar todos os cinco aspectos. (Dilling; Vogler, 2021, p. 9).

[19] CAD é a abreviatura para o termo em inglês "*Computer Aided Design*", ou "projeto e desenho assistidos por computador". Definição disponível em: https://3dlab.com.br/cad-o-que-e/.

Compatível com uma ampla gama de sistemas operacionais, pois não requer instalação. Gratuito. (González Yanes; Pérez, 2020, p. 18).	[...] em termos de otimização de tempo e material, pois conhecendo a teoria e podendo construir o maciço no *software* conseguem fazer muito mais rápido, minimizar o percentual de erro nas medidas e não desperdício devido a possíveis erros de corte ou plotagem. (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022, p. 14).

Fonte: Excertos retirados dos estudos que constituem o *corpus* de análise da RSL.

Conforme o Quadro 10, o *software* de modelagem 3D Tinkercad apresenta diversas vantagens em relação aos seus aspectos técnicos. Entre elas, destacam-se a sua gratuidade, a acessibilidade *online*/*web*, a compatibilidade com uma ampla variedade de sistemas operacionais e a presença de uma interface intuitiva.

Com o Tinkercad, é relativamente fácil criar figuras com base na composição de poliedros regulares, seja por adição ou subtração. Ele também oferece a capacidade de combinar vários projetos em uma única tela, além de contar com uma comunidade educacional que disponibiliza um vasto repositório de modelos e tutoriais. Ainda, permite a criação de salas de aula virtuais, o que possibilita aos professores o acompanhamento dos projetos desenvolvidos pelos estudantes e o compartilhamento entre alunos para trabalhar de forma colaborativa.

Quanto às vantagens relacionadas aos aspectos pedagógicos deste *software* para o ensino de geometria, a função régua permite medir os objetos com precisão. Além disso, os alunos podem visualizar os ângulos nas diferentes faces do corpo geométrico e contextualizar os conceitos de vértices, arestas, geratriz e apótema, bem como criar diversos objetos de uso diário.

O Tinkercad apresenta potencial para abordar os cinco aspectos da habilidade espacial propostos por Maier (1994): percepção espacial, visualização, rotação mental, relação espacial e orientação espacial. Adicionalmente, esse *software* otimiza o tempo e o material na construção de artefatos ao minimizar erros de medidas e plotagens, principalmente em objetos destinados à impressão 3D.

Em suma, a análise das vantagens e desafios apresentados pelos estudos selecionados evidencia a ampla gama de benefícios oferecidos pelo uso do *software* Tinkercad no ensino de geometria espacial. As vantagens reforçam o *software* como um meio promissor no contexto educacional, enquanto os desafios apontam para oportunidades de aprimoramento contínuo e desenvolvimento de estratégias para maximizar seu impacto positivo no ensino.

3.3.3 Impressão 3D no ensino de geometria: benefícios e desafios

Os estudos selecionados apresentam uma série de benefícios e desafios relacionados à incorporação da impressão 3D no contexto educacional. De acordo com Budinski, Lavicza e Houghton (2022, p. 1), a impressão 3D oferece oportunidades para o desenvolvimento de uma variedade de conhecimentos e habilidades, desde habilidades matemáticas e tecnológicas até habilidades de comunicação e colaboração. A inserção da impressão 3D no ensino de geometria não se limita a ser apenas um meio de representação visual, mas também introduz novos raciocínios práticos para solucionar problemas e executar projetos (Hedler, 2020, p. 164).

O que é corroborado pelos autores Reichenberger *et al.* (2019), ao exporem que, além dos exemplos discutidos relacionados ao conceito matemático de volume e sólidos de revolução, a impressão 3D pode também abordar outros tópicos: “destacamos o benefício para a resolução de problemas do dia a dia. Em outro projeto, consertamos itens pessoais usando a tecnologia de impressão 3D. Por exemplo, as rodas de uma mala quebraram e precisavam ser substituídas. Por isso, novas peças foram modeladas e impressas em 3D” (Reichenberger *et al.*, 2019, p. 4).

O uso da impressora 3D apresenta uma série de aplicações educativas; segundo Barboza e Sabba (s.d., p. 7), pode-se ilustrar esse benefício por meio do contexto da geometria espacial, considerando a estrutura de uma pirâmide. Tradicionalmente, quando a impressão 3D não é utilizada, o professor começa introduzindo o conceito em um plano bidimensional, realizando a planificação e exibindo na lousa. Nesse método teórico, os conceitos de que uma pirâmide é constituída por uma base e um vértice, de que sua base pode ser triangular, pentagonal, quadrada, retangular, paralelogramo, e de que sua apótema corresponde ao ponto mais distante da base da pirâmide são apresentados de forma abstrata.

Esse desenho bidimensional feito na lousa pode distanciar os alunos da aplicabilidade real desses conceitos. Portanto, é crucial a transição para o plano tridimensional, utilizando os conhecimentos prévios dos alunos como base. Barboza e Sabba (s.d., p. 7) destacam, utilizando a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (2000), que essa abordagem pode tornar a aprendizagem mais significativa, pois relaciona as representações de forma não arbitrária com a estrutura cognitiva dos estudantes. A utilização da tecnologia, como a impressora 3D, potencializa essa aprendizagem representacional, permitindo uma compreensão mais profunda dos elementos de uma pirâmide.

Por meio de sólidos físicos construídos com a impressão 3D, os conceitos se tornam acessíveis de forma tangível e concreta, facilitando a assimilação do conhecimento geométrico. Os autores ainda ressaltam que, ao se adotar essa abordagem, não se abandona o modelo bidimensional, mas sim se enriquece a compreensão dos alunos, ao possibilitar a migração das representações planificadas para sólidos tridimensionais, promovendo uma aprendizagem mais envolvente e abrangente.

Pielsticker, Witzke e Vogler (2021, p. 20), nesse sentido, obtêm evidências de que há distinção entre as ações físicas e mentais envolvidas na manipulação de objetos sólidos e imutáveis nos objetos geométricos. Além disso, a impressão 3D parece diferir daquelas nos objetos virtuais (projeções) em *software* CAD. Sendo assim, o uso de um recurso não anula o outro, mas, sim, eles se complementam.

No entanto, o processo não está isento de desafios. Limitações técnicas foram identificadas, incluindo o tempo prolongado de impressão e a necessidade de suportes de impressão para estruturas complexas, o que pode afetar a precisão e a facilidade de remoção desses suportes (Nolla *et al.*, 2021). O tempo de impressão foi apontado como um desafio também por Hedler (2020, p. 165), pois a impressão das peças em seu projeto demandou de vinte a trinta minutos por peça. Além disso, questões técnicas, como a presença de sobras de PLA nas peças devido ao uso de múltiplos objetos em uma única impressão, demandam cuidados adicionais (Santos; Soares, 2021, p. 35). A configuração adequada das propriedades, como velocidade de impressão e qualidade, também requer tempo e experimentação (Barboza; Sabba, s.d., p. 7).

Outrossim, alguns estudos destacam a necessidade de garantir que os arquivos sejam salvos com as extensões corretas para uma impressão adequada (Budinski; Lavicza; Houghton, 2022, p. 5). Além disso, problemas de escala e dificuldades na impressão de objetos detalhados foram mencionados, resultando em necessidade de redesenho e reiteração do processo (Nolla *et al.*, 2021, p. 100).

Esses desafios evidenciam a necessidade de um planejamento cuidadoso e do desenvolvimento de habilidades tanto dos educadores quanto dos estudantes para uma integração eficaz da impressão 3D no ensino de geometria.

Portanto, a análise das vantagens e desafios da incorporação da impressão 3D no ensino de geometria revela sua capacidade de promover uma compreensão mais profunda e envolvente dos conceitos matemáticos, além de oferecer soluções práticas para problemas do dia a dia. A impressão 3D transcende a representação bidimensional, introduzindo novos processos cognitivos na resolução de problemas e projetos. No entanto, os desafios técnicos,

como configurações e tempos de impressão, exigem uma preparação cuidadosa por parte dos docentes e discentes. Essa tecnologia promissora destaca a importância do desenvolvimento de competências para uma integração eficaz no ensino de geometria, potencializando a aprendizagem significativa e tangível dos conceitos geométricos.

3.3.4 Associação das tecnologias Tinkercad e impressão 3D à FD

A FD pode ser definida como um novo tipo de indústria que utiliza ferramentas e processos controlados por computador, para transformar projetos digitais em produtos físicos. A prototipagem rápida é uma tecnologia da FD, composta pela MA, popularmente chamada de impressão 3D. A MA consiste na fabricação de produtos por adição de materiais em camadas.

Nos estudos incluídos no *corpus* de análise da RSL, verificou-se, por meio do MAXQDA, que se fazem associações do *software* de modelagem e/ou da impressora 3D como tecnologias que viabilizam a FD, bem como o reconhecimento dos termos ‘manufatura aditiva’ e ‘prototipagem’ ao se referir à impressão 3D. No Quadro 11 são apresentados os trabalhos que de alguma forma trazem esses conceitos e o número de ocorrências.

Quadro 11: Associação do Tinkercad e da impressora 3D como tecnologias da FD.

Termo	Quantidade de citações	Em quantos e em quais trabalhos aparecem	Apenas nas referências
Fabricação	35	Em oito dos dezessete estudos que fazem parte do *corpus* de análise da RSL: Santos e Soares (2021), Hedler (2020), Mangione, Garzia e Esposito (2019), Jung e Lee (2022), Budinski, Lavicza e Houghton (2022), Bhaduri *et al.* (2021), Nolla *et al.* (2021) e González Yanes e Pérez (2020).	13
Prototipagem	8	Em cinco dos dezessete estudos que fazem parte do *corpus* de análise da RSL: Hedler (2020), Jung e Lee (2022), Bhaduri *et al.* (2021), Cadena-Blanco, Arias-Rueda e Arias-Rueda (2022) e Pielsticker, Witzke e Vogler (2021).	1
Manufatura aditiva	8	Em cinco dos dezessete estudos que fazem parte do *corpus* de análise da RSL: Bhaduri *et al.* (2021), Pielsticker, Witzke e Vogler (2021), Budinski, Lavicza e Houghton (2022), Nolla *et al.* (2021) e González Yanes e Pérez (2020).	7

Fonte: Autoria própria (2023).

Como representado no Quadro 11, das 51 ocorrências dos termos, 21 são apenas referências no final dos estudos. Nestas referências, os trabalhos de Paulo Blikstein (2013) e de Gibson, Rosen e Stucker (2014) são recorrentes. A seguir, é realizada a análise

interpretativa das associações entre as tecnologias Tinkercad e impressão 3D e os conceitos de FD.

Sobre a FD, Santos e Soares (2021) ressaltam que ela desempenha um papel central no movimento *maker*, em que os alunos são incentivados a participar ativamente da construção do conhecimento, promovendo o desenvolvimento da criatividade, autonomia e habilidades de resolução de problemas. Bley e Carvalho (2018 *apud* Santos; Soares, 2021, p. 22) enfatizam o uso de TD, incluindo impressoras 3D, como parte desse movimento.

Knill e Slavkovsky (2013 *apud* Hedler, 2020, p. 58) situam a prototipagem rápida, um componente da FD, na "terceira revolução industrial", caracterizada por uma FD pessoal e acessível. Huleihil (2017 *apud* Hedler, 2020, p. 65) destaca os benefícios da impressão 3D na sala de aula, enfatizando sua capacidade de motivar os alunos, elevar sua imaginação e promover a compreensão da intuição espacial.

Os estudos também mencionam a relação entre a FD e a educação. Hedler (2020) descreve um cenário em que os alunos são desafiados a otimizar projetos de impressão 3D, incentivando a reflexão sobre custos e eficiência. Jung e Lee (2022) exploram a fabricação de dispositivos para pessoas com deficiência, demonstrando como a tecnologia de impressão 3D pode ser integrada ao ensino.

A evidência fornecida por Jung e Lee (2022) destaca a importância do Tinkercad, um *software* de modelagem 3D, e sua relação com a FD. Os pesquisadores investigaram a criação de modelos de "colher de compensação de inclinação" para deficientes, utilizando ferramentas como o micro:bit, o servomotor e o Tinkercad. Essa abordagem ilustra como o Tinkercad pode ser fundamental na fase de projeto e modelagem dentro do contexto da FD.

Além disso, a impressão 3D, uma parte essencial da MA, é mencionada em diversos estudos. Hedler (2020) destaca a importância da otimização de peças para impressão 3D, ressaltando a redução de custos e a eficiência na fabricação. A integração da impressão 3D com o Tinkercad é demonstrada como uma prática que promove a FD.

Essa associação entre Tinkercad e impressão 3D contribui para a compreensão de como as tecnologias de modelagem 3D se conectam à FD, permitindo que alunos e profissionais desenvolvam habilidades práticas em um contexto educacional e industrial. Essa combinação de recursos também se alinha com a RP, uma vez que permite a rápida criação e iteração de *designs*.

Essas evidências ressaltam a importância de considerar o Tinkercad e a impressão 3D como componentes-chave da FD, destacando seu potencial para promover a aprendizagem prática e o desenvolvimento de habilidades relacionadas à MA.

3.4 Algumas considerações

As integrações do *software* de modelagem 3D Tinkercad e da tecnologia de impressão 3D emergiram como meios promissores para enriquecer o ensino da geometria espacial na Educação Básica.

Ao buscarmos como essa integração vem sendo explorada, destacaram-se abordagens de ensino como STEAM, cultura *maker*, Aprendizagem Baseada em Projetos, Resolução de Problemas, Experimentação e *Design Thinking*. Além disso, a combinação do *software* de modelagem 3D com a impressão 3D ofereceu oportunidades para o desenvolvimento do pensamento espacial e competência geométrica das crianças desde a idade pré-escolar. Essas abordagens demonstram a versatilidade dos recursos em contextos pedagógicos diversos, desde o estímulo à criatividade até o aprimoramento de habilidades específicas.

A análise da literatura revelou uma série de potencialidades e desafios associados às tecnologias, fornecendo *insights* valiosos sobre suas aplicações educacionais.

As potencialidades dessas tecnologias são evidentes em diversos aspectos. O Tinkercad, com sua interface intuitiva e acessibilidade *online*, oferece aos alunos um ambiente propício para explorar conceitos tridimensionais e desenvolver habilidades de pensamento espacial. Além disso, a criação colaborativa de projetos virtuais promove a aprendizagem em equipe e a troca de ideias. A impressão 3D, por sua vez, transcende a representação bidimensional, permitindo aos alunos materializar objetos geométricos e visualizar conceitos de forma tangível, o que estimula a criatividade e a resolução de problemas reais.

No entanto, essas abordagens também apresentam desafios que requerem atenção. A curva de aprendizado inicial do Tinkercad e as dificuldades técnicas relacionadas à configuração de parâmetros e à qualidade da impressão podem impactar no ensino. Além disso, a integração dessas tecnologias exige um planejamento cuidadoso e a capacitação dos educadores para orientar os alunos.

Apesar das promissoras potencialidades e do crescente interesse pelo uso do Tinkercad e da impressão 3D no ensino de geometria espacial, a literatura ainda apresenta lacunas significativas. Ao buscar responder “Como tem ocorrido a exploração do uso do *software* Tinkercad e da impressão 3D no ensino de geometria espacial na Educação Básica, com base nos estudos científicos?”, realizou-se uma busca abrangente em que foram identificados 21 estudos – que atenderam aos critérios de inclusão e exclusão predefinidos –, dentre os quais

apenas 7 utilizaram o Tinkercad e a impressora 3D de forma integrada, e apenas 2 desses trabalhos são de origem brasileira.

Essa lacuna de pesquisa evidencia a necessidade de mais investigações que explorem essas tecnologias, a fim de compreender melhor seu impacto no ensino no contexto nacional. Isso porque, como afirmam Nolla *et al*. (2021), a introdução da impressão 3D na sala de aula está em fase de experimentação, assim como os tipos de atividades que podem ser trabalhados com os alunos, como suporte para a aprendizagem de conceitos matemáticos. Dessa forma, evidencia-se que há espaço para investigação com uso dessas tecnologias. Além disso, a variedade de projetos e atividades exploradas até o momento sugere que existe uma oportunidade para a busca de diferentes contextos educacionais e tipos de projetos.

A segunda questão da RSL foi: Esses estudos associam essas tecnologias à Fabricação Digital? De acordo com a categoria de análise que versa sobre a FD, evidenciou-se que 8 dos 17 trabalhos analisados trazem os termos “fabricação”, “Fabricação Digital”, “prototipagem” e/ou “manufatura aditiva”. Isso pode dar indícios de que nem todos os trabalhos que fazem uso das tecnologias de modelagem e impressão 3D as associam à indústria 4.0 ou entendem o processo de construir/modelar no digital e obter a versão física do artefato como sendo FD.

Em síntese, a integração do Tinkercad e da impressão 3D oferece potencialidades ao ensino de geometria espacial, tornando os conceitos mais tangíveis. Contudo, para além das potencialidades, os desafios técnicos e a escassez de pesquisas no contexto nacional apontam para a necessidade de investigações sobre a aplicação desses recursos em sala de aula.

Nesse sentido, nesta dissertação propõe-se investigar a viabilidade da FD para o ensino de geometria espacial, utilizando o *software* Tinkercad e a impressora 3D como recursos principais. A investigação foi promovida por meio de um curso de extensão que estabelece uma aproximação entre a universidade e a escola pública. Dessa forma, além dos esclarecimentos obtidos com essa RSL, será possível contrastar com uma experiência real no contexto da Educação Básica e analisar na prática se a FD pode contribuir com o ensino de geometria espacial.

4 CAMINHO METODOLÓGICO

A presente pesquisa foi conduzida em estrita conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat). O protocolo de pesquisa, incluindo os procedimentos de coleta, análise e proteção dos dados dos participantes, foi submetido e aprovado pelo CEP sob o número 5.823.785. Todos os participantes foram informados sobre os objetivos da pesquisa, os procedimentos envolvidos e deram seu consentimento informado por escrito antes de participar.

Sendo assim, neste capítulo, são apresentados os detalhes da abordagem metodológica adotada para a condução da pesquisa. Discutem-se a abordagem de pesquisa selecionada, o ambiente no qual os dados foram produzidos, os participantes envolvidos, os procedimentos de ensino empregados e os métodos utilizados para a coleta e análise dos dados.

4.1 Abordagem qualitativa de pesquisa

No tocante aos objetivos, esta pesquisa é exploratória, pois busca uma maior familiaridade com o problema e a construção de hipóteses, dada a inovação da temática estudada e a ausência de pesquisas consolidadas sobre o tema (Marconi; Lakatos, 2022, p. 297). Para a triangulação dos métodos de coleta de dados, foram empregados instrumentos como observação participante, questionários, roda de conversa e caderno de campo.

A pesquisa foi conduzida sob uma abordagem qualitativa, pois, segundo Creswell (2014, p. 52), é apropriado usar a pesquisa qualitativa em algumas situações, como:

> [...] um problema ou questão precisa ser explorado. Por sua vez, essa exploração é necessária devido à necessidade de estudar um grupo ou população, identificar variáveis que não podem ser medidas facilmente ou escutar vozes silenciadas. Todas essas são boas razões para explorar um problema em vez de usar informações predeterminadas da literatura ou resultados de outros estudos de pesquisa. Também conduzimos pesquisa qualitativa porque precisamos de uma compreensão complexa e detalhada da questão. Esse detalhe só pode ser estabelecido falando diretamente com as pessoas [...] Usamos, ainda, a pesquisa qualitativa para desenvolver teorias quando existem teorias parciais ou inadequadas para certa população e amostras ou teorias existentes que não captam adequadamente a complexidade do problema que estamos examinando. Também a usamos porque as medidas quantitativas e as análises estatísticas simplesmente não se enquadram no problema.

Esse tipo de abordagem de pesquisa, de acordo Marconi e Lakatos (2022, p. 299), caracteriza-se pela exploração profunda dos fenômenos, sendo conduzido em cenários

naturais, visando compreender o significado dos dados coletados, sem recorrer a análises estatísticas.

Distintamente da abordagem quantitativa, a qualitativa se baseia na indução e não segue uma sequência linear e rígida de fases. Em vez disso, é um processo recorrente, caracterizado por avanços e retrocessos. Sua ênfase recai na análise de múltiplas realidades subjetivas, na contextualização dos fenômenos, na interpretação e na busca pela profundidade de significados.

Assim, busca-se investigar a viabilidade da fabricação digital para o ensino de geometria espacial, utilizando o *software* Tinkercad e a impressora 3D como recursos principais.

4.2 Cenário da pesquisa: instituição educacional e recursos tecnológicos

Nesta seção, é descrito o contexto no qual os dados foram produzidos, abordando a instituição educacional em que a pesquisa foi realizada e as tecnologias educacionais utilizadas no procedimento de ensino para construção do conhecimento sobre geometria espacial, bem como os participantes da pesquisa.

4.2.1 Identificação da unidade escolar e contexto socioeconômico

A Escola Estadual Deputado Bertoldo Freire está situada na rua Pernambuco, nº 962, Centro, no município de São José dos Quatro Marcos, estado do Mato Grosso (Figura 10). A localização privilegiada da escola facilita o acesso de estudantes de todos os bairros, até mesmo de estudantes da área rural, que têm acesso por meio do transporte escolar. A escola acolhe uma diversidade de alunos, abrangendo diferentes classes sociais.

Figura 10: Localização da instituição de ensino em que houve a coleta de dados.



Fonte: Adaptado da Wikipédia e do Google Earth (2023).

A escola oferece aos estudantes a oportunidade de uma formação integral, proporcionando condições para que alcancem seus objetivos pessoais, se preparar para exames como o Vestibular, o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e ingressar no mercado de trabalho.

A escola busca estabelecer conexões com a comunidade por meio de interações presenciais e virtuais. No ambiente presencial, são realizados eventos como a "Culminância das Eletivas", que é aberta ao público, apresentações de talentos como o "The Factor Plena", além de Olimpíadas Esportivas e cerimônias de formatura para os alunos concluintes do Ensino Médio. Paralelamente, pela esfera virtual, a escola divulga suas atividades por meio do Instagram, Facebook e um site dedicado.

É uma Escola de Tempo Integral (EPI) que atende Ensino Fundamental II e Ensino Médio. Neste ano de 2023, iniciou com 280 estudantes matriculados, com idades entre 11 e 18 anos, da zona urbana e rural da cidade.

O quadro de profissionais da escola é composto por 05 técnicos administrativos educacionais (TAE); 17 profissionais de apoio administrativo educacional (AAE), 01 diretora, 01 coordenadora pedagógica, 03 orientadoras das áreas do conhecimento (uma orientadora de Linguagem e suas tecnologias, uma de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, e uma das áreas de Ciências da Natureza e Matemática), e 30 professores – dentre os quais, quatro ministram aulas de Matemática.

A escola possui Ensino Fundamental II e Ensino Médio, este com três trilhas de aprofundamento, que fazem parte dos itinerários formativos escolhidos pelos estudantes. Esses itinerários são parte da estrutura do Novo Ensino Médio[20].

O Novo Ensino Médio foi implantado com a Lei nº 13.415/2017, que alterou a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e estabeleceu uma mudança na estrutura do Ensino Médio, ampliando o tempo mínimo do estudante na escola de 800 horas para 1.000 horas anuais (até 2022) e definindo uma nova organização curricular, mais flexível, que contemple a BNCC e a oferta de diferentes possibilidades de escolhas aos estudantes, os itinerários formativos, com foco nas áreas de conhecimento e na formação técnica e profissional.

A infraestrutura da escola em que se realizou a pesquisa, conta com um poço artesiano e gerador de energia para casos de apagões ou falta de água. Tem quatorze salas de aulas distribuídas em três blocos e ao fundo possui uma quadra poliesportiva, uma cozinha e um barracão para merenda e eventos.

A escola possui uma sala específica para biblioteca, com acervo composto desde livros de literatura clássica até livros didáticos e livros paradidáticos. Tem uma sala onde funciona o laboratório de ciências, que possui béqueres, microscópio, fogareiro, materiais de práticas simples, como álcool, algodão, entre outros. Possui também sala *maker*, com 160 *chromebooks*, cinco placas Arduino Uno, alguns materiais para robótica sustentável, 08 kits robótica da SimInova e materiais de robótica da Microkids, para todos os estudantes do Ensino Médio e para estudantes do Ensino Fundamental, a partir do 8º ano.

Além disso, na parte externa da escola possui um jardim (Figura 11) e uma horta (Figura 12), que foram construídos por estudantes e professores, como parte de projetos desenvolvidos nas disciplinas eletivas. Esses espaços têm um valor significativo para os estudantes, uma vez que proporcionam um ambiente propício não apenas para relaxar, mas também funcionam como laboratórios de aprendizagem para diversas disciplinas.

Figura 11: Jardim construído pelos estudantes como projeto de eletiva.



Fonte: Quatro Marcos Notícias.[21]

[20] Disponível em: http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=40361.

Figura 12: Horta escolar construída pelos estudantes em projeto de eletiva.



Fonte: *Site* Google Escola Bertoldo Freire.[22]

A sala dos professores, a diretoria e a coordenação são ambientes acolhedores, pois são organizados, possuem flores e os estudantes têm acesso. Possui uma sala destinada ao grêmio estudantil, para que façam reuniões e se organizem. Neste espaço há mesa, armário, impressora e um computador.

4.2.2 Participantes da pesquisa

Devido ao fato de a pesquisadora ter sido membro do corpo docente da escola, mantendo relações cordiais com a administração escolar e tendo realizado projetos anteriores em colaboração com o professor de Matemática efetivo designado para a disciplina eletiva, além da prática comum de envolver colaboradores externos nessas disciplinas para enriquecer projetos inovadores, uma parceria contínua foi estabelecida.

Dessa forma, os participantes da pesquisa foram os estudantes da turma matriculada na eletiva desse professor. A proposta do curso de extensão foi apresentada e todos foram informados sobre os objetivos da pesquisa, os procedimentos envolvidos e deram seu consentimento informado por escrito antes de participar.

Assim, os participantes da pesquisa foram 17 estudantes do 2º ano B do Ensino Médio, os quais tinham a disciplina incluída em sua grade curricular. Os estudantes têm idades entre 15 e 18 anos; desses, 65% da turma (11 alunos) têm 16 anos, 23% (4 alunos) possuem 15 anos, 6% (1 aluno) têm 17 anos e 6% (1 aluno), 18 anos.

Dentre os estudantes, apenas 35% (6) se identificam como sendo do sexo feminino. Essa proporção pode indicar uma baixa demanda por parte das meninas nas áreas de exatas, uma vez que essa turma optou pelo Itinerário Formativo da Trilha Integrada de Aprofundamento em Matemática e Ciências da Natureza.

---

[21] Disponível em: https://quatromarcosnoticias.com.br/artigo/quatro-marcos-projeto-de-escola-ajuda-a-melhorar-o-conhecimento-na-disciplina-de-matematica.

[22] Disponível em: https://sites.google.com/view/escola-plena-bertoldo-freire/%C3%A1rea-do-aluno/eletivas.

Para os procedimentos de ensino, os estudantes foram organizados em cinco grupos, sendo três grupos de três integrantes e dois grupos com quatro integrantes cada. No decorrer da pesquisa, dois estudantes foram transferidos de escola, sendo assim, 15 participaram de todo o processo.

Para a proteção dos dados dos participantes, na apresentação e análise dos resultados da experiência de ensino os estudantes serão identificados de forma aleatória, utilizando a nomenclatura Aluno 1 (A1), Aluno 2 (A2), ..., até Aluno 17 (A17). Os grupos serão designados como Grupo 1 (G1), Grupo 2 (G2), Grupo 3 (G3), Grupo 4 (G4) e Grupo 5 (G5).

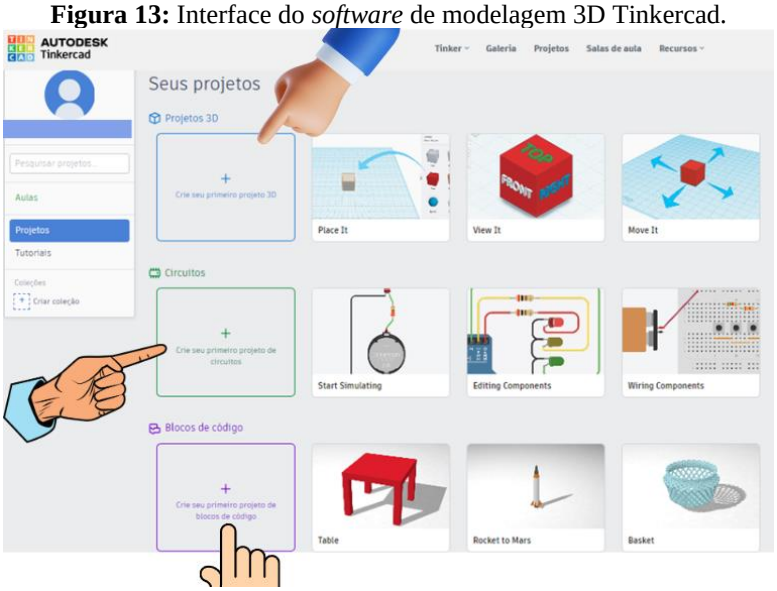
4.2.3 *Software* de modelagem 3D Tinkercad

Neste estudo, utilizou-se o *software* de *design* Tinkercad para a modelagem tridimensional dos objetos digitais de aprendizagem (ODA) e para a criação física do artefato pela manufatura aditiva (impressora 3D).

O Tinkercad foi lançado em 2011 pela TinkercadCompany e comprado em 2013 pela Autodesk; é um *software* de modelagem 3D *online*, gratuito e intuitivo, que roda direto no navegador – abrange diversos navegadores – de internet, não precisando de instalações, apenas de um *e-mail* para cadastro na plataforma.

Esse *software* pode contribuir no ensino e aprendizagem de conceitos de áreas do conhecimento como Ciências da Natureza e Matemática, mas nesta pesquisa o empenho é especificamente na área de Matemática. Em sua interface, o Tinkercad tem três opções de formas de desenvolver projetos: “Projeto 3D”, “Blocos de código” e “Circuitos” (veja-se a Figura 13). Atividades que privilegiam os componentes curriculares de Matemática e Física, sendo também utilizado nos cursos superiores de computação e eletrônica, por permitir a prototipagem e simulação digital, para depois colocar o projeto em prática, evitando assim perda de materiais.

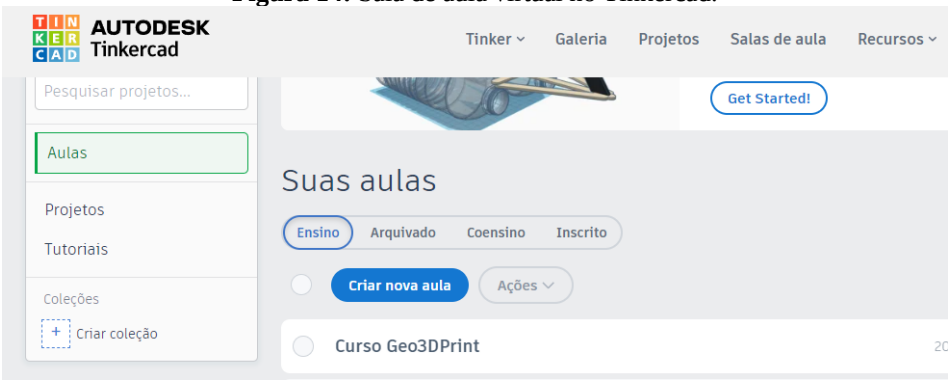
Figura 13: Interface do *software* de modelagem 3D Tinkercad.

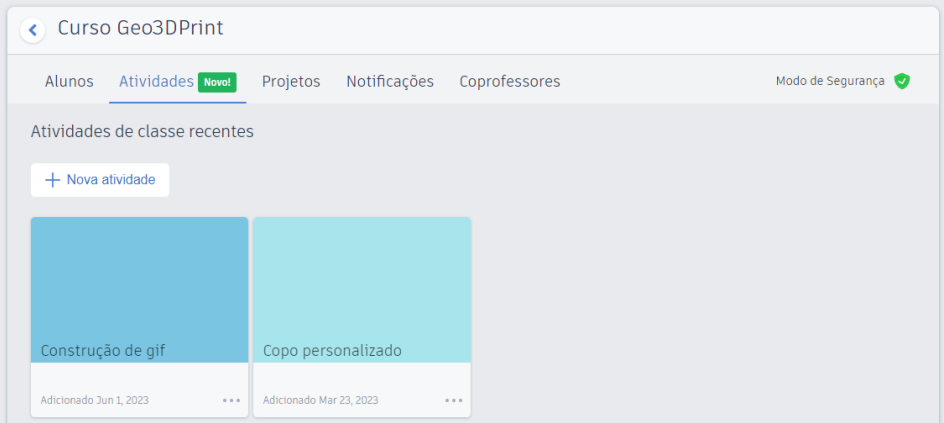


Fonte: Tinkercad (2022).

Ainda é possível, por meio da conta com perfil de professor, criar uma sala de aula virtual, na qual o educador pode acompanhar em tempo real os projetos sendo desenvolvidos pela turma. O processo envolve o professor selecionar a opção “Aulas”, em seguida clicar em “Criar nova aula”, nomeando a aula, e, em então, compartilhar o *link* ou o código para permitir que os estudantes entrem na sala virtual (Figura 14). Dentro desse ambiente, é possível programar atividades, visualizar os alunos pertencentes à turma, analisar os projetos em progresso, além de receber notificações e adicionar “coprofessores”.

Figura 14: Sala de aula virtual no Tinkercad.





Fonte: Tinkercad (2023).

Optou-se por utilizar este *software* como meio de ensino, por oferecer a possibilidade de abordar a geometria espacial de forma ativa, aproveitando especialmente a função de "Projeto 3D" e os "Blocos de Código".

Na seção intitulada "Projeto 3D", o *software* apresenta um plano de trabalho (Figura 15) milimetrado, que representa o espaço tridimensional. Nesse ambiente, diversos poliedros estão disponíveis, permitindo sua combinação para a construção de geometrias mais complexas, através de operações como interseção, união ou subtração. Além disso, é possível efetuar medições de objetos, ajustar suas dimensões, aplicar rotações, trabalhar com ângulos e explorar múltiplas perspectivas de visualização.

Figura 15: Plano de trabalho Projeto 3D do Tinkercad.



Fonte: Tinkercad (2023).

Quanto aos "Blocos de Código" (Figura 16), a seção apresenta o item Formas, que possibilita a visualização das formas no espaço tridimensional. A partir dessas formas, pode-se criar artefatos por meio de programação visual.

Nessa seção, estão disponíveis blocos com ações para modificar as formas, incluindo funcionalidades como seleção de todos os elementos, movimentação, rotação, redimensionamento, cópia, definição de cores e criação de grupos. Além disso, há blocos que permitem o controle, operações matemáticas e o uso de variáveis.

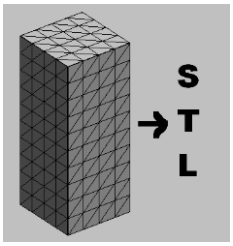
Figura 16: Bloco de Códigos do Tinkercad.



Fonte: Tinkercad (2023).

O *software* oferece a capacidade de exportar os projetos desenvolvidos em diversos formatos, tais com .STL, .OBJ, .SVG, Forma, GLTF(.glb) – significado das siglas no Quadro 12 –, além da possibilidade de compartilhá-los como imagens ou GIFs. A extensão STL, especificamente, permite a realização de impressões tridimensionais. Dessa maneira, o que foi concebido digitalmente ganha forma concreta, proporcionando aos estudantes a oportunidade de manipular fisicamente os artefatos e fazer novas descobertas.

Quadro 12: Significado das siglas de extensão do *software* Tinkercad.

1. **.STL (*Stereolithography*):** Este é um formato de arquivo amplamente utilizado na impressão 3D. Ele descreve a geometria de um objeto 3D por meio de triângulos, representando sua superfície. Esses arquivos geralmente são gerados por um programa de *design* assistido por computador ou *computer-aided design* (CAD). O formato .STL é comum em programas de modelagem 3D e é compatível com muitas impressoras 3D. (Fonte: https://sempreupdate.com.br/o-que-e-formato-de-arquivo-stl-para-impressoes-em-3d/). 
2. .OBJ (*Object File Wavefront*): É um formato de arquivo usado para um objeto tridimensional que contém as coordenadas 3D (linhas poligonais e pontos), mapas de textura, e outras informações do objeto. Ele contém um formato de imagem 3D padrão que pode ser exportado e aberto por vários programas de edição de imagem 3D. Ou seja, é outro formato de arquivo usado para armazenar modelos 3D. Ele pode conter informações sobre a geometria do objeto, bem como sobre as texturas e materiais aplicados ao modelo. O formato .OBJ é bastante flexível e é suportado por muitos aplicativos e mecanismos de renderização 3D. (Fonte: https://www.reviversoft.com/pt/file-extensions/obj).

3.	**.SVG (*Scalable Vector Graphics*):** Diferentemente dos formatos mencionados anteriormente, o .SVG é um formato de gráficos vetoriais usado para representar gráficos 2D. Ele é baseado em XML e é escalável, o que significa que os gráficos podem ser redimensionados sem perda de qualidade. É comumente usado para gráficos da *web* e ícones escaláveis. (Fonte: https://rockcontent.com/br/blog/svg/#:~:text=benef%C3%ADcios%20do%20SVG%3F-,O%20que%20%C3%A9%20o%20SVG%3F,dois%20eixos%20cartesianos%20x%20e%20y).
4.	**GLTF (.glb):** GLTF (*Graphics Library Transmission Format*) é um formato de arquivo para modelos 3D otimizados para a *web* e aplicativos de realidade virtual/realidade aumentada. Os arquivos GLTF são compactos e suportam texturas, animações e outros recursos relacionados a modelos 3D. A extensão .glb indica que o arquivo GLTF está em um formato binário, o que geralmente é mais eficiente para o carregamento rápido em aplicativos *online*. (Fonte: https://ficheiros.com.br/extensao/glb/).

Fonte: Autoria própria (2023).

A impressão 3D proporciona a oportunidade de visualizar e manipular objetos matemáticos modelados de maneira tátil. Desse modo, desempenha um papel fundamental na melhoria dos processos mentais, como defendido por Knill e Slavkovsky (2013), que destacam o sucesso de Arquimedes na matemática, graças à sua abordagem de métodos e soluções por meio de construções mecânicas e visualizações.

Portanto, além da tecnologia digital empregada para criar objetos digitais de aprendizagem, também foi utilizada a tecnologia de prototipagem rápida, especificamente a impressora 3D, nessa prática educativa.

4.3 Abordagem de ensino: Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)

Devido à visão de aprendizagem compartilhada pela pesquisadora, que se baseia no Construtivismo, e à compreensão de que, para que o conhecimento construído seja significativo, é necessário um ensino que não siga o Modelo da Narrativa, conforme descrito por Don Finkel (2008), que é aquele em que o professor ensina predominantemente falando, transmitindo informações aos estudantes sobre o que se espera que eles saibam, contrapondo-se a isso, optou-se por uma abordagem de intervenção na qual aprender não se limita a obter informações, mas sim a fazer uso ativo dessas informações em projetos, enfrentando desafios por meio de atividades coletivas (Bacich; Holanda, 2020).

A STEAM, acrônimo em inglês para Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática, é frequentemente considerada mais do que apenas um método de ensino; Bacich e Holanda (2020) a concebem como um movimento ou abordagem educacional. Ela utiliza como métodos de ensino o *Design Thinking* e a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP).

Alguns elementos comuns à ABP e, portanto, presentes em projetos STEAM, incluem a formulação de uma pergunta norteadora, que tem como objetivo direcionar a investigação

dos estudantes; a criação de um contexto autêntico capaz de engajar os estudantes, preferencialmente relacionado a um problema real; uma sequência de etapas organizadas para explorar o conhecimento científico e permitir a produção dos estudantes; um produto final, geralmente um artefato que possibilita a aplicação das ideias de engenharia; e, por fim, a comunicação do projeto para compartilhar com a comunidade e consolidar suas aprendizagens (Bacich; Holanda, 2020, p. 07).

Inicialmente, a escolha para a intervenção em sala de aula estava voltada para a STEAM. No entanto, devido a alguns desafios, como detalhado na seção subsequente sobre "Cronograma e descrição do curso de extensão Geo3DPrint", focou-se especificamente na ABP.

De acordo com Bender (2014), a ABP é altamente recomendável para a sala de aula do século XXI, sendo considerada o caminho para um ensino diferenciado e para o desenvolvimento das habilidades tecnológicas necessárias. Essa abordagem prepara os alunos para enfrentar desafios, promovendo habilidades de resolução de problemas e o uso das tecnologias emergentes. Bender argumenta que ajudar os alunos a dar sentido a uma grande quantidade de informações virtuais caóticas é exatamente o tipo de construção do conhecimento que todos os alunos precisam dominar no mundo atual (Bender, 2014, p. 25).

Segundo o levantamento realizado por Bender (2014), as características essenciais da ABP incluem a ancoragem do tema, o trabalho cooperativo, a formulação de uma pergunta motriz, o *feedback*, a investigação e inovação, a reflexão, o processo de investigação, a apresentação pública dos resultados e o estímulo à ação ativa por parte dos estudantes (Figura 17).

Figura 17: Características essenciais da ABP.



Fonte: Adaptado de Bender (2014).

Com base nas características apresentadas na Figura 17, foram desenvolvidos os procedimentos de ensino aplicados na intervenção em sala de aula para coleta de dados desta pesquisa. Esses procedimentos visaram proporcionar situações de aprendizagem que envolveram trabalho cooperativo, processo de investigação e inovação, momentos de reflexão por meio de discussões com *feedback* da pesquisadora/professora, avaliação por meio de rubricas e, por fim, a apresentação para toda a comunidade escolar. Todo esse processo é descrito na próxima seção.

Porém, antes de prosseguir, é essencial realizar uma breve discussão sobre as rubricas, conforme descrito por Bender (2014, p. 133):

> Uma rubrica é um procedimento, ou guia de pontuação, que lista critérios específicos para o desempenho dos alunos e, em muitos casos, descreve diferentes níveis de desempenho para esses critérios. Uma boa rubrica deve abordar todos os componentes relevantes de um artefato ou outro tipo de tarefa dentro de um projeto de ABP, assim como um conjunto de critérios específicos para o trabalho dos alunos. [...] As boas rubricas proporcionam detalhes suficientes para os indivíduos autoavaliarem seu trabalho durante o processo de desenvolvimento ou de conclusão do trabalho.

O autor destaca que as rubricas são uma das práticas de avaliação mais enfatizadas na literatura sobre ABP, auxiliando na estruturação das tarefas, sendo aplicáveis em quase todas as atividades de uma unidade de ABP. Com esse entendimento, foi elaborada, em conjunto com os estudantes, uma rubrica (Apêndice A) para avaliar os artefatos produzidos por eles ao longo do projeto de ABP.

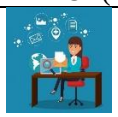
Quanto ao planejamento da ABP, a determinação das tecnologias e do tema a serem explorados na prática *a priori* não compromete o ensino por meio da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), nem a voz e a escolha do aluno. Conforme salientado por Bender (2014, p. 39), mesmo que os professores estabeleçam diretrizes iniciais sobre o conteúdo do projeto, a questão motriz e os requisitos do projeto, a escolha do aluno ainda pode ser exercida ao determinar os tipos de formatos de projetos a serem realizados ou como atender aos diversos requisitos.

Dessa forma, a ABP continua a promover a participação ativa dos alunos na definição de como abordar o projeto, permitindo que eles tenham influência sobre os formatos e a implementação, preservando, assim, a sua voz e autonomia no processo de aprendizagem.

Outro ponto importante é a cooperação e o trabalho em equipe. Dentro da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), as atividades podem ser realizadas de forma individual ou em grupos. Na segunda opção, existem diversas estratégias de agrupamento de alunos descritas por Bender (2014). Nesta intervenção, o agrupamento foi realizado com base

em afinidade e interesse. Para facilitar a atribuição de funções dentro do grupo, a pesquisadora criou denominações de função (conforme apresentado no Quadro 13) e, juntamente com os alunos, elaborou a descrição de cada função.

Quadro 13: Funções dentro de cada grupo de trabalho cooperativo.

Função	Descrição
 IDEADOR(A)	Descobre, pesquisa, debate ideias com o grupo. - Deve pesquisar; - Assistir videoaulas extras na busca de soluções; - Procurar formas de solucionar os problemas de fabricação que o grupo apresentar na construção dos objetos digitais; - Anotar ideias; - Fazer mapas mentais/esquemas que auxiliem na resolução do desafio; - Acompanhar todo o processo de escrita e de construção; - Pode registrar com fotos e vídeos os avanços do grupo.
 CONSTRUTOR(A)	Executa o plano de acordo com as ideias debatidas. - Deve acompanhar todo o processo de ideação e escrita; - Executar as ideias do grupo no *software* Tinkercad para construção do objeto digital; - Expor ao relator e todo o grupo as dificuldades e facilidades de execução; - Conhecer o *software* por meio do que foi ensinado pela professora e por pesquisas extras.
 RELATOR(A)	Escreve/relata o processo de aprendizagem. - Deve acompanhar todo o processo de ideação e construção; - Relatar de forma escrita as aprendizagens e dificuldades encontradas.
 AUXILIAR/ CONSTRUTOR(A) 2	Auxilia o grupo, em caso de falta de um colega substitui na função. - Deve acompanhar todo o processo de ideação, construção e escrita; - Ficar atento e auxiliar em todas as funções do grupo; - Em caso de ficar ocioso, deve atuar como construtor 2, fazendo um objeto enquanto o construtor 1 faz outro.

Fonte: Autoria própria (2023).

Dessa forma, os grupos compostos por três e quatro membros determinaram quem assumiria cada função, permitindo-lhes trabalhar de forma cooperativa e colaborativa. Após esclarecer a abordagem de ensino empregada e seus preceitos teóricos, o próximo subtítulo detalha os procedimentos de ensino para a coleta de dados empregados no curso de extensão realizado em sala de aula.

4.4 Curso “Geo3DPrint: Geometria espacial por meio da Prototipagem Rápida com uso do *software* Tinkercad e da impressão 3D”

Os dados foram produzidos por meio do curso de extensão intitulado “Geo3DPrint: Geometria espacial por meio da Prototipagem Rápida com uso do *software* Tinkercad e da impressão 3D”, institucionalizado na Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), sob

o Parecer 038/2023 - PROEC[23]. Este curso foi implementado no contexto da Educação Básica, com estudantes da 2ª série do Ensino Médio, visando um contato direto com o fenômeno de estudo, que se concentra no ensino de geometria espacial por meio do processo de Fabricação Digital.

Durante a coleta de dados, uma diversidade de instrumentos foi empregada para gerar evidências a serem analisadas em relação ao fenômeno em estudo. Isso incluiu a utilização de um caderno de campo para registros detalhados da pesquisadora, observação participante, aplicação de um questionário inicial e um final para compreensão das percepções dos alunos sobre as estratégias de ensino, um "diário/caderno de campo" por grupo de estudantes, realização de filmagens para capturar interações durante a roda de conversa, além do uso de imagens para enriquecer a documentação visual.

A adoção desses diversos instrumentos, como discutido por Araújo e Borba (2020), permite a triangulação das fontes de dados, contribuindo para a confiabilidade dos resultados obtidos na pesquisa qualitativa. Nesse contexto, a credibilidade é compreendida como a aceitabilidade dos resultados e interpretações por parte dos envolvidos.

Para um melhor entendimento do processo da coleta de dados, o próximo subtítulo apresenta um detalhamento das atividades do curso de extensão.

4.4.1 Cronograma e descrição do curso de extensão Geo3DPrint

O projeto de extensão foi executado no âmbito da disciplina eletiva, destinada a uma turma da 2ª série do Ensino Médio, na Escola de Tempo Integral Deputado Freire. A duração do projeto foi de um semestre, totalizando 40 horas-aula, com encontros de 2 horas por semana. Inicialmente, a turma era composta por 17 estudantes, e o professor da disciplina esteve envolvido durante todo o processo.

O objetivo do curso foi promover a resolução colaborativa de um problema real, utilizando a prototipagem rápida e aplicando conceitos geométricos. A proposta inicial estava voltada para que os estudantes desenvolvessem soluções criativas para um problema concreto, empregando a prototipagem rápida com uso do *software* Tinkercad para a criação de Objetos Digitais de Aprendizagem. E uso da impressora 3D para a visualização física do artefato. Nesse contexto, esperava-se que os alunos identificassem e/ou aplicassem conceitos e propriedades da geometria espacial ao longo das etapas ou no resultado do projeto.

[23] Pró-Reitoria de Extensão e Cultura.

Assim, o almejado era que o método e os recursos de ensino em estudo contribuíssem para que os estudantes construíssem conhecimento de maneira significativa, incentivando a autonomia, a criatividade, a interação e a cooperação com seus planos de vida. Além disso, ao aproximar o processo de ensino de ferramentas que também serão utilizadas no mercado de trabalho do futuro, espera-se preparar os alunos de maneira mais eficaz para as demandas futuras.

O planejamento inicial do curso se fundamentou na abordagem STEAM e foi empregado o método de ensino ABP. Isso se deve ao embasamento em Bacich e Holanda (2020, p. 29), ao discutirem que na STEAM não há "uma metodologia única e específica para promover a integração entre as áreas do acrônimo", mas que uma metodologia que tem ajudado os professores a estruturarem projetos STEAM é a ABP.

Sendo assim, a estrutura do curso foi organizada conforme o Quadro 14.

Quadro 14: Módulos e estratégias de ensino do curso Geo3Dprint.

Módulo	Cronograma de Atividades	Estratégias de Ensino	Hora/ Aula
1	Apropriação teórica: indústria 4.0, Fabricação Digital, manufatura aditiva/prototipagem rápida, pensamento computacional e importância do estudo da Geometria.	Acolhimento dos estudantes e aula expositiva dialogada com uso de *slides*. • Indústria 4.0: breve histórico das revoluções industriais, pilares tecnológicos e mercado de trabalho. • Pensamento computacional: breve histórico e apresentação dos 4 pilares. • Fabricação Digital e manufatura aditiva: conceituar. • Importância do estudo da Geometria e sua visualização no cotidiano.	2h
2	Exploração do *software* de CAD (*Computer Aided Design*) – Tinkercad.	Demonstração da interface do *software* Tinkercad e desenvolvimento de um objeto simples para demonstração de suas funcionalidades. Atividade diagnóstica escrita sobre geometria.	2h
3	Reconhecimento e criação de Objetos Digitais de Aprendizagem (sólidos geométricos) no Tinkercad.	Estudantes, organizados em 5 grupos, irão elaborar no Tinkercad as figuras tridimensionais e depois compartilhar o objeto desenvolvido: Grupo 1: Poliedro convexo e não convexo, relação de Euler. Grupo 2: Poliedros regulares e poliedros de Platão. Grupo 3: Prisma. Grupo 4: Pirâmide. Grupo 5: Corpos redondos.	6h
4	Uso do *software* de fatiamento (Kiri:Moto) e da impressora 3D.	Cada grupo salva sua construção em .stl e envia para o *software* de fatiamento Kiri:Moto[24]. Realização da impressão 3D, após os sólidos impressos fazer questionário com os estudantes sobre a diferença da visualização no *software* e a impressão, bem como discutir propriedades dos sólidos impressos.	4h

[24] Fatiador de projetos 3D *online* e gratuito. Disponível em: https://grid.space/kiri/.

5	**Lançamento:** Uma experiência sensorial (âncora). Questão norteadora/motriz para investigar e criar soluções.	Vídeo curto sobre acessibilidade arquitetônica, discussão com a turma toda e leitura de um trecho da Lei nº 13.146/2015. Experiência sensorial envolvendo enfaixar os olhos e usar uma cadeira de rodas para se locomover na escola. Nossa escola é acessível? Pergunta norteadora: "Como tornar nossa escola acessível utilizando a prototipagem rápida/impressão 3D?"	2h
6	**Etapa 1:** Entendimento do problema (identificação de problemas de mobilidade e/ou acessibilidade na escola).	Criar, com os estudantes, rubrica de participação e sobre os artefatos. Por meio da experiência sensorial da aula passada: Quais problemas/dificuldades vocês identificaram para a mobilidade da pessoa cega ou cadeirante na escola? Como se sentiram na experiência? Já tinham pensado sobre? Qual opinião e dúvidas possuem sobre o tema? (a questão motriz será desmembrada em várias questões).	2h
7	**Etapa 2:** *Brainstorming* (gerar ideias, elencar problemas e pensar em possíveis soluções).	Com os estudantes organizados em grupos de acordo com a temática de interesse, com uso de *post it*, devem fazer *brainstorming* de possíveis soluções sem descartar nenhuma. Em seguida, deve-se fazer uma avaliação e seleção de ideias.	2h
8	**Etapa 3:** Desenvolvimento (pesquisa, construção de protótipo, teste, *feedback*, ajustes) com uso da impressora 3D.	Cada grupo deve selecionar a ideia que levarão adiante. Deve buscar responder: O que é necessário para colocar essa ideia em prática? O que precisamos aprender para construir nosso protótipo? O professor deve ser mediador nesse momento. Os estudantes devem pesquisar, caso necessário consultar especialista e estabelecer a função de cada membro do grupo e as etapas a serem seguidas. Construção, apresentação, recebimento de *feedbacks*, reajustes e novos testes, até atingir um produto mínimo viável (MVP). Avaliação por pares.	18h
9	**Etapa 4:** Implementação (apresentação para a direção da escola e comunidade escolar na culminância das eletivas, bem como divulgação em mídias).	Organização de publicação do que foi desenvolvido e/ou vídeo de campanha falando sobre acessibilidade e mostrando a matemática envolvida. Apresentação para a direção e toda a comunidade escolar na culminância das eletivas.	2h

Fonte: Autoria própria (2023).

Entretanto, ocorreram algumas situações imprevistas durante o processo. Entre essas circunstâncias, destacam-se o atraso no início das atividades escolares, ocasionado pelo período necessário para a formação e planejamento dos professores. Além disso, houve um tempo maior do que o esperado para o desenvolvimento das atividades por parte dos estudantes, um dia do curso sem internet devido à troca do fornecedor de internet, e feriado municipal que não era do conhecimento das pesquisadoras.

Adicionalmente, a realização de jogos interclasse e uma paralisação temporária devido a ameaças de ataques às escolas no município[25] também impactaram o andamento do projeto.

[25] Reportagem sobre ameaça de ataques em escolas do município. Disponível em: http://www.jornaloeste.com.br/noticias/exibir.asp?id=61103&noticia=diretor_de_escola_em_quatro_marcos_tranquiliza_pais_sobre_ameaca_de_atentado.

Estas ameaças basearam-se no cenário nacional[26], em que houve ataques com vítimas fatais em alguns estados – assim instaurou-se o medo em professores, alunos e pais.

Em decorrência dos acontecimentos relatados, o curso passou por uma reconfiguração (Quadro 15), iniciou dia 02 de março e finalizou dia 29 de junho, e a abordagem de ensino foi a ABP segundo Bender (2014).

Quadro 15: Módulos e estratégias de ensino do curso Geo3Dprint atualizados.

Módulo	Cronograma de Atividades	Estratégias de Ensino	Horas-Aula	Data
1	Diagnóstico inicial individual. Apropriação teórica.	Acolhimento dos estudantes e questionário diagnóstico no Google Forms. Aula expositiva dialogada com uso de *slides*. • Indústria 4.0: breve histórico das revoluções industriais, pilares tecnológicos e mercado de trabalho. • Pensamento computacional: breve histórico e apresentação dos 4 pilares. • Fabricação Digital e manufatura aditiva: conceituar. • Importância do estudo da Geometria e sua visualização no cotidiano.	4h	02/03 09/03
2	Exploração do *software* de CAD (*Computer Aided Design*) – Tinkercad.	Demonstração da interface do *software* Tinkercad e desenvolvimento de um objeto simples para demonstração de suas funcionalidades. Realização individual dos tutoriais no "centro de aprendizagem". Uso do Kahoot.	4h	16/03 23/03
3	Criação de Objetos Digitais de Aprendizagem no Tinkercad.	Fabricação Digital de uma caneca personalizada na opção "Projeto 3D" do *software*.	6h	30/03 20/04 27/04
4	Lançamento do desafio. Pesquisa em grupo.	"Construir objetos digitais de aprendizagem (ODA) de geometria espacial no *software* Tinkercad e imprimir na impressora 3D". Diário de campo. Definição de funções: relator, construtor ou ideador. Os estudantes foram organizados em 5 grupos, iniciaram pela pesquisa sobre as temáticas de cada grupo: Grupo 1: Poliedro convexo e não convexo, relação de Euler. Grupo 2: Poliedro regulares e poliedros de Platão. Grupo 3: Prisma. Grupo 4: Pirâmide. Grupo 5: Corpos redondos.	2h	04/05
5	Construção em grupo.	Cada grupo construiu três sólidos geométricos na opção "Projetos 3D" no *software* de modelagem.	4h	11/05 18/05
6	Construção de GIF no "Blocos de Código"	Os grupos 1 ao 4 construíram um GIF cada de acordo com a temática, e o grupo 5 construiu os três sólidos de revolução.	4h	25/05 01/06 16/06
7	Finalização das construções e escrita dos roteiros dos vídeos. Finalização dos vídeos e preparação para a roda de conversa.	Material com instruções de como elaborar um roteiro, tempo para que os estudantes pensassem como estruturar o vídeo e quais aplicativos utilizarem. Gravação e edição dos vídeos, preparativos sobre o cronograma de finalização.	4h	20/06 22/06

[26] Atentados em escolas brasileiras. Disponível em: https://www.andes.org.br/conteudos/noticia/2023-ja-e-o-ano-com-mais-ataques-em-escolas-diz-oNG1.

8	Fase de comunicação do projeto – Roda de conversa de manhã, preparação para a culminância à tarde e culminância à noite.	Organização de publicação do que foi desenvolvido e/ou vídeo de campanha falando sobre o processo de aprendizagem no curso. Debate em roda de conversa com a coordenadora do curso de extensão. Apresentação para a direção e toda comunidade escolar na culminância das eletivas.	2h	29/06

Fonte: Autoria própria (2023).

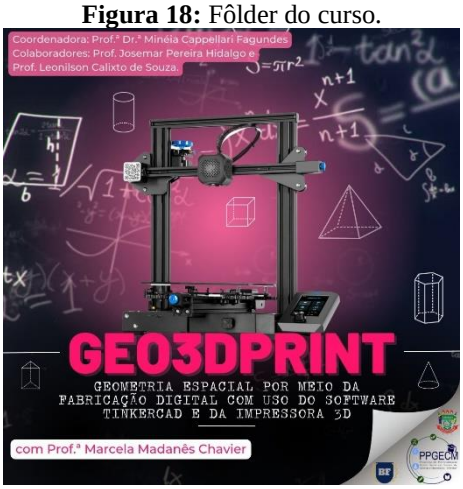
Para proporcionar uma compreensão aprofundada do desenvolvimento do curso de extensão, será apresentado um detalhamento das ações e estratégias de ensino, incluindo os objetivos e descrições de cada módulo do curso.

1º módulo: dias 02 e 09 de março de 2023 (carga horária – 4 horas).

Objetivo: Apresentar a proposta aos participantes e realizar a autoavaliação diagnóstica sobre o processo de aprendizagem.

Desenvolvimento: Inicialmente, ocorreu a apresentação da proposta do curso (Figura 18), dos professores e dos alunos. Depois, os alunos fizeram seus cadastros e inscrições no curso de extensão no *site* da Unemat.

Figura 18: Fôlder do curso.



Fonte: Autoria própria (2023).

Em seguida, foram entregues os termos de consentimento livre esclarecido. Esses termos foram lidos em conjunto, abordando os riscos, as medidas de mitigação e os benefícios da pesquisa. Os estudantes assinaram esses termos, e foram entregues também os termos de consentimento livre esclarecido aos pais dos alunos menores de idade.

Para conhecer os estudantes como sujeitos individuais com suas respectivas histórias (conforme Moretto, 2019) e identificar conhecimentos prévios, foi conduzido um questionário utilizando o Google Forms. O questionário foi estruturado em cinco dimensões: identificação,

autoavaliação em relação à resolução de problemas, atitudes frente ao processo de aprendizagem, avaliação dos papéis desempenhados no contexto de ensino e aprendizagem durante as aulas de matemática (incluindo questões específicas sobre geometria) e dimensão pessoal.

No dia 09 de março, ocorreu uma aula expositiva utilizando *slides*, na qual foram apresentados os pressupostos teóricos do curso, incluindo as competências gerais estabelecidas pela BNCC, com destaque para a cultura digital. Além disso, foi abordado o conceito de pensamento computacional e os fundamentos da FD, sendo um desses pilares a MA, também conhecida como impressão 3D.

Em relação à impressora 3D, foram apresentadas webnotícias sobre suas diversas aplicações e funcionalidades no mercado de trabalho, como na moda, na engenharia, na saúde e como tecnologia assistiva.

Como finalização foi realizado um *feedback* sobre o questionário, e discutiram-se questões como "O que significa 3D?", "O que é um bom aluno?", "Qual a diferença entre geometria plana e espacial?".

2º Módulo: dias 16 e 23 de março (carga horária – 4 horas).

Objetivo: Explorar a interface do *software* de modelagem 3D Tinkercad.

Desenvolvimento: Neste módulo, foi utilizado um projetor multimídia para apresentar aos estudantes a interface do Tinkercad. Posteriormente, os alunos tiveram a oportunidade de explorar o *software* de maneira individual e ativa. Utilizando os *chromebooks*, eles se cadastraram no *software* e iniciaram a exploração por meio da realização de três sequências de tutoriais. Os passos seguidos no Tinkercad para chegar às atividades foram os seguintes:



No *software*, começaram com os tutoriais "Introdução às Formas", avançaram para a atividade "Formas em Movimento" e concluíram com a atividade "Rotação de Formas". Ao final do dia 16 de março, utilizou-se o método de bilhete à saída, no qual os alunos responderam a duas perguntas e entregaram aos professores.

Na aula do dia 23, aconteceu a continuidade da exploração dos tutoriais, e discussão sobre sólidos geométricos; ao final foi realizado *quiz* individual no Kahoot, com premiação.

3º Módulo: dias 30 de março, 20 e 27 de abril (carga horária – 6 horas).

Objetivo: Fabricação Digital de um artefato, modelagem em um *software* CAD e impressão 3D.

Desenvolvimento: A proposta era fabricar algo com os estudantes para eles entenderem como funciona o "Projeto 3D" do Tinkercad, pois tem algumas ações, como puxar e agrupar. Então, um estudante sugeriu um copo com nome, isto é, um copo personalizado – e todos concordaram. Essa etapa também foi individual e durou três encontros.

No dia 27 de abril, foi realizada a primeira impressão 3D em colaboração com os estudantes, que iniciou durante a aula e finalizou pós-aula.

4º Módulo: dia 04 de maio (carga horária – 2 horas).

Objetivo: Lançamento do desafio e pesquisa em grupo.

Desenvolvimento: Os estudantes foram desafiados a "Construir objetos digitais de aprendizagem (ODA) sobre geometria espacial e imprimir na impressora 3D"; o desafio foi apresentado conforme o Quadro 16, fundamentado na abordagem de ensino Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) segundo Bender (2014).

Quadro 16: Projeto de ABP planejamento do professor.

Projeto ABP – Geometria espacial e fabricação digtal
Âncora: A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) na sua agenda para 2030, e o Objetivo 4 enfoca a busca por uma educação de qualidade. Considerando que a disciplina de Matemática demonstra índices de desempenho aquém do ideal, e que a geometria constitui uma parte significativa desse campo, com amplas aplicações na vida cotidiana, surge a seguinte reflexão: a integração de recursos manipuláveis/concretos auxilia na compreensão da geometria? E, por meio da utilização da Fabricação Digital (FD), através do *software* Tinkercad e da tecnologia de impressão 3D, é possível criar materiais que possam ser benéficos para o aprendizado geométrico de outros estudantes? **Questões motrizes: informações que precisamos encontrar.** Qual a diferença entre geometria plana e geometria espacial? Geometria espacial tem aplicação no cotidiano? O que é um poliedro? Quais são as características/elementos dos poliedros? Qual a diferença entre prismas e pirâmdies? O que são sólidos de revolução? **Tarefas a serem cumpridas** Os estudantes trabalharão em grupos para: 1. Pesquisar, discutir e relatar de forma escrita características e elementos dos sólidos geométricos. 2. Planejar as ações para resolver os desafios. 3. Construir três sólidos geométricos, de acordo com a temática do grupo, no *software* Tinkercad, na opção "projeto 3D". 4. Imprimir os sólidos com uso da impressora 3D. 5. Criar ao menos um GIF por grupo na opção "blocos de códigos" do Tinkercad.

6. Comunicar o processo e resultados por meio de vídeo e/ou *slide*, roda de conversa e culminância das eletivas.

Os estudantes precisarão obter acesso a

1. *Chromebooks*;
2. Internet;
3. Laboratório *maker* com impressora 3D;
4. Caderno de campo.

Artefatos previstos

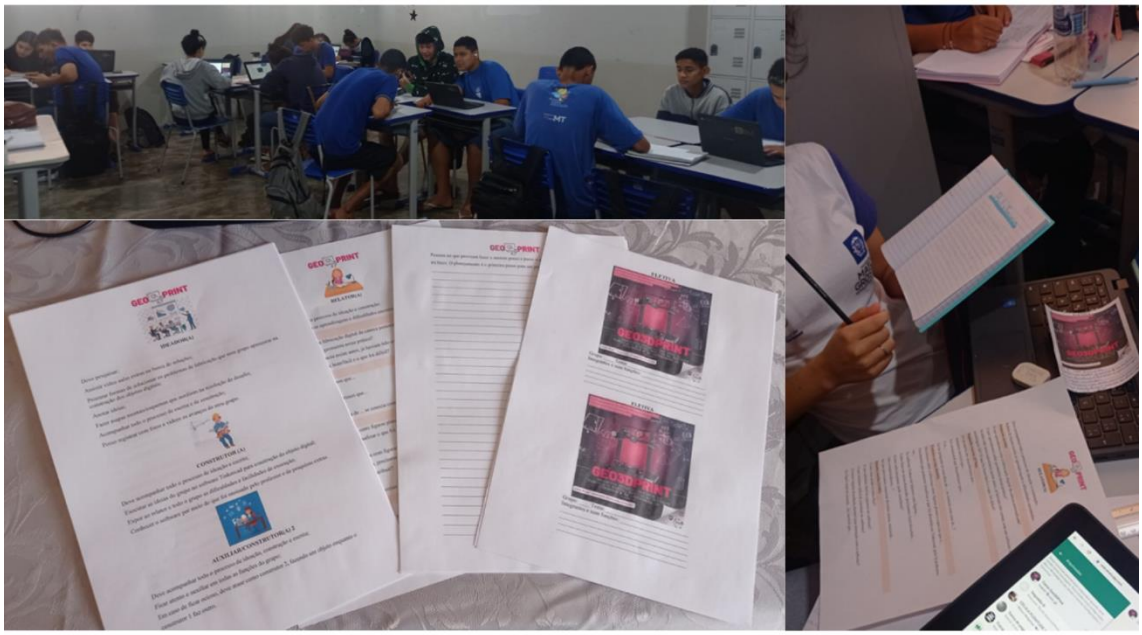
1- Um caderno/diário de campo por grupo com os relatórios diários das pesquisas, descobertas e desafios encontrados no decorrer do projeto ABP.
2- Plano de ação com descrição de ações e responsáveis por cada etapa do desenvolvimento do projeto.
3- Construção e impressão (Fabricação Digital) de pelo menos três sólidos geométricos por grupo, de acordo com a temática.
4- Pelo menos um GIF por grupo, com uso do "Blocos de código".
5- Um vídeo e/ou *slide* para comunicação do processo e resultados da participação no curso.

Fonte: Adaptado de Bender (2014, p. 27).

Para desenvolver o projeto, os alunos foram organizados em 5 grupos, cada um abordando uma temática específica da geometria espacial: Grupo 1 (G1) - Poliedros Convexos, Não Convexos e a Relação de Euler; Grupo 2 (G2) - Poliedros de Platão; Grupo 3 (G3) - Prismas; Grupo 4 (G4) - Pirâmides; Grupo 5 (G5) - Corpos Redondos/Sólidos de Revolução.

Após a formação dos grupos, foram distribuídos cadernos de campo para a elaboração de relatórios das aulas. Além disso, os alunos receberam uma capa personalizada do caderno, contendo o logotipo do curso e espaços destinados ao planejamento das atividades, bem como uma descrição das funções que cada aluno poderia assumir no grupo, de acordo com suas habilidades: Ideador, Construtor, Relator e Auxiliar/Construtor 2 (Figura 19).

Figura 19: Caderno de campo e definição de funções dentro da equipe de trabalho.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Como primeira atividade, foi conduzida uma *webquest* (Apêndice B). Na lousa, foram apresentadas cinco questões que os alunos deveriam investigar por meio de pesquisas. Além disso, no grupo do WhatsApp, foram compartilhados *links* para um *site* e um vídeo relacionados a cada um dos temas, a fim de oferecer uma fonte inicial de pesquisa confiável. As questões propostas eram as seguintes:

1. Definição: Qual é a definição do tema?
2. Elementos/Características: Quais são os principais elementos ou características associados a esse conceito?
3. Exemplos: Apresente exemplos visuais ou descritivos que representem o tema.
4. Relações Matemáticas: Quais relações matemáticas estão envolvidas nesse contexto?
5. Observações e Dúvidas: Com base na sua pesquisa, quais observações ou dúvidas você possui sobre o tema?

Esse formato permitiu que os alunos explorassem os temas de maneira interativa e investigativa, incentivando a pesquisa e a reflexão sobre os conceitos abordados.

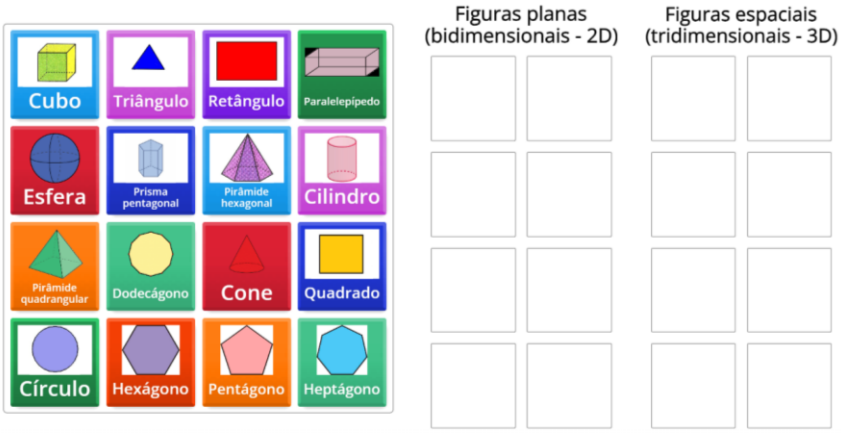
Após a conclusão da pesquisa, houve uma discussão sobre os tópicos e as dúvidas levantadas de acordo com a questão 5 da pesquisa dos estudantes. Assim, elaborou-se um mapa conceitual na lousa, contando com a colaboração de toda a turma, com o propósito de unir as temáticas exploradas pelos grupos e evidenciar sua inserção em um campo específico de estudo da matemática, nomeadamente a geometria.

5º Módulo: dias 11 e 18 de maio (carga horária – 4 horas).

Objetivo: Construir sólidos geométricos na opção “Projeto 3D” do Tinkercad.

Desenvolvimento: No início da aula foi realizada uma atividade gamificada (Figura 20) com os estudantes, no aplicativo Wordwall, para avaliar o reconhecimento e diferenciação de figuras planas e espaciais.

Figura 20: Atividade gamificada no Wordwall.



Fonte: Wordwall (2023).

Antes de se iniciarem as construções, foi pensada e redigida com a turma uma rubrica de avaliação (Apêndice A) de todos os artefatos a serem produzidos no curso. É muito importante a construção de uma rubrica em abordagens como STEAM e ABP, para que os estudantes saibam o que se espera deles em cada etapa. Esse instrumento de avaliação tem maior significado quando construído junto com os próprios estudantes. Nós utilizamos uma analogia com a construção de uma casa; no Quadro 17 pode-se observar como ficaram os critérios para avaliação da caneca personalizada.

Quadro 17: Rubrica de avaliação do projeto de ABP.

Artefato	Data final	Terreno vazio - 1	Estrutura pronta - 2	Paredes erguidas - 3	Casa pronta para morar - 4
Caneca personalizada	04/05	Não fabricou a caneca e/ou apenas copiou da professora.	Modelou a caneca, porém na hora da impressão não deu certo. Mas entendeu os conceitos matemáticos envolvidos na sua fabricação.	Modelou a caneca e a impressão foi boa. Porém, não compreendeu as características da geometria espacial nesse processo.	Modelou a caneca e a impressão foi perfeita. Compreendeu as características da geometria espacial nesse processo e soube relatar.

Fonte: Autoria colaborativa com os estudantes (2023), embasados em Bender (2014).

Nesse módulo, os estudantes utilizaram a opção “Projeto 3D” do Tinkercad, e construíram três sólidos geométricos por grupo para impressão 3D.

Infelizmente, devido ao longo tempo do processo de impressão, não foram todos os grupos que puderam acompanhar os procedimentos, pois exigiram cuidados extraclasse para se verificar o andamento das impressões. Sendo assim, a professora/pesquisadora e os estudantes do grupo 5 ficaram responsáveis por fazer essa verificação.

6º Módulo: dias 25 de maio, 01 e 16 de junho (carga horária – 6 horas).

Objetivo: Construir GIFs na opção “Blocos de códigos” do Tinkercad.

Desenvolvimento: No início do módulo, realizou-se uma dinâmica intitulada “Desenho às cegas”[27], com estudantes organizados em dupla, e usando desenhos geométricos (Figura 21). O objetivo foi comparar os desenhos para verificar se conseguiram se comunicar de forma efetiva, ou seja, a capacidade de criar e comunicar um algoritmo.

Figura 21: Dinâmica desenho às cegas.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Então, discutiu-se fazendo relação com o vídeo da primeira aula, sobre a importância da comunicação e de uma sequência lógica de passos (algoritmo) da ação, para que seja feita corretamente.

Em seguida, foram entregues cópias impressas de instruções personalizadas para cada grupo (Apêndice B), como passo inicial para a construção do GIF. Os dois próximos encontros foram utilizados para a criação do GIF, conforme o tempo de cada grupo.

7º Módulo: dias 20 e 22 de junho (carga horária – 4 horas).

Objetivo: Elaborar vídeos para comunicar resultados do projeto.

Desenvolvimento: Cada grupo se reuniu para elaborar um roteiro para o vídeo, bem como para selecionar o objeto digital que seria utilizado para a gravação e edição. Vale

[27] Disponível em: https://arquivos.progic.com.br/Progic-30Dinamicas-Celular.pdf.

ressaltar que houve uma ênfase especial no uso do Canva[28] e do CapCut[29]. Posteriormente, os grupos se organizaram e procederam com a gravação e edição dos vídeos.

Na aula realizada em 22 de junho, além de se concluir a etapa de edição dos vídeos, também foi discutida a forma como a comunicação do processo e dos resultados do projeto seria organizada. Essa comunicação incluiu a participação em uma roda de conversa e a apresentação do projeto nas atividades de culminância das disciplinas eletivas.

8º Módulo: dias 29 de junho (carga horária – 2 horas).

Objetivo: Avaliar e comunicar o projeto a toda a comunidade escolar.

Desenvolvimento: No período da manhã, ocorreu um momento importante de relação interinstitucional entre escola e universidade. A coordenadora do curso de extensão, que também é orientadora desta pesquisa, visitou a escola e participou de uma roda de conversa junto aos estudantes (Figura 22). Durante essa roda de conversa, uma aluna conduziu o processo, permitindo que cada grupo apresentasse seus resultados e exibisse seus vídeos e artefatos produzidos.

Figura 22: Roda de conversa finalização do curso.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Durante a tarde, os estudantes se dedicaram à decoração da barraca destinada ao evento noturno de culminância das disciplinas eletivas. Este evento escolar é aberto a toda a comunidade escolar, e todos os projetos desenvolvidos nas disciplinas eletivas do semestre são apresentados.

[28] O Canva é uma ferramenta gratuita de *design* gráfico *online* que se pode usar para criar *posts* para redes sociais, apresentações, cartazes, vídeos, e muito mais. Disponível em: https://www.canva.com/.

[29] CapCut é o editor de vídeo e criador de vídeo com música gratuito oficial para TikTok, versátil e fácil de usar. Disponível no PlayStore dos *smartphones*.

Os alunos exibiram os sólidos geométricos produzidos e as canecas impressas na impressora 3D. Tiveram a oportunidade de compartilhar a experiência do curso com toda a comunidade escolar que se fez presente. (Figura 23).

Figura 23: Comunicação – culminância das eletivas.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Em outra ocasião, foi disponibilizado aos estudantes um questionário no Google Forms, com o intuito de possibilitar que realizassem uma autoavaliação e avaliassem o curso de extensão. Assim, terminou-se o curso Geo3DPrint.

Na próxima seção, serão detalhados os procedimentos para a análise dos dados produzidos por meio desse curso.

4.5 Pressupostos da Teoria Fundamentada nos Dados (TFD)

> *O ponto final da sua jornada emergirá de onde você começar, para onde você for e com quem você interagir, do que você vir e ouvir, e do modo como você aprende e pensa. Em resumo, o trabalho final será uma construção – a sua.*
> (Charmaz, 2009, p. 9)

Como exposto por Alves-Mazzotti (1998), “a realidade é múltipla, socialmente construída em uma dada situação e, portanto, não se pode apreender seu significado se, de modo arbitrário e precoce, a aprisionarmos em dimensões e categorias” (*apud* Araújo; Borba, 2020, p. 46). Nessa perspectiva, adotou-se nesta pesquisa, para análise dos dados, a metodologia da Teoria Fundamentada nos Dados (TFD), também conhecida como Teoria Fundamentada ou *Grounded Theory*, em inglês. Essa metodologia permite captar a

diversidade de fatos, dados, informações e experiências da realidade, bem como a multidimensionalidade e multicausalidade dos fenômenos. Outrossim, ajuda a preencher possíveis lacunas que podem surgir entre a teoria e a pesquisa empírica, fornecendo um conjunto de princípios e diretrizes básicas, incluindo a codificação, a redação de memorandos e a amostragem, orientando o pesquisador nas várias etapas do processo de pesquisa e no caminho para a descoberta da teoria (Prigol; Behrens, 2019, p. 4).

Em síntese, os métodos da Teoria Fundamentada nos Dados baseiam-se em diretrizes sistemáticas, embora flexíveis, para coletar e analisar dados, visando à construção de teorias fundamentadas nesses próprios dados. Inicialmente, os pesquisadores dessa abordagem mantêm-se abertos ao que ocorre nas situações estudadas e nos relatos das entrevistas, buscando compreender as vidas e/ou a visão dos participantes da pesquisa. Os dados são construídos a partir de observações, interações e materiais coletados sobre o tópico ou o ambiente estudado. As experiências e eventos empíricos são examinados seguindo intuições e ideias analíticas em potencial (Charmaz, 2009, p. 15). Essa metodologia é especialmente indicada quando o tópico de interesse ainda não foi amplamente estudado ou a produção científica sobre ele é limitada (Santos *et al.*, 2018, p. 2).

As características da TFD segundo Prigol e Behrens (2019) são: trabalho simultâneo e encadeamento circular de todas as ações no processo de pesquisa; natureza exploratória, em que o pesquisador se familiariza com o problema, ao trabalhar diretamente com o fenômeno estudado; capacidade de adicionar novos dados conforme necessário, como peças em um quebra-cabeça, para atender às demandas da pesquisa; identificação de fenômenos pela observação de situações reais do mundo, permitindo uma compreensão contextual; diretrizes flexíveis que permitem ao pesquisador alternar entre o foco amplo e o detalhado dos dados coletados, de acordo com as necessidades da investigação.

A TFD teve origem nos estudos sociológicos conduzidos por Barney G. Glaser e Anselm L. Strauss nos anos 1960, nos Estados Unidos. Inicialmente, eles se concentraram no estudo do processo da morte em hospitais, investigando como os profissionais de saúde e os pacientes terminais interpretavam esse fenômeno. Com base nessas análises, Glaser e Strauss conceberam estratégias metodológicas que poderiam ser empregadas por outros pesquisadores sociais para investigar uma ampla gama de assuntos.

Em 1967, Glaser e Strauss lançaram sua obra seminal intitulada *The Discovery of Grounded Theory*, na qual apresentaram os princípios subjacentes ao método qualitativo e defenderam a criação de teorias de pesquisa baseadas nos dados, em contraposição à abordagem positivista de deduzir hipóteses a partir de teorias preexistentes. Eles rejeitaram a

ideia de conduzir pesquisas para testar hipóteses ou validar teorias já existentes, optando por fornecerem um espaço, dentro da pesquisa qualitativa, para a construção de novas teorias, desvinculadas de interpretações teóricas anteriores e diretamente ligadas aos dados coletados.

Após a publicação dessa primeira obra sobre Teoria Fundamentada nos Dados, os criadores Glaser e Strauss começaram a diferir em relação aos aspectos metodológicos e seguiram caminhos independentes. Glaser permaneceu fiel à abordagem original da TFD, tornando-se o principal defensor da perspectiva clássica ou glaseriana. Strauss, em colaboração com Juliet Corbin, integrou novos métodos de análise e fases no desenvolvimento da teoria, dando origem à perspectiva straussiana da TFD. Kathy Charmaz teve contato com Glaser nas palestras durante o mestrado e foi orientada por Strauss nessa fase, articulando, a partir da década de 2000, com a vivência do doutorado, sua própria interpretação da TFD, iniciando a perspectiva construtivista do método.

Segundo Santos *et al.* (2018), essas três vertentes apresentam quatro características comuns: amostragem teórica, análise comparativa constante dos dados, elaboração de memorandos e distinção entre teoria substantiva e teoria formal.

A amostragem teórica na TFD faz referência ao processo de coleta de dados, em que os pesquisadores buscam, de forma flexível, pessoas, eventos ou fontes de dados que enriqueçam a detecção de alterações conceituais e o desenvolvimento das categorias, conforme as necessidades identificadas durante a pesquisa. A amostragem teórica não é definida antecipadamente, mas evolui à medida que novos dados são coletados, seguindo um processo cíclico até a saturação teórica.

A análise comparativa contínua dos dados é um método que requer uma análise minuciosa dos dados coletados, examinando-os cuidadosamente palavra por palavra, linha por linha ou incidente por incidente, com o objetivo de criar códigos conceituais. Esses códigos são então organizados em categorias. O processo de análise comparativa contínua implica na comparação constante entre os códigos, avaliando relações entre códigos individuais, códigos e categorias emergentes, bem como entre diferentes categorias. Esse método possibilita a construção gradual da teoria à medida que as conexões e padrões emergem a partir dos dados analisados.

Os memorandos, consoante a Prigol e Behrens (2019), são registros analíticos informais que são feitos ao longo de todo o processo de pesquisa, desde a construção dos códigos até a formação das categorias teóricas, com base nos dados coletados. Não há regras ou diretrizes rígidas para a elaboração dos memorandos, uma vez que são redigidos em uma linguagem informal, destinados ao uso pessoal. Eles servem como um espaço no qual o

pesquisador pode anotar suas percepções, explorações e descobertas de ideias relacionadas ao que foi observado, ouvido, percebido e codificado. Em essência, os memorandos representam as interpretações pessoais que o pesquisador tece a partir dos dados, sem a intenção de compartilhá-los com o público em geral.

Os pesquisadores da TFD elaboram memorandos à medida que os conceitos emergem durante o processo de análise. Esses memorandos registram reflexões sobre os dados, contribuindo para o desenvolvimento de ideias e códigos que auxiliarão na construção da teoria.

Glaser e Strauss (1967) estabeleceram diferenças entre as teorias que resultam da TFD, podendo ser classificada em: teoria substantiva ou teoria formal. A teoria substantiva é gerada a partir de um contexto específico da pesquisa e se aplica apenas a esse campo investigado. Em contrapartida, a teoria formal requer um estudo mais aprofundado, envolvendo a criação de conceitos abstratos que podem ser aplicados de forma geral em uma realidade mais ampla. A teoria substantiva serve como base para o desenvolvimento da teoria formal, e é importante que os pesquisadores escolham entre uma ou outra, dependendo dos objetivos da pesquisa. Todas as perspectivas metodológicas da TFD adotam essa distinção entre teoria substantiva e teoria formal.

Na pesquisa em questão, nosso objetivo é desenvolver uma teoria substantiva, uma vez que nosso foco recai sobre um contexto específico. A metodologia da TFD fornece ao pesquisador um conjunto de princípios gerais que orientam a pesquisa, indicando o caminho a seguir. Nesse processo, a teoria emerge naturalmente dos dados coletados, permitindo a construção de uma teoria substantiva original e relevante, denominada Teoria Fundamentada.

Pontuadas as características comuns, é importante evidenciar as diferenças entre as três vertentes. Essas distinções, de acordo com Santos *et al.* (2018), concentram-se em três aspectos: a base filosófica, o uso da literatura e o sistema de análise de dados ou de codificação (Quadro 18).

Quadro 18: Características comuns e diferenciadoras da TFD.

Características comuns	**Vertentes da TFD**	**Características diferenciadoras**		
		Base filosófica	**Uso da literatura**	**Sistema de codificação**
• Amostragem teórica • Análise comparativa constante • Memorandos • Teoria substantiva x teoria formal	Clássica	Positivismo moderado	Somente ao final	Original para descobrir a teoria
	Straussiana	Pós-positivismo e Internacionalismo Simbólico	Em todas as etapas	Rigorosa para criar a teoria
	Construtivista	Construtivismo e Internacionalismo Simbólico	Em todas as etapas e compilada ao final	Em aberto para construir a teoria

Fonte: Santos *et al.* (2018), adaptado de Hunter *et al.*

Existem discussões acerca da base filosófica de cada vertente da TFD. Embora Glaser não tenha abordado diretamente a base filosófica da TFD clássica em sua obra, é amplamente considerado que seu método tem raízes no Positivismo, devido à valorização da neutralidade e da objetividade no desenvolvimento da teoria. Já na vertente straussiana, representada por Strauss e Corbin, é adotada uma abordagem pós-positivista, com influências do Interacionismo Simbólico e do Pragmatismo. Charmaz, por sua vez, faz críticas à abordagem pós-positivista de Strauss e "propõe a recuperação da ênfase interacionista pragmática e simbólica no significado, na linguagem, na interpretação e na interação, vinculando a TFD ao paradigma construtivista como uma metodologia interpretativa" (Santos *et al.*, 2018, p. 3).

Sobre o uso da literatura, na vertente clássica tem-se a visão de que o pesquisador deve iniciar a coleta de dados sem conhecimento prévio da literatura existente, para não ser influenciado por teorias existentes e manter uma mente "aberta".

Já para Strauss e Corbin, o uso da literatura deve acontecer em todas as fases da pesquisa, e fazem a distinção entre uma mente "vazia" e uma mente "aberta", uma vez que, na pós-graduação, é muito difícil que o pesquisador não tenha nenhum conhecimento *a priori*. Eles enfatizam a importância de incorporar a literatura desde o início. Charmaz concorda com a visão de Strauss e Corbin, mas sugere que a revisão da literatura seja realizada após a análise dos dados. Essa abordagem possibilita ao pesquisador familiarizar-se com o corpo de conhecimento científico existente sobre o assunto e elaborar seu argumento sem restringir a expressão de sua criatividade. Para ela, "nem o observador nem o observado chegam à situação de pesquisa sem terem sido influenciados pelo mundo" (Charmaz, 2009, p. 32).

Cada vertente da TFD adota abordagens específicas para construir teoria a partir dos dados coletados, refletindo diferentes sistemas de análise dos dados. Na perspectiva glaseriana, o sistema de codificação inclui duas etapas: codificação substantiva, que visa à

formação de conceitos a partir dos dados, desdobrando-se em codificação aberta (análise inicial dos dados) e codificação seletiva (refinamento conceitual).

Na perspectiva straussiana, o sistema de análise envolve três etapas: codificação aberta, codificação axial e codificação seletiva, com ênfase na participação ativa do pesquisador na busca de apoio teórico; por fim, na vertente construtivista, a análise se concentra nos significados atribuídos pelos participantes ao fenômeno, com duas etapas de codificação: codificação inicial, que fragmenta e conceitualiza os dados, e codificação focalizada, que aprofunda a análise.

Diante do exposto, para a análise dos dados da pesquisa, foi utilizada a Teoria Fundamentada nos Dados, na vertente construtivista de Kathy Charmaz (2009). Neste procedimento, a teoria se desenvolve a partir dos dados, possibilitando a criação de conexões entre conceitos, o que, por sua vez, viabiliza a compreensão de um fenômeno, uma instituição, uma ação ou outros processos. Em conformidade com Charmaz (2009, p. 25), sua "abordagem admite, de modo explícito, que qualquer versão teórica oferece um retrato interpretativo do mundo estudado, e não um quadro fiel dele".

Dessa forma, nesta pesquisa propõe-se desenvolver uma teoria substantiva emergente da interpretação dos dados, sobre como a Fabricação Digital, por meio do uso do *software* Tinkercad e da impressão 3D, contribui para o ensino de Geometria Espacial em uma turma do Ensino Médio.

4.5.1 O método de análise da TFD na perspectiva construtivista

As autoras Prigol e Behrens (2019, p. 5) organizaram as etapas da TFD construtivista de Charmaz em três fases: amostragem, coleta de dados e produção de dados. A amostragem pode ser inicial e/ou teórica, a coleta de dados é realizada por meio de entrevistas e/ou análise de documentos, e a produção de dados ocorre em etapas de codificação, que pode ser inicial, focalizada, axial e/ou teórica. Os memorandos, dentro dessa perspectiva, são redigidos ao longo de todo o processo e oferecem suporte à construção da teoria. Neles, podem ser registradas "as percepções, explorações e descobertas de ideias referentes ao que foi visto, ouvido, percebido e codificado; é uma escrita sobre as interpretações dos dados que o pesquisador elabora para si mesmo, sem a finalidade de apresentar ao público" (Prigol; Behrens, 2019, p. 9).

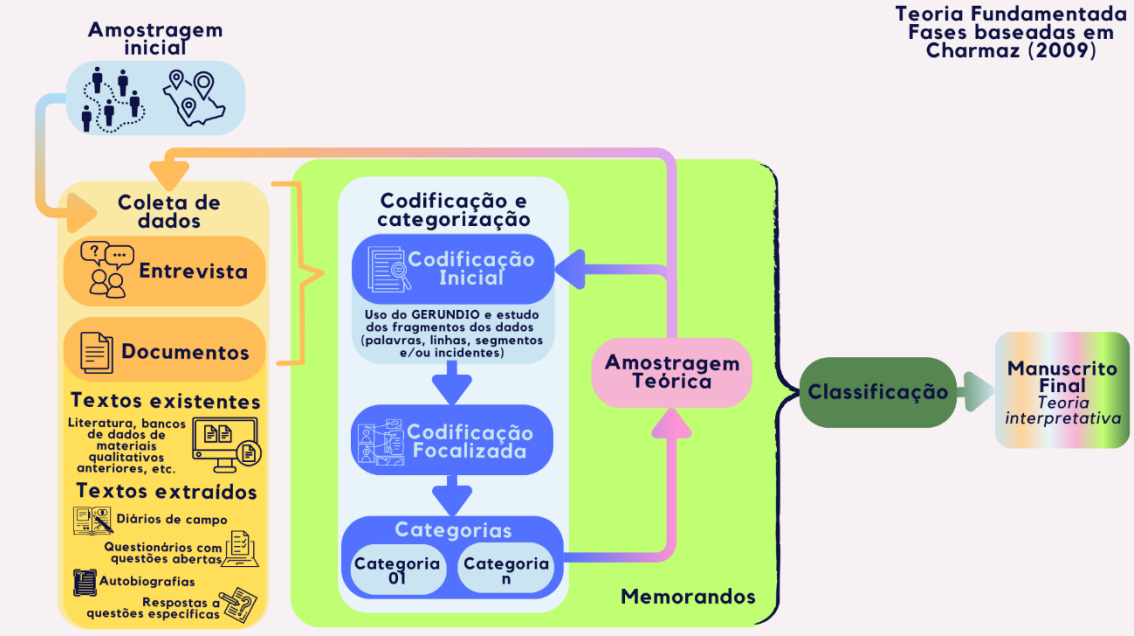
No entanto, percebemos que essas três fases não fornecem orientações abrangentes para o processo completo que culmina na teorização. Após a conclusão dessas etapas, surge a

questão de qual método ou estratégia adotar para a realização da etapa de interpretação analítica dos dados. Nesse contexto, além de revisitar a obra de Charmaz (2009), encontramos contribuições na pesquisa de doutorado de Marques (2022), que propõe uma sistematização em cinco fases principais: 1. Codificação e categorização, 2. Redação de memorandos, 3. Amostragem teórica e saturação, 4. Classificação e 5. Manuscrito final (modelo teórico).

Dessa forma, entendemos que as fases de classificação e redação do manuscrito final desempenham um papel crucial, ao auxiliarem diretamente nas conexões entre os memorandos e entre as categorias e os memorandos, bem como na redação da teoria interpretativa.

Com base no exposto, de modo a facilitar a compreensão das fases de análise seguidas nesta pesquisa, apresentamos uma representação esquemática do método na Figura 24.

Figura 24: Representação das fases do método de análise da TFD.



Fonte: Autoria própria (2023).

Assim, constituímos sete fases para análise dos dados: (1) Amostragem inicial, (2) Coleta de dados, (3) Codificação e categorização, (4) Redação de memorandos, (5) Amostragem teórica, (6) Classificação e (7) Redação do manuscrito final.

Segundo Charmaz (2009, p. 140), "a **amostragem inicial** na teoria fundamentada é onde você começa, ao passo que a amostragem teórica é o que o orienta para onde ir." Para a fase de amostragem inicial, é necessário definir previamente critérios de seleção para as pessoas, casos, situações e/ou ambientes que serão incluídos no estudo. Nesse estágio, deve-se procurar materiais e recursos relevantes para a pesquisa, seja isso relacionado à escolha de

indivíduos e contextos específicos, ou no que se refere a entidades mais abrangentes, como agências governamentais ou organizações. Nessa fase, definiram-se, conforme descrito nos subtítulos anteriores, os participantes da pesquisa, a escola que foi cenário da investigação e a situação, que foi a prática de ensino desenvolvida com os estudantes e acompanhada pelo professor da escola.

A **amostragem teórica**, segundo Charmaz (2019, p. 35):

> [...] instiga você a repassar os seus passos ou a adotar um novo caminho no momento em que você tem categorias provisórias e ideias emergentes, ainda que incompletas. Ao voltar ao mundo empírico e coletar mais dados sobre as propriedades da sua categoria, você pode saturar essas propriedades com os dados e escrever mais memorandos, tornando-os mais analíticos [...].

Diferentemente da amostragem da pesquisa quantitativa, essa amostragem não visa à representatividade populacional, mas sim à construção da teoria. E o trabalho não é linear, mas simultâneo, entre coleta e análise dos dados, gerando um encadeamento circular das ações do processo da pesquisa. No caso desta pesquisa, após um mês da intervenção em sala de aula, sentiu-se a necessidade de fazer um novo questionário com os estudantes e uma entrevista com o professor observador, e posteriormente uma revisão sistemática de literatura.

Na fase de **coleta de dados**, para Charmaz (2009, p. 30), “as teorias fundamentadas podem ser construídas com diversos tipos de dados – notas de campo, entrevistas e informações de gravações e relatórios. O tipo de dado buscado pelo pesquisador depende do assunto e da acessibilidade”. Com esse entendimento, na pesquisa foram utilizadas para coleta as notas de campo das observações da pesquisadora, bem como as dos estudantes que receberam um caderno para relatarem suas percepções do desenvolvimento da intervenção. Também foram utilizados questionários no Google Forms, gravação da roda de conversa para socialização da experiência e gravação da entrevista com o professor de Matemática da turma que acompanhou todo o processo.

Dessa forma, a coleta de dados ocorreu por meio de documentos e entrevista. Os documentos incluem textos existentes e textos extraídos. Textos existentes são aqueles produzidos por outros autores, “diferenciam-se dos textos extraídos pelo fato de o pesquisador não influenciar em sua produção” (Charmaz, 2009, p. 60), podendo ser conseguidos, por exemplo, pela revisão de literatura. E os textos extraídos se configuram como aqueles produzidos pelos participantes por meio de diários de campo, resposta de questões escritas, questionários com questões abertas e até autobiografias. “Em um nível psicossocial, os

contrastes entre os documentos escritos extraídos e a observação direta podem revelar histórias pungentes." (Charmaz, 2009, p. 58).

De acordo com Charmaz (2009, p. 69), "codificar significa nomear segmentos de dados com uma classificação que, simultaneamente, categoriza, resume e representa cada parte dos dados" e, em consonância com as diretrizes de Glaser (1978), ela destaca o uso dos gerúndios na codificação e na redação dos memorandos. Segundo ela, a adoção dos gerúndios promove a sensibilidade teórica, porque essas palavras nos impulsionam a sair de tópicos estáticos e entrar em processos ordenados, sugerindo ênfase nas ações e nos processos. "Os gerúndios nos convidam a refletir sobre as ações, sejam elas grandes ou pequenas." (Charmaz, 2009, p. 186).

A "**codificação** é o elo fundamental entre a coleta dos dados e o desenvolvimento de uma teoria emergente para explicar estes dados" (Charmaz, 2009, p. 70, grifo nosso). A codificação na TFD é composta de pelo menos duas etapas: a codificação inicial e a codificação focalizada. Foram estas codificações que se realizaram nesta pesquisa. Segundo Charmaz (2009, p. 67):

> Durante a codificação inicial, estudamos rigorosamente os fragmentos dos dados (palavras, linhas, segmentos e incidentes) devido à sua importância analítica. Às vezes, podemos reconhecer os termos narrativos dos nossos participantes como códigos *in vivo*. Ao empregarmos a codificação focalizada, selecionamos aquele material que pareça representar os códigos iniciais mais vantajosos e os testamos em contraste com os dados mais amplos. Durante todo o processo, comparamos dados com dados e, a seguir, dados com códigos.

Códigos "*in vivo*" são termos ou expressões que são extraídos diretamente dos dados coletados em uma pesquisa qualitativa. Esses termos são frequentemente palavras ou frases usadas pelos participantes da pesquisa para descrever suas próprias experiências, pensamentos, sentimentos ou perspectivas sobre o assunto em estudo. A expressão "*in vivo*" significa "na vida" ou "no próprio contexto" e indica que esses códigos capturam a linguagem autêntica e genuína dos participantes.

A codificação na TFD não se baseia em códigos predefinidos, mas sim na análise minuciosa dos dados. É um processo ativo no qual o pesquisador interage constantemente com os dados. Isso envolve, a partir da produção dos dados, a seleção, separação e classificação desses dados, resultando na identificação de segmentos que sintetizam e representam diferentes partes dos dados. Esses segmentos são categorizados para permitir a próxima etapa: a interpretação analítica dos dados. No Quadro 19 é apresentado um exemplo de como fizemos esse processo de codificação e categorização.

Quadro 19: Parte da codificação e categorização dos dados da pesquisa.

Codificação e categorização			
Excertos/transcrições (textos extraídos)	**Codificação inicial**	**Codificação focalizada**	**Categorização**
Incidente: Roda de conversa			
A12: Porque, **no começo de fazer os blocos lá, de montar, de colocar ela para rodar daquele jeito lá, ó** (aponta para o GIF da pirâmide quadrangular que está sendo exposto no *slide*). Ali **a gente tentava colocava, tipo, uns 30 graus mais ou menos, e aí ela dava errado. Aí a gente batalhava, batalhava**, *eu até queria desistir, né, mas (nome da pesquisadora) não deixou.* Risos da turma A12: E aí, ahhh, sei lá, **foi uma experiência boa**. No começo eu achei que, tipo assim, quando a gente foi se inscrever lá no negócio para poder fazer o curso, que era só desenhar no *tablet* e ia aparecer lá, né. Aí, quando eu vi lá aquele negócio de códigos de blocos, sei lá mais o quê, falei "vixe, Maria!". E aí, ***mas depois a gente pegou o jeito da coisa*** *e aí conseguimos fazer as pirâmides e as canecas. O que deu mais trabalho foi as pirâmides, né. Que tem muita coisinha.*	Refletindo que, apesar da dificuldade, o processo de fabricação digital foi uma experiência boa e pegaram o "jeito". Relatando a experimentação/testagem possibilitada pelo processo de FD. Relatando só ter visto sobre impressão 3D na internet e ter gostado da experiência presencial.	Explicitando a FD como um processo que permite a experimentação como forma de ensino, e algumas dificuldades encontradas.	C2: Programação no Tinkercad como estratégia de ensino de geometria espacial Tensões e compromissos

Fonte: Autoria própia (2023).

Na primeira coluna do Quadro 19, temos o recorte (excertos) dos dados brutos (códigos) retirados das transcrições dos discursos realizados na roda de conversa e dos relatos escritos (questionários e caderno de campo). Na segunda coluna temos a codificação inicial, que se refere à interpretação/significação geral do código, analisado incidente por incidente, utilizando-se de gerúndios. Na terceira coluna temos os códigos focalizados, que são as interpretações dos códigos iniciais de modo mais específico e sintetizado. Na quarta coluna temos a categoria que foi atribuída aos códigos destacados. As partes mais relevantes dos códigos foram destacadas em negrito.

A fase posterior à categorização é fase de **classificação.** Que é um caminho para a criação e o refinamento das conexões teóricas que incentivam o pesquisador a estabelecer comparações entre as categorias. A classificação, etapa em que é feita a integração teórica das categorias já estabelecidas, incentiva o pesquisador a comparar as categorias em um nível abstrato (Charmaz, 2009). Durante a classificação, o pesquisador retorna aos memorandos que

tinham ajudado a construir as conceituações teóricas relacionadas às categorias, reorganiza-os e os analisa novamente de um modo global, procurando integrar as ideias ali colocadas de modo comparativo. A partir da classificação, o pesquisador estabelece as relações entre as categorias.

A fase final, nesta pesquisa, indicamos como sendo o **manuscrito final (modelo teórico)**. Ele se refere à teorização dos significados construídos ao longo de todo o processo de análise de dados. Embora possa ocorrer de diversas formas, são fornecidas algumas sugestões/indicações de como construir esse texto. Charmaz (2009) cita que, ao escrever e reescrever os esboços que constituirão o relatório final, o pesquisador deve apresentar os seus argumentos, que são exibidos dentro de um contexto e podem partir das categorias. Os argumentos, de modo geral, estabelecem conexões com a bibliografia existente. Assim, o texto necessita oferecer uma análise crítica das categorias e fornecer dados que sustentem os argumentos analíticos (Charmaz, 2009).

Como resultado desse caminho metodológico flexível e dinâmico, sistematizou-se a análise de dados desta pesquisa, com vistas à construção de uma teoria interpretativa sobre a FD como um processo pedagógico para o ensino de geometria espacial, por meio do *software* Tinkercad e da impressora 3D.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os memorandos e, em seguida, o manuscrito da teoria substantiva, resultante da análise de dados com a TFD, acerca da FD no ensino de geometria espacial na Educação Básica. O manuscrito levou em consideração o resultado das relações estabelecidas entre as categorias teóricas, explicitadas nos memorandos (disponíveis no texto a seguir), e o processo de codificação dos dados extraídos da amostragem teórica.

Em cada categoria são apresentados os memorandos em que explicitamos as ações estratégicas da professora/pesquisadora (ensino e reflexão/aprendizagem sobre sua prática docente) e dos estudantes sobre geometria espacial por meio da FD como um processo pedagógico. Estas ações foram desenvolvidas no curso de extensão Geo3DPrint.

5.1 Categoria 1 (C1): Modelagem no Tinkercad como estratégia de ensino de geometria espacial

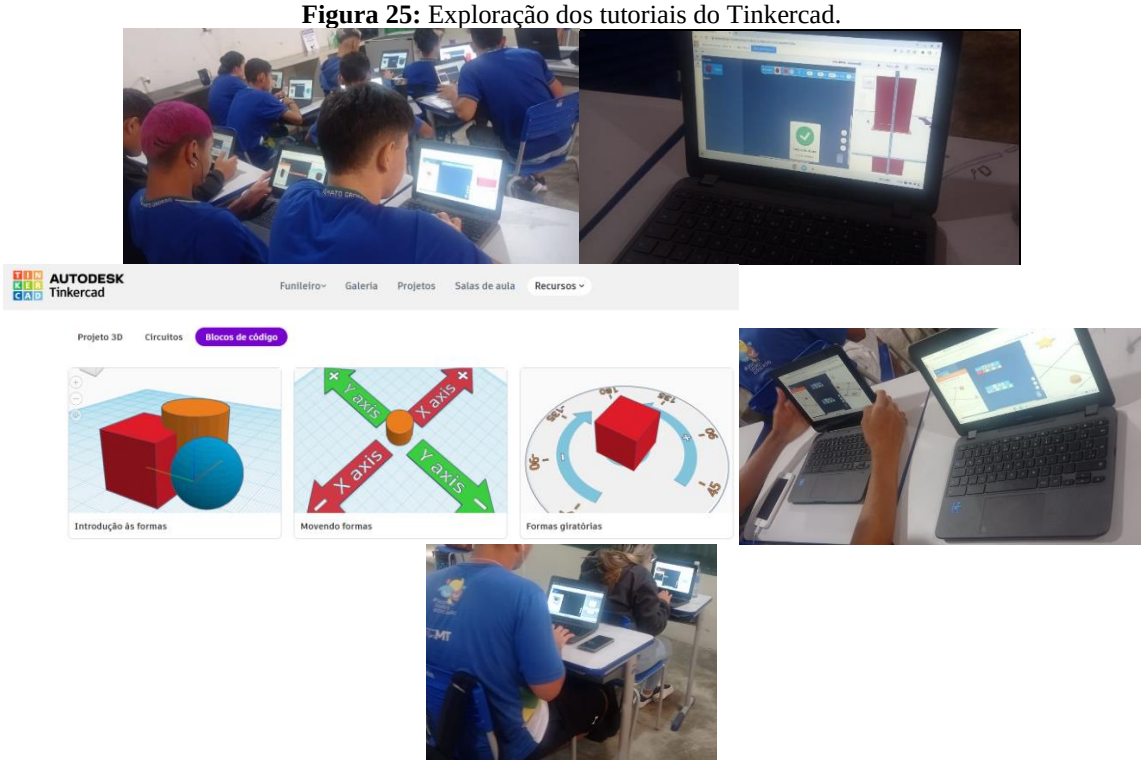
Durante o curso Geo3DPrint, foram propostas três atividades distintas relacionadas à modelagem utilizando a opção “Projetos 3D” do Tinkercad. Estas atividades envolveram, respectivamente, exploração da interface do Tinkercad, modelagem e prototipagem de um objeto de interesse da turma, e modelagem e prototipagem de sólidos geométricos. Nesta categoria, focaremos exclusivamente na discussão sobre a modelagem, enquanto os detalhes sobre a prototipagem serão abordados na categoria 3.

5.1.1 Prática 1: Conhecendo o Tinkercad

Após instruirmos a turma sobre o registro no Tinkercad, sugerimos uma abordagem de exploração livre da interface, pois o *software* despertou a curiosidade e entusiasmo dos estudantes. Estratégia que mostrou fomentar a autonomia e a colaboração, uma vez que os alunos não apenas interagiam entre si, mas também procuravam ativamente conhecimento, discutindo e questionando a professora sobre diversas funcionalidades.

Em seguida, foram desafiados a concluírem três tutoriais disponíveis no “centro de aprendizagem” do Tinkercad: "Introdução às Formas", "Movendo Formas" e "Formas Giratórias" (a Figura 25 apresenta registros fotográficos desse momento de exploração dos tutoriais).

Figura 25: Exploração dos tutoriais do Tinkercad.

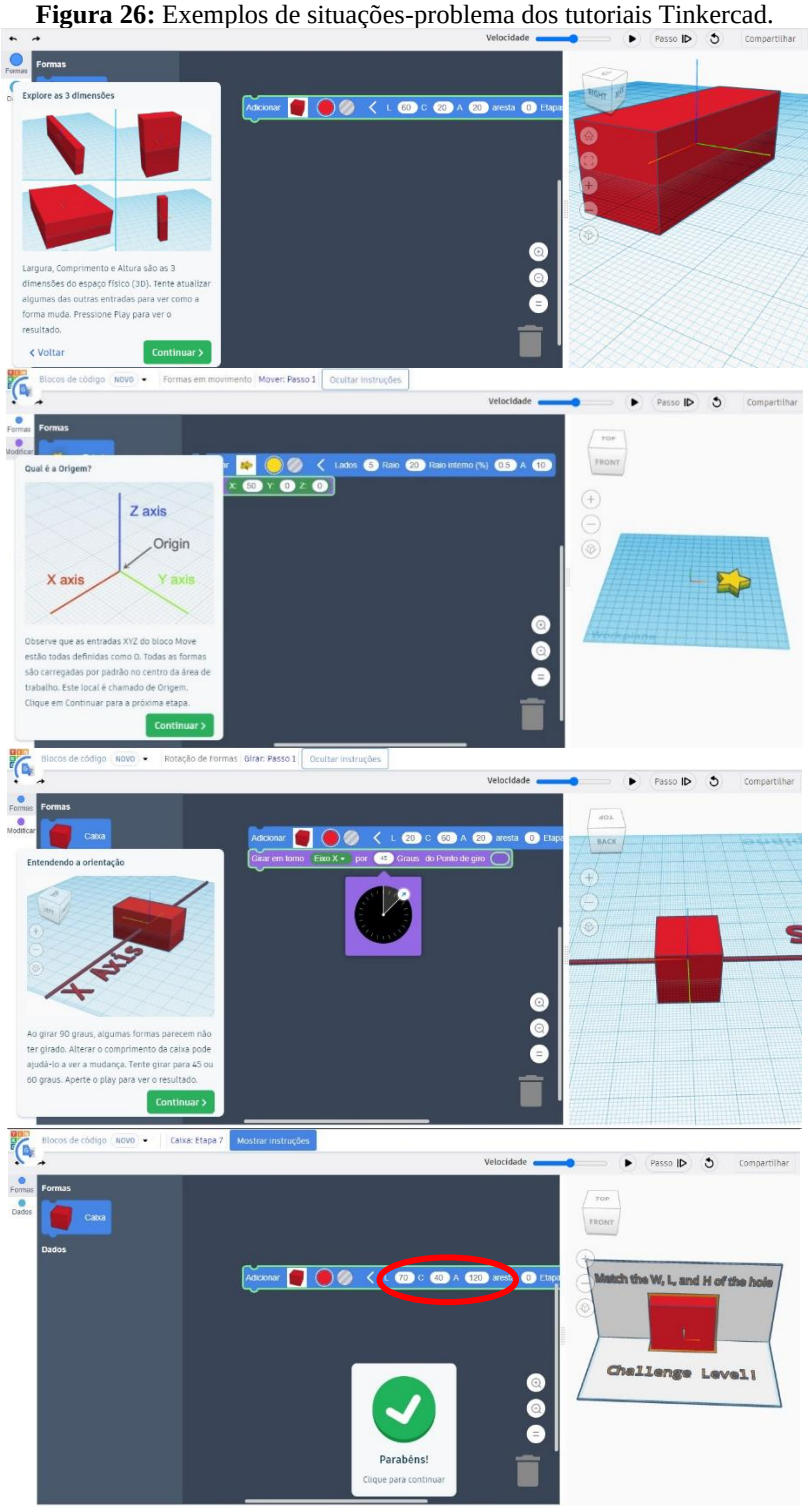


Fonte: Acervo pessoal da pesquisadora (2023).

Os tutoriais são estruturados como uma sequência de problemas com dificuldade ascendente, conforme exemplificado na Figura 26. Após a conclusão de cada desafio do tutorial, um *feedback* é fornecido na tela, para sinalizar que não houve sucesso ou para parabenizar.

Esses três tutoriais foram escolhidos porque cada um aborda aspectos fundamentais para a utilização das formas no *software*. Incluem instruções sobre a manipulação de blocos de código (ações como mover, redimensionar etc.), apresentação do plano de trabalho, navegação no espaço tridimensional (eixos X, Y, Z), compreensão das dimensões dos sólidos geométricos (altura, comprimento e largura), perspectiva, movimento das formas no plano cartesiano e rotação nos três eixos.

Figura 26: Exemplos de situações-problema dos tutoriais Tinkercad.



Fonte: Tinkercad (2023).

Nesta atividade do tutorial, a tecnologia foi empregada de maneira instrucional, uma vez que o *software* já apresentava uma sequência predefinida, demandando que os alunos lessem e solucionassem as situações-problema propostas. Para estimular uma reflexão acerca da temática, utilizamos questionamentos que instigavam a discussão e a reflexão por parte dos alunos. Por exemplo, sobre o significado das letras L, C e A presentes no bloco, questionou-se

os alunos para avaliar se as haviam associado à largura, ao comprimento e à altura, respectivamente.

Sendo assim, a atividade prática, realizada sem uma conceituação prévia, despertou a necessidade de conhecimento nos estudantes. Durante a atividade prática, introduzimos conceitos-chave, utilizamos perguntas direcionadas para estimular a reflexão dos alunos e conduzimos questões que os orientavam a relacionar o significado dessas letras com a representação 3D (tridimensional) e os eixos X, Z e Y. Como resultado, foi possível observar a animação dos estudantes, pois, apesar de a atividade ser individual, eles se envolviam em uma saudável competição, ao mesmo tempo em que colaboravam mutuamente na resolução dos problemas (impressões registradas no diário de campo da pesquisadora).

5.1.2 Prática 2: Modelando canecas personalizadas

Na prática 2 a proposta foi utilizar o Tinkercad para modelar um artefato destinado à prototipação. Nesse contexto, um dos estudantes sugeriu a criação de um copo, e a turma concordou com a ideia.

> Professora: Pessoal, para a próxima prática eu pensei que podemos modelar algo do interesse de vocês. O que acham?
> A9: Legal, profe!
> A12: Dá para fazer um copo Stanley, profe?
> Professora: Bom, dá para fazer um copo e colocar o nome de vocês, o que acham?
> A12: Eu quero.
> A03: Ah, eu também!

Segundo Resnick (2020, p. 63), “investir em interesses sempre gera o melhor conhecimento”, então a nossa estratégia foi envolver os estudantes, trazendo à tona o interesse deles para garantir um maior engajamento. Resnick (2020) destaca a paixão como um dos quatro Ps da criatividade, então utilizamos essa abordagem para incentivar a participação ativa dos alunos no projeto de modelagem.

A modelagem no Tinkercad ocorre por meio da adição ou subtração de poliedros a partir das “Formas básicas”, o que proporciona formar geometrias complexas, ou por meio do uso de outras formas disponíveis na biblioteca do *software*. No processo de adição, as figuras são combinadas para criar formas novas, enquanto na subtração uma forma atua como um “orifício” (quando a forma geométrica está transparente, serve para “furar” outras formas), para fazer recortes que resultam em novas formas (ver Figura 27).

Figura 27: Algumas formas disponíveis na biblioteca de formas do Tinkercad.

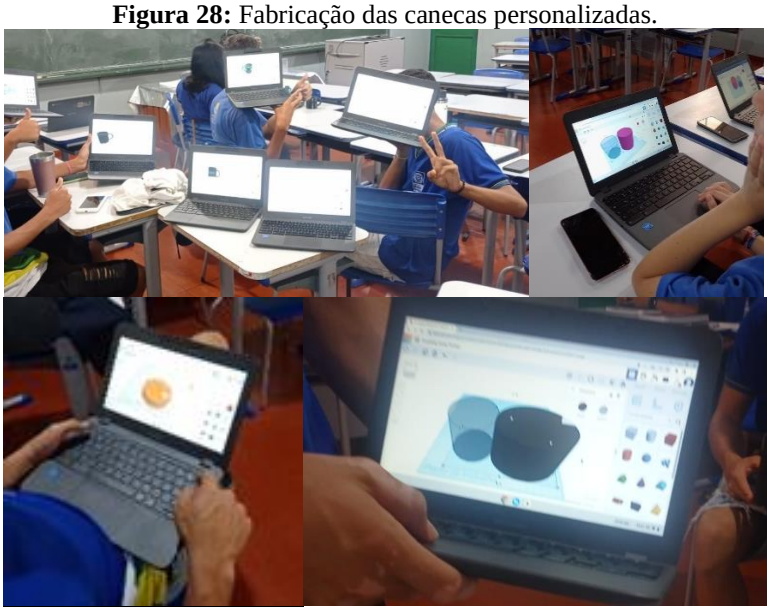


Fonte: Tinkercad (2023).

Com base na instrução anterior, adotamos como estratégia orientar cada estudante a modelar sua própria caneca e, para personalizá-la, utilizar o próprio nome no *design*. Durante o processo, estimulou-se a participação da turma por meio de perguntas orais, como: “Qual das formas básicas se assemelha a um copo? Puxe a forma que você acha que parece com o copo e coloque no plano de trabalho. Quais são as dimensões do copo para uma impressão adequada? E, agora, qual seria o próximo passo? Que forma poderia ser usada para criar a boca do copo? E para adicionar o nome? Qual forma seria apropriada para a alça da caneca?”

Essa abordagem interativa promoveu a criatividade individual dos estudantes e a colaboração e cooperação entre pares (veja-se a Figura 28). Também estimulou a reflexão sobre as escolhas de *design* e a aplicação prática dos conceitos estudados durante a exploração no Tinkercad.

Figura 28: Fabricação das canecas personalizadas.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Todos os alunos utilizaram um cilindro para moldar o “corpo” da caneca e um “cilindro orifício” alguns milímetros menor, para criar a abertura. Nessa parte do primeiro recorte, o A11 não se deu conta em relação à altura do “cilindro orifício”, colocou-o com a mesma altura do corpo da caneca, o que resultou na forma sem fundo. Porém, como o objeto que ele estava modelando (o copo) era familiar à sua estrutura cognitiva, ele identificou o problema rapidamente e conseguiu solucionar.

Para inserir o nome (texto) na caneca, os estudantes tiveram dificuldade, pois, para adequar o texto à curvatura cilíndrica da caneca, eram necessárias operações de união e intersecção com poliedros que não conheciam, então a professora interveio. Resnick (2020) ressalta que as tecnologias não substituem o professor e que, por mais que a criança ou adolescente possa aprender sozinho ou com os pares, sempre será necessário um tutor com mais experiência.

Para realizar o recorte do texto, foram utilizadas as formas “caixa orifício” e “cilindro orifício”. Em seguida, passou-se à etapa de criação da alça da caneca, e identificou-se que a forma que mais se assemelha a essa parte da caneca no *software* é a “tórulo”, conclusão obtida por meio de diálogo com os alunos. Após a intervenção da professora, por meio do diálogo, buscou-se novamente promover a autonomia dos estudantes. Um exemplo disso é o diálogo a seguir, extraído de uma gravação de aula:

> Professora: Já que fizemos juntos o recorte do texto, por meio do agrupamento de sólidos, como podemos fazer agora para que o toro fique no formato do cabo da caneca?
> A13: Uai, professora, se a senhora não sabe, como vamos saber?! (risadas)
> Professora: Eu sei, mas eu quero que vocês pensem um pouco; como poderíamos fazer isso?
> A13: Juntar figuras?
> Professora: Ótimo, quais?
> A13: Não sei... A caixa?
> Professora: Pode ser, tenta no *software*.

No diálogo apresentado, observa-se uma cultura em que se espera que o professor seja o detentor do conhecimento, enquanto os estudantes assumem uma postura passiva na aprendizagem. No entanto, quando são propostas abordagens que desafiam esse padrão, inicialmente eles podem se surpreender, como evidenciado pelas risadas no diálogo. Entretanto, quando o professor explica a importância de desenvolver o pensamento crítico e as habilidades de resolução de problemas, os estudantes começam a compreender que, para alcançar esses objetivos, precisam se tornar protagonistas do próprio processo de aprendizagem.

Assim, prosseguiram com o desafio de modelar a alça da caneca com a utilização da forma conhecida como toro. Realizaram o recorte com uma "caixa orifício", fizeram rotações e movimentos para alinhar corretamente a altura da alça com o corpo da caneca, antes de agruparem os elementos. Por fim, agruparam as partes da caneca, chegando à conclusão da modelagem da caneca personalizada.

Durante a roda de conversa de finalização do curso Geo3DPrint, os estudantes relataram suas experiências sobre a fabricação das canecas:

> A02: A experiência foi boa, nós fizemos GIF, as canecas, e os prismas.
> A02: Ah, foi bem difícil. **Quando fui fazer a caneca, foi muito difícil**.
> Coordenadora: Vocês começaram pela caneca, né?
> A02: Isso. Só que aí **depois foi pegando prática, depois da primeira aula foi de boa. A professora ajudando** também.
> Pesquisadora: Eu achei que você teve bastante facilidade para fazer a caneca, eu pensei...
> A02: É que eu gosto de mexer em computador.
> A06: **Na caneca eu já tinha quase desistido, quando foi fazer as formas geométricas então... aí que eu vi que era complicado (**risos**).**
> A03: É, **eu achei as formas geométricas um pouco mais difícil do que a caneca**.
> A15: Sendo sincero, eu não tive nenhum um tipo de dificuldade.
> Risos da turma
> A15: Pergunta para a professora aí.
> Pesquisadora: É verdade.
> Coordenadora: Por que vocês acharam mais difíceis as figuras?
> A03: Eu penso assim, **a caneca tinha que calcular também**, só que aí nas formas geométricas tem que ter os dados, número de X, os eixos. Essas coisas aí, aí tem que virar 360 graus. Na caneca não precisou fazer isso. A caneca não precisa se mexer se for ver... (discussão ao fundo sobre os eixos). Você faz ela, vai colocando as coisas, montando, guardando. Agora as figuras, elas têm que se mexer, para virar um cone.
> A15: Já eu achei mais fácil fazer essas figuras aí**.**
> A02: **A caneca pra mim o mais difícil foi só o nome, o nome pra mim foi complicado.**
> A03: **Ah, verdade.**
> A11: Eu consegui fazer para os geminhos, eles não conseguiram.
> Pesquisadora: Você lembra qual você fez?
> A11: Foi aquele lá (aponta para o GIF do prisma quadrangular no *slide*).
> A06: **Gente, ninguém falou das alças da caneca, né?!** Misericórdia.
> A03: Ah, verdade. **A minha ficou fininha**.
> A06: **A minha ficou bem grossa, mas ficou até bonita, ficou brilhoso**.
> A12: **Tinha que girar 90 graus**.
> A06: É, e **recortar**.
> A15: **Ah, pra mim a alça foi de boa**. O meu deu certinho, graças a Deus.

Nesse diálogo, os estudantes apresentam as suas individualidades, dificuldades e como o processo foi interativo. O relato dá indícios de que o *software* exige conhecimentos matemáticos como: ângulos, rotação, espaço tridimensional, recorte e estimativa de diâmetro.

Para os estudantes que apresentaram muita dificuldade na modelagem e estavam desmotivados, elaboramos uma videoaula pelo YouTube[30].

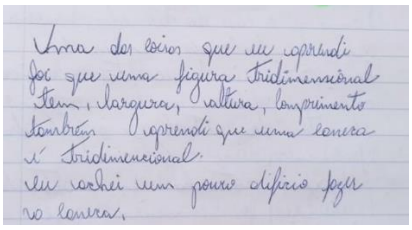
[30] Disponível em: https://youtu.be/a_muRBg-uoQ?si=Y4knNPUqCdzpYohz.

Ao final do curso, foram analisados os diários de campo dos estudantes e um questionário final *online* para avaliação do curso e autoavaliação. Neste questionário, quando perguntados: “Qual a relação da fabricação da caneca com a matemática? Explique da melhor forma que conseguir, expondo os conteúdos que lembrar, por exemplo, o nome das figuras geométricas que utilizou para fazer a caneca.” – as respostas foram:

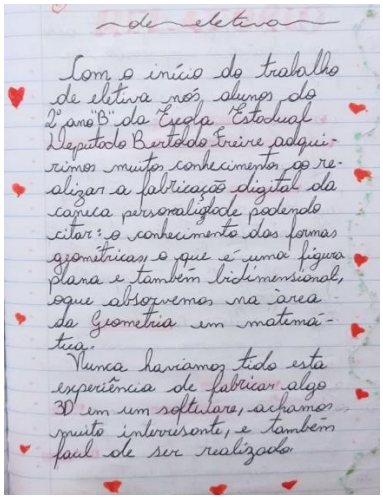
> A02: **Cilindro**, mas pra mim foi fácil fazer a caneca.
> A10: Cubo.
> A09: Nós utilizamos a forma **geometrica cilindros** e usamos tbm os **y x z, calculamos a altura e a base**
> A03: Por causa do **diâmetro**, e das formas como **cilindro**.
> A06: **Bom, aprendemos sobre figuras espaciais, utilizamos o cilindro, por exemplo, para formar a caneca.** Quando fizemos os corpos redondos, utilizamos o triângulo para fazer o cone, para a fabricação da esfera utilizamos círculos, para fazer o cilindro utilizamos o retângulo.
> A12: Os **ângulos** de graus diferentes, **cilindro**.
> A17: Para fazer a caneca nós utilizamos os **cilindros**.

Infere-se que os estudantes conseguiram associar o sólido a uma forma do cotidiano e o processo de fabricação ajudou a fixar esses conhecimentos. Na Figura 29, podemos ler relatos sobre esse processo.

Figura 29: Relatos escritos sobre o processo de modelagem da caneca personalizada.



Fonte: Diário de campo grupo 2 (2023).



Fonte: Diário de campo grupo 5 (2023).

No relatório escrito no diário de campo de dois grupos de estudantes, fica evidente que eles associaram a caneca a uma figura tridimensional e compreenderam a distinção entre figuras planas (bidimensionais) e formas espaciais. Além disso, eles entenderam que as dimensões de um objeto tridimensional são largura, altura e comprimento, e reconheceram que toda essa discussão está dentro do campo da matemática conhecido como geometria. É

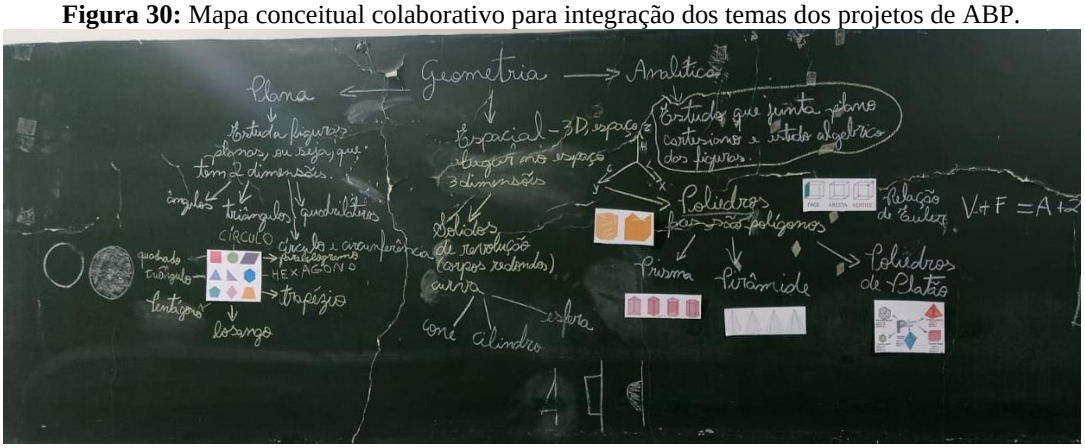
interessante notar que, enquanto o grupo 2 encontrou dificuldades na fabricação, o grupo 5 achou fácil e interessante, mesmo nunca tendo trabalhado com modelagem 3D em um *software* anteriormente.

5.1.3 Prática 3: Modelando poliedros

Para a realização da prática 3, os estudantes foram organizados em cinco grupos e cada grupo recebeu um tema ligado à geometria espacial, de modo que tinham de prototipar pelo menos dois sólidos geométricos. A saber, os grupos ficaram definidos: G1 – Poliedros convexos e não convexos; G2 – Poliedros de Platão; G3 – Prismas; G4 – Pirâmides; G5 – Sólidos de revolução ou corpos redondos.

Utilizamos, nessa prática, a abordagem de ABP, em que primeiro eles pesquisaram sobre as temáticas, e depois foi discutido e construído um mapa mental colaborativo (conforme a Figura 30), para que investigassem a geometria como um todo coeso, em que os conceitos mais específicos se inserem em categorias mais amplas. Além disso, os alunos foram encorajados a estabelecer conexões entre os diferentes temas, promovendo uma compreensão integrada e contextualizada da geometria.

Figura 30: Mapa conceitual colaborativo para integração dos temas dos projetos de ABP.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Esse mapa conceitual visou conectar os temas de maneira que fosse possível obter uma visão integrada dos assuntos abordados por cada grupo. Pois, de acordo com Ausubel, é mais fácil para quem aprende captar partes de um todo, se já tem ideia do todo. Acredita-se que essa atividade fortaleceu a compreensão dos alunos sobre os temas individuais, porque eles puderam vivenciar a aprendizagem subordinada em ação.

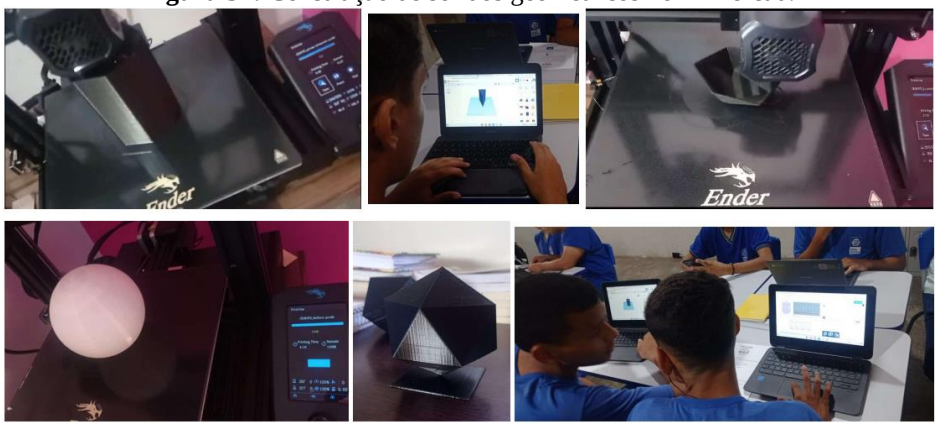
Nesse contexto, uma nova ideia ou conceito se subordina a ideias preexistentes mais gerais e abrangentes. Ao conectarem os conceitos específicos da geometria, como prismas,

pirâmides e poliedros, aos conceitos mais amplos da geometria plana, os alunos foram capazes de assimilar o novo material como exemplos específicos de conceitos previamente estabelecidos em suas mentes.

Isso permitiu que eles percebessem como os diferentes temas da geometria se relacionam e se encaixam em uma estrutura conceitual maior, facilitando a compreensão e a aplicação desses conceitos em diversas situações. E puderam também discutir a diferença entre geometria plana e espacial.

Após pesquisarem e conectarem a conhecimentos prévios, foi o momento da terceira prática de modelagem, que foi a modelagem dos sólidos atribuídos a cada grupo. Devido a já terem utilizado o *software*, tiveram bastante facilidade nesta etapa, até mesmo porque algumas formas já estão prontas no *software* (desenvolvimento da prática, Figura 31).

Figura 31: Construção de sólidos geométricos no Tinkercad.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

O G2, que ficou com a temática poliedros de Platão, apresentou dificuldade, pois encontrou apenas o tetraedro regular, o hexaedro regular e icosaedro regular prontos nas "formas básicas" do Tinkercad. Dessa forma, o octaedro e o dodecaedro deveriam ser criados pelo grupo. A professora sugeriu que eles fizessem por meio da junção de outros sólidos. Ficaram com dúvidas de como começar, mas decidiram começar pelo octaedro, que pensaram ser mais fácil, assim a professora interveio, como demonstra o diálogo abaixo:

> Professora: Quantas faces, arestas e vértices tem esse sólido?
> G2: *Olharam na pesquisa que tinham realizado e responderam:* 8 faces, 6 vértices e 12 arestas.
> Professora: Ok, tem essa forma pronta no *software*?
> G2: Não.
> Professora: Então, se for agrupar figuras, quais vocês utilizariam para formar este sólido?
> G2: Que tal a pirâmide, professora?!
> Professora: Ótimo, tentem.
> Após colocarem as pirâmides no plano de trabalho, a professora, que está

observando, questiona: Então, agora o que precisa ser feito?
G2: Girar para encontrar as duas bases.
Professora: Isso mesmo, feito isso é só agrupar e está pronto o octaedro!

Assim, com a interação e direcionamento de alguém mais experiente, conseguiram concluir o projeto. O grupo só não modelou o dodecaedro, pois esse sólido eles acharam mais fácil por meio da programação – esse processo de criação será descrito na categoria 2.

A posteriori descobriu-se que os poliedros de Platão não encontrados nas "Formas Básicas" estão disponíveis no item "Iniciantes do projeto" da biblioteca de formas do Tinkercad (Figura 32).

Figura 32: Sólidos de Platão disponíveis na biblioteca de formas.



Fonte: Tinkercad (2023).

Após finalizada a prática, todos os grupos baixaram os poliedros em formato .STL e os enviaram para a professora. Devido ao tempo, ela que executou o fatiamento dos sólidos e enviou para o cartão de memória da impressora 3D, para posterior prototipagem.

Essa prática com aplicação de várias etapas da ABP proporcionou aos estudantes momentos de aprender a aprender e aprender a fazer.

5.1.4 Tensões e compromissos: modelagem no Tinkercad

Os tutoriais "Introdução às Formas", "Movendo Formas" e "Formas Giratórias" do Tinkercad, explorados pelos estudantes, apresentam uma progressão de dificuldade, e oferecem *feedback* quando os usuários atingem os objetivos propostos. Contudo, existe uma ausência de *feedback* quanto aos erros, o que dificulta para um iniciante sem acompanhamento identificar o equívoco, o que pode desmotivá-lo.

Além disso, nesses tutoriais do "Centro de Aprendizagem", a falta de salvamento do progresso percebida pelos estudantes contribui para a desmotivação na conclusão dos tutoriais, o que aconteceu com boa parte dos alunos do curso Geo3DPrint, pois na aula

sequencial não tinham como começar de onde pararam, mas sim iniciarem os tutoriais novamente.

Outro desafio relacionado aos tutoriais foi a apresentação dos problemas em língua inglesa, sem a opção de tradução nos *chromebooks* disponíveis na escola. Entretanto, essa situação pode ser uma oportunidade para um trabalho interdisciplinar.

Um obstáculo adicional refere-se ao uso do *touch* dos *chromebooks*. Durante as práticas, alguns estudantes apresentaram dificuldade de modelar as formas na opção "Projetos 3D", argumentando não ter costume no uso do *touch*, pois não possuem em casa. O desafio foi observado principalmente nos momentos de rotacionar formas, mudar as dimensões e movê-las no plano sem alterar seu formato.

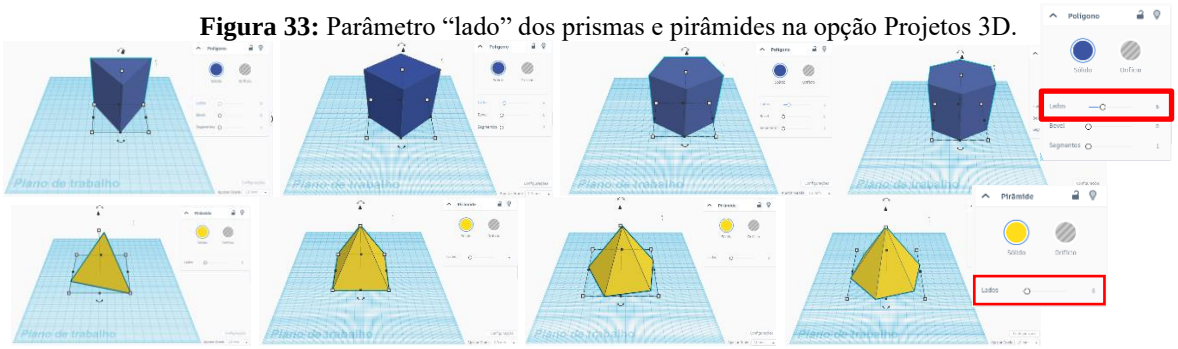
Em relação aos aspectos técnicos do *software*, um desafio encontrado foi a falta de portabilidade para *smartphone*, ou seja, não tem como construir projetos ou *design* no Tinkercad pelo *smartphone*. Isso limitou que os estudantes seguissem seu trabalho em momentos no contraturno ou em casa, pois os *chromebooks* da escola têm horário marcado. Outro fator limitador relacionado ao aspecto técnico do Tinkercad é sua disponibilidade somente *online*, pois, em caso de queda de sinal de internet ou escola sem acesso à mesma, não há possibilidade de uso do recurso.

No estado de Mato Grosso, o acesso à internet e recursos tecnológicos como kits de robótica e *chromebooks* na escola já é um compromisso e está sendo implementado pelo Programa EducAção 10 anos, em que um dos pilares é Tecnologia e Educação. Mas, para solução do problema, em escolas que não tenham acesso, talvez fique o compromisso de atualização do *software* com uma versão para *desktop offline*.

Encaramos como um compromisso nosso deixar direcionamentos e sugestões sobre o uso do Tinkercad. O recurso "Projetos 3D" pode ser utilizado com estudantes dos anos iniciais e finais do Fundamental, para reconhecimento das formas, vista em perspectiva e exploração e exemplificação das características dos sólidos geométricos.

Por exemplo, é possível fazer uma atividade em que os estudantes devam alterar o parâmetro “lado” dos prismas e pirâmides (ver Figura 33) e, a partir dessa exploração, discutir com eles qual polígono constitui as faces laterais dos sólidos, o que são vértices e arestas e a nomenclatura do polígono da base. Bem como a distinção entre prismas e pirâmides, em que os prismas apresentam duas bases paralelas e as pirâmides uma base, e a semelhança que é a relação dos polígonos da base com a nomenclatura dos sólidos.

Figura 33: Parâmetro “lado” dos prismas e pirâmides na opção Projetos 3D.



Fonte: Tinkercad (2023).

Os estudantes do Ensino Médio têm a oportunidade de ir além, utilizando os sólidos básicos disponíveis no *software* para criar artefatos que abordem problemas reais ou estejam relacionados ao seu cotidiano. Os poliedros pré-configurados oferecem conhecimentos limitados, pois focam apenas nos elementos e características dos sólidos.

Portanto, é interessante propor abordagens mais desafiadoras e contextualizadas, que permitam aos estudantes aprofundar seus conhecimentos básicos e aplicá-los em situações do mundo real, proporcionando uma progressão nos níveis de conhecimento espacial e geométrico, como no exemplo da Prática 3, de modelagem da caneca personalizada.

5.2 Categoria 2 (C2): Programação no Tinkercad como estratégia de ensino de geometria espacial

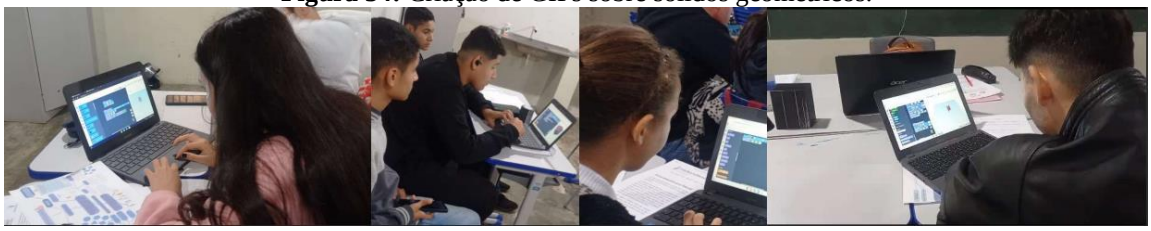
Nessa categoria, serão apresentadas e discutidas ações com o uso de programação no Tinkercad. Os estudantes, organizados em cinco grupos, enfrentaram o desafio de criar um GIF (animação) de um sólido geométrico relacionado à temática do grupo, com a utilização do "Bloco de códigos" do Tinkercad.

A programação foi utilizada como uma estratégia de ensino porque nos baseamos em Resnick (2020), que entende a programação como uma forma de fluência e expressão. A linguagem de programação presente no *software* é chamada de programação em blocos ou visual, cuja principal função é arrastar e soltar (em inglês: *drag-and-drop*) os blocos, de forma lógica, para que a máquina execute a ação.

Durante a programação, foi possível observar quais conhecimentos e conceitos tinham sido aprendidos e em quais ainda apresentavam dificuldade sobre os sólidos que iriam animar. Pois, para fazer o GIF com o uso da programação visual, era necessário ter um bom conhecimento sobre o artefato a ser animado. Ao aprender a programar, desenvolve-se também habilidades que aprimoram a capacidade de resolver problemas complexos de

maneira mais eficiente. Alguns registros fotográficos desse momento são representados na Figura 34.

Figura 34: Criação de GIFs sobre sólidos geométricos.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

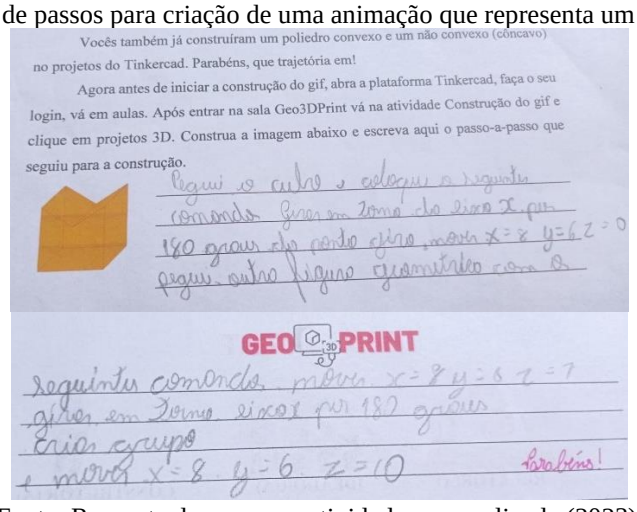
Nesse momento de construção, os estudantes trabalharam em equipe, sempre colaborando dentro do próprio grupo e com outros grupos, quando faziam descobertas ou apresentavam dúvidas sobre algo que viam que outro grupo havia conseguido executar.

Para realizar a construção, os alunos precisaram ter compreensão dos conceitos dos sólidos que iriam representar, além de habilidades em programação em blocos e uma compreensão do espaço tridimensional. Nos próximos subtítulos é realizado um detalhamento da elaboração da animação de cada um dos cinco grupos.

5.2.1 Grupo 1: GIF Poliedro Convexo e Não Convexo

A atividade atribuída ao **Grupo 1** foi criar uma animação que representasse um poliedro não convexo. Para dar um suporte nesse momento, a professora utilizou uma *webquest* personalizada (Apêndice B), por grupo. Na Figura 35 é apresentada a descrição do grupo em relação à criação do GIF sobre poliedro não convexo.

Figura 35: Sequência de passos para criação de uma animação que representa um poliedro não convexo.



Fonte: Resposta do grupo na atividade personalizada (2023).

O A15, integrante do grupo, utilizou formas como cubo e prisma triangular – intitulado “telhado” no *software* –, além de ações como rotação, movimento no plano tridimensional e agrupamento. Só se esqueceu de descrever no algoritmo que, para fazer a abertura no cubo, teve que colocar a forma telhado como orifício (transparente), e após fazer o agrupamento. Para tornar a ilustração mais informativa, o estudante adicionou um cubo, zerou a largura e a altura, deixando apenas o comprimento, para representar uma reta. Por fim, adicionou um texto nomeando que esse poliedro era não convexo.

No *print* (Figura 36) tirado da tela, é possível ver, respectivamente, a programação da animação, o artefato animado e o QR Code colocado pela pesquisadora para que os leitores acessem o GIF criado pelo grupo.

Figura 36: *Print* da programação da animação, poliedro não convexo e QR Code para visualizar a animação.



Fonte: Bloco de Código Tinkercad (2023).

Nessa programação, os alunos utilizaram noção espacial, rotação, movimento no plano tridimensional e agrupamento. Além de darem indícios de terem entendido o conceito de poliedro não convexo, usaram também a reta, que é um elemento da geometria plana. Apresentaram raciocínio lógico, bem como reconhecimento de padrão, pois, como já tinham realizado algumas aulas com programação visual na escola, rapidamente entenderam o que tinha que ser feito. Em apenas duas aulas eles executaram o desafio.

O grupo ainda foi além do desafio e realizou a programação do poliedro convexo, conforme exposto na Figura 37.

Figura 37: *Print* da programação, poliedro convexo e QR Code para visualização do GIF.



Fonte: Bloco de Código Tinkercad (2023).

Na Figura 37 há um QR Code para visualizar o resultado do GIF criado pelo grupo.

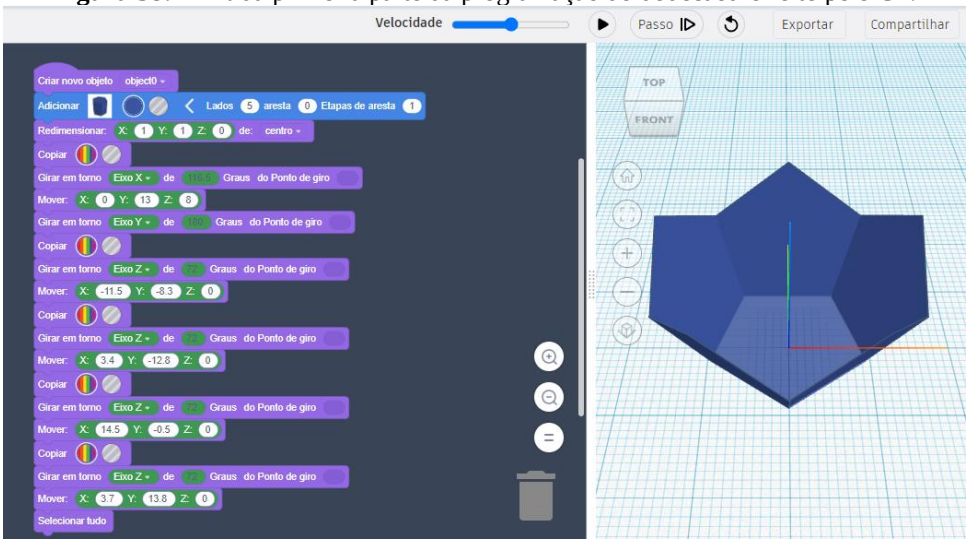
5.2.2 Grupo 2: GIF Dodecaedro

Como o **Grupo 2** não havia encontrado nem modelado o dodecaedro, ficou para eles o desafio de criar um GIF desse sólido geométrico regular. Durante a construção do sólido, a pesquisadora observou que os alunos demonstraram compreensão das características dos poliedros, incluindo o fato de que as faces de um poliedro são formadas por polígonos, que são figuras planas.

Os estudantes utilizaram a estratégia de pegar um prisma pentagonal e redimensionar o eixo Z como 0 (zero), para formar a base do dodecaedro. Eles sabiam que todas as faces do sólido eram pentágonos, então copiaram o polígono, mas o próximo passo não era óbvio. Após muita discussão, eles entenderam que deveriam girar o polígono e, por meio de tentativa e erro, testaram em qual eixo girar e quantos graus girar.

Para construir os outros quatro lados, eles copiaram o polígono e giraram 72 graus em torno do eixo Z, movendo-o nos eixos X e Y, de forma a alinhar-se com cada aresta do polígono da base. Essa programação pode ser visualizada na captura de tela apresentada Figura 38.

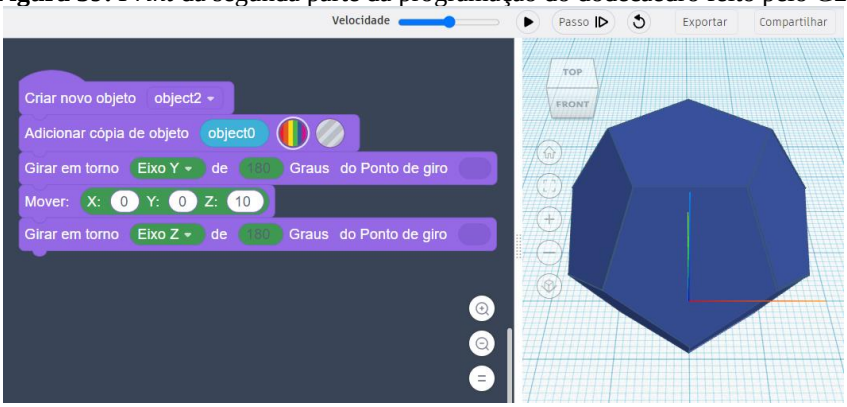
Figura 38: *Print* da primeira parte da programação do dodecaedro feito pelo G2.



Fonte: Bloco de Código Tinkercad (2023).

Em seguida, para finalizar a construção do sólido, o grupo decidiu “criar novo objeto”, copiar o objeto que tinha feito e girar 180 graus no eixo X, como apresentado na Figura 39.

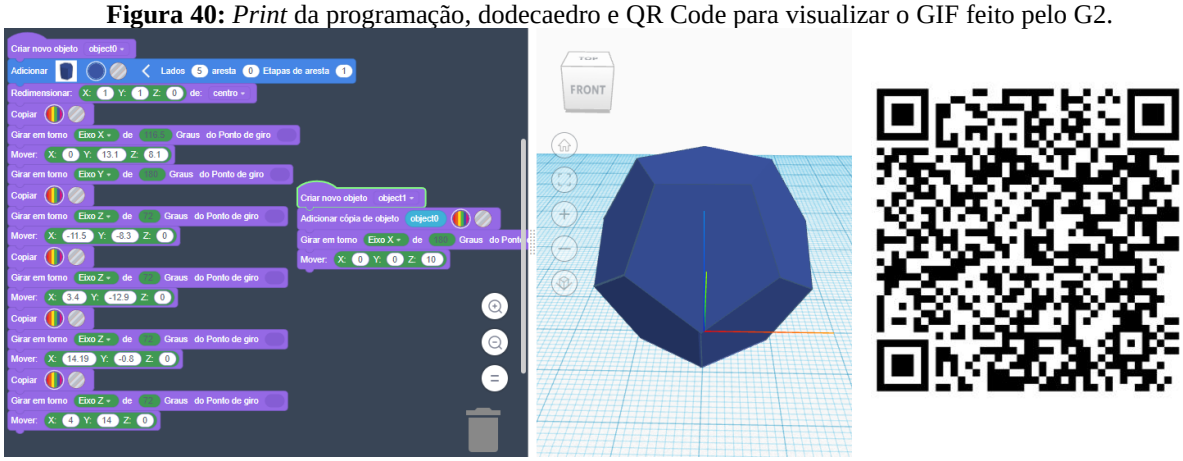
Figura 39: *Print* da segunda parte da programação do dodecaedro feito pelo G2.



Fonte: Bloco de Código Tinkercad (2023).

Na Figura 40 é exposta a captura de tela apresentada da programação completa do sólido, bem como o sólido e um QR Code adicionado pela pesquisadora, para o leitor visualizar o GIF criado pelo Grupo 2.

Figura 40: *Print* da programação, dodecaedro e QR Code para visualizar o GIF feito pelo G2.



Fonte: Bloco de Código Tinkercad (2023).

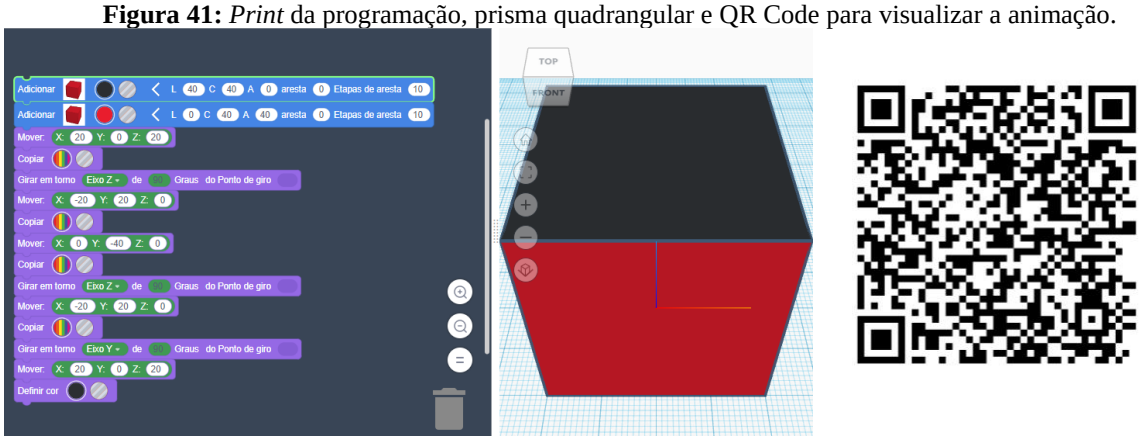
Esse sólido é uma construção mais complexa, exigiu muita persistência, trabalho em equipe, e uso de blocos de códigos que ainda não haviam sido utilizados pela turma, como o bloco Redimensionar e Copiar. Além das aprendizagens geométricas, espaciais e de programação, é possível citar a resolução de problemas por meio de projetos.

5.2.3 Grupo 3: GIF Prisma

O desafio do **Grupo 3** foi o de programar o GIF de um prisma quadrangular. Apesar de já ter um bloco de programação com o objeto cubo, ele não podia apenas utilizá-lo, pois a animação seria o prisma entrando no plano de trabalho, e não a animação do sólido se formando, como os demais grupos fizeram.

Já que as faces de um poliedro são polígonos, os estudantes do grupo tomaram a altura do cubo como 0 (zero), assim, obtiveram um quadrado para a base. Depois, adicionaram outro cubo e zeraram a largura, obtendo uma face lateral. Em seguida, apenas copiaram, giraram e moveram as outras três faces, para se alinharem às arestas da face. Por fim, fizeram a base superior. A programação é exibida na Figura 41, que mostra também o artefato programado e um QR Code adicionado pela pesquisadora, para que o leitor possa visualizar o GIF.

Figura 41: *Print* da programação, prisma quadrangular e QR Code para visualizar a animação.



Fonte: Bloco de Código Tinkercad (2023).

A pesquisadora entendeu que os estudantes entenderam o que é prisma com a prática, pois entenderam os elementos, diferenciaram figuras planas e formas espaciais, e ainda identificaram o cubo como um prisma.

Na roda de conversa, o grupo conta como foi a experiência da programação e da modelagem dos sólidos, que expõem fisicamente:

> A07: **O prisma é um sólido geométrico que possui duas bases congruentes, formadas por polígonos e faces laterais formadas por paralelogramos**.
> A08: O prisma é um polígono... poliedro... (Todos riem)
> Pesquisadora: Mostra ali quais são (poliedros impressos).
> A03: Mostra quais que são.
> Coordenadora: Vai passando o que vocês construíam.
> A02: **Esse é o pentagonal**.
> Pesquisadora: Por que ele é o pentagonal? Explica.
> A03: Por quê?
> A02: Por causa das faces e das arestras. **Tem que contar aqui para saber. (Mostra as bases do sólido construído**, de forma tímida) (Todos riem)
> Coordenadora: Aí é só olhar na base para saber?
> A02: **Isso, depende da base.** (Mostra outra forma) Octogonal. (Passa para que todos toquem).
> Coordenadora: Esse é octogonal? (Conversas ao fundo e cochicho)
> A02: Esse é quadrangular. (Ao fundo, observa as bases)

Nesse diálogo, infere-se que o grupo, por meio da reflexão e manuseio dos sólidos construídos, entendeu que a nomenclatura dos prismas está associada ao polígono da base, como nos trechos grifados. Nesse momento de reflexão, a professora poderia ainda ter explorado se os estudantes do grupo tinham entendido que o quadrado é um paralelogramo, pois eles iniciam a fala conceituando que as faces laterais do prisma são paralelogramos, porém, como mostrado na Figura 41, eles construíram um cubo, em que as faces laterais são quadradas.

5.2.4 Grupo 4: GIF Pirâmide

O **Grupo 4** teve como desafio representar uma pirâmide quadrangular. Ao iniciar a programação, o grupo ficou um pouco confuso, então a professora fez perguntas que os ajudassem no processo:

> G4: Professora, o que temos que fazer?
> Professora: Bom, primeiro vocês têm que saber quais são as características de uma pirâmide quadrangular.
> G4: Como assim?
> Professora: Quantas bases ela possui? Qual o formato dessa base? Quantas faces laterais? Quais polígonos das faces laterais?
> Após refletirem sobre, conseguiram responder que a base era um polígono de quatro lados
> G4: É um quadrado, professora?
> Professora: Isso!
> G4: **As faces laterais são triângulos**.
> Professora: Isso mesmo!!!
> G4: Mas agora, para construir, não tem quadrado aqui.
> Professora: Mas tem alguma forma similar?
> G4: Tem o cubo.
> Professora: Ótimo, **o cubo tem 3 dimensões**, quais são mesmo?
> G4: **Largura, comprimento e altura**.
> Professora: Isso, e uma figura plana, como o **quadrado, tem quantas dimensões**?
> G4: Hummm, **largura e comprimento, não tem profundidade**.
> Professora: Ótimo, isso mesmo. **Então, o que pode ser feito para o cubo se tornar um quadrado?**
> G4: **Não sei... e se zerar uma dimensão?!**
> Professora: Tentem.
> Após zerarem o eixo Z, foi a vez do triângulo.
> G4: Professora, **não tem triângulo aqui**.
> Professora: Mas tem alguma figura parecida?
> G4: **Sim, a forma "telhado".**
> Professora: Ok.

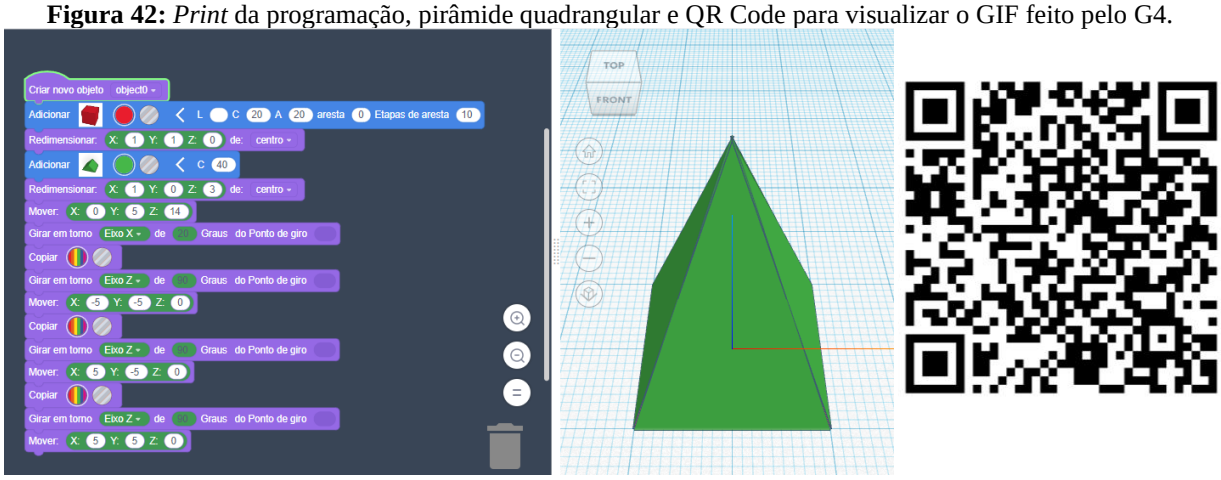
Esse diálogo, registrado no caderno de campo da pesquisadora no final da aula, demonstra a importância da interação aluno-aluno, aluno-professor e entre ambos com o objeto de conhecimento. A dificuldade inicial poderia fazê-los desistir da atividade, então, o papel da professora como facilitadora da aprendizagem foi essencial, pois, com perguntas que os levaram a reflexões, eles ganharam confiança para seguir o processo.

Em seguida eles continuaram os comandos, tiveram que zerar uma das dimensões da forma "telhado" e movimentar os triângulos nos eixos X e Y, para que ficasse cada um alinhado a uma aresta da base. Também fizeram a rotação de 90º no eixo Z.

A etapa mais desafiadora da construção desse GIF foi fazer as faces laterais se encontrarem em um único vértice. Para isso, tiveram que testar a inclinação das faces laterais e aumentar a altura, para que se encontrassem formando um vértice. O resultado da

programação pode ser visto na Figura 42, que apresenta também o artefato e um QR Code para visualização do GIF criado pelo G4.

Figura 42: *Print* da programação, pirâmide quadrangular e QR Code para visualizar o GIF feito pelo G4.



Fonte: Bloco de Código Tinkercad (2023).

Por meio da programação, os estudantes tiveram a oportunidade de desenvolverem habilidades geométricas e espaciais. Percebemos que, na programação, os estudantes tiveram que entender bem o objeto que iriam animar, pois explicar que figuras planas e espaciais são diferentes, por exemplo, é bem distinto de eles terem que aplicar esse conceito ao pegarem um sólido e zerarem uma de suas dimensões, para torná-lo bidimensional.

Ainda tiveram que movimentar as formas no espaço e girá-las. Na roda de conversa, o G4 expôs um pouco do que foi essa experiência para eles e algumas aprendizagens construídas com essa forma de ensino.

> A12: **Na prática, aprendemos a montar canecas e pirâmides com sólidos geométricos como cilindro e cubo.**
> Porque, **no começo de fazer os blocos lá, de montar, de colocar ela para rodar daquele jeito lá, ó** (aponta para o GIF da pirâmide quadrangular que está sendo exposto no *slide*). Ali **a gente tentava, colocava, tipo, uns 30 graus mais ou menos, e aí ela dava errado. Aí a gente batalhava, batalhava**, *eu até queria desistir, né, mas Marcela não deixou.*
> Risos da turma.
> A12: E aí, ahhh, sei lá, **foi uma experiência boa**. No começo eu achei que, tipo assim, quando a gente foi se inscrever lá no negócio para poder fazer o curso, que era só desenhar no *tablet* e ia aparecer lá, né. Aí, quando eu vi lá aquele negócio de códigos de blocos, sei lá mais o quê, falei "vixe, Maria!" E aí, ***mas depois a gente pegou o jeito da coisa*** *e aí conseguimos fazer as pirâmides e as canecas. O que deu mais trabalho foi as pirâmides, né.*
> A16: [...] Nós tivemos muita **dificuldade de fazer**. Tivemos começar fazer de novo do começo. Eu achei **muito difícil** por conta que (inaudível) lá no quadrilátero, eu achei muito difícil. Na hora que teve que começar fazer de novo, "Nossa Senhora", quase desisti na hora. **Mas, enfim, né, foi bom fazer, gostei.**
> A12: **É, pra gente é uma nova experiência, né, porque eu só via esses negócios de impressão 3D no YouTube. Eu nunca tinha visto pessoalmente. Mas depois que eu vi, achei legal.**
> A16: **Bem interessante.**
> Coordenadora: Que bom que vocês observaram, vocês estavam construindo e

> perceberam que, para você construir uma pirâmide, seja triangular, pentagonal... E aí vocês percebiam que cada uma das faces era o quê? Uma figura?
> A12: Triangular.
> Coordenadora: Plana, né?
> A12: É, plana! Uhum.
> Coordenadora: E que ao unir forma o sólido. (inaudível)
> Pesquisadora: É que nem o GIF lá (aponta para o GIF no *slide*), várias figuras planas. E, no *software*, tinham figuras planas?
> A12: Tinha.
> Pesquisadora: Tinha 3 dimensões, o que vocês fizeram para fazer a base? A base ali, como vocês fizeram?
> A12: **A base a gente pegou o cubo e aí tivemos que recortar.** Deixar ele... acho que era no x, né?!...
> Pesquisadora: Vocês lembram qual eixo era a altura?
> Alguns alunos: É x, né?
> Outros: É Y?
> E aí se lembram e falam com ênfase: Z!
> Pesquisadora: No Z, vocês fizeram o quê? Deixaram...
> A12: **Deixamos plano, a base**.
> Coordenadora: Aí, quando vocês falaram que tiveram dificuldade, vocês tentaram a primeira vez e o que não deu certo?
> A12: **Aqueles triângulos lá. Os lados. A gente tava colocando os números, aí, tipo assim, eles viravam de ponta-cabeça, virava do lado e aí a gente teve muita dificuldade.**
> A16: Aí nós fomos começar fazer tudo de novo, porque tinha feito errado.
> Coordenadora: Mas o que vocês perceberam que fizeram errado, que, se eu for querer fazer... Vocês perceberam o que vocês fizeram errado?
> A12: A gente teve que ajustar **os ângulos** (rotação).
> A16: Foi por conta do tamanho da base. (Falam ao mesmo tempo, inaudível)
> Coordenadora: Aí vocês tentaram mais uma vez e deu certo?
> A12: Deu.
> A16: Sim.
> A12: É, mas não foi na segunda, não! Foi na décima, décima primeira...

No trecho acima, extraído da roda de conversa, observa-se o que os estudantes pensaram a princípio sobre como seria o curso, demonstraram gostar da experiência de fabricação digital de artefatos, apesar de terem achado difícil, uma vez que sai do habitual. Também desenvolveram habilidades como resiliência e resolução de problemas, pois, como descreveram, tentaram muitas vezes até entenderem no que estavam errando.

Quando A12 diz “Aqueles triângulos lá. Os lados. A gente estava colocando os números, aí, tipo assim, eles viravam de ponta-cabeça, virava do lado e aí a gente teve muita dificuldade”, demonstra uma das dificuldades do pensamento espacial apresentadas por Bhaduri *et al.* (2021): a rotação mental. Ou seja, a capacidade mental de girar objetos 2D ou 3D para um determinado ângulo no sentido horário ou anti-horário. E talvez em uma metodologia tradicional essa habilidade não seria estimulada.

Nessa fala supracitada e no trecho: “É, mas não foi na segunda, não! Foi na décima, décima primeira...”, pode-se dizer que, para solucionarem o problema, os estudantes utilizaram uma abordagem de tentativa e erro, o que Pielsticker, Witzke e Vogler (2021)

consideram um desafio pedagógico, pois descrevem esse processo de raciocínio como um procedimento puramente empírico.

Consideramos essa uma oportunidade de aprendizagem, pois, segundo Moreira (2017, p. 97), o ser humano aprende corrigindo seus erros. Outro ponto é: será que por meio de evidências empíricas verificáveis não é possível aprender? Essa questão suscita reflexões sobre a interação entre a experiência prática e o processo de aprendizagem, e sobre como diferentes abordagens pedagógicas podem aproveitar essa relação.

5.2.5 Grupo 5: GIFs Sólidos de Revolução

O **Grupo 5** tinha como desafio mostrar que o cilindro é um sólido de revolução criado ao girar um retângulo em torno do eixo. No começo, o construtor do grupo (funções atribuídas na ABP) mostrou não ter entendido esse conceito, apenas colocou o cilindro e o fez girar. Então, questionou os integrantes do grupo sobre como se dava a construção do cilindro; eles pesquisaram novamente, perceberam que era por meio do giro de 360º do retângulo, então o novo problema era criar um retângulo no plano de trabalho, uma vez que o *software* fornece apenas formas 3D.

Neste momento, no ímpeto de ajudar, demos informações adicionais aos estudantes ao questionarmos: “Qual sólido que, se zerarmos uma das dimensões, pode se tornar um retângulo?” Essa forma de perguntar não é recomendada, pois já dá a resposta, tira do aluno a chance da descoberta. Poderíamos ter feito a pergunta de outra forma, por exemplo: “Qual sólido cuja representação se assemelha de alguma forma ao retângulo?”

Na sequência dos fatos, o construtor respondeu que era o cubo. Percebemos que já havíamos intervindo além do necessário, então, dissemos para ele tentar no *software*. Então, devido à escolha do cubo, que tem faces quadradas e não retangulares, ele zerou uma dimensão e colocou valores diferentes para a largura e o comprimento, obtendo um retângulo.

Outra problemática nessa construção foi a rotação, uma vez que os sólidos de revolução são formados pela rotação de 360º e o *software* só vai até 180º.

> Quando a professora questionou: Bom, e agora? 180º, o retângulo faz a volta completa?
> Prontamente o A9 respondeu: Não, professora, faz metade.
> A professora seguiu com a intervenção: Ah, entendi. Então, nesse caso, como faz para fazer a volta completa, lembrando que temos ângulos que são complementares, suplementares e replementares?
> O Construtor respondeu com uma pergunta: Gira mais 180º?
> Por fim a professora disse: Tenta aí e veja.
> Construtor: Isso mesmo, deu certo!

A partir dessa situação, analisamos que, com a pesquisa e o projeto 3D – em que os sólidos de revolução vêm prontos –, o estudante não havia compreendido como realmente funcionavam esses sólidos, mas o processo de construção por meio da programação exigiu que ele desenvolvesse essa compreensão mais aprofundada. E ainda trabalhou rotação, diferença entre figuras planas e espaciais (estavam com muita dificuldade), e localização no plano tridimensional.

Na Figura 43, pode-se observar a programação e os três sólidos de revolução feitos pelo grupo, bem como o QR Code de cada um, adicionado para que o leitor visualize o GIF.

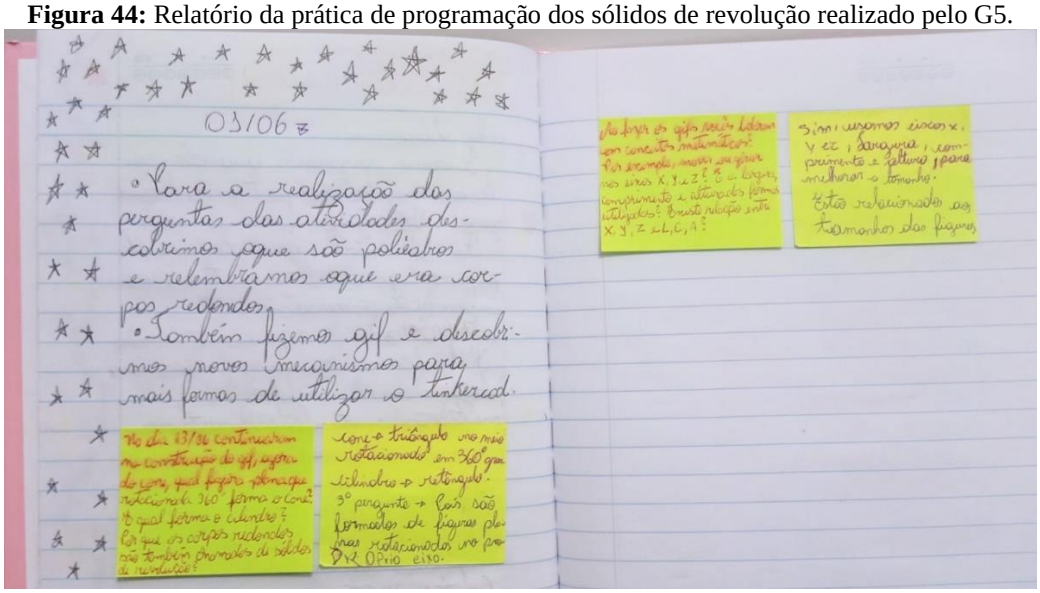
Figura 43: *Print* da programação, dos sólidos cilindro, cone e esfera feitos pelo G5 e QR Code para visualização dos GIFs.



Fonte: Bloco de Código Tinkercad (2023).

Após programarem o cilindro, acharam mais fácil programar o cone e a esfera, pois, além de entenderem o conceito do que era um sólido de revolução, reconheceram padrões dos comandos. No diário de campo do G5 (Figura 44), pode-se analisar um pouco do que foi essa experiência para eles e quais aprendizagens ficam evidentes.

Figura 44: Relatório da prática de programação dos sólidos de revolução realizado pelo G5.



Fonte: Diário de campo G5 (2023).

Então, por meio da programação pode-se identificar dificuldades do pensamento espacial e geométrico dos estudantes, bem como desenvolver habilidades e conhecimentos relacionados à temática e para além dela, com aplicações na vida real.

5.2.6 Tensões e compromissos: programação no Tinkercad

O blocos de códigos de programação é um recurso recente, implementado no ano de 2022 no *software* Tinkercad. Entretanto, observa-se, pela prática devolvida no curso de extensão Geo3DPrint com os estudantes da 2ª série do Ensino Médio, que tem potencial para o ensino de conceitos matemáticos, especialmente de geometria espacial, que foi foco desta pesquisa.

Assim, além das evidências expostas e discutidas no decorrer desta seção, após um mês da finalização do curso de extensão foi enviado um questionário *online* aos estudantes, para autoavaliação e avaliação do curso. Uma das perguntas era relacionada ao momento de criação do GIF: “Na construção do GIF, quais conceitos matemáticos você visualizou?”. As respostas foram:

> A10: Bom, as faces dos poliedros têm a ver com a matemática.
> A09: Foi muita coisa, foi as faces das formas geométricas, tinha que ter um número específico para girar em graus.
> A03: Calcular a numeração e razão para qual melhor número precisa para girar em graus.
> A06: Bom, essa parte fizemos *testando* para ver o ângulo e a posição que daria certo para formar o gif.
> A12: Girar em graus diferentes, e montar as faces corretas das figuras.

Sobre as respostas dos estudantes em relação à criação do GIF no Tinkercad, é possível destacar alguns pontos importantes:

Reconhecimento da relação entre programação e conceitos matemáticos: Os estudantes demonstraram compreender a conexão entre a programação dos blocos de código e os conceitos matemáticos, especialmente relacionados à geometria espacial. Eles mencionaram a importância das faces dos poliedros, o cálculo de ângulos para a rotação dos objetos e a necessidade de montar as figuras corretamente.

Aplicação prática dos conceitos: As respostas dos estudantes indicam que eles conseguiram aplicar os conceitos matemáticos aprendidos na construção do GIF no Tinkercad. Eles descrevem como utilizaram esses conceitos na prática, para alcançar os resultados desejados, como girar os objetos em diferentes ângulos e posicionar as faces corretamente.

Exploração e experimentação: Alguns estudantes mencionaram que testaram diferentes ângulos e posições para encontrar a solução para o problema em questão, o que demonstra uma abordagem de aprendizagem baseada na exploração e na experimentação. Isso reflete uma compreensão da importância da tentativa e erro no processo de aprendizagem.

Em suma, as respostas dos estudantes sugerem que a utilização dos blocos de código de programação no Tinkercad pode ser um recurso para o ensino de conceitos matemáticos, especialmente relacionados à geometria espacial. Elas mostram uma compreensão da aplicação prática desses conceitos e uma disposição para explorar e experimentar.

Ainda durante a construção do GIF, os blocos de código do Tinkercad apresentaram limitações, especialmente a ausência da opção de utilizar ângulos de 360º. Os estudantes perceberam também que as casas decimais na rotação dos ângulos faziam diferença e, assim, ao se reproduzir um mesmo artefato, pode-se obter resultados diferentes, devido à precisão. O compromisso que fica é à empresa Autodesk, de realizar atualizações que melhorem esse aspecto técnico, e aos professores cabe explicar aos estudantes ou levá-los a realizar operações com ângulos menores para se chegar a 360º.

Houve um outro momento de tensão durante o curso que merece ser mencionado. Ao passar pelo G5, a professora percebeu que um estudante estava pesquisando sobre a esfera e estava com a relação de Euler aberta no celular, então ela comentou: “A relação de Euler não vale para a esfera.”; o estudante concordou. Ao final da aula, entre alguns diálogos, esse estudante perguntou aos demais: “A esfera é plana ou espacial?”. Alguns responderam: “É espacial (3D)”; então ele disse: “É plana!” A professora se assustou e questionou: “Como assim?” Ele disse: “Uai, a senhora me disse!” A professora em um primeiro momento achou que ele estava brincando com ela, mas logo percebeu que ele falou sério, então ela se pôs a pensar sobre o acontecido.

Ao chegar em casa e refletir sobre o ocorrido, ela se lembrou de qual foi a fala, e percebeu que o que ela falou foi interpretado de uma forma totalmente diferente. Ele entendeu que, já que a relação de Euler não valia para a esfera, logo ela não era um poliedro, então seria plana.

Essa situação evidencia duas reflexões importantes, na visão da professora:

1. A compreensão dos alunos é influenciada por sua visão de mundo e conhecimento prévio, o que pode levar a interpretações distintas das informações fornecidas pelo professor.
2. O conhecimento é uma construção ativa e individual, não simplesmente transmitido de forma passiva, o que ressalta a importância de abordagens educativas que promovam a construção do conhecimento pelo aluno.

Essa situação remeteu-nos a Moreira (2017), ao descrever o professor narrador, que ensina, fundamentalmente falando, dizendo aos estudantes o que é suposto que devem saber. No modelo clássico de ensino, a informação é transmitida desde a cabeça do professor até o caderno do aluno, para que este transfira a informação para sua cabeça, para passar em exames. Esse modelo é denominado por Paulo Freire como ensino bancário. Todavia, de acordo com a situação descrita pela professora, será que essa forma de ensino é a melhor alternativa? Será que os estudantes aprendem? Ou só memorizam para um teste? O compromisso que fica é o de proporcionar aos estudantes oportunidades para que construam seus conhecimentos de forma interativa e com o uso de recursos e métodos variados.

5.3 Categoria 3 (C3): A combinação entre o *software* de modelagem 3D Tinkercad e a impressão 3D no ensino de geometria espacial

Na primeira etapa do curso Geo3DPrint, realizou-se um levantamento dos conhecimentos prévios dos discentes, questionando-os sobre vários assuntos relacionados à pesquisa e ao contexto da sala de aula. O intuito era identificar o que eles sabiam sobre os temas da pesquisa, pois, consoante Moreira (2023) baseado em Ausubel (1968, 1978, 1980, 2000), o ensino deve considerar os subsunçores dos estudantes. Seguem alguns resultados extraídos do Google Forms respondido pela turma:

> **Já estudou geometria? Se sim, como foi e o que se lembra?**
> A13: Não.
> A15: Lembro não.
> A17: Não lembro.
> A02: Não.
> A09: Não, ksksksk.
> A08: Sim, N lembro muita coisa.
> A14: Ss, foi legal lembro de nada.
> A03: Não me lembro.
> A07: Sim, não me lembro muito bem.
> A11: Foi muito bom.
> A10: Não lembro.
> A01: *Sim, com o professor ..., fórmulas com divisão e multiplicação*.
> A05: Nunca estudei.
> A06: Sim.
> **Você já viu o termo “3D” em quais lugares? O que significa?**
> A13: Não.
> A15: Sim, em vídeos.
> A17: Desenhos, não sei.
> A02: Sim, em livro, filmes e anúncios.
> A09: Não sei, msksksskkssksksk.
> A08: Impressora 3d, filme 3d.
> A14: Não sei não.
> A03: Já vi sim, pois não sei o que significa.
> A07: Sim, vi em filmes.
> A11: Lembro não.
> A10: Filmes 3d pra mim o que significa é realidade virtual.
> A01: Na Internet.
> A05: Nunca vi.
> A06: Cinema.
> **Qual a diferença entre geometria plana e espacial?**
> A13: Não sei.
> A15: Não sei.
> A17: Não sei não.
> A02: Não saber.
> A09: Não sei, kkkkk.
> A08: Não sei, kskssks.
> A14: Sei não.
> A03: N sei.
> A07: Não sei.
> A11: A diferença entre uma geometria plana: é uma figura com duas dimensões como círculo e quadrados e a diferença entre espacial: é uma figura com três dimensões tipo esferas, cubos, paralelepípedo e pirâmides.
> **Cite, se souber, um exemplo de geometria no cotidiano.**

A13: Não sei.
A15: Não sei.
A17: Não sei, kkkj.
A02: Não.
A09: Não sei, kskSKS.
A08: Não sei não, esqueci.
A14: N sei.
A03: Caderno.
A07: Meu celular, retângulo.
A11: Cubo, quadrado e retângulos.
Você acha que a tecnologia pode potencializar o processo de aprendizagem? Como? Quais recursos tecnológicos gostaria de utilizar em aula?
A13: Sim, …, tudo.
A15: Sim, calculadora.
A17: Sim. *Porque é uma coisa que a gente sempre utiliza, celular e notebook.*
A02: Sim. Tecnologia robótica.
A09: Notebook, celular.
A08: Ss, celular.
A14: Celular ou chrome book.
A03: Diários digitais.
A07: Celular e etc...
A11: Celular eo cromebuk.
A10: Acho que sim, em *pesquisas*.
A01: Robótica.
A12: Sim, hoje em dia a tecnologia ajuda bastante, computador.
A05: Sim, pra fazer *pesquisa* quando o professor mandar.
A06: Sim, calculadora.
O que você acha sobre o desenvolvimento de projetos e trabalhos em grupos?
A13: Legal.
A15: Bom.
A17: Bom.
A02: *Eu acho bom porque isso vai ajudar o aluno se desenvolver mais e mais ânimo.*
A09: São muito bom, principalmente *quando estamos com amigos*.
A08: Eu acho legal.
A14: Bom, pois *é mais fácil aprender*.
A03: Gosto, mas prefiro fazer sozinha.
A07: Acho muito bom.
A11: Muito bom.
A10: Excelente.
A01: Bem legais.
A12: Acho legal, mas pelo lado ruim é chato que pode causar briga, igual aconteceu comigo.
A05: Eu gosto, acho que desenvolve bastante.

Das respostas ao questionário inicial aplicado à turma, foi possível fazer algumas inferências:

Falta de familiaridade com conceitos de geometria: 61,5% dos estudantes respondentes não se lembravam ou não estudaram geometria anteriormente, 90% não souberam dizer a diferença entre geometria plana e espacial, e 70% não sabiam um exemplo de geometria no cotidiano, sendo que os outros 30% deram exemplos equivocados, ao dizerem, por exemplo, que o celular é um retângulo. Isso sugere uma lacuna no conhecimento prévio dos alunos sobre o assunto.

Entretanto, o professor pode aproveitar exemplos como estes, para discutir a diferença entre geometria plana e espacial. Assim, partirá de uma informação presente na estrutura cognitiva do estudante, para trazer um conceito novo. Então, por exemplo, chegar ao entendimento comum de que a superfície da tela de alguns celulares é realmente retangular, mas não o celular todo, porque ele é uma figura tridimensional.

Conhecimento superficial sobre termos relacionados à geometria: Embora 57,14% dos alunos tenham visto o termo “3D” em contextos diversos, como filmes e anúncios, nenhum sabia o significado. Isso indica uma compreensão superficial ou falta de conhecimento sobre conceitos básicos de geometria espacial.

Interesse na utilização da tecnologia para aprendizagem: 100% dos estudantes reconhecem o papel da tecnologia para potencializar o processo de aprendizagem, e mencionaram recursos como calculadoras, dispositivos móveis e robótica. Um deles argumentou que é interessante o uso de tecnologias na escola, “porque é uma coisa que a gente sempre utiliza, celular e *notebook*”, e outro ainda disse que pode ser usado para “fazer pesquisa quando o professor mandar”. Apesar de concordarmos com suas visões, nesta pesquisa a concepção de tecnologia aplicada na educação vai além de formas instrucionais ou como recurso.

Percepção positiva sobre trabalhos em grupo: 78,6% dos alunos expressam uma opinião positiva sobre o desenvolvimento de projetos e trabalhos em grupo, destacando benefícios como colaboração, aprendizagem cooperativa e motivação.

Durante o curso foram coletadas evidências de aprendizagem e no encerramento foi realizada uma roda de conversa para reflexão sobre o processo. Após a finalização, foi enviado um novo formulário para autoavaliação dos estudantes e avaliação do curso; devido a ter sido enviado posteriormente, apenas oito dos quinze estudantes responderam.

> **O que você leva de aprendizado do curso?**
> A02: Conheci muitas figuras geométricas que antes eu via, e eu achava que era uma simples coisa.
> A04: Aprender cada etapa.
> A08: Sobre *as canecas que nós criamos*.
> A10: *Que as coisas podem ser plana ou espacial.*
> A09: As *programações* que fizemos no Tinkercad.
> A03: O nome das formas geométricas.
> A06: <u>*Conhecer o nome das figuras geométricas e união que tivemos no grupo, ou seja, a forma em que todos os participantes se ajudavam*</u>.
> A12: A *impressão 3D das canecas* e das figuras geométricas.
> **Quando perguntados “O que você aprendeu no curso tem alguma aplicação no cotidiano?”**
> A02: *Qualquer coisa que vejo uma figura, ksksks, tipo cilindro, cone, entre outros.*
> A04: Aprendi bastante coisa, porém se for pra mim fazer dnv eu esqueço.
> A08: A fazer caneca 3D e gif.

A10: Sim.
A09: *Ainda não mas vai ter, vou fazer faculdade de tecnologias de informação e agora já tenho uma noção inicial de programação*.
A03: Sim.
A06: Eu aprendi muito sobre as figuras geométricas. Sim, *diariamente eu vejo um objeto e percebo por exemplo que é um paralelepípedo.*
A12: Às vezes.
A17: SIM.
Qual sólido você/seu grupo construiu? Quais as características desse sólido?
A02: Prisma.
A10: *Dodecaedro, é constituído por 12 pentágonos, 30 arestas, 20 vértices e 12 faces pentagonal*.
A03: Corpos redondos.
A06: Corpos redondos, esferas, cones de cilindros.
Ficamos com os corpos redondos, utilizamos o triângulo para fazer o cone, para a fabricação da esfera utilizamos círculos, para fazer o cilindro utilizamos o retângulo.
A12: Pirâmide, figura tridimensional.
A17: Eu construí octaedro e o meu grupo construiu o tetraedro, icosaedro e o cubo.
O que você acha do desenvolvimento de projetos e trabalhos em grupos?
A02: Bom.
A04: Muito bom, *pois vc fazendo com quem gosta aqui tem mais desempenho.*
A08: É até bom.
A10: Não gosto muito pois temos *ideias diferentes.*
A09: Excelente.
A03: Eu gosto bastante, *pois cada integrante do grupo se ajuda*.
A06: Bom e ruim.
A17: Eu acho bom.

Das respostas do questionário final aplicado à turma, podem-se realizar algumas inferências:

Aprendizado sobre figuras geométricas: Muitos alunos destacam ter ampliado seu conhecimento sobre figuras geométricas, reconhecendo a importância e a complexidade desses conceitos que antes consideravam simples. Quando perguntados: “Qual sólido você/seu grupo construiu? Quais as características desse sólido?”, dois estudantes mostraram conhecimento sobre as características dos sólidos que construíram, como se pode observar nos trechos: A10: “Dodecaedro, é constituído por 12 pentágonos, 30 arestas, 20 vértices e 12 faces pentagonal”; e A06: “Corpos redondos, esferas, cones de cilindros. Ficamos com os corpos redondos, utilizamos o triângulo para fazer o cone, para a fabricação da esfera utilizamos círculos, para fazer o cilindro utilizamos o retângulo”.

Aprendizado prático: Alguns alunos mencionaram ter aprendido a criar canecas 3D, fazer programações no Tinkercad e imprimir objetos em 3D, indicando uma aprendizagem prática e aplicável.

Consciência da aplicabilidade no cotidiano: Alguns alunos reconhecem a aplicabilidade dos conhecimentos adquiridos no curso em situações cotidianas, como

identificar figuras geométricas em objetos do dia a dia e utilizar noções de programação em futuros estudos ou carreiras.

Percepção positiva sobre projetos em grupo: A visão positiva inicial sobre o desenvolvimento de projetos e trabalhos em grupo manteve-se, e destacaram benefícios como cooperação, apoio mútuo e melhoria do desempenho. No entanto, alguns alunos reconhecem que podem surgir desafios quando as ideias são divergentes.

Iniciou-se esta seção pelas respostas escritas extraídas dos formulários que os estudantes responderam, para demonstrar que a fabricação digital foi relevante no processo de ensino e aprendizagem de geometria, pois se observou que, no começo do curso, tinham pouco conhecimento da área de geometria. Mas por meio das práticas se engajaram, construíram conhecimentos e desenvolveram habilidades que são importantes como conhecimento formal, bem como fizeram sentido em suas estruturas cognitivas e podem ter aplicação em suas vidas.

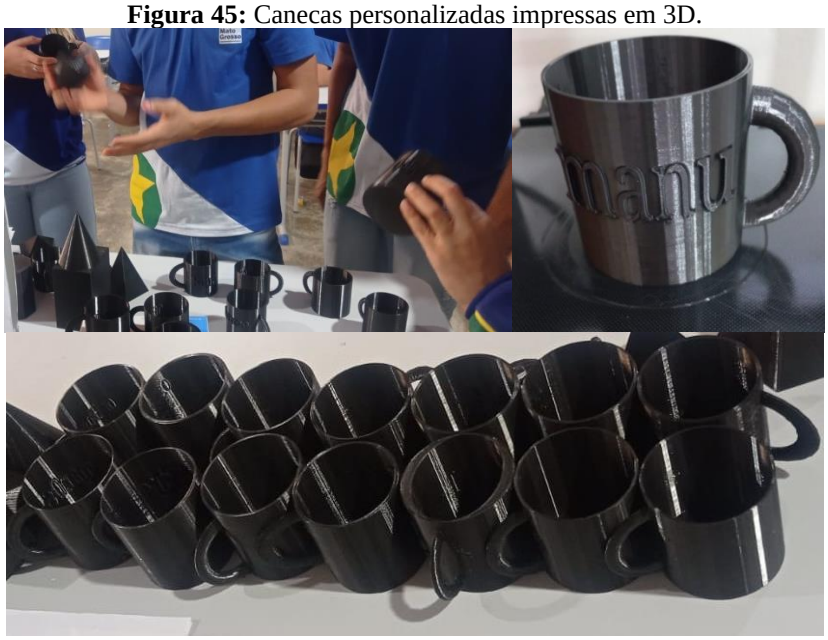
Isso já traz evidências de que a combinação entre o Tinkercad e a impressora 3D pode ser bem-sucedida no ensino, a depender da abordagem de ensino utilizada.

A primeira impressão 3D das canecas personalizadas foi realizada em colaboração com os estudantes, iniciou durante a aula e demandou em torno de 6 horas para finalizar. Cada caneca demandou um período de impressão, variando entre 5 e 7 horas. No entanto, antes de proceder à impressão, os alunos precisaram salvar o arquivo em formato .STL, utilizar o *software slicer* Ultimaker Cura[31] para fatiar o objeto 3D e, somente após esse processo, transferir o arquivo para o cartão de memória da impressora, a fim de possibilitar a impressão.

Na Figura 45 é exposto o resultado das impressões 3D; cada caneca teve características diferentes, como espessura das bordas e diâmetro do cabo.

[31] Cura é um aplicativo de fatiamento de código aberto para impressoras 3D. Foi criado por David Braam, que mais tarde foi contratado pela Ultimaker, uma empresa de fabricação de impressoras 3D, para manter o *software*. Disponível em: https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/.

Figura 45: Canecas personalizadas impressas em 3D.



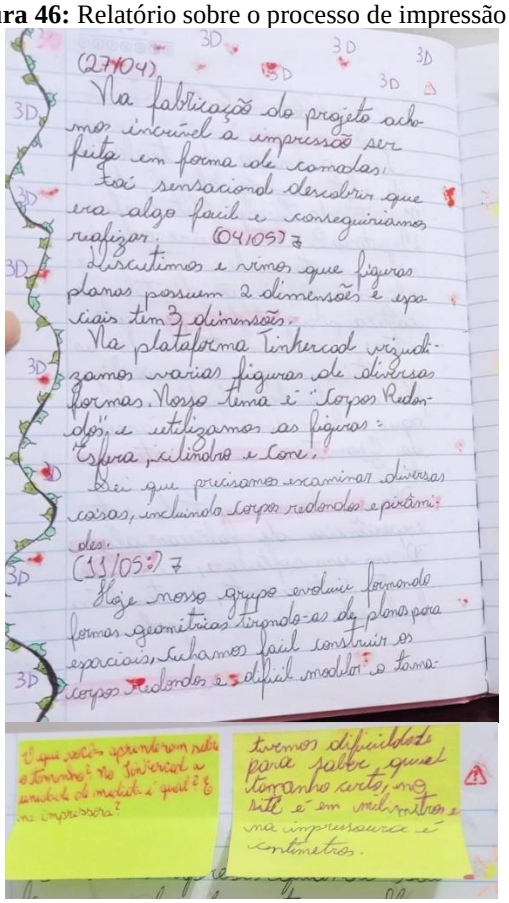
Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Devido ao longo tempo do processo de impressão, as horas em sala de aula não foram suficientes, tendo que haver um trabalho extraclasse para acompanhamento da impressão.

Além das práticas de modelagem e programação, o processo de impressão 3D também pode desenvolver habilidades, pois, além da importância dos sólidos impressos para que os estudantes discutam suas características, o processo de impressão trabalha com parâmetros que devem ser analisados e calculados.

Outro fator importante de fazer esse processo de fabricação digital é que, ao modelar ou programar um artefato que será impresso em 3D, é necessário, por exemplo, fazer o cálculo do tamanho que terá o objeto no mundo real. Em outras palavras, os estudantes tiveram que fazer a conversão de milímetros (mm) em centímetros (cm), pois o plano de trabalho do Tinkercad é em mm e a mesa de impressão e os parâmetros no *software* fatiador são em cm. No diário de campo do G5, apresentado na Figura 46, é possível ver um relato desse processo:

Figura 46: Relatório sobre o processo de impressão 3D.



Fonte: Diário de campo G5 (2023).

As canecas foram modeladas usando 70 mm no Tinkercad, para que, quando impressas, tivessem 7 cm. Para a otimização de materiais, é importante, na modelagem ou na programação, já considerar o tamanho e a espessura dos elementos que compõem o artefato a ser impresso. Outras formas de otimização de materiais podem ser realizadas no *software* fatiador, utilizando o parâmetro de preenchimento como 20% e ocos. Sendo assim, os poliedros foram impressos ocos e, como os estudantes queriam esses sólidos grandes, foram impressos com 100 mm.

Outro ponto que justifica a importância da integração entre o *software* de modelagem e a impressora 3D é que, se o artefato for apenas modelado ou programado, dependendo da perspectiva explorada pelo usuário no *software*, pode parecer que está de uma forma, mas quando é impresso em 3D é possível a visualização física do artefato no mundo real, e assim verificam-se a precisão e a viabilidade do projeto.

Isso permite identificar eventuais erros de concepção ou de modelagem que podem passar despercebidos apenas no ambiente virtual. Além disso, a integração entre o *software* de modelagem e a impressora 3D possibilita um ciclo de *feedback* contínuo, em que ajustes e melhorias podem ser feitos com base na análise do protótipo físico.

Dessa forma, a combinação desses dois recursos não apenas facilita o processo de *design* e fabricação, mas também garante a qualidade e a adequação do produto às necessidades e especificações do usuário. Esse processo foi experienciado pelos estudantes, que na roda de conversa relataram que:

> A12: A caneca mesmo, principalmente a minha, teve vários erros. Eu tive que vim na hora do recreio para a professora ajudar. Porque, na hora de colocar o nosso nome, o meu nome no caso, ela ficou tipo muito pra cá da caneca**. Tipo, a gente vê assim no *site* (Tinkercad) e de frente assim que a gente vê, parecia que tava grudado na caneca, né, o nome. Só que aí tava pra fora, aí o nome saiu todo espatifado assim para fora e nem imprimiu direito.** Aí tive que vim na hora do recreio e arrumar, de novo...
> A03: Bom, nós falamos da caneca, a minha caneca, eu fiz ela, imprimi, fez a impressão. **Só que aí as letras, eu não colei elas direito, então aí elas caíram.** Estava escrito meu nome... (mostra para todos a caneca com defeito). Aí ela caiu essa letra, essa letra está bem estranha e essa aqui ficou fixada, aquela está meio bamba. Aí eu tive que fazer igual o A12, eu vim no almoço, aí eu fiz ela de novo. Aí agora ela saiu certa, tá ali guardada.

Além do relato exposto na roda de conversa, no questionário final, quando perguntados: "Teve diferença entre o que fabricou no digital e o que foi impresso 3D? Explique." – as respostas foram:

> A02: **Pra mim foi a mesma coisa, foi uma aprendizagem muito boa.**
> A04: Acho q nn.
> A08: Sim, no digital nós criamos uma caneca e depois nós impresso ela.
> A10: Acho que não.
> A09: **A forma de desenvolvimento foi diferente pq para imprimir tem que programar**.
> A03: Nao.
> A06: Para mim não.
> A12: Sim, **no digital estava excelente mas quando saiu havia alguns problemas**.
> A17: Não.

As respostas dos alunos indicam uma variedade de percepções sobre a diferença entre o artefato digital e o objeto impresso em 3D. Enquanto alguns não perceberam diferenças, outros destacaram a necessidade de ajustes ou encontraram problemas durante o processo de impressão.

Essa análise reforça a importância da integração entre o ambiente virtual de modelagem e a produção física por meio da impressão 3D, evidenciando que ambos os estágios são essenciais para garantir a qualidade e a precisão do produto final. Bem como cada ambiente oportuniza estratégias de ensino distintas e o desenvolvimento de diferentes habilidades.

Pielsticker, Witzke e Vogler (2021) destacam que diferentes ambientes oferecem oportunidades únicas para o desenvolvimento de habilidades e aprendizados variados. Suas

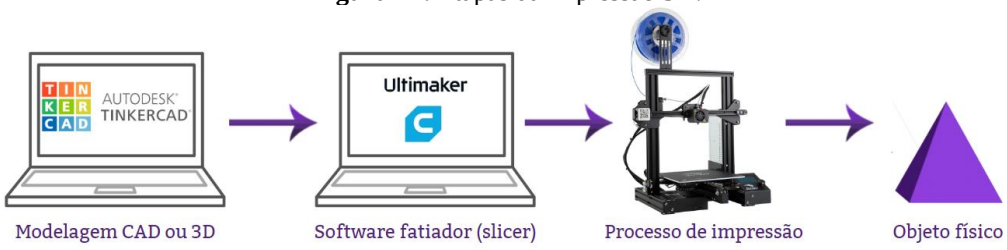
descobertas sugerem que há uma distinção entre as atividades físicas e mentais necessárias para manipular objetos sólidos e imutáveis, em comparação com objetos geométricos virtuais. Além disso, eles observam que a impressão 3D apresenta diferenças em relação às projeções virtuais em *software* CAD. Assim, o uso de um recurso não substitui o outro, mas sim eles se complementam, fornecendo uma abordagem mais abrangente para o ensino de geometria espacial.

5.3.1 Tensões e compromissos: acesso à impressora 3D, *softwares slicers*, parametrização e tempo de impressão

O acesso à máquina de impressão 3D ainda é um desafio na educação pública. Entretanto, existem órgãos financiadores, como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), que abrem editais anuais para financiar projetos na Educação Básica, em que parte da verba é para material de consumo e equipamentos, e outra parte para material permanente, que fica na escola.

Como explicado no capítulo teórico e exposto na Figura 47, para realizar a impressão 3D de um artefato, são necessárias pelo menos três etapas, em que primeiro se modela o artefato em um *software* CAD ou 3D, depois se envia o arquivo salvo em .STL, com artefato para um *software* chamado *slicer* (fatiador) – nesta pesquisa utilizou-se o *software slicer* Ultimaker Cura, do qual necessita ser feito *dowaload* –, e somente após fatiado é que o arquivo é salvo novamente .Gcode e enviado para o cartão de memória da impressora 3D, para a obtenção do objeto físico. Existem *softwares slicers*, como, por exemplo, o Kiri:moto[32], que é totalmente *online*, não sendo necessário *dowload*.

Figura 47: Etapas da impressão 3D.



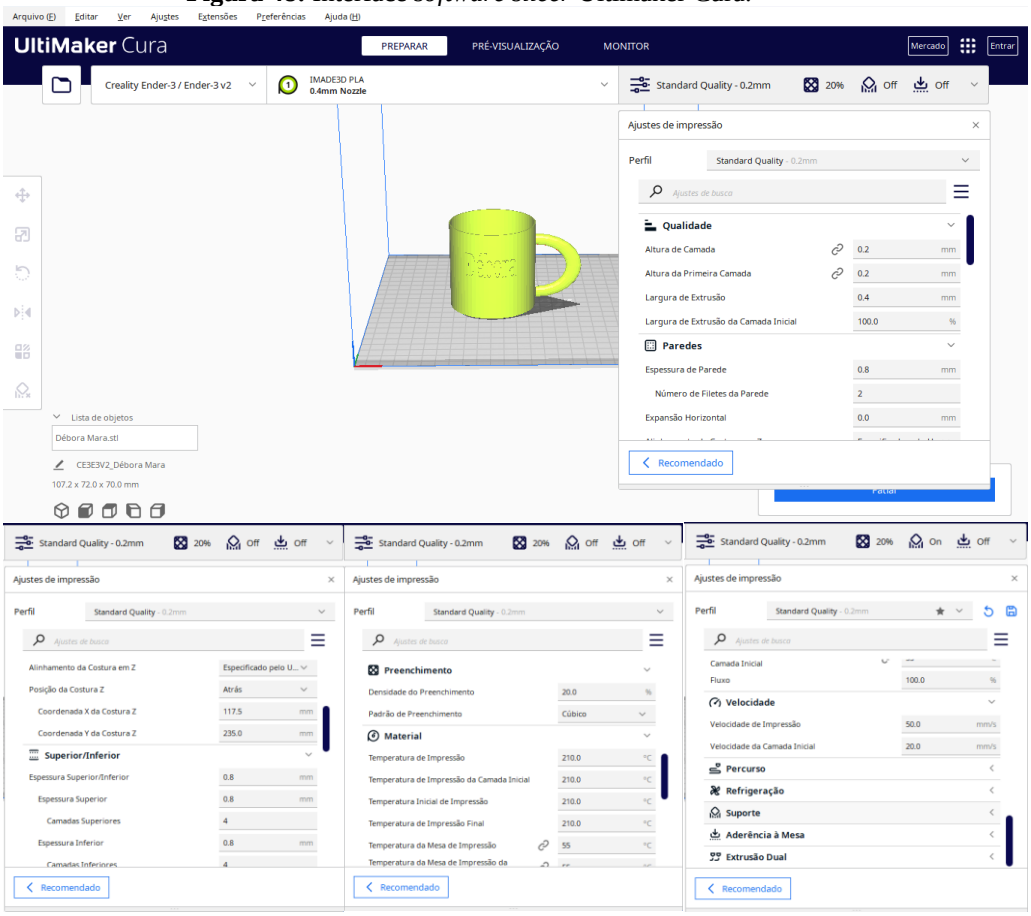
Fonte: Autoria própria (2023).

No geral, esses *softwares* podem ser utilizados para diferentes tipos de impressoras 3D e têm parâmetros para melhora da impressão do produto, como: qualidade, paredes,

[32] Disponível em: https://grid.space/kiri/.

superior/inferior, preenchimento, material, velocidade, percurso, refrigeração, suporte, aderência à mesa e extrusão dual. Vejam-se a interface do Ultimaker Cura e os parâmetros na Figura 48.

Figura 48: Interface *software slicer* Ultimaker Cura.



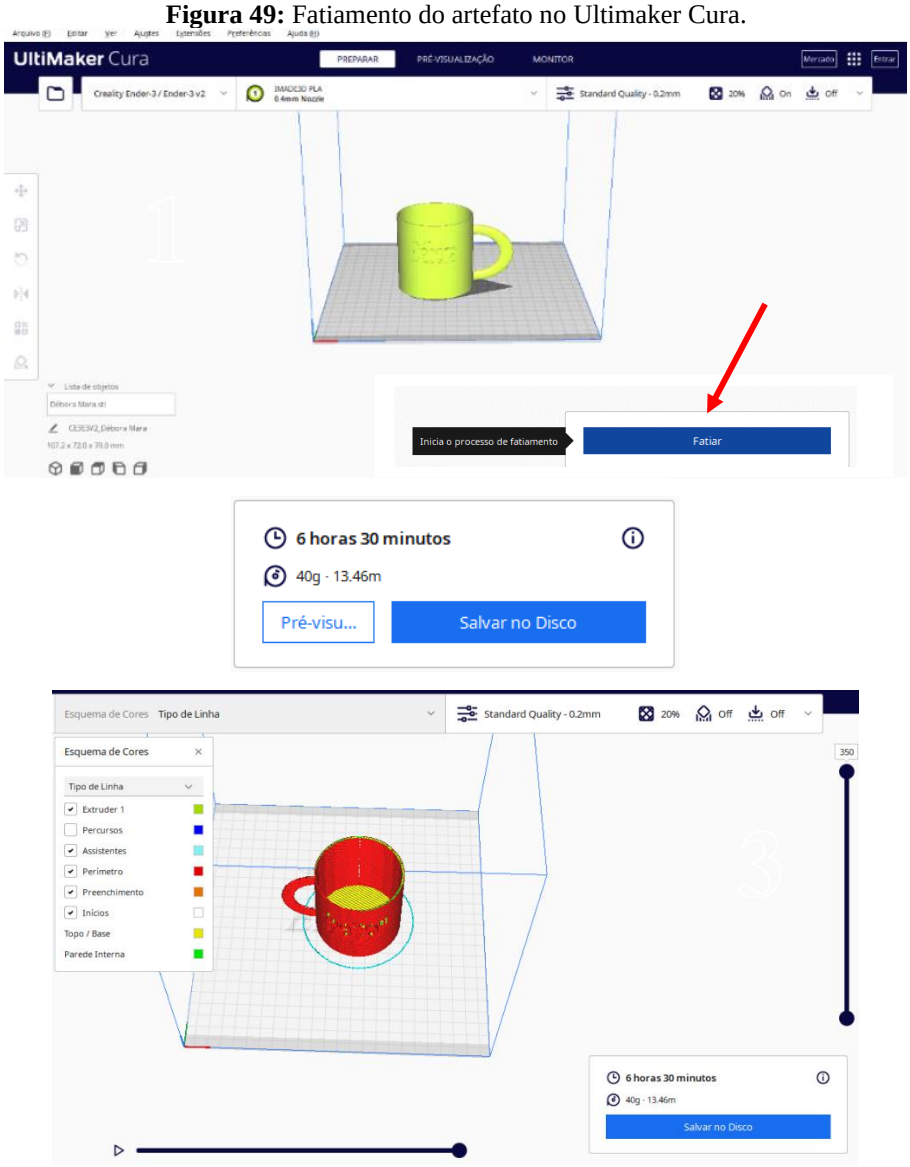
Fonte: Ultimaker Cura (2023).

Esses parâmetros são importantes para a impressão de um objeto com otimização de recursos e estrutura sólida, e, como pode ser observado na Figura 48, esses parâmetros são numéricos, o que pode levar à exploração de conceitos matemáticos. Porém, não conseguimos trabalhar com os estudantes do curso Geo3DPrint, pois, além de não ser o foco do curso, o tempo não era suficiente.

Por falar em tempo, outro desafio encontrado: o longo período de impressão. Cada caneca levou de 5h30min a 7h para ser impressa. Em uma turma com muitos estudantes, a prática poderia não ser viável. Então, para utilização da impressora 3D, é necessário um planejamento antecipado por parte do professor. Uma sugestão é combinar com cada grupo para que acompanhe a impressão de seus artefatos, o que pode auxiliar o professor nessa prática.

Após definidos os parâmetros no fatiador, é só clicar em (1) “Fatiar”, que o *software* fatia o objeto e determina o tempo de impressão que será necessário; (2) na caixa de diálogo que abre, pode-se escolher “Pré-visualização” ou “Salvar no Disco” – a indicação é que sempre se faça uma pré-visualização. No item 3 da Figura 49, há um exemplo da visualização que o *software* oferece.

Figura 49: Fatiamento do artefato no Ultimaker Cura.



Fonte: Ultimaker Cura (2023).

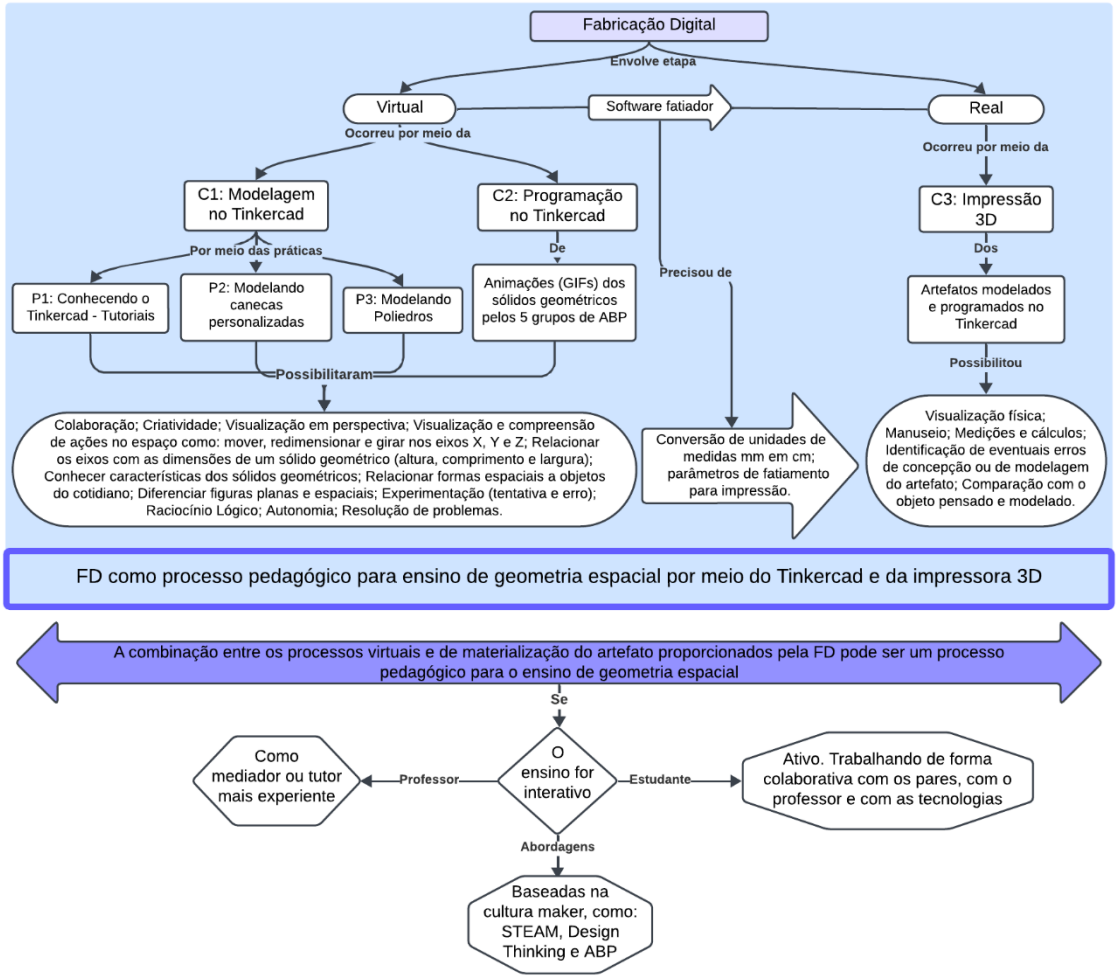
Na opção de pré-visualização exposta na Figura 49, no item 3, é possível mover o controle deslizante direito e inferior, assim já se saberá como a impressão acontecerá. As cores mostram o que é considerado topo/base, preenchimento, inícios, parede interna, perímetro, assistente (suportes), extruder e percursos.

São muitos detalhes, não é mesmo? Mas observe o quanto um processo de fabricação digital de um artefato pode exigir de conhecimento prático de matemática. Então, apesar das dificuldades, uma turma de uma escola pública do interior mostrou que é possível aprender por meio desse processo. Entretanto, as pesquisas ainda são exploratórias, mas merecem atenção.

5.4 Relações possíveis entre as categorias e a explicitação da Fabricação Digital como processo pedagógico

A partir da análise das três categorias teóricas, foi possível estabelecer algumas relações entre os conceitos principais do processo FD desenvolvido no contexto do curso de extensão com estudantes da 2ª série do Ensino Médio, os quais podem ser observados na representação esquemática disponível na Figura 50.

Figura 50: Sistematização das relações entre as categorias e a FD.



Fonte: Autoria própria (2024).

A fabricação digital (retângulo azul claro superior), mostrada na Figura 50, envolve duas principais etapas, uma virtual e uma real. Na etapa virtual é criado/modelado o artefato, e para sua materialização é necessária uma etapa intermediária, que é o *software* fatiador, para só então, com uso da impressora 3D, materializá-lo no real.

A etapa virtual no curso de extensão ocorreu por meio da modelagem e da programação no Tinkercad. A modelagem – categoria 1 – ocorreu por meio de três práticas: P1 – Conhecendo o Tinkercad (tutoriais); P2 – Modelando Canecas Personalizadas; P3 – Modelando Poliedros. A programação – categoria 2 – ocorreu por meio da programação de animações (GIFs) de poliedros, desenvolvidos por cinco grupos de estudantes.

Essa etapa virtual da FD – que se deu por diferentes atividades desenvolvidas – mostrou, como descrito nas categorias, ser possível o desenvolvimento de habilidades relacionadas à geometria e para além disso, como autonomia, colaboração, criatividade, raciocínio lógico e resolução de problemas.

O *software* fatiador, etapa intermediária para a materialização do artefato, necessitou da conversão de unidades de medidas, pois no Tinkercad o plano de trabalho é em milímetros e na impressora 3D é em centímetros. Também, para esse elo entre o virtual e o real, é necessário realizar parametrização de algumas variáveis, para se obter uma impressão bem executada pela máquina.

A última etapa ocorreu por meio da impressora 3D – categoria 3 –, que é o real. Neste momento, o artefato modelado ou programado se materializa no mundo real, o que possibilita ações adicionais à etapa anterior, como as de manusear, comparar e identificar eventuais falhas de concepção.

Sendo assim, a combinação entre os processos virtuais e de materialização do artefato proporcionados pela FD pode ser um processo pedagógico para o ensino de geometria espacial. Mas para isso o ensino precisa ser interativo, o estudante ativo no processo de ensino, trabalhando de forma colaborativa com os pares, com o professor e com as tecnologias. O professor como mediador ou tutor mais experiente e as abordagens de ensino serem embasadas na cultura *maker*, de aprender criando.

Destacamos que todo esse processo pedagógico envolveu desafios e limitações relativas a cada etapa do processo de FD, por isso, em cada categoria, foram descritos tensões e compromissos.

5.5 Manuscrito: a FD como um processo pedagógico para ensino de geometria espacial por meio do Tinkercad e da impressora 3D

Ao investigar a viabilidade da FD para o ensino de geometria espacial, utilizando o *software* Tinkercad e a impressora 3D como recursos principais, emergiram dos dados elementos para vislumbrar a FD como um processo pedagógico que pode contribuir para o ensino de geometria espacial.

Vale ressaltar que, ao se analisar o processo pedagógico, considerou-se este processo como uma articulação envolvendo um complexo sistema de interações comportamentais entre professor e alunos (Kubo; Botomé, 2001). Inspirados pela obra de Freire (2007), considera-se que: 1. Não há docência sem discência; 2. Ensinar não é transferir conhecimento; 3. Ensinar é uma especificidade humana – com a premissa de que "ensinar inexiste sem aprender e vice-versa" (Freire, 2007, p. 13).

O processo pedagógico pode ser entendido como o desenvolvimento de um conjunto de métodos sob a gestão do professor, que possibilita aos estudantes a construção de conhecimento, mediante combinações de atividades. A orientação correta dessas atividades depende do trabalho do professor quanto ao planejamento e à sistematização, pois, para o desenvolvimento das aulas, "conjuga objetivos, conteúdos, métodos e formas organizativas do ensino" (Libâneo, 2013, p. 164).

Em uma abordagem interativa de ensino, o professor pode assumir, segundo Resnick (2020), os papéis de catalisador, consultor, conector e colaborador. Ou ainda, de acordo com Bacich e Holanda (2020), o professor é um *design* de experiências autênticas de aprendizagem. Desse modo, mesmo que os discentes tenham um papel central no processo de FD e abordagens de ensino baseadas na cultura *maker*, o papel do professor não é menosprezado, pois é ele que orienta a execução das atividades e aponta caminhos para que os alunos desenvolvam suas habilidades e construam suas aprendizagens.

A orientação dada durante o desenvolvimento do processo de ensino nesse contexto foi determinante, como mostram os relatos dos discentes:

> A02: Isso. Só que aí depois foi pegando prática, depois da primeira aula foi de boa. A professora ajudando também.
> A12: A caneca mesmo, principalmente a minha, teve vários erros. Eu tive que vim na hora do recreio para a professora ajudar.

São relatos que reforçam a importância do professor no processo de ensino, pois, mesmo com as TD da FD e da ajuda dos pares, o que Resnick chama de “mentor mais experiente” é necessário.

Durante o desenvolvimento do curso e a amostragem teórica, elucidamos que a FD envolve etapas virtuais e reais, e encontramos evidências de que a combinação entre elas pode contribuir para o ensino de geometria espacial. Entretanto, essa contribuição só acontece se o ensino for interativo, em que o estudante é ativo no processo de aprendizagem, trabalhando colaborativamente com os pares, com o professor e com as tecnologias. O professor como *design* de experiências autênticas ou tutor mais experiente, e as abordagens de ensino embasadas na cultura *maker*, de *aprender criando*.

A etapa virtual ocorreu por meio da modelagem e da programação no *software* Tinkercad. A modelagem, apresentada na categoria 1 (C1), aconteceu por meio de três práticas: P1 – Conhecendo o Tinkercad (tutoriais); P2 – Modelando Canecas Personalizadas; P3 – Modelando Poliedros. A categoria 2 (C2) discorre sobre a programação no Tinkercad, que se deu por meio da programação em blocos de animações (GIFs) de poliedros, desenvolvidos por cinco grupos de estudantes. Nas duas categorias são descritas as estratégias de ensino utilizadas, como exploração livre, dicas e perguntas quando necessário, e o uso do interesse dos estudantes como forma de engajamento. Estratégias que destacam o professor como catalisador, consultor e *design* de experiências autênticas de aprendizagem.

De acordo com as evidências que apresentamos nas C1 e C2 do capítulo de resultados e discussões, essas práticas que planejamos possibilitaram aos estudantes: colaboração; criatividade; visualização em perspectiva; visualização e compreensão de ações no espaço, como: mover, redimensionar e girar nos eixos x, y e z; relacionar os eixos com as dimensões de um sólido geométrico (altura, comprimento e largura); conhecer características dos sólidos geométricos; relacionar formas espaciais a objetos do cotidiano; diferenciar figuras planas e espaciais; experimentação (tentativa e erro); raciocínio lógico; autonomia; resolução de problemas.

Ao responderem sobre a experiência de programação do GIF na C2, analisamos também que os alunos reconheceram conceitos matemáticos relacionados à programação que executaram, tiveram aplicação prática dos conceitos matemáticos e alguns estudantes mencionaram a testagem de diferentes ângulos e posições para encontrar uma solução para a problemática, o que demonstra uma abordagem baseada na exploração e na experimentação.

Uma etapa intermediária, que acontece também no virtual e é essencial para a materialização do artefato, é o *software* fatiador – utilizamos o Ultimaker Cura. É ele que

transforma o artefato modelado “sólido” em um artefato em camadas, para posterior impressão 3D. Devido a esse elo entre o virtual e o real, é preciso que, durante a modelagem ou programação, já sejam executados alguns cálculos matemáticos, como a conversão de unidades de medidas. No plano de trabalho do Tinkercad, a unidade de medida é milímetros e na mesa de impressão é em centímetros, sendo necessário, portanto, que se saiba quantos milímetros tem o artefato, para ficar com as dimensões reais que se desejam.

Esses *softwares* fatiadores possuem também parâmetros para a regulagem de materiais e tempo da impressão. Entretanto, devido ao tempo do curso, não conseguimos explorar esses parâmetros com os estudantes, mas eles também oferecem uma lacuna para investigação, pois necessitam de conhecimentos matemáticos e até cálculo de função para algumas parametrizações.

Por fim, chegamos à etapa real, que aconteceu por meio da impressão 3D. O processo explicitado na categoria 3 (C3) apresenta o processo final, em que os artefatos modelados e programados são impressos em 3D. Etapa que, segundo as evidências apresentadas, possibilita: a visualização física; o manuseio dos artefatos produzidos; medições e cálculos; a identificação de eventuais erros de concepção ou de modelagem do artefato; a comparação com o objeto pensado e modelado.

Ao analisarmos o questionário final respondido pelos estudantes, interpretamos que a FD como processo pedagógico permitiu o aprendizado sobre figuras geométricas, o aprendizado prático, a consciência da aplicabilidade no cotidiano e a percepção positiva sobre projetos em grupo.

Sendo assim, o processo de FD apresentou potencialidades para o ensino não somente de geometria, mas de outros conceitos matemáticos, não matemáticos e atitudinais. Todavia, apresentou também a necessidade de colocarmos em cada categoria as tensões e compromissos que devem ser assumidos por alguns atores do processo pedagógico, para superação de possíveis desafios ou limitações.

Logo, os processos de FD não são isentos de desafios e dificuldades, mas a estratégia de ensino utilizada possibilitou que isso fosse explorado. Nos textos extraídos de diários de campos dos estudantes e da professora, bem como da transcrição da roda de conversa, podemos identificar algumas dificuldades que os próprios estudantes relataram ao refletirem sobre o curso:

> Texto extraído do diário de campo grupo 5 - Tivemos **dificuldade** para saber qual o tamanho certo, no site é em milímetros e na impressora é em centímetros.
> Quiz no kahoot módulo 2 do curso Geo3Dprint - Os estudantes apresentaram **dificuldades** conceituais quanto a sólidos geométricos e identificar se são planos ou

> espaciais. A pergunta “O triângulo é uma figura plana (bidimensional)” teve 100% de erro, todos colocaram como sendo uma afirmação falsa. A mesma coisa aconteceu com a questão “O cilindro é uma figura tridimensional”. Apenas 23% acertaram o significado das letras L, C e A usadas no Tinkercad. Apenas 31% colocaram que o quadrado é uma figura bidimensional.
> Extraído da transcrição da roda de conversa - A16: Essas são as Pirâmides Triangular (entrega os sólidos impressos 3D para os colegas). Nós tivemos muita **dificuldade** de fazer. Tivemos começar fazer de novo do começo. Eu achei muito difícil por conta que (inaudível) lá no quadrilátero, eu achei muito difícil. Na hora que teve que começar fazer de novo, “Nossa Senhora”, quase desisti na hora. Mas, enfim, né, foi bom fazer, gostei.
> A12: É, pra gente é uma nova experiência, né, porque eu só via esses negócios de impressão 3D no YouTube. Eu nunca tinha visto pessoalmente. Mas depois que eu vi, achei legal.
> A12: **Deixamos plano, a base**.
> Coordenadora: Aí, quando vocês falaram que tiveram dificuldade, vocês tentaram a primeira vez e o que não deu certo?
> A12: **Aqueles triângulos lá. Os lados. A gente tava colocando os números, aí, tipo assim, eles viravam de ponta-cabeça, virava do lado e aí a gente teve muita dificuldade.**
> A03: Bom, nós falamos da caneca, a minha caneca, eu fiz ela, imprimi, fez a impressão. **Só que aí as letras, eu não colei elas direito, então aí elas caíram.** Estava escrito (nome)... mostra para todos a caneca com defeito. Aí ela caiu essa letra, essa letra está bem estranha e essa aqui ficou fixada, aquela está meio bamba. Aí eu tive que fazer igual o A12, eu vim no almoço, aí eu fiz ela de novo. Aí agora ela saiu certa, tá ali guardada. Aí a nossa **maior dificuldade**, ou pelo menos a minha, **foi arranjar o tamanho**. **O tamanho certo das formas geométricas**. Porque, tipo assim, no cone, esse aqui (pega o sólido na mão para mostrar) a **gente teve que pegar o quadrado, cortar ao meio** e aí, para fazer ele girar 360 graus para conseguir virar o cone. Só que aí a base ficava muito grande ou muito pequena e o triângulo ficava grande, pequeno, não ficava do mesmo tamanho. **Aí a gente teve que fazer, fazer, fazer para ficar do mesmo tamanho**. Até que a gente diminuiu um pouco a base e aumentou um pouco o triângulo, para ele ficar girando. Aí depois a gente **descobriu também os graus** e aí conseguiu fazer certinho. Aqui.

Analisamos, assim, que a FD como processo pedagógico permitiu aos estudantes identificarem o que sabiam ou não sabiam, e as dificuldades que eles expõem são ligadas à matemática. Tiveram dificuldade em converter mm em cm, foram orientados a pesquisar e executar o cálculo. Perguntamos a eles: “Se a nossa caneca terá 7 cm de altura, quantos mm devemos colocar a altura dela no Tinkercad?”.

No relato de A16 e A12, que fizeram parte do mesmo grupo, pudemos, por meio de seus relatos, identificar que a dificuldade foi relacionada à rotação das figuras no eixos. E, no relato de A03, podemos dizer que a dificuldade foi de associar o lado do triângulo com o raio da circunferência da base do cone.

Sendo assim, entendemos que a combinação entre os processos virtuais e de materialização do artefato proporcionados pela FD não é isenta de desafios, mas pode ser um processo pedagógico para o ensino de geometria espacial. Desde que o ensino seja interativo, e para isso se utilize de abordagens de ensino baseadas na cultura *maker*, como STEAM, ABP e *Design Thinking*. Que se estimulem a autonomia, a criatividade e a criação a partir do

interesse dos estudantes. E que os professores criem ambientes que oportunizem a construção do conhecimento e a aprendizagem colaborativa com os pares, com os próprios professores e com as tecnologias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista algumas problemáticas no ensino de geometria, entre elas a necessidade de uma abordagem que auxilie o estudante a identificar diferenças entre formas planas (bidimensional) e espaciais (tridimensional), propusemos inicialmente uma pesquisa sobre a integração entre o *software* de modelagem 3D Tinkercad e a impressora 3D.

Ao realizarmos a pesquisa bibliográfica, descobrimos que essa integração entre um *software* de modelagem e a impressora 3D já existia na literatura e recebia a denominação de fabricação digital. Assim, debruçamo-nos a entender o processo de FD e buscamos, com esta dissertação, responder: Como a fabricação digital pode contribuir com o ensino de geometria espacial por meio do *software* Tinkercad e da impressora 3D?

Nosso objetivo desenvolver uma teoria substantiva emergente da interpretação dos dados, sobre como a Fabricação Digital, por meio do uso do *software* Tinkercad e da impressão 3D, contribui para o ensino de Geometria Espacial em uma turma do Ensino Médio. Utilizamos como método de análise de pesquisa a Teoria Fundamentada nos Dados (TFD) e chegamos a uma teoria substantiva/interpretativa que oferece elementos para vislumbrar a FD como um processo pedagógico que pode contribuir para o ensino de geometria espacial, por meio do uso do Tinkercad e da impressão 3D.

Ao longo do estudo, identificamos que a combinação entre os processos virtuais e reais da FD possibilitou o desenvolvimento de habilidades associadas à geometria espacial, como: visualização em perspectiva; visualização e compreensão de ações no espaço, como mover, redimensionar e girar nos eixos x, y e z; relacionar os eixos com as dimensões de um sólido geométrico (altura, comprimento e largura); conhecer características dos sólidos geométricos; relacionar formas espaciais a objetos do cotidiano; diferenciar figuras planas e espaciais; visualização física; manuseio do artefato; medições e cálculos; identificação de eventuais erros de concepção ou de modelagem do artefato; e comparação entre o objeto pensado e o modelado.

Também habilidades relacionadas a outras áreas da matemática, como conversão de unidades de medidas e parâmetros de fatiamento para impressão. E ainda habilidades para além da matemática, como: criatividade, autonomia, resolução de problemas, raciocínio lógico, comunicação dos resultados, colaboração e experimentação. Ao analisarmos o questionário final respondido pelos estudantes, interpretamos que a FD como processo pedagógico permitiu o aprendizado sobre figuras geométricas, o aprendizado prático, a consciência da aplicabilidade no cotidiano e a percepção positiva sobre projetos em grupo.

Entretanto, essas habilidades identificadas nos textos extraídos dos diários de campo dos estudantes e de suas reflexões na roda de conversa não foram possíveis somente com o uso das TD da FD, mas sim ao se trabalhar uma abordagem de ensino interativo, baseado em abordagens educacionais centradas no aluno e na cultura *maker*, de aprender criando. Seguimos os passos da Aprendizagem Baseadas em Projetos (ABP), apresentados por Bender (2014). E interpretamos que, ao criarem ambientes que promovam a autonomia, a criatividade e a colaboração, os professores podem facilitar a construção do conhecimento e estimular o engajamento dos alunos com as TD.

Além disso, nossa investigação enfatizou a importância do papel do professor em sala de aula, mesmo com a aprendizagem por pares ou com as TD. E o professor recebe novos papéis, como de catalisador, consultor, conector e colaborador, como descrito por Resnick (2020), ou ainda, de acordo com Bacich e Holanda (2020), como um *design* de experiências autênticas de aprendizagem. Assim, inspirados pelas obras de Freire (2007) e Resnick (2020), reconhecemos que o ensino não se resume à mera transferência de conhecimento, mas sim a um processo dinâmico de interação entre professores e alunos, onde ambos desempenham papéis ativos e colaborativos, que podem ser ampliados para o quarteto professores-alunos-tecnologia-conhecimento.

Dessa forma, nosso estudo pode contribuir com os professores, ao trazer a descrição de como aconteceu o curso, podendo ser uma prática educativa adaptável e replicável para outros contextos educacionais. Contribui também com o meio acadêmico, ao trazer uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com os dados analisados por meio da metassíntese de estudos nacionais e internacionais, que elucidam práticas e investigações exploratórias sobre o Tinkercad e sobre a impressora 3D, bem como a integração entre essas duas tecnologias no ensino.

Adicionalmente, o estudo traz uma inovação quanto ao método de análise de pesquisa utilizado e sobre a temática da FD, que é um tema recente na literatura. Para além da RSL e conceituação de termos associados à FD, realizamos um curso de extensão com estudantes da Educação Básica, do qual apresentamos e discutimos os resultados, chegando a uma teoria interpretativa sobre o uso da FD como processo pedagógico que contribui para o ensino de geometria, por meio do uso do Tinkercad e da impressora 3D. Assim, a contribuição se estende também à área de geometria, pois propomos estratégias para seu ensino e explicitamos a FD como um processo pedagógico para seu ensino.

O nosso estudo teve limitações, pois, por exemplo, não conseguimos explorar os parâmetros do *software* fatiador com os estudantes. Bem como ansiávamos por desenvolver

com os estudantes um projeto mais amplo, em que eles utilizassem os processos de FD para projetos STEAM, que apresentassem soluções de acessibilidade arquitetônica na escola, mas não foi possível devido à ruptura total com a forma de ensino com que são acostumados, além do tempo e falta de recursos que possibilitassem a automatização de algo que fosse proposto.

Também vemos como uma limitação a não discussão da avaliação no processo pedagógico, uma vez que a avaliação em abordagens de ensino baseadas na cultura *maker* não é como a tradicional, em que se utiliza como instrumento apenas a prova escrita. Mas na ABP apresentamos uma rubrica que criamos com os estudantes e pode ser utilizada como base. E a roda de conversa e o questionário com perguntas abertas podem ser formas de avaliação, ao permitirem a reflexão sobre o processo, em que o estudante identifica facilidades, dificuldades, o que sabia, o que não sabia e o que descobriu durante o processo de ensino.

No decorrer do estudo, foi possível identificar lacunas que podem gerar novos estudos, como o uso dos processos de FD para o desenvolvimento de projetos STEAM ou com abordagem de *Design Thinking*, que tem tudo a ver com esse processo de criação e modelagem. Bem como estudo dos parâmetros presentes nos *softwares* fatiadores, pois apresentam relações matemáticas. Os processos de FD também podem ser utilizados em outros contextos, níveis de ensino e para o ensino de outros objetos de conhecimento, matemáticos ou não.

O processo de FD também tem desafios, como o acesso e a integração das TD no processo de ensino, e o acesso a espaços equipados para sua execução. Mas, no estado de Mato Grosso, temos o movimento do Programa EducAção – 10 anos, que tem como um dos pilares tecnologia e educação, e podemos contar também com a FAPEMAT, para o financiamento de projetos que tragam materiais e equipamentos permanentes para a escola.

Certamente, o percurso desta pesquisa, desde a concepção inicial até a formulação de uma teoria substantiva sobre a fabricação digital como processo pedagógico para o ensino de geometria espacial, representa uma jornada de aprendizado e descoberta. Inicialmente, ao pleitear uma vaga de mestrado, o termo FD era desconhecido, mas, ao longo de dois anos de intensa pesquisa, esse desconhecimento se transformou em um entendimento e construção de uma teoria interpretativa da prática educativa.

O processo envolveu diversas etapas, desde a pesquisa bibliográfica e a revisão da literatura até a elaboração e realização de um curso de extensão e a análise dos dados coletados. A aplicação da TFD permitiu a construção de uma teoria substantiva, fundamentada nas experiências e percepções dos participantes do estudo.

Ao teorizar a FD como um processo pedagógico, capaz de enriquecer o ensino de geometria espacial, o estudo revela não apenas a complexidade e os desafios envolvidos, mas também o orgulho e a satisfação decorrentes de chegar à finalização. É um testemunho do comprometimento, da dedicação e da paixão pela pesquisa e pelo ensino, refletindo o potencial transformador da educação e da inovação pedagógica.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, C. **A nova revolução industrial:** *Makers*. Tradução de Afonso Celso da Cunha Serra. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ANTUNES, R.; PINTO, G. A. **A fábrica da educação:** da especialização taylorista à flexibilização toyotista. São Paulo: Cortez, 2017.

ARAÚJO, J. de L.; BORBA, M. de C. Construindo pesquisas coletivamente em Educação Matemática. *In:* FIORENTINI, Dario *et al*. **Pesquisa qualitativa em educação matemática**. 6. ed. 1. reimp. Belo Horizonte: Autêntica, 2020.

BACICH, Lilian; HOLANDA, Leandro. **STEAM em sala de aula**: a aprendizagem baseada em projeto integrando conhecimentos na educação básica. Porto Alegre: Penso, 2020.

BANDEIRA, Laís Michelle de Souza Araújo *et al.* Instrumento de Avaliação do *Software* Educacional Tinkercad: uma visão fundamentada na BNCC. *In:* WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA, 25., **Anais [...]**, SBC, 2019. p. 1324-1328.

BARBOZA, L. R.; SABBA, C. G. **O estudo da matemática com o uso da impressora 3D na educação básica no Estado de São Paulo**. S.d.

BENDER, William N. **Aprendizagem Baseada em Projetos:** Educação Diferenciada para o século XXI. Tradução de Fernando de Siqueira Rodrigues; revisão técnica de Maria da Graça Souza Horn. Porto Alegre: Penso, 2014.

BITTAR, Marilena. A escolha do software educacional e a proposta pedagógica do professor: estudo de alguns exemplos da Matemática. In: Educação Matemática, Tecnologia e Formação de Professores: algumas reflexões. / (Orgs.) de Willian Beline e Nielce Meneguelo Lobo da Costa. Campo Mourão: Editora da FECILCAM, 2010 - p. 215-242.

BHADURI, Srinjita; BIDDY, Quentin L.; BUSH, Jeffrey B.; SURESH, Abhijit; SUMNER, Tamara. **3DnST**: A Framework Towards Understanding Children's Interaction with Tinkercad and Enhancing Spatial Thinking Skills. *In:* INTER-ACTION DESIGN AND CHILDREN (IDC '21), June 24–30, 2021, Athens, Greece. ACM, New York, NY, USA, 11 pages. DOI: https://doi.org/10.1145/3459990.3460717.

BLIKSTEIN, Paulo. Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention. In J. Walter-Herrmann & C. Büching (Eds.), FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors. Bielefeld: Transcript Publishers, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BRERETON, P.; KITCHENHAM, B. A.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; KHALIL, M. Lessons from applying the systematic literature review process within the *software* engineering domain. **Journal of Systems and Software**, v. 80, n. 4, p. 571-583, 2007.

BUDINSKI, Natalija; LAVICZA, Zsolt; HOUGHTON, Tony. Opportunities for 3D printing in Hybrid Education. **Open Education Studies**, v. 4, n. 1, p. 339-344, 2022.

CADENA-BLANCO, Faviola; ARIAS-RUEDA, María Judith; ARIAS-RUEDA, Jhon. **Geometría y emprendimiento con Tinkercad desde el enfoque de la educación STEAM**. 2022.

CHARMAZ, Kathy. **A construção da teoria fundamentada** [recurso eletrônico]: um guia prático para análise qualitativa. Tradução de Joice Elias Costa. Porto Alegre: Artmed, 2009.

CRESWELL, John W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa** [recurso eletrônico] : escolhendo entre cinco abordagens. Tradução: Sandra Mallmann da Rosa; revisão técnica: Dirceu da Silva. – 3. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : Penso, 2014.

DILLING, Frederik; VOGLER, Amelie. Fostering spatial ability through computer-aided design: A case study. **Digital Experiences in Mathematics Education**, v. 7, n. 2, p. 323-336, 2021.

DOS SANTOS, Jhonatt Lima; SGANZERLA, Maria Adelina Raupp. Impressora 3D de baixo custo para auxiliar cegos e/ou baixa visão na construção de sólidos geométricos: Projeto mark. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, v. 1, n. 16, 2018.

EYCHENNE, F.; NEVES, H. **Fab Lab:** a vanguarda da nova revolução industrial. São Paulo: Editora Fab Lab Brasil, 2013.

FABFOUDATION. Projetar/fabricar/compartilhar. **Fab Labs.** Disponível em: https://fabfoundation.org/. Acesso em: 13 nov. 2022.

FABRICAR. *In:* CUNHA, Antônio Geraldo da. **Dicionário etimológico da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Lexikon, 2012. p. 283.

FELIZARDO, C. R.; NAKAGAWA, E. Y.; FABBRI, S. C. P. F.; FERRARI, F. C. **Revisão Sistemática da Literatura em engenharia de *software***: teoria e prática. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. ISBN: 978-85-352-8641-0.

FINKEL, Don. Dar clase con la boca cerrada. **Revista electrónica sobre la enseñanza de la Economía Pública Págs**, v. 49, p. 60, 2008.

FIORENTINI, D. Investigação em Educação Matemática desde a perspectiva acadêmica e profissional: desafios e possibilidades de aproximação. **Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática**, p. 61-82, 2013.

FONSECA, Maria da Conceição F. R. *et al*. **O ensino de geometria na escola fundamental**: três questões para a formação do professor dos ciclos iniciais. Belo Horizonte: Autêntica, 2001.

FREITAS, Rosiane de *et al.* **InCircle**: uma versão planar do jogo da Torre de Hanoi na aprendizagem de conceitos matemático-computacionais. 2019.

GERSHENFELD, Howard K.; PHILIBERT, Robert A.; BOEHM, Gary W. Looking forward in geriatric anxiety and depression: implications of basic science for the future. **The American Journal of Geriatric Psychiatry**, v. 13, n. 12, p. 1027-1040, 2005.

GERSHENFELD, N. *et al.* **Designing reality:** how to survive and thrive in the third digital revolution. New York: Basic Books, 2017.

GONZÁLEZ YANES, Borja *et al.* **Estudio de la Geometría Tridimensional Mediante *Software* de Modelado 3D**. 2021.

HEDLER, Larissa Weyh Monzon. **Desenvolvimento do pensamento geométrico espacial GeoGebra, Impressora 3D e Abstração Reflexionante**: processo de abstração reflexionante. Tese, 2020.

HUANG, Chiung-Yi; WANG, Jen Chun. Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: Developing and evaluating an elementary school design-oriented model course. **Computers & Education**, v. 187, p. 104553, 2022.

IGOE, T.; MOTA, C. A Strategist's Guide to Digital Fabrication. **Strategy+Business**, Issue 64-Autumn, 2011.

ISAACSON, W. **Os inovadores:** uma Biografia da Revolução Digital. Rio de Janeiro: Companhia das Letras, 2014.

JUCÁ, D. de L. O. **O uso da Prototipagem e Fabricação Digital no ambiente Fab Lab.** Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-Graduação em Design, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

JUNG, Young Chun; LEE, Kyung Taek. A STEAM Experience Activity Task: Making and Experiencing Goods for the Disabled with Physical Computing Tools and 3D Printing Technology. **Brain, Digital, & Learning**, v. 12, n. 4, p. 675-692, 2022.

KADEEVA, O. E. *et al.* Creation of the Simplest 3d Models for Additional Education. **Revista Turismo Estudos e Práticas-RTEP/UERN**, n. 4, p. 1-10, 2020.

KITCHENHAM, B.; BRERETON, P.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; BAILEY, J.; LINKMAN, S. Systematic literature reviews in *software* engineering – A systematic literature review. **Information and Software Technology**, v. 51, p. 7-15. 2009.

KITCHENHAM, B. A.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing systematic literature reviews in *software* engineering** – version 2.3. Keele/Staffs-UK and Durham-UK, 2007.

KNILL, O; SLAVKOVSKY, E. A. **Thinking like Archimedes with a 3D printer**. Harvard University, 2013.

KOSTAKIS, V. **Open source 3D printing as a means of learning:** An educational experiment in two high schools in Greece. Telematics and Informatics, v. 32, p. 118-128, 2015.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 2, n. 6, p. 239-242, 2014.

LIEBAN, Diego; LAVICZA, Zsolt. Dissecting a cube as a teaching strategy for enhancing students' spatial reasoning: Combining physical and digital resources. *In:* BRIDGES 2019: MATHEMATICS, ART, MUSIC, ARCHITECTURE, EDUCATION, CULTURE. **Proceedings [...]**, 2019. p. 319-326.

LIMA, Paulo Figueiredo; PITOMBEIRA, João Bosco P. Fernandes de Carvalho. Geometria. *In:* BRASIL. Ministério da Educação. **Matemática**: Ensino Fundamental. Brasília: MEC, 2010.

LOPES, A. L. M.; FRACOLLI, L. A. Revisão sistemática de literatura e metassíntese qualitativa: considerações sobre sua aplicação na pesquisa em enfermagem. **Texto & Contexto-Enfermagem**, v. 17, p. 771-778, 2008.

LORENZATO, S. Por que não ensinar geometria? **Educação Matemática em Revista**, São Paulo, v. 4, p. 3-13, jan./jun. 1995.

MANGIONE, Giuseppina Rita Jose; GARZIA, Maeca; ESPOSITO, Antonietta. Verso un curricolo *Maker* 5-8 K. Principi e applicazioni per lo sviluppo della competenza geometrica tramite 3D printing. **Qwerty-Open and Interdisciplinary Journal of Technology, Culture and Education**, v. 14, n. 1, p. 93-115, 2019.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. Atualização de João Bosco Medeiros. 8. ed. Barueri, SP: Atlas, 2022.

MARQUES, G. Q. **Aprendizagem Baseada em Problemas na formação inicial de professores de ciências**: uma análise a partir da Teoria Fundamentada nos Dados. 2022. 259 f. Tese (Doutorado em Educação em Ciências e Educação Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Educação Matemática, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel, PR, 2022.

MOREIRA, Marco A. **Ensino e aprendizagem significativa**. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

MORETTO, Vasco Pedro. **Planejamento:** planejando a educação para o desenvolvimento de competências. – Editora Vozes, Ed. 10, 2019.

NIKOLAUS, K. **Self-organizing factories** - SIEMENS - Pictures of the Future. 1 out. 2014. Disponível em: http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-thefuture/industry-and-automation/digtial-factorytrends-industry-4-0.html. Acesso em: 10 nov. 2022.

NOLLA, Álvaro *et al.* Impresión 3D como un recurso para desarrollar el potencial matemático. **Contextos educativos: Revista de Educación**, 2021.

PAI, M.; MCCULLOCH; M.; GORMAN, J. D.; PAI, N.; ENANORIA, W.; KENNEDY, G.; THARYAN, P.; COLFORD, J. M. Systematic reviews and meta-analyses: an illustrated, step-by-step guide. **The National Medical Journal of India**, v. 17, n. 2, p. 89-95, 2004.

PAIO, A. Desafios Digitais na Educação do Século XXI: A Fabricação Digital como Recurso Didático. **Boletim da Aproged**, n. 35, dez. 2021.

PAVANELLO, Regina Maria. O abandono do ensino da geometria no Brasil: causas e consequências. **Zetetiké: Revista de Educação Matemática**, v. 1, p. 7-18, n. 1, 2009.

PIELSTICKER, Felicitas; WITZKE, Ingo; VOGLER, Amelie. Edge Models with the CAD *Software*: Creating a New Context for Mathematics in Elementary School. **Digital Experiences in Mathematics Education**, v. 7, p. 339-360, 2021.

PIMENTA, S. G.; LIMA, M. S. L. **Estágio e Docência**. São Paulo: Cortez, 2004.

PRIGOL, E. L.; BEHRENS, M. A. Teoria Fundamentada: metodologia aplicada na pesquisa em educação. **Educação & Realidade**, v. 44, 2019.

REICHENBERGER, Sandra *et al.* 3D Printing to Address Solids of Revolution at School. **Bridges**, p. 493-496, 2019.

RESNICK, Mitchel. **Jardim de infância para a vida toda:** por uma aprendizagem criativa, mão na massa e relevante para todos. Tradução: Mariana Casetto Cruz, Lívia Rulli Sobral; revisão técnica: Carolina Rodeghiero, Leo Burd. – Porto Alegre: Penso, 2020.

ROGENSKI, Maria Lúcia Cordeiro; PEDROSO, Sandra Mara Dias. O Ensino da Geometria na Educação Básica: realidade e possibilidades. Ponta Grossa, PR, v. 13, p. 44-4, 2019.

ROSA, B. F. da. **(RE)pensar a Fabricação Digital:** uma análise das produções científicas sobre Fabricação Digital. Porto Alegre, 2019.

SANTOS, J. L. G. dos; CUNHA, K. S. da; ADAMY, E. K.; BACKES, M. T. S.; LEITE, J. L.; SOUSA, F. G. M. de. Análise de dados: comparação entre as diferentes perspectivas metodológicas da Teoria Fundamentada nos Dados. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 52, e03303, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/S1980-220X2017021803303.

SANTOS, R. S.; SOARES, R. A. L. **O processo de impressão 3d como ferramenta mediadora no ensino e aprendizagem de geometria espacial na educação básica**. Dissertação, 2021.

SEELY, J. C. K. **Digital Fabrication in the architectural design process**. Dissertação (Master of Scicen Architecture Studie) – Massachusetts, 2004.

SILVA, R. B. e; MERKLE, L. E. Perspectivas educacionais FabLearn**:** conceitos e práticas *maker* no Brasil. *In:* FABLEARN BRAZIL CONFERENCE, 2016, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/28491291/Perspectivas_educacionais_FabLearn_conceitos_e_pr%C3%A1ticas_*maker*_no_Brasil. Acesso em: 11 nov. 2022.

SOUZA, V. S. de. **O homo faber segundo Hannah Arendt**. 2013. 85 p. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Programa de Pós-Graduação em Filosofia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

STECANELA, N. O cotidiano como fonte de pesquisa nas ciências sociais. **Conjectura**, v. 14, n. 1, jan./maio 2009.

STOICA, A. Using math projects in teaching and learning. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 180, p. 702-708, 2015.

VORÁŸOVÁ, Š. **Learning congruence through ornaments and tiling**. 2021.

WISHBOX. **Manufatura Aditiva**: entenda o que é e como ela funciona. Wishbox, 2015. Disponível em: https://www.wishbox.net.br/blog/o-que-e-manufatura-aditiva/. Acesso em: 01 out. 2022.

ZHANG, H.; BABAR, M. A. Systematic reviews in *software* engineering: An empirical investigation. **Information and Software Technology**, v. 55, n. 7, p. 1341-1354, 2013.

APÊNCIDE A – RUBRICA DE AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS

Artefato	Data final	Terreno vazio - 1	Estrutura pronta - 2	Paredes Erguidas - 3	Casa pronta para morar - 4
Caneca personalizada	04/05	Não fabricou a caneca e/ou apenas copiou da professora.	Modelou a caneca, porém na hora da impressão não deu certo. Mas entendeu os conceitos matemáticos envolvidos na sua fabricação.	Modelou a caneca e a impressão foi boa. Porém, não compreendeu as características da geometria espacial nesse processo.	Modelou a caneca e a impressão foi perfeita. Compreendeu as características da geometria espacial nesse processo e soube relatar.
Pesquisa	04/05	Não tenho feito nenhuma pesquisa sobre o tema do meu projeto.	Realizamos a pesquisa quando o(a) professor(a) pediu, mas não entendemos, apenas copiamos e colamos.	Realizamos a pesquisa quando o(a) professor(a) pediu, mas entendemos, e sabemos falar sobre.	Realizamos a pesquisa quando o(a) professor(a) pediu e durante o processo de construção, quando tivemos dúvidas ou quisemos aprofundar nosso conhecimento. Sabemos falar sobre o assunto.
Sólidos geométricos	25/05	Não construiu os sólidos.	Apenas o construtor realizou, os demais integrantes do grupo não têm conhecimento do artefato construído.	O grupo auxiliou o construtor no entendimento das características para construção dos sólidos. Porém, algumas características não aparecem no artefato.	Um conjunto de sólidos que representem as características do grupo que fazem parte. Ex.: pirâmides e primas.
Diário de campo	Durante todo o processo	Não tenho registrado nada sobre o projeto.	Tenho registrado alguma coisa, mas muito pouco.	Tenho registrado tudo, mas de forma superficial/generalizada.	Faço o relatório detalhado, expondo elementos importantes do tema, bem como descobertas e desafios.
Plano de ação	01/06	Não consegue definir tarefas menores para a fabricação dos artefatos. Realiza as atividades sem planejamento prévio.	Define apenas tarefas a curto prazo, sem pensar na totalidade.	Define tarefas de médio prazo, dividindo uma tarefa grande em menores.	Organizado com noção de longo prazo, pontua tarefas menores para alcançar um objetivo maior. Descreve claramente a atividade a ser realizada, quem a desenvolverá, tem data final.
GIF no Tinkercad	16/06	A programação em blocos não foi finalizada e o grupo demonstra não ter entendido o conceito a ser demonstrado no GIF.	O GIF demonstra parcialmente o conceito em questão. A programação em blocos está finalizada. O grupo não realizou pesquisa para entender melhor o conceito e somente o	O GIF demonstra bem o conceito em questão. A programação em blocos está finalizada. O grupo pesquisou, perguntou aos professores e não teve autonomia e criatividade na construção.	O GIF demonstra bem o conceito em questão. A programação em blocos está finalizada. O grupo pesquisou, perguntou aos professores, mas teve autonomia e criatividade na construção. Todos do grupo demonstram entender o processo.

			construtor sabe o que foi feito.	Somente o construtor do grupo demonstra entender o que foi realizado.	
Vídeo	22/06	Roteiro regular, nem todos os integrantes do grupo participaram, explicação incompleta, não evidencia as etapas vivenciadas na eletiva e não reconhece as características dos sólidos apresentados.	Roteiro regular, nem todos os integrantes do grupo participaram, explicação incompleta das etapas vivenciadas na eletiva e as características dos sólidos apresentados.	Roteiro bom, todos os integrantes do grupo participaram, explicação incompleta das etapas vivenciadas na eletiva e as características dos sólidos apresentados.	Roteiro bom, todos os integrantes do grupo participaram, explicação clara das etapas vivenciadas na eletiva e das características dos sólidos geométricos apresentados.

APÊNDICE B – *WEBQUEST*: INSTRUÇÕES PERSONALIZADAS PARA CADA GRUPO



RELATOR(A)



IDEADOR(A)



CONSTRUTOR(A)

Olá, grupo 1!!!

Vocês já fabricaram uma caneca personalizada, em que foi possível conhecer algumas funções e figuras espaciais disponíveis na plataforma Tinkercad. Também realizaram uma pesquisa com o tema "**Poliedros convexos e não convexos**" e "**Relação de Euler**". Hoje o desafio será criar um gif sobre o tema usando a linguagem de programação em blocos.

Mas antes vamos relembrar alguns conceitos importantes? Escreva abaixo com suas palavras o que é poliedro e qual diferença de um poliedro convexo e não convexo.

_____

_____

_____

_____

_____

Agora, me diga, qual a relação de Euler e o que significam as letras V, F e A?

_____

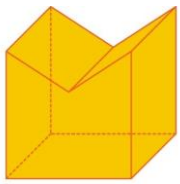
_____

_____

_____

Vocês também já construíram um poliedro convexo e um não convexo (côncavo) nos projetos do Tinkercad. Parabéns, que trajetória, hein!

Agora, antes de iniciar a construção do gif, abra a plataforma Tinkercad, faça o seu login, vá em aulas. Após entrar na sala Geo3DPrint, vá na atividade Construção do gif e clique em Projeto 3D. Construa o sólido abaixo e escreva aqui o passo-a-passo que seguiu para a construção.



_____

_____

Uau, parabéns!!! Agora, saiam do projeto 3D e clique em “Blocos de código”. Agora com base na descrição acima feita por vocês e nos blocos disponíveis no *software*, construam o mesmo sólido, assim ele terá movimento.

Caso tenham dificuldade, vocês podem acessar o vídeo: https://youtu.be/qEdWIDUe8Hc e contar com o auxílio da professora. Entretanto, lembrem-se, quero ver a autonomia e protagonismo de vocês nesse processo, bom trabalho!



RELATOR(A)



IDEADOR(A)



CONSTRUTOR(A)

Olá, grupo 2!!!

Vocês já fabricaram uma caneca personalizada, em que foi possível conhecer algumas funções e figuras espaciais disponíveis na plataforma Tinkercad. Também realizaram uma pesquisa com o tema "**Poliedros de Platão**". Hoje o desafio será criar um gif sobre o tema usando a linguagem de programação em blocos.

Mas antes vamos relembrar alguns conceitos importantes? Escreva abaixo com suas palavras o que é poliedro e o que é um poliedro de Platão.

_____

_____

_____

_____

_____

Agora, me diga quais são os poliedros de Platão e descreva as características de cada um (quantas faces, arestas e vértices).

_____

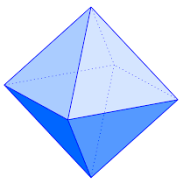
_____

_____

_____

Vocês também já construíram três poliedros: hexaedro, tetraedro e icosaedro no projeto do Tinkercad. Parabéns, que trajetória, hein! Faltam o octaedro e o dodecaedro.

Agora, antes de iniciar a construção do gif, abra a plataforma Tinkercad, faça o seu login, vá em aulas. Após entrar na sala Geo3DPrint, vá na atividade Construção do gif e clique em Projeto 3D. Construa o sólido abaixo (octaedro) e escreva aqui o passo-a-passo que seguiu para a construção.



_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Uau, parabéns!!! Agora, saia do projeto e clique em "Blocos de código". Com o conhecimento das características e dos blocos disponíveis no *software* construa o dodecaedro, uma vez que, no projeto 3D, é difícil fazê-lo. Como se trata de uma figura complexa, veja o tutorial disponível em: https://coderdojolarinconada.github.io/Dodecaedro-3D/.

Caso tenham dificuldade sobre a plataforma, vocês podem acessar o vídeo: https://youtu.be/qEdWIDUe8Hc e contar com o auxílio da professora. Mas lembrem-se, quero ver a autonomia e protagonismo de vocês nesse processo, bom trabalho!



RELATOR(A)



IDEADOR(A)



CONSTRUTOR(A)

Olá, grupo 3!!!

Vocês já fabricaram uma caneca personalizada, em que foi possível conhecer algumas funções e figuras espaciais disponíveis na plataforma Tinkercad. Também realizaram uma pesquisa com o tema "**Prismas**". Hoje o desafio será criar um gif sobre o tema usando a linguagem de programação em blocos.

Mas antes vamos relembrar alguns conceitos importantes? Escreva abaixo com suas palavras o que é poliedro e o que é prisma.

_____

_____

_____

_____

_____

Agora, me diga como se caracteriza um prisma (qual polígono forma as laterais?) e como ele é nomeado.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Vocês também já construíram quatro prismas no projeto do Tinkercad. Parabéns, que trajetória, hein!

Agora abra a plataforma Tinkercad**, faça o seu login, vá em aulas. Após entrar na sala Geo3DPrint, vá na atividade Construção do gif e clique em "*Código de blocos*". Com base nas características de um prisma e nos blocos disponíveis no *software*, construa um prisma quadrangular. Anote uma sequência de passos/informações que podem ajudá-lo nesse desafio.**

_____

_____

_____

_____

_____

Caso tenha dificuldade, você pode acessar o vídeo: https://youtu.be/qEdWIDUe8Hc e contar com o auxílio da professora, mas lembre-se, quero ver sua autonomia e protagonismo nesse processo, bom trabalho!



RELATOR(A)



IDEADOR(A)



CONSTRUTOR(A)

Olá, grupo 4!!!

Vocês já fabricaram uma caneca personalizada, em que foi possível conhecer algumas funções e figuras espaciais disponíveis na plataforma Tinkercad. Também realizaram uma pesquisa com o tema "**Pirâmides**". Hoje o desafio será criar um gif sobre o tema usando a linguagem de programação em blocos.

Mas antes vamos relembrar alguns conceitos importantes? Escreva abaixo com suas palavras o que é poliedro e o que é pirâmide.

_____

_____

_____

_____

_____

Agora, me diga como se caracteriza uma pirâmide (qual polígono forma as laterais?) e como ela é nomeada.

_____

_____

_____

_____

_____

Vocês também já construíram três pirâmides no projeto do Tinkercad. Parabéns, que trajetória, hein!

Agora abra a plataforma Tinkercad**, faça o seu login, vá em aulas. Após entrar na sala Geo3DPrint, vá na atividade Construção do gif e clique em "*Código de blocos*" e, com base nas características de uma pirâmide e nos blocos disponíveis no *software*, construa uma pirâmide quadrangular. Anote uma sequência de passos/informações que podem ajudá-lo nesse desafio. Uma dica: comece pela base.**

_____

_____

_____

_____

_____

Caso tenha dificuldade, você pode acessar o vídeo: https://youtu.be/qEdWIDUe8Hc e contar com o auxílio da professora, mas lembre-se, quero ver sua autonomia e protagonismo nesse processo, bom trabalho!



RELATOR(A)



IDEADOR(A)



CONSTRUTOR(A)

Olá, grupo 5!!!

Vocês já fabricaram uma caneca personalizada, em que foi possível conhecer algumas funções e figuras espaciais disponíveis na plataforma Tinkercad. Também realizaram uma pesquisa com o tema "**Corpos redondos**". Hoje o desafio será criar um gif sobre o tema usando a linguagem de programação em blocos.

Mas antes vamos relembrar alguns conceitos importantes? Escreva abaixo com suas palavras o que é poliedro e o que são corpos redondos (sólidos de revolução).

_____

_____

_____

_____

_____

Agora, me diga quais são os três principais sólidos de revolução e qual polígono plano é rotacionado para gerar cada um desses sólidos.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Vocês também já iniciaram o processo de construção de cada sólido, porém falta refazê-los arrumando a quantidade de lados para o máximo. Parabéns, que trajetória, hein!

Agora abra a plataforma Tinkercad**, faça o seu login, vá em aulas. Após entrar na sala Geo3DPrint, vá na atividade Construção do gif e clique em "*Código de blocos*" e, com base nas características de um corpo redondo e nos blocos disponíveis no *software*, construa um gif que mostre um retângulo girando em torno do eixo z e criando um cilindro. Anote uma sequência de passos/informações que podem ajudá-lo nesse desafio.**

_____

_____

_____

_____

_____

Caso tenha dificuldade, você pode acessar o vídeo: https://youtu.be/qEdWIDUe8Hc e contar com o auxílio da professora, mas lembre-se, quero ver sua autonomia e protagonismo nesse processo, bom trabalho!