



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

João Paulo Mannrich

**ENTRE A INOVAÇÃO E A TRADIÇÃO: MOVIMENTO *MAKER*, PRÁTICAS
DOCENTES E INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS DO NÍVEL
MÉDIO À LUZ DO TPACK**

Florianópolis

2026

João Paulo Mannrich

**ENTRE A INOVAÇÃO E A TRADIÇÃO: MOVIMENTO *MAKER*, PRÁTICAS
DOCENTES E INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS DO NÍVEL
MÉDIO À LUZ DO TPACK**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Educação Científica e Tecnológica da Universidade
Federal de Santa Catarina como requisito parcial para
a obtenção do título de Doutor em Educação
Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Paulo José Sena dos Santos, Dr.

Florianópolis

2026

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Mannrich, João Paulo

ENTRE A INOVAÇÃO E A TRADIÇÃO : MOVIMENTO MAKER,
PRÁTICAS DOCENTES E INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA NO ENSINO DE
CIÊNCIAS DO NÍVEL MÉDIO À LUZ DO TPACK / João Paulo Mannrich
; orientador, Paulo José Sena dos Santos, 2025.
309 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas,
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica,
Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Movimento Maker.
3. Educação Científica. 4. Formação de professores. 5. TPACK.
I. Sena dos Santos, Paulo José. II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação
Científica e Tecnológica. III. Título.

João Paulo Mannrich

Entre a inovação e a tradição: movimento *maker*, práticas docentes e integração tecnológica no ensino de ciências do nível médio à luz do TPACK

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 16 de dezembro de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros

Prof. Éliton Meireles de Moura, Dr.
Teachers College – Universidade de Columbia

Profa. Fernanda Battú e Gonçalo Dra.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Profa. Gabriela Kaiana Ferreira, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutor em Educação Científica e Tecnológica.

 Documento assinado digitalmente
Andre Ary Leonel
Data: 10/03/2026 08:25:03-0300
CPF: ***.602.779-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

 Documento assinado digitalmente
Paulo Jose Sena dos Santos
Data: 09/03/2026 17:08:25-0300
CPF: ***.692.507-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Paulo José Sena dos Santos, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2026.

Nós temos algo grandioso para cultivar na vida ainda: a inocência.

Que nossos filhos voltem a tocar gaita, a ter o seu cavalo, a roubar frutas nas esquinas, ou quem sabe não matar tanta aula, porque isso faz parte da inocência.

Se nós pudéssemos voltar no tempo, aprender, porque todo mundo, quando quer se superar, volta para um banco escolar, para uma faculdade, e num determinado tempo está formado.

Ninguém se forma de pai, de filho, de amigo. É difícil essa universidade; nem todos têm um lar onde possam ir para se instruir.

Por isso, querer bem a um filho não significa obrigá-lo a viver com nossas verdades; querer bem um filho significa apenas ajudá-lo a crescer —, ajudá-lo a crescer sem as nossas mentiras.

— Dante Ramon Ledesma, introdução de “Guri” ao vivo.

Dedico este trabalho aos meus pais, Alcides (*in memoriam*) e Guiomar, por nunca medirem esforços para que pudéssemos “nos instruir” e alcançar a formação universitária.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Alcides (*in memoriam*) e Guiomar, por dedicarem suas vidas a garantir um futuro melhor aos filhos. Suas palavras sempre ecoaram como orientação e afeto: “Estude, filho, pois o conhecimento é a coisa mais preciosa que você pode ter”.

À minha esposa Aline, com quem tenho dividido o bem mais valioso de que dispomos: o tempo da vida. Este projeto também é fruto do que construímos juntos, dos incentivos, dos desabafos, dos momentos de euforia compartilhados e do apoio incondicional que tornou este sonho possível. Estamos tornando-nos doutor (e doutora?)!

Aos amigos e familiares que acompanharam essa trajetória, pelas mensagens de apoio e pela compreensão das escolhas e ausências necessárias ao processo.

Ao professor Paulo Sena, por aceitar me orientar e por conduzir cada encontro com paciência, empatia e cordialidade. Em um ambiente acadêmico nem sempre acolhedor, suas atitudes foram essenciais. Nossas conversas contribuíram não apenas para a pesquisa, mas também para reflexões importantes sobre minha prática profissional.

Ao Éliton, que conheci ainda em 2019 e que gentilmente aceitou conversar comigo sobre sua pesquisa e trajetória acadêmica. Suas contribuições iniciais, bem como suas leituras e apontamentos cuidadosos durante a qualificação, foram determinantes para a definição dos caminhos desta tese. Sou igualmente grato pelas trocas que tivemos durante a conferência FabLearn, em New York.

À professora Gabriela, pelos apontamentos realizados na qualificação, que ajudaram a esclarecer aspectos centrais do texto e contribuíram para sua organização estrutural.

À professora Fernanda, pela leitura atenta da versão final e pela participação na banca, oferecendo um olhar rigoroso e sensível sobre a perspectiva teórico-metodológica adotada.

Ao professor Diego, pela leitura atenta da versão apresentada à banca e envio de sugestões para a escrita final da tese.

Aos colegas do Parque Viva Ciência e do Baú de Ciências, em especial ao professor Nelson Canzian e aos amigos Osvaldo Vieira Jr., Thiago Farias e Vilmar Minella Jr., pelos diálogos que seguem ressoando nas minhas reflexões sobre o papel da educação científica na sociedade, tanto em contextos formais quanto não formais.

Aos colegas de pesquisa da UFSC, especialmente aos grupos Lantec e Prosa, pelas experiências compartilhadas ao longo da formação. Destaco Elizandro e Eduarda, com quem embarquei, em plena pandemia, em uma aventura formativa sobre o “universo *maker*” na educação escolar.

Aos colegas da Gerência de Educação Básica do Sesi/SC, representados aqui na pessoa do amigo Othon, pela parceria e incentivo desde o início dessa jornada. Muitas reflexões presentes nesta tese são fruto de um processo de cognição distribuída, alimentado por nossas discussões ao longo dos anos.

À instituição Sesi, que autorizou a realização da pesquisa e, especialmente, aos professores da rede que dedicaram parte de seu tempo de vida para compartilhar seus conhecimentos e práticas, possibilitando a concretização deste estudo.

A todos os professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica da UFSC, agradeço pelos ensinamentos e contribuições à minha formação enquanto pesquisador.

Por fim, agradeço ao povo brasileiro, que, consciente ou não, financiou este trabalho, por meio dos impostos que sustentam uma universidade pública, gratuita e de qualidade, uma instituição que transforma vidas e constitui a base de um projeto de país mais justo. Sem essa universidade, minha trajetória e minha perspectiva de futuro teriam sido profundamente diferentes.

A todas e todos, meu muito obrigado!

RESUMO

O Movimento *Maker* ganhou destaque internacional ao articular a cultura do “faça você mesmo” à popularização de tecnologias como impressoras 3D, cortadoras a laser e plataformas de prototipagem digital (Arduino, Raspberry Pi). Na educação, passou a ser disseminado como sinônimo de inovação, com promessas de estimular abordagens ativas, investigativas e criativas. No Brasil, esse cenário se expressa em diferentes iniciativas, entre elas a implantação de espaços *maker* em 16 escolas de Ensino Médio de uma rede privada em Santa Catarina. Esta pesquisa investigou como professores de Ciências da Natureza dessa rede vêm se apropriando dos espaços, tecnologias e princípios do Movimento *Maker* no planejamento e condução de suas aulas, no contexto do Ensino Médio com itinerário formativo, inspirado na abordagem STEAM. O estudo adota o *framework Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) como referência teórico-analítica, articulado aos modelos *Interactive, Constructive, Active, Passive* (ICAP) e *Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition* (SAMR). Na primeira etapa da pesquisa participaram 53 professores da rede que responderam a um questionário padronizado com níveis de concordância na escala Likert. Na segunda etapa foram selecionados nove professores (três de biologia, três de física e três de química), organizados em três grupos que compartilhavam um determinado nível do TPACK identificado no questionário. Cada grupo constitui-se de um professor de biologia, um de física e um de química. A coleta de dados com esses grupos envolveu: análise de registros de práticas docentes; entrevistas semiestruturadas; e materiais de apoio utilizados pelos docentes. As práticas foram avaliadas com base no ICAP (PCK), no SAMR (TCK) para identificação dos níveis de desenvolvimento do TPACK (pré-reconhecendo, reconhecendo, aceitando, adaptando, explorando, avançando). Os resultados revelam uma tensão entre inovação e tradição: predominam estratégias de engajamento ativo-constructivo (ICAP) tanto em unidades tradicionais quanto em unidades *maker*. Contudo, a integração tecnológica se situa entre os níveis de substituição-ampliação em unidades tradicionais e ampliação-modificação em unidades *maker* (SAMR). Emerge um movimento dicotômico: quando há maior foco nos conteúdos disciplinares, a tecnologia é menos explorada; quando as tecnologias são priorizadas, os conteúdos das áreas tendem a se diluir. Os professores encontram-se em níveis intermediários de desenvolvimento do TPACK, especialmente nos estágios “aceitando” e “adaptando”. Quanto aos desafios indicados pelos docentes para integração do movimento *maker* ao Ensino de Ciências, foram identificadas cinco categorias: 1) tempo e carga horária; 2) infraestrutura física e logística; 3) formação e domínio técnico; 4) articulação entre conteúdos e práticas *maker*; e 5) materiais e manutenção. Os docentes também reconhecem benefícios associados nessa integração, categorizados como: 1) compreensão conceitual; 2) promoção do interesse; 3) desenvolvimento de múltiplas competências; 4) fortalecimento do pensamento científico; 5) aprendizagem colaborativa; e 6) inclusão de diferentes perfis de estudantes. Os resultados indicam a necessidade de programas de formação docente que articulem conteúdo, pedagogia e tecnologia permeada de reflexões críticas, aliado a objetivos de ensino específicos. Indicam, também, para a necessidade de mudanças estruturais mais amplas – curriculares, institucionais e culturais – que permitam superar os limites encontrados.

Palavras-chave: movimento *maker*; educação científica; formação de professores; TPACK.

ABSTRACT

The Maker Movement has gained international prominence by linking the “do-it-yourself” culture to the popularization of technologies such as 3D printers, laser cutters, and digital prototyping platforms (Arduino, Raspberry Pi). In education, it has been disseminated as a synonym for innovation, with promises of fostering active, inquiry-based, and creative learning approaches. In Brazil, this scenario is reflected in several initiatives, including the implementation of maker spaces in 16 high schools of a private educational network in Santa Catarina. This research investigated how Science teachers in this network have appropriated the spaces, technologies, and principles of the Maker Movement in planning and conducting their classes, within the context of a high school curriculum featuring a formative track inspired by the STEAM approach. The study adopts the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework as its theoretical-analytical reference, articulated with the Interactive, Constructive, Active, Passive (ICAP) model and the Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition (SAMR) framework. In the first phase of the study, 53 teachers from the network participated by responding to a standardized Likert-scale questionnaire. In the second phase, nine Physics, Chemistry, and Biology teachers were selected and organized into three groups. Data collection with these groups involved analysis of teaching practice records and semi-structured interviews. Teaching practices were assessed using ICAP (PCK), SAMR (TCK), and the developmental stages of TPACK (pre-recognizing, recognizing, accepting, adapting, exploring, advancing). The results reveal a tension between innovation and tradition: active-constructive engagement strategies (ICAP) predominated in both traditional and maker-oriented units. However, technological integration ranged from substitution-augmentation in traditional units to augmentation-modification in maker units (SAMR). A dichotomous pattern emerges: when disciplinary content is prioritized, technology tends to be less explored; when technologies are prioritized, subject-matter content tends to become diluted. Overall, teachers were positioned at intermediate levels of TPACK development, particularly in the “accepting” and “adapting” stages. Teachers also identified five categories of challenges for integrating the Maker Movement into Science Education: 1) limited time and workload; 2) physical and logistical infrastructure; 3) training and technical proficiency; 4) alignment between curricular content and maker practices; 5) materials and maintenance. Conversely, they recognized benefits in six areas: 1) conceptual understanding; 2) promotion of the interest; 3) development of multiple competencies; 4) strengthening of scientific thinking; 5) collaborative learning; 6) inclusion of diverse learner profiles. The findings indicate the need for teacher professional development programs that critically articulate content, pedagogy, and technology, aligned with specific learning objectives. They also point to the need for broader structural changes – curricular, institutional, and cultural – that may help overcome the limitations identified.

Keywords: maker movement; scientific education; teacher training; TPACK.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Impressora 3D Prusa I3 Rework montada pelo autor	25
Figura 2 – Três versões de microscópios feitos com <i>webcam</i>	27
Figura 3 – Imagens obtidas com o microscópio de <i>webcam</i>	28
Figura 4 – Protótipo de <i>faceshield</i> confeccionada.....	29
Figura 5 – Espaço <i>Maker</i> da escola de Ensino Médio na cidade de Jaraguá do Sul	36
Figura 6 – O <i>site</i> “thingiverse.com” com destaque para um projeto de microscópio	43
Figura 7 – Centrífuga com HD desenvolvida pelo pesquisador e disponibilizada no <i>on-line</i> .	44
Figura 8 – Determinação da força G em função da rotação do HD	44
Figura 9 – Protótipo de incubadora desenvolvido pelo pesquisador e disponibilizado no <i>site</i>	45
Figura 10 – À esquerda: Smart Citizens Lab (Amsterdã). À direita: La Paillasse (França)	52
Figura 11 – Equipamentos genéricos de laboratórios de biotecnologia	53
Figura 12 – Diferenças entre atividades “Makificadas” e Atividades <i>Maker</i>	56
Figura 13 – Modelo pedagógico vinculado a uma educação <i>maker</i> construcionista	57
Figura 14 – Modelo TPACK para formação docente.....	61
Figura 15 – Modelo conceitual dos espaços <i>maker</i> do Sesi/SC	83
Figura 16 – Espaço <i>Maker</i> (Criciúma)	84
Figura 17 – Bancada de Fabricação Digital do espaço <i>maker</i> (Joinville)	85
Figura 18 – Torres de Raspberry Pi do espaço <i>maker</i> (Blumenau).....	85
Figura 19 – Espaço de prototipagem e convivência com área molhada ao fundo (Tijucas)	85
Figura 20 – Salas do Google Classroom para cada unidade curricular	91
Figura 21 – Laboratórios móveis Labdisc	95
Figura 22 – Integração em espiral dos constructos TPACK	117
Figura 23 – Circuito com Arduino, um resistor e três leds no simulador <i>Tinkercad</i>	150
Figura 24 – Microscópio produzido pelos estudantes com auxílio de impressão 3D	184
Figura 25 – Registros de projetos desenvolvidos em Robótica por P23	201
Figura 26 – Síntese do processo de desenvolvimento do TPACK.....	222

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Procedimentos da Revisão Sistemática de Literatura.....	67
Quadro 2 – Resultados de buscas em língua inglesa e portuguesa até 14/11/2022.....	68
Quadro 3 – Critérios de inclusão e exclusão da RSL	70
Quadro 4 – Unidades curriculares da matriz do ensino médio com Itinerário STEAM	82
Quadro 5 – Principais recursos disponíveis nos espaços <i>maker</i>	86
Quadro 6 – Principais <i>softwares</i> recomendados para os espaços <i>maker</i>	87
Quadro 7 – Etapas formativas para o Itinerário STEAM	89
Quadro 8 – Oficinas virtuais e síncronas ofertadas aos professores da rede 2021	91
Quadro 9 – Perfil geral do grupo de docentes pesquisado	99
Quadro 10 – Itens para cada construto TPACK do questionário TMTSI adaptado	102
Quadro 11 – Critérios para seleção dos professores entrevistados.....	105
Quadro 12 –Framework SAMR com quatro níveis para examinar o uso da tecnologia	107
Quadro 13 – Rubricas para qualidade da tecnologia inserida nos planejamento	112
Quadro 14 – Exemplo de aplicação de rubricas para determinado conjunto de tecnologias .	114
Quadro 15 – Exemplo de unitarização proposta pelo ChatGPT.....	120
Quadro 16 – Unidades de sentido apresentadas pelo ChatGPT	121
Quadro 17 – Unidades de sentido revisadas pelo pesquisador.....	125
Quadro 18 – Perfil de atuação dos professores selecionados da rede Sesi/SC.....	139
Quadro 19 – P32: dados percentuais do número de aulas de física e suas características	141
Quadro 20 – P32: perfil das aulas vinculadas à categoria “ensino de conteúdos da física”...	142
Quadro 21 – Rubricas aplicadas às tecnologias em física	143
Quadro 22 – P32: características percentuais das aulas de Robótica I.....	145
Quadro 23 – P32: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I.....	146
Quadro 24 – P44: características percentuais das aulas de química.....	152
Quadro 25 – P44: perfil das aulas vinculadas à categoria “ensino de conteúdos da física”...	153
Quadro 26 – Rubricas aplicadas às tecnologias em Química.....	154
Quadro 27 – P44: características percentuais das aulas de FDMG-I	155
Quadro 28 – P44: rubricas aplicadas às tecnologias em FDMG-I	156
Quadro 29 – P25: características percentuais das aulas de física	160
Quadro 30 – P25: perfil das aulas vinculadas à categoria “ensino de conteúdos da física”...	161
Quadro 31 – P25: rubricas aplicadas às tecnologias em Física	161
Quadro 32 – P25: características percentuais das aulas de Robótica I.....	164

Quadro 33 – P25: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I.....	164
Quadro 34 – P11: características percentuais das aulas de biologia.....	169
Quadro 35 – P11: características da categoria “ensino de conteúdos da biologia”	169
Quadro 36 – P11: rubricas aplicadas às tecnologias em Biologia.....	170
Quadro 37 – P11: características percentuais das aulas de <i>Biohackeria</i> I.....	173
Quadro 38 – P11: características da categoria “ensino de conteúdos da <i>biohackeria</i> ”	173
Quadro 39 – P11: rubricas aplicadas às tecnologias em <i>Biohakceria</i>	174
Quadro 40 – P28: características percentuais das aulas de química.....	178
Quadro 41 – P28: características da categoria “ensino de conteúdos de química”	179
Quadro 42 – P28: características da categoria “ensino de conteúdos de química”	180
Quadro 43 – P28: rubricas aplicadas às tecnologias em química.....	180
Quadro 44 – P28: características percentuais das aulas de FDMG-I	183
Quadro 45 – P28: características da categoria “ensino de conteúdos da FDMG-I”	184
Quadro 46 – P28: rubricas aplicadas às tecnologias em FDMG-I	185
Quadro 47 – P23: características percentuais das aulas de física	191
Quadro 48 – P23: características da categoria “ensino de conteúdos da física”	192
Quadro 49 – P23: rubricas aplicadas às tecnologias em Física	192
Quadro 50 – P23: características percentuais das aulas de Robótica I.....	195
Quadro 51 – P23: características da categoria “ensino de conteúdos da robótica”	195
Quadro 52 – P23: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I.....	196
Quadro 53 – P43: características percentuais das aulas de biologia.....	202
Quadro 54 – P43: características da categoria “ensino de conteúdos da biologia”	202
Quadro 55 – P43: rubricas aplicadas às tecnologias em Biologia.....	203
Quadro 56 – P43: características percentuais das aulas de <i>Biohackeria</i> I.....	206
Quadro 57 – P43: características da categoria “ensino de conteúdos de <i>biohackeria</i> ”	206
Quadro 58 – P43: rubricas aplicadas às duas tecnologias em <i>Biohackeria</i>	207
Quadro 59 – Somatório das pontuações para os indicadores ICAP e SAMR	210
Quadro 60 – Tendências de atuação individuais (ICAP e SAMR)	210
Quadro 61 – Frequências absolutas para os indicadores ICAP (PCK) e SAMR (TCK).....	216
Quadro 62 – Perfis gerais do TPACK em unidades curriculares tradicionais e <i>maker</i>	217
Quadro 63 – Síntese dos níveis de integração tecnológica.....	220
Quadro 64 – Oito princípios para formação continuada de professores à luz do TPACK.....	249

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual da formação inicial de todos os respondentes do questionário TMTSI adaptado	99
Gráfico 2 – Média das pontuações de cada constructo TPACK do questionário adaptado com seu respectivo desvio padrão	132
Gráfico 3 – Percentual de respostas para cada item de construto TPACK considerando todos os respondentes do questionário.....	133
Gráfico 4 – Percentual de respostas para cada item do construto TPACK considerando apenas os respondentes que atuam em alguma área de Ciências da Natureza no Ensino Médio	135
Gráfico 5 – Indicadores ICAP x SAMR para os docentes analisados.....	214
Gráfico 6 – Frequências absolutas para o indicadores ICAP (PCK) e SAMR (TCK)	216

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Respostas dos docentes ao questionário TMTSI adaptado.....	104
Tabela 2 – Variáveis estatísticas do instrumento TPACK original e adaptado.....	131
Tabela 3 – Mapa de calor das respostas do instrumento TMTSI adaptado dos professores de Ciências da Natureza que atuam no Ensino Médio	138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADM	Administração
AG	Apps e Games
APRs	Atividades Pedagógicas de Referência
ATD	Análise Textual Discursiva
BANI	Frágil, Ansioso, Não-linear e Incompreensível
BDTCAPES	Banco de Dissertações e Teses da Capes
BDTD IBICT	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
BHK	<i>Biohackeria</i>
BIO	Biologia
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BSCS	<i>Biological Sciences Curriculum Study</i>
Caae	Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
Capes	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBA	<i>Center for Bits and Atoms</i>
CBA	<i>Chemical Bond Approach</i>
CCC	<i>Chaos Computer Club</i>
CEE/SC	Conselho Estadual de Educação de Santa Catarina
CEPSH	Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos
CK	Conhecimento de Conteúdo (<i>Content Knowledge</i>)
CN	Ciências da Natureza
CNI	Conselho Nacional da Indústria
Covid-19	<i>Corona Virus Disease</i> 2019
DiWO	<i>Do It With Others</i>
DIY	<i>Do it Yourself</i>
DIYBio	<i>Do It Yourself Biology</i>
DR/Sesi/SC	Departamento Regional do Serviço Social da Indústria de Santa Catarina
DS	Desenvolvimento de Sistemas
DTE	Design <i>Thinking</i> e Empreendedorismo
E1	Especialista em educação (Matemática Licenciatura; Mestrado em Educação Científica e Tecnológica)

E2	Especialista em educação (Física Licenciatura; Mestrado em Educação Científica e Tecnológica)
E3	Especialista em educação (Física e Matemática Licenciatura; Mestrado em Ensino de Física)
E4	Especialista em educação (Engenharia Elétrica; Mestrado em Engenharia e Gestão do Conhecimento)
E5	Especialista em educação (Matemática; Doutorado em Química)
E6	Especialista em educação (Administração; Mestrado em Gestão Estratégica das Organizações)
E7	Especialista em educação (Letras e Direito; Especialização em Língua Portuguesa)
E8	Especialista em educação (História e Pedagogia; Especialização em Filosofia; Mestrado em História)
EJA	Educação de Jovens e Adultos
EM	Ensino Médio
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
Eric	<i>Education Resources Information Center</i>
FAR	Farmácia
FDMG	Fabricação Digital e Modelamento Geométrico
Fiesc	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
FIS	Física
GPS	Posicionamento Georreferenciado
HD	<i>Hard Disk</i>
IA	Inteligência Artificial
ICAP	Interativo, Construtivo, Ativo e Passivo
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISTEM	Abordagens STEAM interdisciplinares
K-12	Educação básica em países como EUA/Canadá (Kindergarten ao 12º ano)
Labdisc	Laboratórios Móveis de Ciências
Lantec	Laboratório de Novas Tecnologias
LIN	Linguagens (Letras Português, Espanhol ou Inglês)
MD	Mídias Digitais
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MTM	Matemática

MUS	Música
NEM	Novo Ensino Médio
NSF	<i>National Science Foundation</i>
OBA	Olimpíada Brasileira de Astronomia
Obafog	Olimpíada Brasileira de Foguetes
OpenPCRs	Equipamento de PCR de Código Aberto
PCK	Conhecimento Pedagógico de Conteúdo (<i>Pedagogical Content Knowledge</i>)
PED	Pedagogia
PK	Conhecimento Pedagógico (<i>Pedagogical Knowledge</i>)
PL	Projetos Livres
Prosa	Grupo de Pesquisas em Educação e Tecnologia Ético-Crítica
PSSC	<i>Physical Science Study Committee</i>
QMC	Química
ROB	Robótica
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
RTM	Referencial Teórico-Metodológico
SAMR	<i>Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition</i>
SciELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
Sesi/SC	Serviço Social da Indústria de Santa Catarina
SI	Sistemas de Informação
SMSG	<i>Science Mathematics Study Group</i>
STEAM	<i>Science, Technology, Engineering, Arts e Math</i>
STEM	<i>Science, Technology, Engineering e Math</i>
STEMQuest	<i>Webquests</i> voltadas ao ensino STEM
SUS	Sistema Único de Saúde
TCK	Conhecimento Tecnológico de Conteúdo (<i>Technological Content Knowledge</i>)
TDF	Tecnologias de Fabricação Digital
TDIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TK	Conhecimento Tecnológico (<i>Technological Knowledge</i>)
TMTSI	<i>Teachers Maker-based TPACK Survey Instrument</i>
TPACK	Conhecimento Tecnológico Pedagógico de Conteúdo (<i>Technological Pedagogical Content Knowledge</i>)
TPEK	Conhecimento Tecnológico Pedagógico da Engenharia

TPK	Conhecimento Tecnológico Pedagógico (<i>Technological Pedagogical Knowledge</i>)
TPMK	Conhecimento Tecnológico Pedagógico da Matemática
TPSK	Conhecimento Tecnológico Pedagógico da Ciência
UCs	Unidades Curriculares
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
Uniplac	Universidade do Planalto Catarinense
VUCA	Volatilidade, Incerteza, Complexidade e Ambiguidade
WoS	<i>Web of Science</i>
WQ	<i>Webquest</i>
XK	Conhecimento ConteXtual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	REFLEXÕES E MOTIVAÇÕES INICIAIS.....	21
1.2	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	34
1.3	QUESTÕES E OBJETIVOS.....	38
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	40
2.1	MOVIMENTO <i>MAKER</i> : ENTRE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO	40
2.1.1	Tipologia de espaços <i>maker</i>	46
2.1.2	Educação não formal, formal e ciência aberta	50
2.1.3	Fablearn, aprendizagem criativa e além	55
2.2	CONHECIMENTOS DOCENTES PARA ENSINAR: O MODELO TPACK.....	60
2.3	REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL).....	66
2.3.1	Síntese dos trabalhos encontrados na RSL	71
2.4	REFLEXÕES SOBRE O CAPÍTULO	75
3	CONTEXTO DA PESQUISA	78
3.1	ESCOLAS DO SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA DE SANTA CATARINA ..	78
3.2	ESPAÇOS <i>MAKER</i> NO ENSINO MÉDIO.....	83
3.3	FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES	88
4	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	97
4.1	OS PARTICIPANTES DA PESQUISA	98
4.2	O QUESTIONÁRIO TMTSI ADAPTADO	100
4.3	DELIMITAÇÃO DOS PARTICIPANTES.....	105
4.4	RUBRICAS: SAMR (TPK) E ICAP (PCK)	106
4.4.1	<i>Framework</i> SAMR.....	106
4.4.2	<i>Framework</i> ICAP	109
4.5	NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DO TPACK	115
4.6	ANÁLISE DAS ENTREVISTAS	118
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	130
5.1	ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO TMTSI ADAPTADO	130
5.2	PERFIL DOS GRUPOS DE ANÁLISE	137
5.3	ANÁLISE DAS AULAS.....	140
5.3.1	Grupo C – Professor 32 (P32)	140
5.3.2	Grupo C – Professor 44 (P44)	152

5.3.3	Grupo B – Professor 25 (P25).....	160
5.3.4	Grupo B – Professor 11 (P11).....	168
5.3.5	Grupo B – Professor 28 (P28).....	178
5.3.6	Grupo A – Professor 23 (P23)	191
5.3.7	Grupo A – Professor 43 (P43)	201
5.4	PERFIS DOCENTES À LUZ DO TPACK	209
5.5	OBSTÁCULOS AO MOVIMENTO <i>MAKER</i> À EDUCAÇÃO FORMAL	223
5.5.1	Categoria 1 – Limitações de tempo e carga horária.....	223
5.5.2	Categoria 2 – Infraestrutura física e logística.....	226
5.5.3	Categoria 3 – Formação e domínio técnico	228
5.5.4	Categoria 4 – Integração entre conteúdos curriculares e práticas <i>maker</i>	230
5.5.5	Categoria 5 – Recursos materiais e manutenção.....	231
5.6	POTENCIALIDADES DO MOVIMENTO <i>MAKER</i> À EDUCAÇÃO FORMAL .	232
5.6.1	Categoria 1 – Compreensão conceitual	232
5.6.2	Categoria 2 – Promoção do interesse.....	235
5.6.3	Categoria 3 – Habilidades e competências múltiplas	235
5.6.4	Categoria 4 – Pensamento científico.....	237
5.6.5	Categoria 5 – Aprendizagem colaborativa.....	238
5.6.6	Categoria 6 – Inclusão de diferentes perfis de aprendizagem.....	239
6	CONCLUSÕES	241
6.1	TECENDO RESPOSTAS	242
6.2	OITO PRINCÍPIOS FORMATIVOS.....	245
6.3	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	251
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	252
	REFERÊNCIAS	256
	APÊNDICE A – EXEMPLO DE DESENVOLVIDA PARA O ITINERÁRIO STEAM.....	267
	APÊNDICE B – EXEMPLO DE <i>WEBQUEST</i> UTILIZADA NO ITINERÁRIO STEAM.....	273
	APÊNDICE C – ROTEIRO DE FORMAÇÃO PRESENCIAL PARA O ITINERÁRIO STEAM.....	283
	APÊNDICE D – CÓDIGO NA LINGUAGEM R UTILIZADO PARA ANÁLISES.....	297

ANEXO A – ITENS DO INSTRUMENTO DE PESQUISA TPACK BASEADO EM PROFESSORES <i>MAKER</i> ADAPTADO AO CONTEXTO DO ENSINO DE CIÊNCIAS – TMTSI.....	299
ANEXO B - QUESTIONÁRIO DE PERFIL PROFISSIONAL.....	302
ANEXO C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO .	306
ANEXO D – ROTEIRO DA ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA.....	308

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são apresentadas as motivações pessoais e profissionais que conduziram à proposição deste projeto de pesquisa, a partir de reflexões e experiências vivenciadas nos últimos anos. Além disso, são discutidas ideias fundamentadas em autores que contribuem para o aprofundamento do tema e que orientam a construção do delineamento teórico e metodológico, bem como os objetivos propostos para investigação.

1.1 REFLEXÕES E MOTIVAÇÕES INICIAIS

As escolas existem para isso, não para ensinar as respostas, mas para ensinar as perguntas. As respostas nos permitem andar sobre terra firme. Mas somente as perguntas nos permitem entrar pelo mar desconhecido (Alves, 1994, p. 7).

“A Alegria de Ensinar” é o título do livro de Rubem Alves que nos convida a refletir sobre o papel da escola na sociedade. A citação supracitada traz consigo uma crítica não trivial à educação bancária, como a denominava Paulo Freire, a qual se caracteriza por ensinar respostas sem, muitas vezes, se preocupar com as perguntas, com o debate vivo de ideias e com a construção e apropriação de significados dos conhecimentos escolares por professores e estudantes, em um processo de aprendizado e significação mútuos.

Diga-se de passagem que vivemos em sociedades repletas de desafios, que demandam, como ficou evidenciado intensamente durante a pandemia do coronavírus (Covid-19, SARS-CoV-2), mais do que nunca, a construção de respostas confiáveis para muitas perguntas. Tal necessidade está intimamente relacionada ao desenvolvimento do pensamento científico, conforme já defendia Gaston Bachelard (1996).

Em tempos de intenso negacionismo científico, das chamadas *fake news*, da inteligência artificial¹, do mundo Vuca² e Bani³ e de uma variedade de versões de radicalismos na sociedade, torna-se fundamental uma educação científica que desenvolva, nos estudantes, a capacidade de questionar e buscar meios para construir respostas confiáveis às suas próprias indagações, respostas que sejam indutoras de ações saudáveis para si e para os outros. O sentido

¹ Tecnologias como o ChatGPT, que utilizam modelos de linguagem e inteligência artificial para produzir textos bastante coerentes de maneira similar aos humanos, mostra-se mais um elemento transformador com impactos em diversas dimensões da sociedade, inclusive de processos cognitivos.

² A sigla é utilizada para adjetivar o tempo da sociedade atual e representa: Volatilidade (*Volatility*); Incerteza (*Uncertainty*); Complexidade (*Complexity*); Ambiguidade (*Ambiguity*).

³ A sigla Bani significa originalmente *Brittle, Anxious, Non-linear, Incomprehensible*; em português, frágil, ansioso, não linear e incompreensível.

que atribuo a esse processo está atrelado à visão que se aproximam das de autores como Alves (1994) e Freire (1987; 1996), bem como, no contexto da educação científica, por Chassot (2017) e Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2007), ou seja, perspectivas que avancem aos ideais emancipatórios.

Compreendo por educação emancipatória aquela em que os conhecimentos científicos, tecnológicos e escolares estão a serviço da melhoria das condições de vida dos indivíduos, e não constituem um fim em si mesmos. Trata-se de uma educação que favorece o pensar e o agir críticos e conscientes, ampliando as oportunidades de realização pessoal e felicidade, ao mesmo tempo em que reconhece que parte dessa felicidade reside também na felicidade do outro.

Sempre tive uma atração especial por criar, montar e desmontar coisas, em parte por ter crescido em meio às ferramentas e peças da oficina eletrônica de meu pai, tal como ocorre com muitos entusiastas do movimento *maker*. Essa vivência inicial despertou meu interesse por compreender o funcionamento dos objetos e pela relação entre teoria e prática.

É importante ressaltar a relevância de projetos curriculares e extracurriculares na formação docente. Durante o curso de Licenciatura em Física na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), participei de projetos que tornavam mais concretos muitos conceitos de física e ciências, geralmente ensinados de forma abstrata e teórica, como os projetos de extensão “Baú de Ciências” e “Parque Viva a Ciência”.

Nesses espaços, a integração entre educação, ensino de ciências e o “fazer com as mãos” encontrou terreno fértil para florescer. Minha participação nesses programas, em especial no “Baú de Ciências”, foi fundamental para minha permanência e conclusão da licenciatura em Física, além de ter contribuído significativamente para a construção da minha identidade profissional, pautada na articulação entre teoria e prática no ensino.

Essas experiências tiveram uma relação direta com a área de divulgação científica, cujas práticas se situam no campo da educação não formal, especialmente aquelas que ocorrem em Centros e Museus de Ciências. Nesse período, atuei como mediador do espaço de divulgação científica “Parque Viva a Ciência” e na realização de atividades de popularização da ciência por meio de um projeto de extensão da UFSC, que mais tarde se transformou em um empreendimento independente, denominado “Baú de Ciências”.

O “Parque Viva a Ciência” recebia um público diverso, composto por estudantes de escolas e visitantes da comunidade em geral, e promovia atividades educativas mediadas por meio de “brinquedos científicos”, como balanços de diferentes alturas, gangorras com comprimentos distintos entre os lados e, até mesmo, uma bicicleta equilibrada sobre uma corda bamba, que desafiava os participantes. Em cada experiência, eram realizadas provocações e

explicações sobre o funcionamento dos dispositivos, muitas vezes questionando o senso comum e estimulando a curiosidade científica.

Já o projeto de extensão “Baú de Ciências” consistia em um conjunto de atividades práticas e experimentais, utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso, organizados e transportados em baús de madeira até as escolas. Com o apoio de mediadores bolsistas, os estudantes construíam dispositivos científicos, como motores elétricos, pulmões com garrafas PET, piões de cores, catapultas, entre outros, que favoreciam a prática experimental e a discussão de fenômenos científicos.

Com o tempo, o grupo passou a vislumbrar o projeto como uma alternativa profissional desvinculada da universidade. Dessa forma, o “Baú de Ciências” transformou-se em um empreendimento voltado à disseminação de abordagens práticas no ensino de Ciências, por meio da produção de materiais didáticos, oficinas em escolas, formações docentes e mostras de divulgação científica (Mannrich; Farias; Vieira-Junior, 2014).

Em 2014, enquanto concluía o mestrado e atuava na criação de atividades de divulgação científica e formação de educadores no empreendimento “Baú de Ciências”, comecei a conhecer o movimento *maker*, que então ganhava força em diversas partes do mundo. Havia uma espécie de entusiasmo coletivo em torno da ideia de produzir praticamente qualquer coisa em uma garagem, utilizando tecnologias como fresadoras CNC, impressoras 3D, placas Arduino, entre outras, muitas delas baseadas em projetos de código aberto.

Naquele momento, minhas inquietações profissionais e acadêmicas estavam voltadas a pensar estratégias de aproximação entre o conhecimento científico e a população em geral, no campo da educação não formal, especialmente por meio da divulgação científica. Foi nesse contexto que, ao conhecer as iniciativas vinculadas ao movimento *maker*, uma nova possibilidade passou a fazer sentido: percebi que esse movimento, materializado em espaços físicos e comunidades virtuais, tinha potencial para estabelecer relações entre ciência e sociedade de uma forma diferente das abordagens tradicionais até então conhecidas. Os “*makers*” pareciam se envolver em práticas cujos conhecimentos eram demandados em função de necessidades ou desejos das pessoas. Dessa forma, os conhecimentos científicos pareciam ser ressignificados nesses contextos, tornando-se mais situados e significativos.

Essas experiências instigaram reflexões sobre estratégias mais significativas de divulgação científica no contexto dos espaços de educação não formal. Ao me deparar com o movimento *maker*, tornou-se evidente a possibilidade de novas abordagens educativas nesses espaços: indivíduos, inspirados por essa cultura, poderiam se envolver em processos de

construção e experimentação baseados em conhecimentos, métodos e ferramentas científicas e tecnológicas.

Não por acaso, muitos espaços historicamente dedicados à divulgação científica, como Museus e Centros de Ciências, passaram a incorporar práticas do *making* (Bevan, 2017; Halverson; Sheridan, 2014), especialmente em países como os Estados Unidos, oferecendo oficinas “mão na massa” que integravam ciência, arte e tecnologia. Um exemplo emblemático é o *The Tinkering Studio*, iniciativa do renomado museu *Exploratorium*, de São Francisco, que se tornou referência mundial nesse campo.

Ainda em 2014, o interesse pelo movimento *maker* na educação levou-me a conhecer o artigo *Digital Fabrication and ‘Making’ in Education: The Democratization of Invention*, de autoria do professor Paulo Blikstein. No texto, Blikstein (2013) discute o caráter democratizador do movimento *maker* no contexto educacional, articulando ideias de autores como John Dewey, Seymour Papert e Paulo Freire.

Passei a me interessar ainda mais pelo tema, sobretudo porque percebi a existência de um campo de reflexão já consolidado em torno de uma educação mais ativa e participativa. A partir dessa perspectiva, comecei a acompanhar, mais de perto, a iniciativa norte-americana FabLearn⁴, fundada pelo próprio professor Blikstein, com o propósito de investigar e apoiar práticas vinculadas ao movimento *maker* na educação formal e não formal.

Durante esse percurso, em 2016, participei do evento FabLearn Brasil⁵, realizado na Universidade de São Paulo, com o intuito de compreender de forma mais aprofundada o que estava sendo desenvolvido nessa área. No evento, tive a oportunidade de conhecer diversas iniciativas educacionais, empresariais, individuais e acadêmicas voltadas ao movimento *maker* educacional. Ao final, conversei com o professor Blikstein sobre possibilidades de pesquisa e aprofundamento de estudos relacionados ao tema.

Ainda em 2014, o interesse pelo movimento *maker* na educação levou-me a entrar em contato com o livro “A Nova Revolução Industrial”, de Chris Anderson (2012). Na obra, o autor apresenta e discute as implicações das novas tecnologias e das formas emergentes de conexão e interação em rede no mundo contemporâneo. Anderson defende a ideia de que todos podem ser *makers*, capazes de projetar e construir objetos com a mesma precisão da indústria tradicional, desde que tenham acesso a ferramentas de fabricação digital, como fresadoras CNC, impressoras 3D e *softwares* de modelagem 3D, muitos deles de código aberto.

⁴ <https://fablearn.org/>.

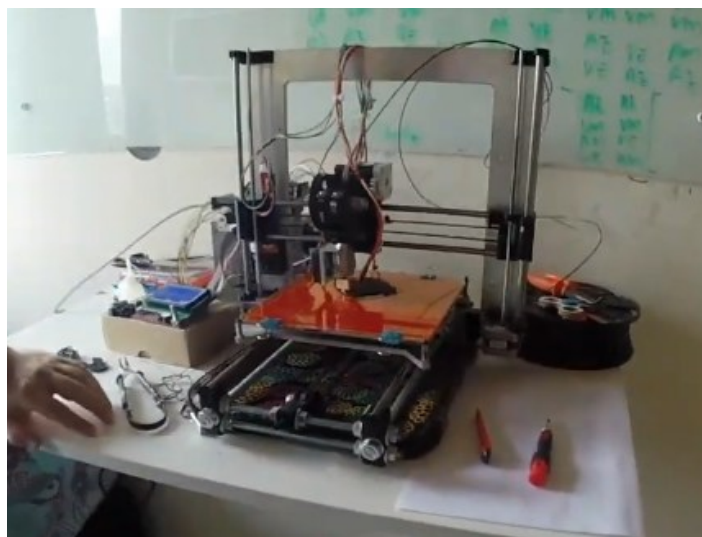
⁵ <https://fablearn.org/conferences/brazil2016/>.

O movimento se desdobrava em diferentes perspectivas, abrangendo novos modelos de negócio, o desenvolvimento colaborativo de projetos *open source* e, até mesmo, iniciativas voltadas à engenharia genética doméstica (*do it yourself biology*). A máxima dessa “nova revolução industrial” enraizada na cultura norte-americana, segundo o autor, poderia ser resumida na expressão “compartilhe os bits, venda os átomos”, uma lógica em que os projetos digitais seriam compartilhados e aprimorados coletivamente na internet, enquanto os bens físicos continuariam a mover as relações econômicas.

De modo geral, as ideias apresentadas por Anderson evidenciam mudanças profundas na forma como as pessoas se relacionam com o conhecimento, a tecnologia e entre si em um mundo hiperconectado, especialmente no que diz respeito à criação e ao acesso a bens materiais e imateriais. Essas reflexões serão aprofundadas no Capítulo 2.

Em 2016, enquanto atuava no empreendimento “Baú de Ciências”, fui convidado a participar de uma oficina de montagem de um modelo *open source* de impressora 3D (Prusa I3 Rework), promovida por um grupo do Sesi/SC. Aceitei o convite de imediato e, durante três dias, tive a oportunidade de manusear, compreender e construir uma impressora 3D pela primeira vez. Essa experiência proporcionou um entendimento detalhado do funcionamento técnico do equipamento e me motivou a montar minha própria impressora. Ao longo de alguns meses, adquiri peças importadas em *sites* que realizavam envios diretos da China, totalizando um investimento aproximado de R\$ 1.300,00. Para a alimentação elétrica, aproveitei uma fonte de energia sucateada de um computador antigo, além de improvisar conectores e cabos de ligação elétrica.

Figura 1 – Impressora 3D Prusa I3 Rework montada pelo autor



Fonte: acervo do autor.

O processo ensinou-me que montar um kit e construir a própria impressora 3D não é uma tarefa trivial, especialmente com pouco estudo e experiência prévia, mesmo após ter participado de uma oficina de montagem. Ou seja, embora haja muito conhecimento disponível em redes e comunidades *on-line*, existem diversos detalhes técnicos, desde aspectos de montagem até características específicas das peças, que são determinantes para o resultado da impressão.

Ao mesmo tempo, a experiência permitiu explorar diversos conhecimentos aplicados à física, como eletricidade, eletrônica, potência, calor e temperatura, entre outros. Percebi que compreender o funcionamento da impressora 3D, por si só, constitui uma vivência de exploração de conceitos científicos e tecnológicos.

Apesar de toda a riqueza dessa vivência, permaneci refletindo sobre as potenciais aplicações desses recursos para além da construção de objetos em si. Surgiam questões que se tornaram centrais em minha trajetória: até onde seria possível avançar com essa tecnologia? De que maneira um equipamento como esse poderia apoiar o ensino de física e ciências?

Em 2017, enquanto atuava como professor de física na Escola Social Marista Lúcia Mayvorne, em Florianópolis, e cursava Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), surgiu a oportunidade de ingressar como colaborador do Departamento Regional do Serviço Social da Indústria de Santa Catarina (DR/Sesi/SC), que na época implantava um amplo projeto educacional vinculado ao movimento *maker*.

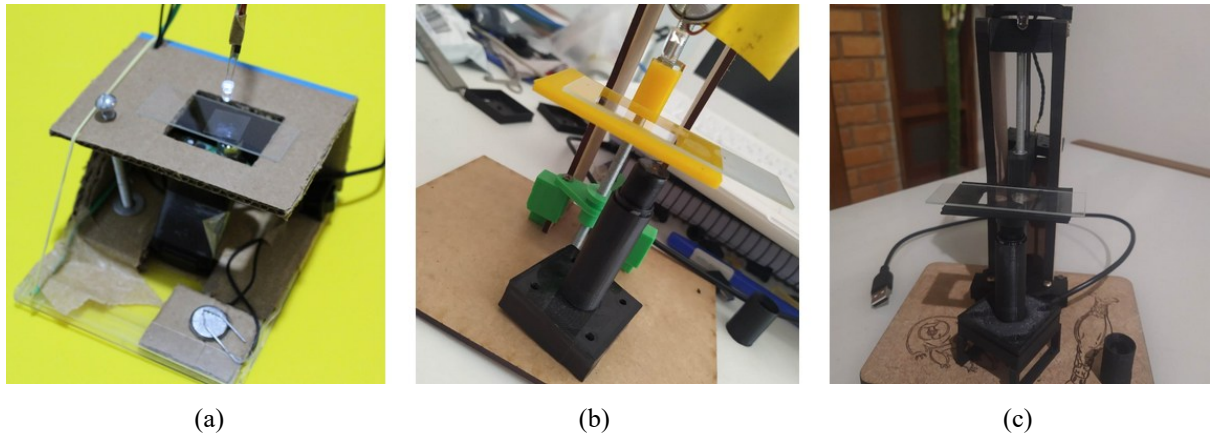
Decidi, então, deixar as salas de aula e o curso de Engenharia para aprofundar minha vivência com o movimento *maker* na educação, agora em um contexto institucional mais abrangente, dentro do DR/Sesi/SC. Essa transição marcou um ponto de inflexão em minha trajetória profissional, ampliando meu olhar sobre as possibilidades pedagógicas da cultura *maker* e suas interfaces com a formação docente e o ensino de Ciências. Foi nesse período que a ideia de desenvolver uma pesquisa de doutorado voltada ao tema ganhou sentido e direção, vindo a se formalizar dois anos depois, em 2019.

Já no contexto do Sesi/SC, tive a oportunidade de realizar novas explorações, tanto no desenvolvimento de atividades de ensino, quanto no apoio à formação de professores. Em parceria com um colega e com o apoio de comunidades virtuais de prática, desenvolvi protótipos de equipamentos para laboratórios escolares, buscando soluções acessíveis e funcionais.

Um dos projetos mais significativos resultou na criação de um microscópio funcional de baixo custo (Mannrich, 2022), desenvolvido a partir de componentes reaproveitados e

materiais de fácil obtenção. A Figura 2 apresenta três versões do microscópio prototipado ao longo dos anos, evidenciando a evolução técnica e pedagógica do projeto.

Figura 2 – Três versões de microscópios feitos com *webcam*



Fonte: acervo do autor.

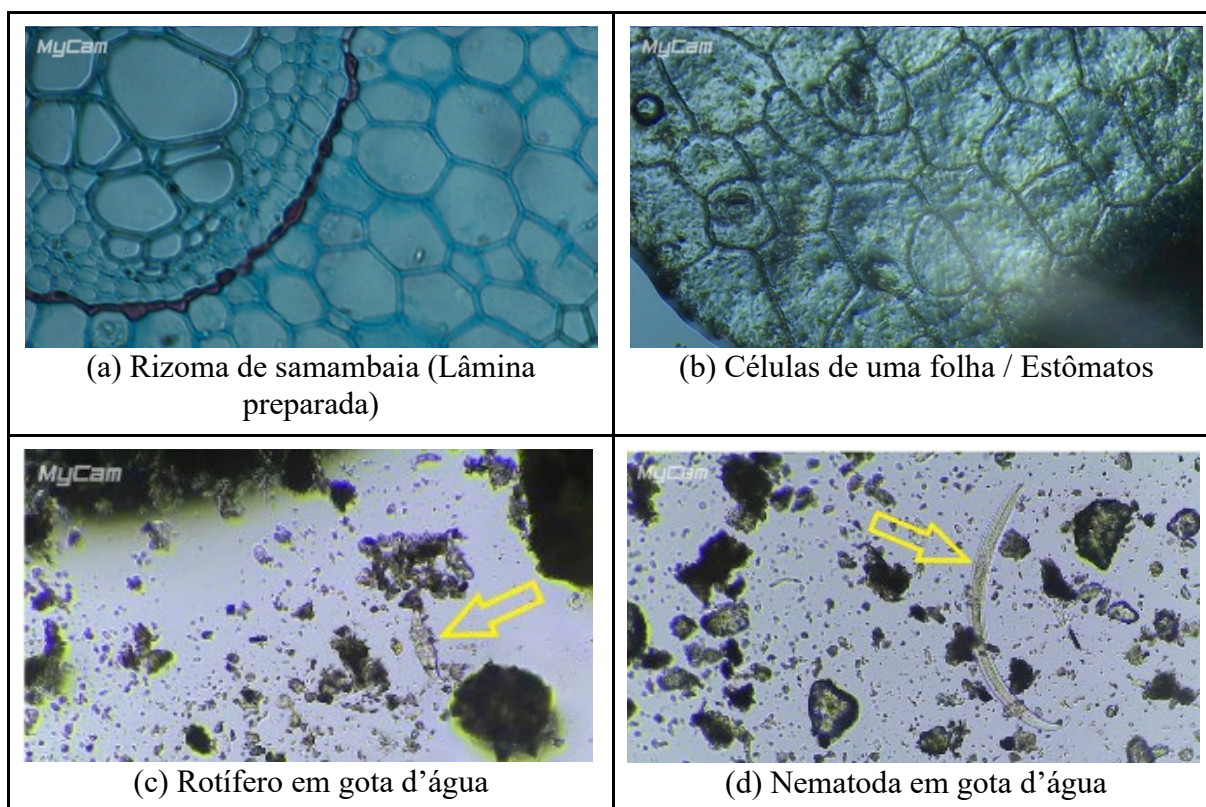
O microscópio (a), apresentado na Figura 2, corresponde ao primeiro protótipo desenvolvido, construído com materiais reaproveitados, como uma capa de CD, um pedaço de papelão, alguns fios, um LED e uma *webcam*, inspirada no projeto do GaudiLabs (que será detalhado posteriormente) e nas orientações do canal Manual do Mundo, disponível no YouTube.

As primeiras imagens obtidas apresentavam baixa qualidade, tanto pela falta de compreensão inicial sobre o funcionamento da microscopia óptica aplicada, quanto pelas dificuldades de foco, decorrentes da instabilidade estrutural do modelo construído. Ainda assim, o processo possibilitou o reconhecimento de princípios fundamentais da microscopia óptica, ampliando, significativamente, meu conhecimento teórico e prático sobre o tema.

Na sequência, o uso de equipamentos de fabricação digital, como a cortadora a laser e a impressora 3D, permitiu a construção de uma nova estrutura (b) e (c), composta por peças de MDF e componentes plásticos impressos, o que garantiu maior firmeza e precisão no ajuste de foco.

Como resultado, foi possível construir um microscópio funcional de baixo custo, capaz de capturar imagens com nitidez comparável a de microscópios industriais, conforme ilustrado na Figura 3. Curiosamente, recorro que não tive contato com um microscópio durante toda a minha Educação Básica, o que reforça o potencial transformador que experiências práticas como essa podem ter na formação científica de estudantes.

Figura 3 – Imagens obtidas com o microscópio de *webcam*



Fonte: acervo do autor.

A experiência de construir um “microscópio *maker*” demonstrou não apenas a viabilidade de desenvolver dispositivos funcionais de baixo custo, passíveis de apropriação pelas escolas, mas também, o potencial pedagógico de explorar diversos conceitos científicos das áreas de física, biologia e engenharia.

O projeto foi posteriormente disponibilizado em uma plataforma de compartilhamento de projetos⁶, permitindo que outros interessados pudessem reproduzi-lo e adaptá-lo. Além da disseminação dessas possibilidades no contexto das escolas do Sesi/SC, em 2023, em parceria com o Grupo Prosa (UFSC), foi desenvolvida uma oficina virtual de construção do microscópio.

Sete participantes receberam um kit completo de montagem, que incluía uma *webcam* Logitech C270, e tiveram acesso a um vídeo tutorial com o objetivo de oferecer suporte assíncrono ao processo de montagem. Em um segundo momento, realizou-se um encontro virtual síncrono, com duração aproximada de três horas, destinado ao compartilhamento de experiências, esclarecimento de dúvidas e troca de sugestões.

⁶ <https://www.cienciahackeada.com.br/microsc%C3%B3pio-de-baixo-custo-v1-0>.

Três participantes estiveram presentes, além de um convidado externo envolvido no desenvolvimento do dispositivo. Durante o encontro, foram discutidas as potencialidades do microscópio no contexto do movimento *maker* e suas possíveis aplicações pedagógicas. Os três participantes conseguiram colocar o equipamento em funcionamento e realizar seus primeiros registros de imagem. As falas convergiram em torno da possibilidade de reproduzir o microscópio nas escolas públicas em que atuavam, reconhecendo-o como uma alternativa viável e de baixo custo para o ensino de Ciências.

Ainda no contexto do início da pandemia de SARS-CoV-2, observou-se um movimento colaborativo global envolvendo diversas comunidades, entre elas, grupos vinculados ao movimento *maker*, que se mobilizaram para produzir e distribuir *faceshields* (escudos faciais). Esses equipamentos eram utilizados por profissionais da saúde como barreiras físicas de proteção contra gotículas e líquidos potencialmente contaminantes provenientes de pacientes.

Em Florianópolis, participei de um grupo denominado informalmente “Juntamento 3D de Inovação”, formado por voluntários que uniram esforços e equipamentos de impressão 3D com o propósito de produzir e doar *faceshields* para os serviços de saúde da região⁷. Na Figura 4 é possível visualizar um protótipo de *faceshield* com diversas hastes de sustentação do dispositivo empilhadas na estante.

Figura 4 – Protótipo de *faceshield* confeccionada



Fonte: acervo do autor.

⁷

<https://www.pmf.sc.gov.br/entidades/saude/index.php?cms=transparencia+doacoes+covid+19&menu=14&submenuid=2250>.

Meu interesse pelo movimento *maker*, aliado às experiências vivenciadas no Sesi/SC, especialmente aquelas relacionadas à formação de professores para atuação em contextos formais e não formais de educação, à implantação de espaços *maker* e às experimentações pessoais, aprofundou as inquietações acerca do tema.

Embora todo esse conjunto de experiências tenha contribuído para aproximar-me do movimento *maker* e reforçado a percepção de que suas ideias, práticas e recursos podem apoiar processos de ensino e aprendizagem e fomentar o engajamento das pessoas em causas que extrapolam as fronteiras disciplinares, as reflexões sobre os “porquês” e os “para quem” dessas práticas permanecem constantes.

Ainda que existam diversos autores que discutam e argumentem sobre o potencial educativo do movimento *maker*, vivenciar tais processos na prática, “na própria pele”, amplia a compreensão e aprofunda as reflexões sobre suas possibilidades, limites e significados no contexto educacional.

Desse cenário, reflexões que envolvem a própria reinvenção da escola tornaram-se cada vez mais instigadoras:

Eu constato que a escola está péssima, mas eu não constato que a escola esteja desaparecendo e vá desaparecer. Por isso, então, eu apelo para que nós que escapamos da morte da escola e que estamos sobreviventes: modifiquemos a escola. Para mim a questão não é acabar com a escola, mas é mudá-la completamente, é radicalmente fazer com que nasça dela, de um corpo que não mais corresponde à verdade tecnológica do mundo, um novo ser tão atual quanto à tecnologia. (Paulo Freire em um vídeo intitulado “O Futuro da Escola: Paulo Freire e Seymour Papert”, da TV PUC-São Paulo, 1995).

As palavras de Freire evidenciam a urgência de uma transformação radical da escola, não no sentido de extingui-la, mas de recriar sua essência em sintonia com as transformações culturais, científicas e tecnológicas do mundo contemporâneo.

Nesse contexto, emergem questões fundamentais sobre os “como” e os “porquês” dessas reinvenções, que buscam reconfigurar as relações educacionais e ressignificar o papel da escola na sociedade, não apenas como reprodutora de conhecimentos cristalizados, mas como espaço vivo de criação e de construção coletiva de futuros sustentáveis.

Sob essa perspectiva, o movimento *maker* poderia ser compreendido como um possível vetor dessa mudança, ao promover a autoria, a experimentação e a integração entre ciência, tecnologia e sociedade, contribuindo para a formação de sujeitos críticos capazes de reinventar a própria sociedade.

A aproximação com uma perspectiva crítica sobre as tecnologias na educação, promovida pelas disciplinas cursadas no doutorado, Fundamentos Epistemológicos da Educação Científica e Tecnológica e Tópicos Especiais: Integração de TDIC ao Currículo – Abordagens Críticas de Tecnologia Educacional, bem como pelas interações com o Prosa – Grupo de Pesquisa em Educação e Tecnologia Ético-Crítica da UFSC, ampliou as inquietações a respeito dos “por quês”, “para quem” e “para quês” do que se tem denominado educação *maker*.

À medida que o movimento *maker* se espalha pelo mundo, tornam-se evidentes, assim como em outras dimensões socioculturais, processos de colonização cultural que tendem a determinar formas específicas de fazer e pensar, muitas vezes reproduzindo desigualdades e injustiças em vez de combatê-las, aspecto já discutido por diversos autores (Barbosa e Silva, 2017; Bevan, 2017; Blikstein, 2020a; Bogers; Chiappini, 2019; Hertz, 2012).

Nesse contexto, é pertinente questionar a vertente da *Maker Media Inc.*, frequentemente criticada por negligenciar dimensões de equidade e justiça social na educação (Barbosa e Silva, 2017). Também se faz necessário problematizar as abordagens educacionais *maker* que se limitam à aplicação prática de conceitos científicos e tecnológicos, sem considerar as implicações sociais, políticas e culturais dessas práticas (Blikstein, 2013, 2020a; Bogers; Chiappini, 2019).

O contexto apresentado suscita reflexões teórico-práticas decorrentes da implantação de projetos de educação *maker* em redes de ensino públicas e privadas do Estado de Santa Catarina. Essas experiências incluem a criação de espaços de educação *maker* em 16 escolas da rede privada do Serviço Social da Indústria de Santa Catarina (Sesi/SC), bem como o desdobramento de projetos realizados em parceria com o setor público (Mannrich; Córdova; Moterle, 2019). A rápida inserção de espaços *maker* em ambientes educacionais, aliada às reflexões sobre o potencial do *making* para estabelecer novas relações entre ciência e sociedade (Bogers; Chiappini, 2019; Landrain *et al.*, 2013; Samagaia, 2016; Samagaia; Delizoicov, 2015), se consolidou na emergência deste projeto de pesquisa.

Outro aspecto que vem à tona no contexto da reinvenção da educação e de sua vinculação com o movimento *maker* envolve o questionamento sobre os “para quê” e “para quem” da ciência, da tecnologia e da educação. Dessa forma, ressalta-se a dimensão política que permeia o fazer científico, tecnológico e educativo.

Não por acaso, a questão foi formulada por Paulo Freire (1996, p. 30):

Há perguntas a serem feitas insistentemente por todos nós e que nos fazem ver a impossibilidade de estudar por estudar. De estudar descomprometidamente como se misteriosamente de repente nada tivéssemos que ver com o mundo, um lá fora e distante mundo, alheio de nós e nós dele. Em favor de que estudo? Em favor de quem? Contra que estudo? Contra quem estudo?

As ideias de Paulo Freire inspiram a busca de sentido nos processos de ensino e aprendizagem, mas também incitam questionamentos que se estendem a outras áreas, levando-me a refletir: para quê e para quem servem a ciência e a tecnologia?

Essas reflexões convergem com as proposições de Blikstein (2013), que associa o *making* a uma perspectiva de democratização dos meios técnico-inventivos, aproximando ciência, tecnologia e sociedade. O questionamento freireano, ao indagar a quem serve o conhecimento, permite problematizar o próprio papel do saber científico e tecnológico como instrumento de transformação da realidade, orientado, em uma perspectiva freireana, à emancipação dos sujeitos historicamente oprimidos.

É nesse contexto que Blikstein (2020a) questiona uma espécie de “romantização” do *making* derivada da visão californiana da técnica e da tecnologia. Ao discutir o que denomina *Cultural Making*, o autor problematiza formas homogêneas de apropriação do fazer ao redor do mundo e a imposição de determinadas técnicas e tecnologias como modelos universais de emancipação.

Blikstein (2020a) exemplifica essas diferenças de sentido ao mostrar que certos modos de produção podem ser reconhecidos como expressão de um *mindset maker* para alguns grupos (como determinados coletivos californianos), mas não necessariamente para outros (como produtores rurais ou artesãos). Para os primeiros, produzir queijo ou esculpir madeira com as próprias mãos pode representar empoderamento; já para os segundos, a ausência de acesso a tecnologias produtivas mais eficientes limita as possibilidades de escolha e de otimização do tempo, o que, paradoxalmente, impede a efetivação de uma emancipação real.

A crítica de Blikstein evidencia que determinados modos de fazer, celebrados como “*maker*”, podem assumir sentidos distintos dependendo do contexto socioeconômico. Para os trabalhadores cujo sustento depende do trabalho manual, outras tecnologias seriam bem-vindas como forma de melhorar as condições de trabalho e de vida, mas frequentemente não estão disponíveis.

Como filho e neto de produtores rurais da pequena cidade de Atalanta, no interior de Santa Catarina, vivenciei inúmeras situações em que as tecnologias associadas às técnicas e máquinas de produção se mostravam essenciais para o “*making* de sobrevivência diária”. Nessas realidades, a incorporação de técnicas e equipamentos mais adequados representa

condições de existência mais humanas, com menor esgotamento físico e maior qualidade de vida.

O fazer “artesanal” das chimias, bolachas, pães e bebidas fermentadas, nesses contextos, não configura uma escolha estética ou ideológica pelo *making*, mas sim uma necessidade vital, tanto para a produção de alimentos destinados ao consumo familiar, quanto para ampliar a durabilidade do excedente produtivo e complementar uma renda frequentemente escassa.

Parece importante, portanto, que o *making* possa ser pensado com intuito de empoderar as pessoas:

O ‘cultural *making*’ ou ‘*etnomaker*’ deveria ser sobre o envolvimento com diferentes populações, culturas e contextos para identificar e alavancar os componentes mais emancipatórios de um determinado processo, pois sabemos que, em última análise, a mera existência de artefatos físicos construídos – uma escultura de madeira, LEDs piscando ou um chaveiro impresso em 3D – não é uma garantia de empoderamento do aprendiz (Blikstein, 2020a, p. 123, tradução nossa).

Para o autor, não se trata de negar a ciência e a tecnologia, mas de repensar seus propósitos e usos de maneira mais contextualizada, considerando os princípios da emancipação, da expressividade criadora e da aprendizagem no *making*.

As ideias de Dussel (2014) nos convidam a refletir que tais princípios podem ser promovidos a partir de uma inversão da lógica hegemônica, segundo a qual a ciência aplicada é transformada em tecnologias que, por consequência, poderiam melhorar as condições de vida das pessoas. O autor propõe o caminho inverso: a realidade concreta e situada deveria demandar o conhecimento científico e tecnológico, orientando-o para a autoafirmação das populações e a melhoria de suas condições de vida. Ao mesmo tempo, Santos (2008 *apud* Mannrich; Pinheiro; Brick, 2024) lembra de que:

Ao surgir uma nova família de técnicas, as outras não desaparecem. Continuam existindo, mas o novo conjunto de instrumentos passa a ser usado pelos novos atores hegemônicos, enquanto os não hegemônicos continuam utilizando conjuntos menos atuais e menos poderosos.

A produção de conhecimento científico e o desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias, muitas vezes, não se tornam acessíveis a todos, tampouco contribuem de forma significativa para o processo de transformação das realidades sociais e o empoderamento dos indivíduos.

Nesse contexto, uma educação *maker* crítico-transformadora poderia ser discutida, pois não basta “fazermos nós mesmos”, construindo objetos, tecnologias e conhecimentos que, em última instância, reproduzem o sistema de opressão vigente. É fundamental refletir sobre as práticas *maker* como possibilidades de ruptura com essa lógica opressora, para que os objetos, projetos e conhecimentos produzidos contribuam para a construção de uma sociedade diferente.

Em vez de dizer aos estudantes “como” e “o que” pensar ou criar, a proposta é dialogar e investigar coletivamente temas relevantes para o grupo, de modo que os conhecimentos científicos e tecnológicos e as próprias tecnologias pudessem ser utilizadas como instrumentos emancipatórios, capazes de ressignificar a realidade (Mannrich; Pinheiro; Brick, 2024).

As ideias apresentadas evidenciam a importância de compreender as diferentes formas de apropriação do movimento *maker* na educação científica, de modo que possamos contribuir para a construção de abordagens educacionais capazes de ampliar as oportunidades de os indivíduos serem felizes durante o seu período de existência em nosso planeta.

A pesquisa apresentada nesta tese nasce de uma motivação pessoal e de uma necessidade profissional de colaborar na construção de “novas” abordagens⁸ para a educação científica, articulando ações teóricas e práticas que possam revelar desafios e potencialidades do ensino de Ciências no contexto da formação de professores.

Em especial, destaca-se o contexto do Sesi/SC, que servirá como campo empírico desta investigação, cujas delimitações serão apresentadas no próximo tópico.

1.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Nos últimos anos, tornou-se evidente que o movimento *maker* passou a integrar, de forma intensiva, a educação escolar, principalmente por meio dos Espaços *Maker* (*Makerspaces*), denominação genérica atribuída a laboratórios equipados com ferramentas de fabricação digital (como cortadoras a laser, impressoras 3D e fresadoras CNC), além de dispositivos eletrônicos (como Arduino, NodeMCU e Raspberry Pi) e ferramentas e materiais convencionais (como furadeiras, chaves, martelos, parafusos e papelão).

⁸ Uso as aspas na palavra novas para relativizar a ideia de novidade. Na verdade muitas das metodologias/abordagens geralmente ditas “novas” são recontextualizações de abordagens historicamente debatidas, tal como as chamadas contemporâneas “metodologias ativas” e “aprendizagem baseada em projetos”. A própria ideia de fazer, vinculada ao movimento *maker* na educação, pode se confundir com a Aprendizagem Baseada em Projetos e com o aprender fazendo (*Learning by Doing*), por exemplo.

No Brasil, diversas iniciativas desse tipo têm sido desenvolvidas com finalidades educacionais (Pereira; Arthur, 2020), entre as quais se destacam: FabLab Livre SP⁹ (Moura; Bueno, 2019); Join.MAKER¹⁰; Lite Maker¹¹ (Santana *et al.*, 2016); Pronto 3D¹²; os Espaços de Educação *Maker* do Serviço Social da Indústria de Santa Catarina (Brockveld; Teixeira; Silva, 2017; Cordova; Vargas, 2016); o SESI Lab¹³; e iniciativas implantadas na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica¹⁴.

Ademais, no momento de escrita desta tese, encontra-se em curso a implantação de espaços *maker* em escolas da rede estadual de Santa Catarina, cuja primeira unidade foi instalada, coincidentemente, no Colégio Estadual Laércio Caldeira de Andrade, localizado na cidade de São José, escola em que cursei os antigos 7º e 8º anos do Ensino Fundamental.

Desde 2017, estive envolvido com a implantação de espaços *maker* no Sesi/SC, especialmente em contextos de ensino não formal. A partir de 2019, passei a atuar como responsável, juntamente com outros especialistas do Sesi/SC, pela elaboração de um currículo do que era chamado de Novo Ensino Médio (NEM), fundamentado na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2017).

A gestão do DR/Sesi/SC optou pela criação de um itinerário formativo de aprofundamento da Educação Básica inspirado no movimento internacional STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*). Paralelamente, uma equipe de especialistas do Sesi/SC, na qual eu me incluo, planejou a implantação de espaços *maker* que pudessem suportar tanto as atividades do Ensino Médio no contexto do NEM quanto às ações vinculadas ao itinerário formativo em desenvolvimento, como ilustra a Figura 5.

⁹ <https://fablablivresp.art.br/o-que-e>

¹⁰ <https://www.bettbrasileduc.com.br/agenda-innovationvillage/projeto-joinmaker-a-implanta%C3%A7%C3%A3o-de-esp%C3%A7os-maker-na-rede-municipal-de-educac%C3%A7%C3%A3o-de-joinville/sc>

¹¹ <http://lite.acad.univali.br/pt/lite-maker/>

¹² <https://www.pronto3d.com.br/>

¹³ <https://fiesc.com.br/pt-br/imprensa/sesi-entrega-primeiro-espaco-de-educacao-maker-em-santa-catarina>

¹⁴ <https://www.ifpb.edu.br/sinergia/lampiao-maker/legislacao-1/manual-maker-v4-1.pdf>

Figura 5 – Espaço *Maker* da escola de Ensino Médio na cidade de Jaraguá do Sul



Fonte: acervo do autor.

O movimento *maker* não se reduz a um espaço físico ou ao uso de tecnologias específicas, mas implica toda uma infraestrutura em rede, composta por ferramentas de fabricação digital e por um ecossistema colaborativo de criação e disseminação de conhecimento (Anderson, 2012; Hatch, 2014; Martin, 2015). Tal ecossistema pode contribuir para o desenvolvimento de processos educacionais mais críticos e contemporâneos, em consonância com propostas como a da educação *hacker* (Pretto, 2015).

A pesquisa de Moura (2019) evidencia implicações educacionais relevantes associadas aos espaços *maker* como ambientes de ensino e aprendizagem, pois envolvem novas configurações de espaço, tempo, relações interpessoais e curriculares, exigindo competências docentes específicas.

De modo convergente, Valente e Blikstein (2019) discutem que as abordagens *maker* podem, ou não, favorecer o aprendizado de determinados conteúdos, dependendo da intencionalidade pedagógica. Os autores reforçam o papel central do professor como mediador e alertam para a necessidade de superar visões reducionistas, que associam o simples “fazer” (*hands-on*) ao desenvolvimento automático da apropriação de conceitos ou desenvolvimento de habilidades.

A prática docente nesses contextos configura-se como um desafio estrutural, pois desloca o professor do modelo tradicional, centrado quase que exclusivamente na atuação

docente como alguém que transmite conhecimento, para um ambiente dinâmico e colaborativo. Como argumenta Arthur Hjorth¹⁵, citado por Valente e Blikstein (2019):

Diferentes dos facilitadores dos espaços *maker* fora do ambiente escolar, professores são profissionais altamente qualificados, que conhecem a personalidade e o caráter dos estudantes, seus níveis gerais de desempenho e a dinâmica social da sala de aula. A falta de compreensão de seu papel na educação *maker* é, nas melhores hipóteses, potencial desperdiçado e, na pior, um obstáculo para o sucesso da implementação da aprendizagem baseada no fazer e na fabricação (Valente; Blikstein, 2019, p. 29).

Nesse sentido, Przybylla (2017)¹⁶ questiona a preparação dos professores para atuarem como mediadores especialistas, relatando que muitos ainda se sentem inseguros ou desamparados frente a esse novo papel, por vezes adotando posturas diretivas que limitam a criatividade dos estudantes (Valente; Blikstein, 2019, p. 34).

[...] algumas vezes observei que professores em sala de aula não estão familiarizados com esse papel de mediador e que, em casos extremos, se sentem desamparados e incapazes de ajudar em problemas específicos, ou pensam de forma muito rígida e fornecem passos concretos para os alunos seguirem que desviam de suas próprias ideias criativas (Przybylla 2017). **Portanto, pergunto: Como preparar o professor para o papel de mediador especialista?** (Valente; Blikstein, 2019, p. 34, grifo nosso).

As discussões apresentadas revelam uma subteorização do movimento *maker* na educação, embora iniciativas como o FabLearn busquem ancorá-lo em fundamentos construcionistas e freireanos (Blikstein, 2013; Valente; Blikstein, 2019).

Ainda assim, pesquisas como a de Soster (2018) demonstram que, mesmo em abordagens declaradamente freireanas, pouco se observou do desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes. Da mesma forma, Barbosa e Silva (2017) alerta para enfoques com viés econômico e muitas vezes excludentes como a *Maker Media Inc.*, que, ao privilegiar interesses de mercado, reproduzem injustiças e desigualdades, distanciando-se dos ideais de equidade e democratização tecnológica defendidos pelo FabLearn, por exemplo.

Essas contradições evidenciam a necessidade de repensar os propósitos do movimento *maker* na educação, articulando-o à formação docente e ao currículo. Diversas iniciativas mostram que a inserção de espaços *maker* pode reconfigurar as relações entre ciência,

¹⁵ A versão do artigo Valente e Blikstein (2019) com os comentários de outros pesquisadores pode ser encontrado no seguinte link: <https://tltlab.org/wp-content/uploads/2020/10/Educac%CC%A7a%CC%83o-Maker-onde-esta%CC%81-a-construc%CC%A7a%CC%83o-do-conhecimento-BliksteinValente.pdf>

¹⁶ Ibidem.

tecnologia e sociedade, oferecendo novas possibilidades de ressignificação dos conhecimentos escolares e de formação científica crítica.

Portanto, o problema de pesquisa emerge da necessidade de compreender como professores do Ensino Médio têm se apropriado das características do movimento e dos espaços *maker*, estabelecendo vínculos significativos com o currículo em transição do Novo Ensino Médio.

No contexto brasileiro, tais reflexões ganham evidência frente à reforma do Ensino Médio e às transformações promovidas pela BNCC, que redefiniram as referências curriculares, ampliaram a flexibilização e reorganizaram o trabalho docente em torno das áreas do conhecimento.

1.3 QUESTÕES E OBJETIVOS

Para contribuir na construção de uma resposta à questão da formação docente, o problema a ser investigado nesta pesquisa é **compreender como professores de Ciências da Natureza do Ensino Médio, atuantes em uma rede de escolas de Santa Catarina, se apropriam de características do movimento *maker* e articulam os conhecimentos de conteúdo, pedagogia e tecnologia (TPACK) em suas práticas curriculares.**

A investigação do problema é orientada pelas seguintes perguntas:

- como se configuram os conhecimentos docentes (TPACK) de professores de Ciências da Natureza que integram elementos do movimento *maker* em suas práticas?;
- quais fatores contextuais influenciam a integração entre conteúdo, pedagogia e tecnologia nessas práticas?; e
- quais potencialidades e limitações emergem da incorporação de princípios e ferramentas do movimento *maker* na atuação docente e no currículo escolar?

Os objetivos específicos da investigação são descritos a seguir:

- caracterizar os conhecimentos docentes (de conteúdo, pedagógico e tecnológico) à luz do modelo TPACK em práticas influenciadas pelo movimento *maker*;
- analisar os níveis de desenvolvimento do TPACK dos professores investigados, considerando sua relação com elementos característicos do movimento *maker*;

- identificar fatores contextuais que favorecem ou dificultam a integração entre conteúdo, pedagogia e tecnologia nas práticas docentes;
- interpretar as potencialidades e limitações da incorporação de princípios e ferramentas *maker* no ensino de Ciências da Natureza; e
- inferir contribuições para processos formativos voltados ao desenvolvimento do TPACK em contextos *maker*.

A partir do contexto apresentado, a linha de pensamento que orienta esta tese pode ser sintetizada em três tópicos centrais: i) o que é o movimento *maker*?; ii) por que ele pode ser relevante para a educação científica?; e iii) como o movimento é apropriado por professores da área de Ciências da Natureza?

As duas primeiras questões serão discutidas com base na literatura especializada, com o intuito de estabelecer fundamentos conceituais para a pesquisa. A terceira questão, de natureza empírica e teórico-prática, constitui o problema de investigação central desta tese, cujos objetivos e procedimentos metodológicos serão detalhados nas seções subsequentes.

Nos tópicos a seguir, apresentam-se os elementos contextuais e teóricos que sustentam as duas primeiras questões, delineando, ao final, a estrutura geral da pesquisa e o percurso adotado para investigar a terceira.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta as principais características do movimento *maker* contemporâneo, a partir de autores e iniciativas que contribuíram para o seu desenvolvimento. Em seguida, discute as interfaces entre o movimento *maker* e a educação científica, com o objetivo de identificar possíveis contribuições e desafios para o Ensino de Ciências. Adiante, apresenta o referencial teórico utilizado no processo de investigação, seguido de uma revisão da literatura. Por fim, propõe uma reflexão crítica a partir das discussões apresentadas para pensar o ensino de Ciências articulado ao movimento *maker*.

2.1 MOVIMENTO *MAKER*: ENTRE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO

As explosões das bombas nucleares nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, em 1945, seguidas pelo lançamento do primeiro satélite artificial, o *Sputnik-1*, pela então União Soviética em 1957, intensificaram a corrida espacial e o cenário geopolítico da Guerra Fria. Nesse contexto, os Estados Unidos passaram a investir fortemente em programas que estimulassem o interesse dos jovens pela ciência e pela tecnologia, acreditando que o domínio científico e tecnológico se converteria em uma forma de poder estratégico com implicações econômicas, políticas e militares.

Após a Segunda Guerra Mundial, a *National Science Foundation* (NSF) tornou-se um dos principais agentes na formulação de políticas educacionais voltadas à melhoria do ensino de Ciências. Diversos projetos curriculares emergiram desse movimento, como o *Physical Science Study Committee* (PSSC) em 1956, o *Biological Sciences Curriculum Study* (BSCS) em 1958, o *Chemical Bond Approach* (CBA) em 1959 e o *Science Mathematics Study Group* (MSG) em 1958.

A partir da década de 1990, esses esforços de renovação curricular deram origem a novas abordagens de integração entre Ciência, tecnologia, Engenharia e Matemática, culminando na formulação do conceito de *STEM Education* (Bybee, 2013). Tais iniciativas configuraram um terreno fértil para o surgimento de perspectivas educacionais contemporâneas voltadas à cultura do “fazer”, entre elas, o Movimento *Maker*.

Embora o Movimento *Maker* não tenha se originado diretamente de propósitos educacionais, o contexto histórico descrito contribuiu para sua difusão global, especialmente por meio de políticas de incentivo e financiamento de instituições como a própria NSF (Bevan, 2017).

Derivado do contexto anteriormente descrito, observa-se, a partir do início do século XXI, um número crescente de iniciativas e de adeptos ao que se consolidou mundialmente como Movimento *Maker*. Esse movimento pode ser compreendido como uma extensão da cultura *Do It Yourself* (DIY – “faça você mesmo”) e *Do It With Others* (DiWO – “faça com outros”). O termo de origem inglesa *maker* refere-se àquele que cria, constrói ou produz algo, isto é, a quem coloca “a mão na massa”.

De modo geral, o Movimento *Maker* caracteriza-se pela valorização de práticas de criação material e/ou digital, motivadas tanto por iniciativas individuais quanto por objetivos compartilhados coletivamente. Além disso, enfatiza o compartilhamento aberto de projetos e a colaboração entre os participantes em processos de desenvolvimento contínuo (Anderson, 2012; Dougherty, 2013; Hatch, 2014).

O livro “O Manifesto do Movimento *Maker*: Regras para Inovação no Novo Mundo dos Artesãos, *Hackers* e Reformadores¹⁷”, de Mark Hatch (2014), apresenta nove princípios fundamentais que influenciaram diferentes apropriações do movimento *maker*:

FAÇA (*MAKE*) – Fazer é fundamental para o que significa ser humano. Nós devemos fazer, criar e nos expressar para nos sentirmos inteiros. Há algo único em fazer coisas físicas. Essas coisas são como pequenos pedaços de nós e parecem encarnar partes de nossas almas.

COMPARTILHE (*SHARE*) – Compartilhando o que você fez e o que você sabe sobre fazer com os outros é o método pelo qual o sentimento *maker* de completude é alcançado. Você não pode fazer e não compartilhar.

PRESENTEIE (*GIVE*) – Há poucas coisas mais altruístas e satisfatórias do que dar longe algo que você fez. O ato de fazer coloca um pequeno pedaço de você no objeto. Dando isso para outra pessoa é como dar a alguém um pequeno pedaço de si mesmo. Tais coisas são muitas vezes os itens mais queridos que possuímos.

APRENDER (*LEARN*) – Você deve aprender a fazer. Você deve sempre procurar aprender mais sobre o seu fazer. Você pode se tornar um viajante ou artesão especialista, mas você ainda vai aprender, querer aprender e projetar você mesmo para aprender novas técnicas, materiais e processos. Construir um caminho de aprendizagem ao longo da vida garante uma experiência *maker* rica e recompensadora e, mais importante, permite o compartilhamento.

EQUIPE-SE (*TOOL UP*) – Você deve ter acesso às ferramentas certas para o projeto em mãos. Invista e desenvolva o acesso local às ferramentas que você precisa para fazer o que você deseja. As ferramentas de fazer nunca foram mais baratas, fáceis de usar ou poderosas.

DIVERTIR-SE (*PLAY*) – Divirta-se com o que você está fazendo, e você ficará surpreso, excitado e orgulhoso de suas descobertas.

¹⁷ Título no original em inglês: “The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkers”.

PARTICIPE (*PARTICIPATE*) – Junte-se ao Movimento *Maker* e dissemine às pessoas ao seu redor que está descobrindo a alegria de fazer. Faça seminários, festas, eventos, *maker days*, feiras, exposições, aulas e jantares com e para os outros *makers* em sua comunidade.

APOIOE (*SUPPORT*) – Este é um movimento, e requer suporte emocional, intelectual, financeiro, político e institucional. A melhor esperança para melhorar o mundo somos nós, e somos responsáveis por fazer um futuro melhor.

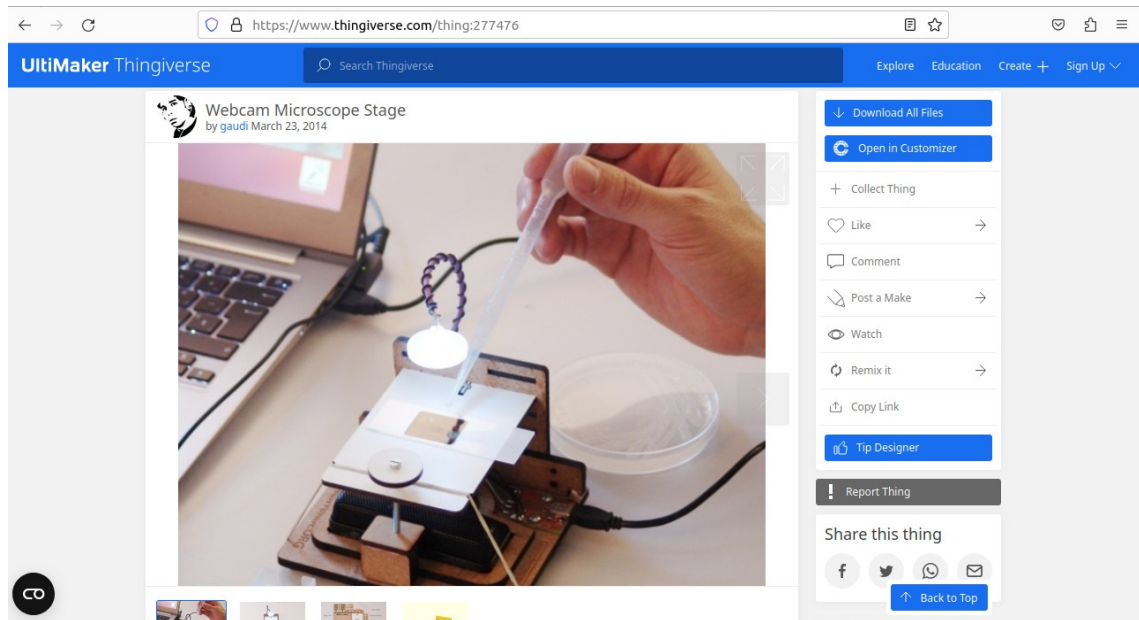
MUDE (*CHANGE*) – Abrace a mudança que ocorrerá naturalmente à medida que você avança através de sua jornada criadora. Já que fazer é fundamental ao que significa ser humano, você se tornará uma versão mais completa de você ao fazer (Hatch, 2014, p. 1, tradução nossa).

Os princípios propostos por Hatch transcendem a noção simplificada de “colocar a mão na massa”. Mais do que um conjunto de técnicas ou práticas, configuram uma filosofia de fazer pautada na colaboração, no compartilhamento de saberes e na aprendizagem contínua. O movimento *maker*, quando tomado como inspiração, pode ser compreendido como um ecossistema de criação e inovação, constituído por pessoas, ferramentas físicas e digitais, e infraestruturas, tanto presenciais quanto virtuais, que podem favorecer a construção coletiva de conhecimento (Anderson, 2012; Dougherty, 2013; Hatch, 2014).

Um exemplo concreto dessa dinâmica é o site *Thingiverse.com*, plataforma que permite o *download* gratuito de arquivos do tipo “.stl”, utilizados em impressoras 3D, bem como a modificação e o compartilhamento de novos projetos. Na Figura 6, observa-se um dos modelos disponíveis: um microscópio de baixo custo desenvolvido pelo GaudiLabs¹⁸, que utiliza uma *webcam* modificada, exemplo emblemático de como a cultura *maker* integra Ciência, tecnologia e criatividade coletiva.

¹⁸ <http://www.gaudi.ch/GaudiLabs/>.

Figura 6 – O site “thingiverse.com” com destaque para um projeto de microscópio

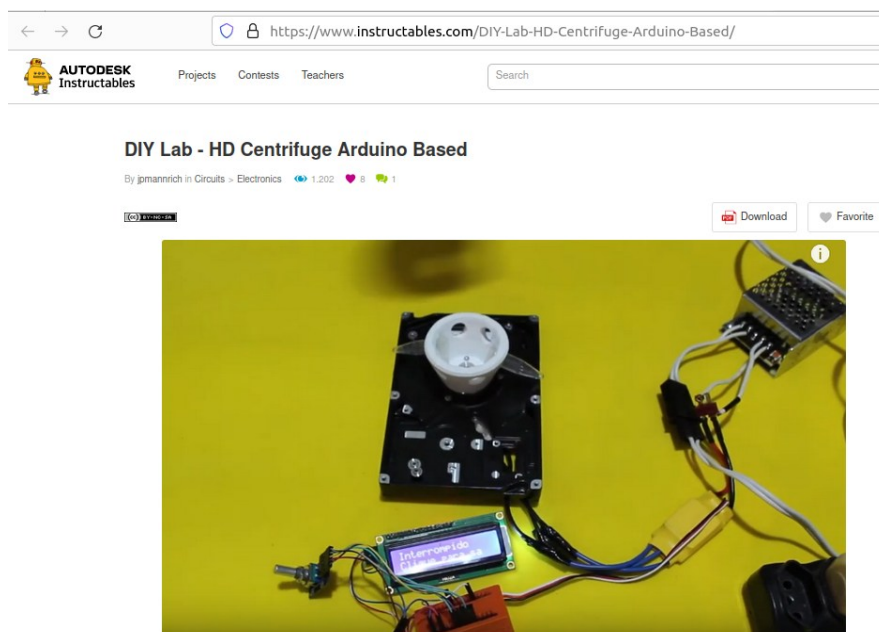


Fonte: thingiverse.com.

A Figura 7 apresenta o site *Instructables.com*, uma plataforma colaborativa mantida por uma comunidade global de *makers*. O site disponibiliza uma ampla variedade de tutoriais sobre projetos de diferentes áreas, descrevendo detalhadamente seus processos de construção, incluindo imagens, listas de componentes, instruções de montagem, códigos e demais elementos necessários à funcionalidade dos dispositivos.

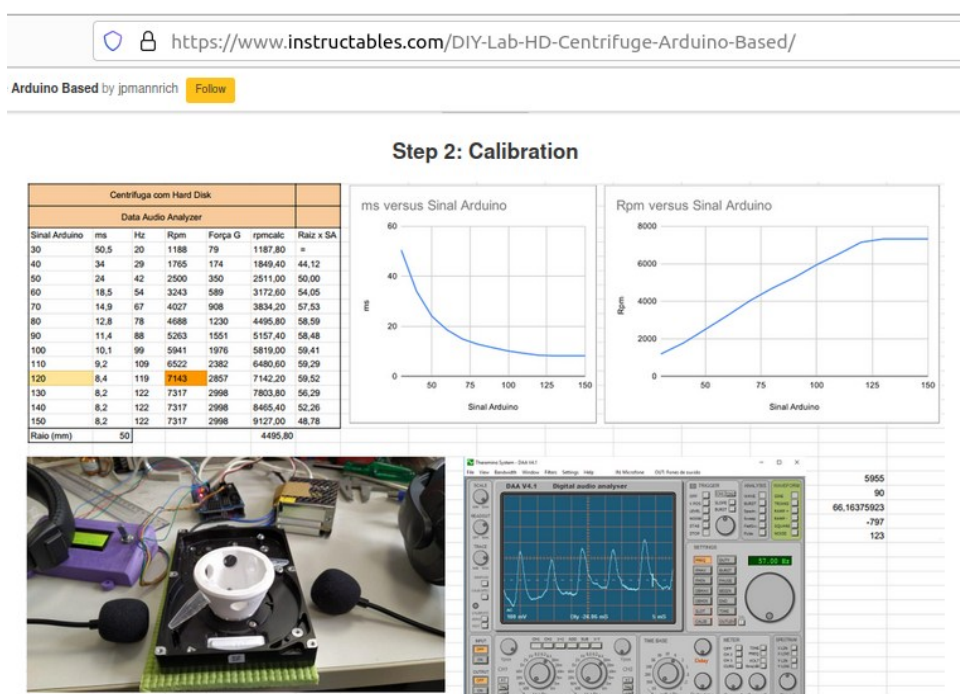
O projeto destacado na figura foi desenvolvido e publicado pelo pesquisador, consistindo em uma centrífuga construída a partir de componentes reaproveitados, como a carcaça de um disco rígido (*hard disk*), uma placa Arduino e outros elementos de prototipagem digital. Essa experiência envolveu não apenas o desafio técnico de viabilizar o funcionamento do dispositivo, mas também a aplicação de conhecimentos científicos e tecnológicos para determinar a força G gerada pela rotação sobre os microtubos, conforme ilustrado na Figura 8 (Mannrich; Neves Junior, 2024).

Figura 7 – Centrífuga com HD desenvolvida pelo pesquisador e disponibilizada no *on-line*



Fonte: acervo do autor.

Figura 8 – Determinação da força G em função da rotação do HD



Fonte: acervo do autor.

No contexto brasileiro, também se destacam comunidades virtuais voltadas ao compartilhamento e à discussão de projetos *maker*, como é o caso do portal Lab de Garagem

(labdegaragem.com). Essa plataforma funciona como uma rede colaborativa em que usuários publicam projetos, trocam experiências e recebem suporte técnico da comunidade.

A Figura 9 apresenta uma captura de tela do *site*, destacando um protótipo de incubadora automatizada desenvolvido e publicado pelo pesquisador. O dispositivo foi construído com o uso de componentes eletrônicos e equipamentos de fabricação digital, exemplificando a integração entre conhecimento técnico, criatividade e colaboração em rede, características centrais da cultura *maker*.

Figura 9 – Protótipo de incubadora desenvolvido pelo pesquisador e disponibilizado no *site*



Fonte: acervo do autor.

Observa-se que diversos indivíduos participam de comunidades virtuais voltadas à cultura *maker*, atuando tanto na disseminação de conhecimentos e projetos quanto no consumo e aprimoramento de conteúdos já disponíveis. Nessas comunidades, circulam tanto projetos originais quanto versões remixadas, criadas com o intuito de aperfeiçoar funcionalidades, explorar conceitos técnicos ou simplesmente experimentar por prazer e curiosidade.

Segundo Dougherty (2013), os *makers* compartilham um sentimento de oposição à lógica da sociedade de consumo, na qual o indivíduo é definido pelo que possui ou adquire. Para o autor, a prática de “fazer” está associada a uma forma de empoderamento individual e coletivo, fundada na crença de que todos podem criar ou aprender a criar. Trata-se, portanto, de uma ideia poderosa, com potencial para influenciar processos educacionais e contribuir para a

formação de sujeitos capazes de se tornarem agentes de mudança em suas vidas pessoais e em suas comunidades.

2.1.1 Tipologia de espaços *maker*

Quando se estuda o movimento *maker*, é possível identificar diferentes nomenclaturas que, embora compartilhem princípios e práticas semelhantes, apresentam distinções sutis quanto ao perfil dos grupos que as integram e à natureza de suas infraestruturas físicas. Entre essas denominações destacam-se os *Fab Labs*, *Makerspaces*, *Hackerspaces*, *TechShops* e *Biohackerspaces*.

Apesar de muitas atividades se sobreporem, tornando complexa a tarefa de estabelecer fronteiras precisas entre elas, é pertinente reconhecer alguns elementos que ajudam a compreender as variações internas do movimento *maker* contemporâneo e suas influências sobre o campo educacional. Essa distinção permite não apenas situar os diferentes contextos de surgimento e finalidade de cada tipo de espaço, mas também analisar como suas filosofias e práticas têm contribuído para reconfigurar situações de ensino e aprendizagem e o ensino de Ciências, tecnologia e Artes em múltiplos ambientes.

Pode-se considerar o surgimento dos *Fab Labs* como as raízes do movimento *maker* contemporâneo. O termo é uma abreviação de *Fabrication Laboratories* ou, informalmente, *Fabulous Labs*, e remete a laboratórios de fabricação digital acessíveis e colaborativos. Esses espaços têm sua origem no *Center for Bits and Atoms* (CBA) do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), idealizados pelo professor Neil Gershenfeld nos primeiros anos do século XXI, projeto financiado pela NSF. A proposta parte da premissa de que é possível “criar quase qualquer coisa” por meio de máquinas controladas por computador (Gershenfeld, 2012), inaugurando o campo das Tecnologias de Fabricação Digital (TFD), que engloba equipamentos como cortadoras a laser, impressoras 3D e fresadoras CNC.

Em 2002, o curso ministrado por Gershenfeld, intitulado *How to Make Almost Anything*, inicialmente voltado a pesquisadores, atraiu o interesse de estudantes de diversas áreas interessados simplesmente em construir coisas. O sucesso da experiência motivou a criação de um kit de replicação de laboratório, sob coordenação da organização sem fins lucrativos *Fab Foundation*, permitindo a expansão global do conceito (Gershenfeld, 2012).

A *Fab Foundation* estabeleceu critérios padronizados para a criação de novos *Fab Labs*: dispor de um conjunto mínimo de ferramentas, participar ativamente da rede internacional, compartilhar projetos e conhecimentos e manter abertura periódica ao público

externo. Nesses ambientes, promovem-se atividades que integram ciência, arte, tecnologia e invenção, por meio de processos educativos horizontais, colaborativos e entre pares. A hierarquia entre “especialistas” e “amadores” é substituída pela convergência de práticas e objetivos comuns, favorecendo uma aprendizagem ativa baseada na materialização de ideias em objetos físicos ou digitais (Eychenne; Neves, 2013).

A popularização do termo e do conceito *Makerspace* está intrinsecamente relacionada à criação da revista *Make Magazine*, fundada em 2005 por Dale Dougherty. De acordo com Cavalcanti (2013), a origem da expressão *maker* teria surgido de uma conversa entre Dougherty e sua filha, quando ele buscava um nome para uma revista dedicada a ensinar pessoas a desenvolverem seus próprios projetos tecnológicos. A filha teria sugerido substituir o termo *hack*, associado à cultura *hacker* e por vezes carregado de conotações negativas, pelo termo *make*, argumentando que “todo mundo gosta de fazer coisas”.

A adoção dessa denominação inspirou a criação do domínio *makerspaces.com*, utilizado para descrever espaços de design, prototipagem e aprendizagem criativa, voltados também a crianças e jovens. A popularização do termo consolidou o uso de *Makerspace* para designar ambientes mais amplos e inclusivos do que os tradicionais *Hackerspaces*, historicamente associados a comunidades de programadores e entusiastas da eletrônica.

Na visão de Cavalcanti (2013), os *Makerspaces* se caracterizam pela abertura a diferentes públicos, propósitos e ferramentas, reunindo tanto pessoas interessadas em tecnologia e arte quanto educadores, estudantes e inventores amadores. Essa diversidade de perfis e objetivos fez com que o conceito ganhasse projeção global, especialmente no campo educacional, como um espaço de aprendizagem colaborativa e criativa.

Os *Hackerspaces* constituem um desdobramento de movimentos sociotécnicos que emergiram a partir da década de 1960, influenciados pela busca de novos modelos de produção e de construção colaborativa do conhecimento (Mattos; Silva; Kós, 2014). A origem desses espaços é geralmente associada à Europa, em que grupos de programadores passaram a organizar-se em locais físicos de encontro e experimentação coletiva.

Entre os exemplos mais emblemáticos destacam-se o C-base, criado em 1995, considerado o primeiro *Hackerspace* formalmente estabelecido, e o *Chaos Computer Club* (CCC), ambos na Alemanha, além dos norte-americanos NYC Resistor, HacDC e Noisebridge. Com o passar do tempo, esses espaços ampliaram suas atividades, incorporando práticas ligadas à eletrônica, à prototipagem e à fabricação digital, o que contribuiu para sua popularização e diversificação.

Na atualidade, muitos *Hackerspaces* reconhecem-se como espaços *maker*, resultado da convergência entre a cultura *hacker* e o movimento *maker*, ambos alicerçados em princípios de colaboração, autonomia e compartilhamento de conhecimento (Cavalcanti, 2013).

Outro tipo de espaço, com um viés mais comercial, foram os *TechShops*, iniciativa idealizada por Mark Hatch em 2006, autor do livro “*Maker Movement Manifesto*” (2014). Por cerca de uma década, os *TechShops* foram amplamente reconhecidos no contexto norte-americano como empreendimentos emblemáticos do ecossistema *maker*, ao oferecer infraestrutura de fabricação digital e mecânica para indivíduos e startups transformarem ideias em produtos.

A rede norte-americana chegou a reunir mais de nove mil membros, fornecendo acesso a máquinas de corte a laser, impressoras 3D, tornos, serras e ferramentas de prototipagem, mediante assinaturas e planos de uso compartilhado. Essa estrutura empresarial contribuiu significativamente para a popularização da cultura *maker* nos Estados Unidos e em outros países, ao aproximar o fazer criativo de modelos de inovação e empreendedorismo tecnológico.

No entanto, apesar de seu impacto inicial, o modelo mostrou-se financeiramente insustentável. Em 2017, a rede anunciou o fechamento de todas as suas unidades, encerrando as atividades após enfrentar dificuldades de gestão e de manutenção do alto custo operacional (Techshop, 2017).

O movimento *Do It Yourself Biology* (DIYBio), ou “Faça Você Mesmo Biologia”, ganhou força paralelamente à expansão do movimento *maker*, ao incorporar princípios de ciência aberta e tecnologia colaborativa. Seu crescimento foi impulsionado pelo acesso a técnicas de biotecnologia de baixo custo e pelo interesse crescente em áreas como a biologia sintética, que estimularam a ideia de “*hackear*” ou reconfigurar sistemas biológicos para fins de experimentação, aprendizado e inovação.

Nesse contexto, surgiram diversos espaços físicos e virtuais dedicados a práticas biotecnológicas acessíveis, os chamados *Biohackerspaces* (ou Espaços *Biohackers*). Esses ambientes têm como princípios integrar pesquisadores, amadores e estudantes em atividades realizadas fora de instituições tradicionais como universidades e centros de pesquisa, promovendo a aprendizagem colaborativa e a ciência cidadã.

Assim como os *Fab Labs*, os *Biohackerspaces* buscam fomentar a pesquisa aberta e o engajamento público em torno da ciência, oferecendo oportunidades tanto para ensino quanto para investigação prática em biotecnologia (Landrain *et al.*, 2013).

Distinguir entre *makerspaces* e *hackerspaces* nem sempre é uma tarefa simples. A ampliação e sobreposição de significados entre esses espaços pode ser compreendida como

resultado de um alinhamento ao movimento *maker* emergente descrito por Anderson (2012), cujo impacto global é inegável, em contraposição à tradição de uma cultura *hacker* mais restrita.

Embora o termo *makerspace* esteja fortemente associado à revista *Make Magazine*, esta também foi criticada por promover formas hegemônicas de fazer, desconsiderando aspectos de democratização do acesso às ferramentas (Barbosa e Silva, 2017; Hertz, 2012). Assim, as distinções entre *hackerspaces* e *makerspaces* permanecem pouco claras ou mesmo irrelevantes para muitos participantes, que frequentemente não estabelecem separações rígidas entre ambos (Mattos; Silva; Kós, 2014).

Em contrapartida, *Fab Labs* e *TechShops* apresentam delimitações mais definidas quanto a propósitos e estrutura. Nos *Fab Labs*, as raízes acadêmicas e comunitárias são predominantes, com ênfase na colaboração e na aprendizagem aberta; já os *TechShops* se caracterizam por um viés comercial e profissional, voltado à inovação empreendedora.

Os *Biohackerspaces*, demonstram maior conexão com práticas de biotecnologia e à ciência aberta e cidadã. Além desses, é possível identificar outras configurações de espaços experimentais, como os *medialabs* e laboratórios cidadãos (Sanguesa, 2013), bem como os laboratórios experimentais (Barbosa e Silva, 2017), que buscam expandir os princípios de democratização do fazer e apropriação crítica da tecnologia na sociedade contemporânea.

Em 2019, Dale Dougherty, fundador da *Maker Media*, companhia responsável pelas marcas *MAKE Magazine* e *Maker Faires*, anunciou o encerramento das operações da empresa, alegando dificuldades financeiras decorrentes da perda de patrocinadores. O episódio marcou simbolicamente o esgotamento de um modelo que havia se consolidado como o principal representante midiático e comercial do movimento *maker*.

Para Bogers e Chiappini (2019), a tentativa da *Maker Media* de apropriar-se das práticas vinculadas ao *making* resultou na redução de um movimento originalmente plural e inclusivo a uma cultura de improvisação tecnológica voltada ao entretenimento e dominada por elites de classe média e alta ocidental. Em sua análise, a chamada versão *MAKE* da cultura *maker* promoveu uma visão universalizante e excludente, ao negligenciar práticas criativas e politicamente engajadas originadas em *hackerspaces*, coletivos artísticos e comunidades periféricas.

Segundo os autores, essa versão do movimento falhou em reconhecer as heranças de gênero e colonialidade presentes na economia global da tecnologia e na própria história do fazer técnico. Como destaca Alice Yang, “a maioria dos verdadeiros fabricantes de nossos produtos eletrônicos são mulheres racializadas que trabalham em fábricas do chamado Terceiro Mundo e em países em desenvolvimento” (*apud* Bogers; Chiappini, 2019, p. 11).

O colapso do modelo *Maker Media*, embora representasse a crise de uma abordagem mercantilizada do fazer, abriu espaço para um processo de ressignificação do movimento *maker*. Esse “respiro” permitiu repensar os propósitos sociais, políticos e educacionais do fazer, deslocando o foco da produção de objetos para a produção de sentidos, e recolocando no centro do debate questões sobre equidade, engajamento comunitário e emancipação pelo conhecimento.

De forma mais abrangente, esses espaços passaram a ser reconhecidos pelo termo genérico *Makerspaces* (ou Espaços *Maker*), ambientes voltados à experimentação, criação e compartilhamento de projetos, configurando-se como ecossistemas de inovação e aprendizagem alinhados à cultura *maker* (Blikstein, 2018; Halverson; Sheridan, 2014). Independentemente de suas tipologias, esses ambientes compartilham o propósito de democratizar o acesso às tecnologias e ao conhecimento, favorecendo práticas colaborativas, criativas e interdisciplinares. Assim, mais do que laboratórios equipados, os Espaços *Maker* representam territórios de aprendizagem ativa e crítica, capazes de inspirar novas formas de ensinar e aprender na contemporaneidade.

2.1.2 Educação não formal, formal e ciência aberta

Ao revisar estudos sobre abordagens *maker* na educação científica, Bevan (2017) identifica três vertentes principais: i) programas voltados ao empreendedorismo, relacionados a espaços de fabricação digital de caráter industrial ou comercial; ii) programas voltados ao desenvolvimento de habilidades *Stem* e das chamadas competências do século XXI, como criatividade, resolução de problemas e pensamento crítico, com forte presença no ensino secundário e superior; e iii) iniciativas de educação *maker* propriamente dita (*educative making*), geralmente implementadas na Educação Básica, cujo foco está na formação integral dos estudantes e no desenvolvimento de interesse, identidade e engajamento com a ciência e a tecnologia. Esta última vertente se ancora fortemente na teoria construcionista de Papert (1994), segundo a qual o aprendizado ocorre por meio da construção de artefatos físicos e digitais que expressam ideias, conceitos e emoções.

A partir dessa classificação, observa-se que o movimento *maker* se manifesta de maneiras distintas conforme o contexto educacional em que se insere. Muitas de suas expressões mais autênticas emergem fora da escola, no âmbito da educação não formal, caracterizada pela intencionalidade de ensinar e aprender, mas com objetivos definidos coletivamente e não impostos de forma hierárquica (Gohn, 2006). Já a educação formal,

institucionalizada e regida por currículos e diretrizes oficiais, busca assegurar o ensino de conhecimentos sistematizados e socialmente validados. Ambas, no entanto, são complementares, a primeira, ao oferecer espaços de liberdade criativa e experimentação; a segunda, ao garantir a sistematização e a legitimidade social dos saberes.

Ao analisar o movimento *maker* apenas sob a ótica da educação formal, corre-se o risco de ignorar o potencial das práticas de aprendizagem criativa e socialmente engajada que emergem em contextos não escolares. Exemplos mundialmente inspiradores, como o sistema *Lion Lights*, criado por Richard Turere (2013) para proteger rebanhos de leões; os aerogeradores de William Kamkwamba no Malawi; ou a impressora 3D de lixo eletrônico desenvolvida por Afate Gnikou no Togo, demonstram o poder do *making* como prática informal de inovação social e tecnológica de base comunitária e situada, sustentada por conhecimentos científicos e técnicos aplicados a problemas reais.

Embora esses exemplos possam soar idealizados e deixem de evidenciar discussões estruturais relacionadas à equidade, ao acesso e às condições materiais de produção tecnológica, eles ainda assim inspiram reflexões relevantes sobre o papel das infraestruturas abertas e acessíveis na promoção de oportunidades para o estudo, a experimentação e a aplicação social do conhecimento científico e tecnológico.

Com a popularização das tecnologias de fabricação digital (impressoras 3D, cortadoras a laser, plataformas Arduino etc.) e da colaboração em rede, multiplicaram-se espaços de ciência aberta e cidadã, como o La Paillasse (França), o Waag Society (Holanda) e o Hackteria (rede internacional de *biohackers*). Tais iniciativas integram cientistas, artistas, *hackers* e cidadãos comuns em processos colaborativos de pesquisa, experimentação e reflexão crítica sobre tecnologia e sociedade. Nessa perspectiva, o movimento *maker* aproxima-se dos ideais de ciência aberta, ao reconhecer o cidadão como produtor legítimo do conhecimento científico e tecnológico.

La Paillasse, localizado em Paris, foi um dos primeiros espaços físicos e comunidades dedicados à democratização da ciência e da tecnologia sob a perspectiva DIYBio. Criado em 2009, o laboratório surgiu a partir da reutilização de equipamentos obsoletos e danificados, propondo-se a tornar a pesquisa científica mais acessível e colaborativa (Landrain *et al.*, 2013). Atualmente, o espaço desenvolve pesquisas abertas e oferece atividades educativas voltadas a diferentes públicos, incluindo crianças a partir de seis anos. Entre as oficinas realizadas, destacam-se a construção de microscópios caseiros, o “*hackeamento*” de plantas e o cultivo de spirulina, exemplificando o caráter engajador e formativo do espaço.

De forma semelhante, o Waag Technology & Society, localizado em Amsterdã e fundado em 1994, consolidou-se como um centro interdisciplinar voltado ao pensamento crítico sobre tecnologia, à formação em design social e tecnológico e ao estímulo à inovação social. Além de desenvolver projetos de pesquisa, o Waag promove uma variedade de eventos e laboratórios educacionais, como o Open Wetlab¹⁹, onde os participantes aprendem a construir seus próprios laboratórios de código aberto, realizar experimentos e refletir criticamente sobre os impactos da biologia sintética. Outro exemplo é o Smart Citizens Lab²⁰, iniciativa que reconhece os cidadãos como pesquisadores ativos em “um processo no qual recebem ferramentas de código aberto e aprendem a medir e interpretar o ambiente em que vivem”²¹. As atividades incluem análises da qualidade da água dos canais da cidade, medições de poluição sonora e identificação de rotas urbanas mais saudáveis, integrando ciência, tecnologia e participação cidadã.

A Figura 10 ilustra esses dois espaços emblemáticos, à esquerda, o Smart Citizens Lab, em Amsterdã; e à direita, o La Paillasse, em Paris, ambos representativos da convergência entre movimento *maker*, ciência aberta e educação não formal.

Figura 10 – À esquerda: Smart Citizens Lab (Amsterdã). À direita: La Paillasse (França)



Fonte: commons.wikimedia.org e waag.org/en/lab/smart-citizens-lab/.

O *Hackteria*²² constitui um dos exemplos mais expressivos de como a ciência aberta e o movimento *maker* podem convergir para a criação de comunidades globais de produção colaborativa de conhecimento. Fundado a partir da colaboração entre especialistas, amadores e

¹⁹ <https://waag.org/en/lab/open-wetlab>.

²⁰ <https://waag.org/en/lab/smart-citizens-lab>.

²¹ Ibidem.

²² <https://www.hackteria.org/>.

entusiastas de diversos países, o portal promove o encontro entre cientistas, *hackers* e artistas interessados em explorar de forma criativa temas relacionados ao movimento DIYBio (*Do It Yourself Biology*).

Mais do que um simples repositório de projetos, o *Hackteria* funciona como uma plataforma de experimentação e aprendizagem em rede, estimulando seus participantes a organizar eventos, desenvolver reflexões críticas e compartilhar práticas e resultados de seus experimentos nas ciências da vida. O acesso aberto é um de seus princípios centrais: qualquer pessoa pode explorar o conteúdo disponível, reproduzir experimentos, adaptar protótipos e criar novas versões a partir das instruções detalhadas e dos arquivos compartilhados.

Entre os projetos de código aberto disponíveis, destacam-se dispositivos como medidores de turbidez, espectrômetros, centrífugas, microscópios e até OpenPCRs, muitos deles construídos a partir da reutilização de componentes eletrônicos ou do uso de plataformas de prototipagem digital, como o Arduino. Esses projetos evidenciam a potência do *making* como prática de inovação científica e tecnológica acessível, reforçando os ideais de autonomia e democratização do conhecimento.

Complementarmente, o portal synthebio.com disponibiliza kits completos para a criação de espaços *biohackers*, oferecendo desde ferramentas e insumos até guias de montagem e protocolos experimentais. Assim como o *Hackteria*, essa iniciativa se insere no ecossistema mais amplo da ciência aberta, ampliando o acesso a práticas laboratoriais e promovendo uma cultura de aprendizado coletivo, transparência e colaboração global em ciência e tecnologia.

Figura 11 – Equipamentos genéricos de laboratórios de biotecnologia



2015, Urs Gaudenz, GaudiLabs

Fonte: hackteria.org / GaudiLabs.

Dentre as iniciativas citadas, uma das mais relevantes no contexto brasileiro se destaca os Fab Labs Livres que se configuram como uma rede pública de 17 laboratórios de fabricação digital, criada pela Prefeitura Municipal de São Paulo em parceria com o Instituto de Tecnologia Social. Seu surgimento decorre de uma política pública vinculada ao Programa de Metas 2013-2016, com o propósito de consolidar a cidade como um centro de tecnologia e inovação e ampliar o acesso da população às tecnologias abertas e colaborativas.

Os Fab Labs Livres são concebidos como espaços de desenvolvimento, emancipação e empoderamento, buscando fomentar inovações sociais e tecnológicas sustentáveis. A proposta parte da ideia de um “fazer inclusivo”, sensível às desigualdades e à segregação urbana, com a missão de ampliar horizontes de inovação e funcionar como mecanismos de emancipação comunitária (Yamana, 2024).

Esses espaços exercem papel significativo na educação pública e não formal, aproximando jovens, escolas e comunidades das tecnologias de fabricação digital e dos princípios do movimento *maker*. Esses laboratórios operam como ambientes de aprendizagem prática e colaborativa, em que o foco está na autonomia criativa dos participantes, no aprendizado por projetos e na formação cidadã e profissional (Yamana, 2024).

Além de oferecer cursos livres, oficinas e formações técnicas, a rede participa de programas educacionais voltados à inclusão social, sustentabilidade e inovação, favorecendo a construção de competências ligadas à resolução de problemas, pensamento crítico e empreendedorismo social. Desse modo, os Fab Labs Livres consolidam-se como infraestruturas públicas de inovação educacional, promovendo a integração entre educação, tecnologia e cidadania, e constituindo uma das experiências mais expressivas de política pública *maker* da América Latina (Yamana, 2024).

Esse ecossistema, impulsionado pelo movimento *maker*, pode ser entendido como um laboratório social de inovação, em que as fronteiras entre ciência, educação e cidadania se tornam mais permeáveis (Samagaia, 2016). À medida que tais práticas penetram a educação formal, observa-se uma dupla transformação: o movimento influencia a escola ao inspirar metodologias mais participativas e críticas, enquanto a escola o ressignifica ao inseri-lo em sua estrutura político-curricular. Compreender essas interações é essencial para discutir o potencial emancipador da educação *maker* e seus impactos na formação docente e no ensino de Ciências.

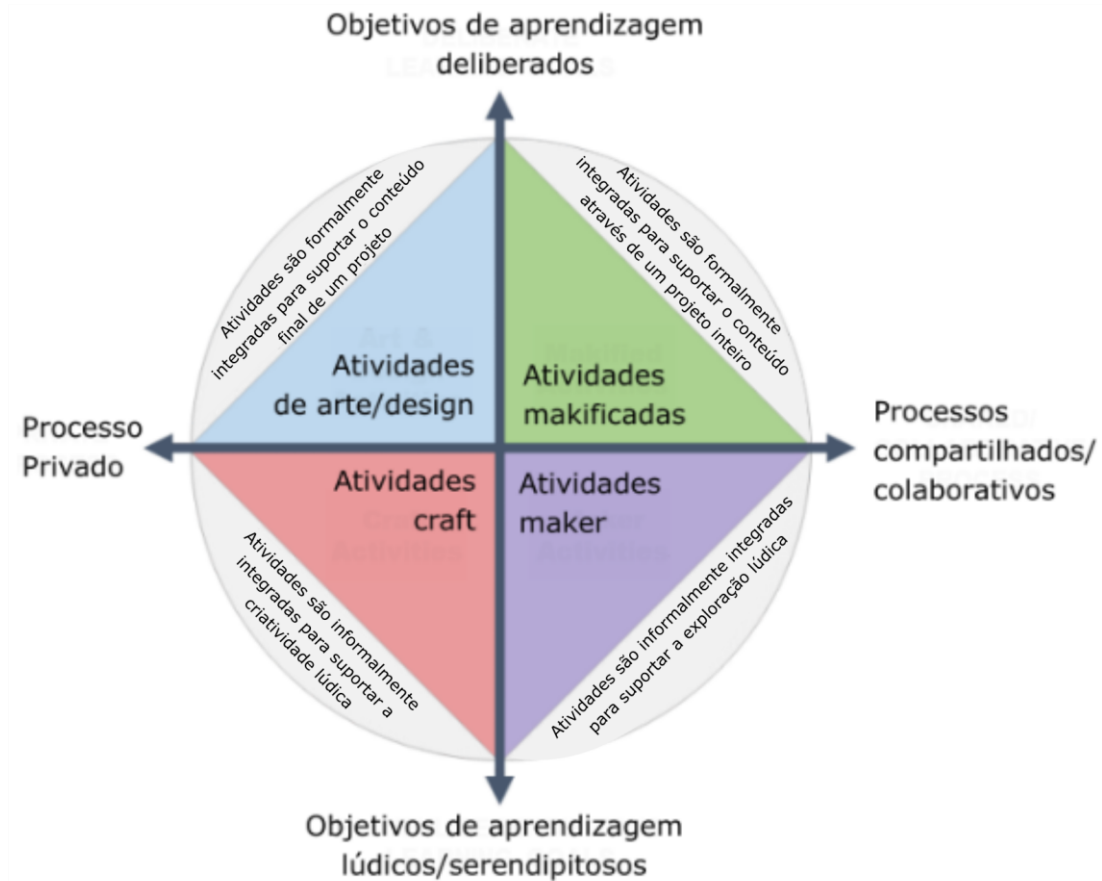
2.1.3 Fablearn, aprendizagem criativa e além

Estudos da área estabelecem aproximações entre o Movimento *Maker* e a educação formal escolar, sobretudo, a partir de sua matriz epistemológica centrada no fazer. Esse princípio germinativo fundamenta práticas em que o processo de construção de conhecimento se ancora em experiências concretas, sejam elas físicas ou digitais, de forma ativa, significativa e socializada. Nesse contexto, o construcionismo, como vertente teórica elaborada por Papert (1994), emerge como um alicerce conceitual de destaque. Ao reverter a lógica tradicional de que o aprendizado avança do concreto para o abstrato, Papert propõe o caminho inverso: é por meio da manipulação de objetos e da construção de artefatos públicos que o aluno edifica suas aprendizagens.

Para Papert (1994, p. 137), o que caracteriza o construcionismo é a combinação entre a construção mental e a construção no mundo: “o produto pode ser mostrado, discutido, examinado, sondado e admirado. Ele está lá fora”. Esse ponto revela um traço distintivo em relação ao construtivismo piagetiano, pois, como reforça Ackerman (2001), o construcionismo amplia o papel do contexto, dos artefatos culturais e das externalizações nos processos de aprendizado, aspectos menos explorados na teoria piagetiana. Nesse sentido, o aprendiz não apenas internaliza ações, mas se engaja em um processo de autoria pública, no qual projetar um objeto implica conceber uma ideia, testá-la e comunicá-la, mobilizando dimensões cognitivas, mas também afetivas e sociais, aspectos essenciais do sociointeracionismo vygotskiano.

Essa ênfase no ato de construir como forma de aprender é central para o Movimento *Maker*. No entanto, sua transposição para o ambiente escolar impõe desafios institucionais e pedagógicos. Cohen *et al.* (2017) argumentam que, por sua natureza orgânica e fluida, o construcionismo pode encontrar maior afinidade com contextos de aprendizado não estruturados, como os *makerspaces* comunitários, do que com o ensino formal, que se orienta por currículos, horários e avaliações padronizadas. Para mitigar essa tensão, os autores propõem a noção de “Makificação” (*Makification*), ou seja, a adaptação das práticas *maker* ao formato educativo escolar sem que percam seu caráter criativo, crítico e colaborativo.

Figura 12 – Diferenças entre atividades “Makificadas” e Atividades *Maker*



Fonte: Adaptado de Cohen *et al.* (2017, p. 6, tradução nossa).

A “Makificação” se fundamenta em quatro elementos centrais: criação, iteração, compartilhamento e autonomia. A criação está ligada ao princípio do fazer (Hatch, 2014), que reconhece no ato de fabricar um dos impulsos essenciais da humanidade. A iteração aparece como prolongamento dessa criação: refazer e corrigir, sem estigmatizar o erro, mas acolhendo-o como parte do movimento criativo e cognitivo. O compartilhamento, por sua vez, mobiliza o poder da cognição distribuída, fomentando ambientes de colaboração em que o conhecimento circula e se amplia. Por fim, a autonomia, núcleo da cultura *maker*, torna-se também um objetivo formativo na escola, ao favorecer a ação do estudante e a promoção de autoria de seu próprio processo de aprendizagem.

Martin (2015) reforça essa perspectiva ao identificar quatro aspectos centrais da cultura *maker*, brincadeira, incentivos positivos, aceitação do erro e colaboração, que afetam diretamente a educação formal ao estimular práticas mais participativas, inclusivas e férteis para o engajamento dos estudantes.

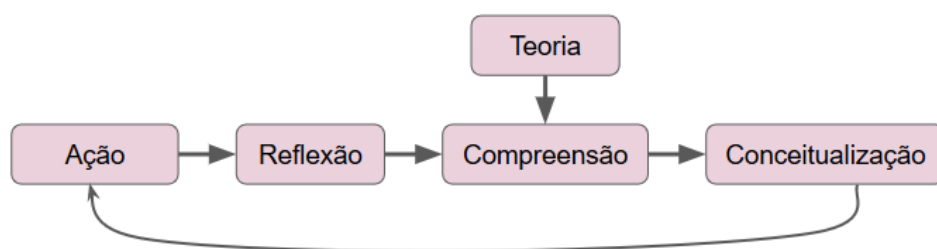
A incorporação do Movimento *Maker* no contexto da educação escolar tem sido impulsionada por iniciativas como o FabLearn e a Aprendizagem Criativa, que se consolidam como referências internacionais nesse cenário. Essas abordagens buscam não apenas introduzir tecnologias e práticas de “fazer” nos espaços escolares, mas também reformular paradigmas pedagógicos, epistemológicos e culturais da educação básica.

O projeto FabLearn, vinculado ao grupo de pesquisa *Transformative Learning Technologies Lab* da Universidade de Columbia, em New York, configura-se como um *hub* internacional dedicado à disseminação de ideias, práticas e suporte para a implementação de espaços *maker* em diferentes contextos educacionais. Seu objetivo é influenciar políticas educacionais sustentadas por uma abordagem construcionista voltada à educação básica. O FabLearn fundamenta-se nas contribuições teóricas de John Dewey, Seymour Papert e Paulo Freire, além de dialogar de maneira profunda com a educação *Stem* (Blikstein, 2013).

Em diversos contextos educativos, observa-se que práticas *maker* são frequentemente reduzidas à simples construção de artefatos, sem o devido respaldo de uma mediação pedagógica que promova a reflexão e a compreensão dos princípios que orientam seu funcionamento. Valente e Blikstein (2019) criticam essa superficialidade e enfatizam a necessidade de intencionalidade docente na condução de atividades *maker*, resgatando fundamentos teóricos de autores como Lev Vygotsky (sociointeracionismo), Jean Piaget (construtivismo) e Seymour Papert (construcionismo).

Segundo os autores, a pedagogia *maker* subverte a lógica tradicional disseminada, na qual os conteúdos são apresentados previamente à abordagem prática, ao propor que os estudantes vivenciem fenômenos concretos antes da introdução dos conceitos formais. Tal inversão tem o potencial de promover aprendizagens mais significativas, uma vez que os estudantes se engajam em ações que despertam a necessidade de compreender cientificamente o que estão construindo. Esse ciclo processual pode ser visualizado no esquema representado na Figura 13.

Figura 13 – Modelo pedagógico vinculado a uma educação *maker* construcionista



Fonte: adaptado de Valente e Blikstein (2019, p. 259).

O esquema apresentado evidencia que o ponto de partida do processo de ensino e aprendizagem é a ação no mundo, ou seja, a experiência concreta. A partir dessa vivência inicial, ocorre a reflexão sobre a ação, que desencadeia a construção de compreensão. Nesse momento, a busca pela teoria se torna relevante para fundamentar essa compreensão, culminando na conceitualização dos fenômenos vivenciados.

Esse ciclo prático-reflexivo permite que o estudante retorne à ação com maior repertório conceitual, elevando progressivamente seu nível de compreensão, reflexão e capacidade de abstração, o que consolidaria a aprendizagem.

Valente e Blikstein (2019) destacam que esse processo só se efetiva plenamente quando há uma mediação pedagógica intencional por parte do professor, que deve provocar momentos de reflexão vinculados aos objetivos de ensino. Para ilustrar, os autores citam a construção de protótipos de catapultas. Embora a construção em si possa ser o ponto de partida, não assegura o alcance de objetivos curriculares, como os relacionados ao ensino de física. Cabe ao professor orientar o estudante na investigação dos mecanismos de funcionamento, na comparação entre estratégias de lançamento e na formulação de hipóteses, utilizando, inclusive, recursos como simuladores digitais para ampliar a compreensão conceitual e fortalecer o vínculo entre prática e teoria.

Com base nessa compreensão, Blikstein, Valente e Moura (2020) defendem que o sucesso de propostas educacionais vinculadas ao movimento *maker* deve se apoiar em quatro pilares: espaço *maker* como ambiente de experimentação; formação docente adequada à mediação das práticas; projetos significativos, conectados ao currículo e ao contexto dos estudantes; e protagonismo estudantil, que fortaleça a autonomia e a agência.

A metáfora da balança proposta pelos autores ilustra a necessária articulação entre dois polos: de um lado, o currículo tradicional, voltado à constituição de conhecimentos científicos e culturais; do outro, o *maker*, que introduz criatividade, tecnologia e conexão com o mundo real. Nesse sentido, as tecnologias emergem como aliadas do currículo, especialmente em situações em que métodos tradicionais seriam insuficientes para promover aprendizagens complexas.

Em sua análise crítica, Soster (2018) investigou diferentes contextos de educação *maker* nos Estados Unidos, associados ao FabLearn, e destacou que o campo ainda está em construção e, por vezes, mais promissor em discurso do que em prática. Consolidou suas investigações em uma definição para o que chamou de “educação *maker*”:

Processo para guiar, instruir ou conduzir o educando para continuar sua própria educação com consciência da sua metacognição e visão crítica da sua situação atual (ou para transformá-la, caso desejado). Acontece em uma plataforma que estimula a expressão criativa na construção e compartilhamento de artefatos e produção intelectuais através da promoção do desenvolvimento da autonomia, da identidade *Maker*, de conhecimentos poderosos e de habilidades em ferramentas, tecnologias, práticas e processos do contexto *Maker*, e demais áreas do conhecimento, de maneira integrada (Soster, 2018, p. 133).

A autora conclui que a educação *maker*, apesar de seu potencial, tem dificuldade em concretizar plenamente suas promessas, especialmente no que se refere à formação crítica dos sujeitos. Isso indica a necessidade de consolidação teórico-prática para garantir coerência entre os ideais emancipatórios e suas aplicações educacionais.

De forma complementar, Blikstein e Worsley (2016) alertam que “crianças não são *hackers*”, sublinhando que as práticas *maker* escolares não podem replicar modelos tecnológicos adultos. Eles propõem quatro princípios para uma cultura *maker* escolar efetiva: inclusão consciente, superando visões ingênuas e elitistas das práticas *maker*; facilidade de acesso a recursos e ferramentas, que estimulem sem frustrar; projetos profundos e autênticos, alinhados aos interesses e contextos de vida dos estudantes; e valorização do processo sobre o produto, considerando formas avaliativas apropriadas à natureza exploratória e criativa do fazer.

Também alinhado à vertente construcionista, o movimento da Aprendizagem Criativa propõe estender para outros níveis educacionais o espírito investigativo e lúdico característico do jardim de infância. Essa abordagem é sustentada pelo grupo *Lifelong Kindergarten*, vinculado ao MIT, que desenvolve tecnologias e fomenta comunidades de aprendizagem inclusivas, promovendo experiências criativas que valorizam a diversidade de origens e repertórios culturais (Valente; Burd, 2019).

A pedagogia da Aprendizagem Criativa fundamenta-se na chamada Espiral de Aprendizagem Criativa, composta por cinco etapas que se articulam de forma contínua e cíclica: imaginar, criar, brincar, compartilhar e refletir. Esse processo destaca a importância de experiências dinâmicas, nas quais a construção de artefatos significativos, como carrinhos, histórias, jogos ou programas de computador, funciona como mediadora da aprendizagem (Resnik, 2017).

Além disso, o grupo propõe o modelo dos 4Ps, orientador de práticas pedagógicas baseadas em: Projetos (*Projects*) – atividades concretas que mobilizam ideias e habilidades; Paixão (*Passion*) – temas pessoais que engajam emocionalmente o estudante; Pares (*Peers*) –

colaboração entre colegas e construção coletiva de conhecimento; e Pensar brincando (*Play*) – abordagem lúdica que estimula a curiosidade e a experimentação (Resnik, 2017).

De acordo com Resnik (2017), quando os estudantes têm a oportunidade de construir algo significativo em um ambiente que favorece o brincar, o compartilhar e a reflexão, a aprendizagem se torna mais profunda e envolvente. Esse processo, sobretudo ao integrar diferentes mídias e materiais, amplia o potencial criativo, crítico e social da educação.

Em síntese, o Movimento *Maker*, ao ser incorporado à educação formal, revela-se uma potência transformadora ao articular práticas de criação, reflexão e autoria com a fundamentação teórica do construcionismo e outros referenciais pedagógicos. No entanto, sua efetividade depende de uma mediação docente intencional, de projetos significativos e da integração com o currículo, evitando reduções tecnicistas ou superficiais. Trata-se de um campo em construção, que demanda novas investigações e práticas capazes de aliar a cultura do fazer à formação crítica e emancipadora dos estudantes, ampliando os horizontes da escola como espaço de experimentação, colaboração e construção coletiva de conhecimento.

2.2 CONHECIMENTOS DOCENTES PARA ENSINAR: O MODELO TPACK

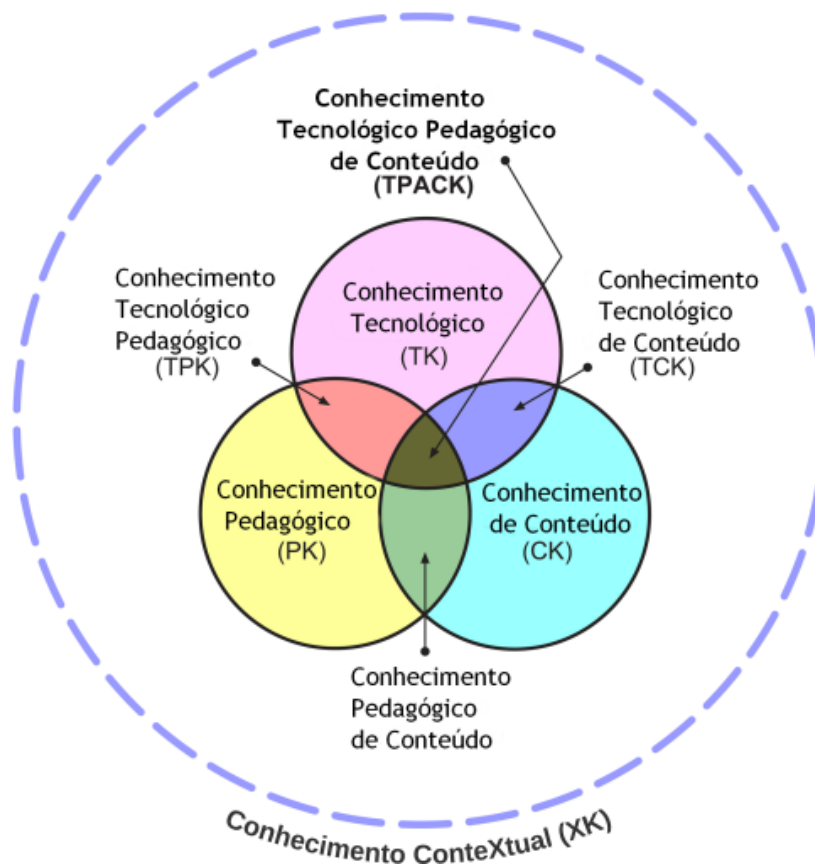
Como discutido nos tópicos anteriores, o Movimento *Maker*, conforme apresentado por autores como Anderson (2012), Dougherty (2013) e Hatch (2014), possui fortes raízes tecnológicas e se articula com diversas comunidades. No campo educacional, seu impacto tem sido explorado a partir da presença de espaços *maker* nas escolas, que introduzem elementos novos para professores e estudantes, ao mesmo tempo em que desafiam práticas tradicionais de ensino. Tais espaços demandam a reconfiguração de situações de ensino e aprendizagem, especialmente pelas potencialidades do movimento em reorientar formas de ensinar e aprender, com foco na experimentação, no protagonismo discente e na construção coletiva de conhecimento.

Diante do interesse em compreender como esses elementos são apropriados na educação formal, particularmente por meio da atuação docente, recorri a um referencial teórico que permite analisar a integração entre tecnologia, pedagogia e conteúdo: o Conhecimento Tecnológico Pedagógico de Conteúdo (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) conhecido pela sigla TPACK. Proposto por Koehler e Mishra (2009) e Mishra e Koehler (2006) e fundamentado no conceito de Conhecimento Pedagógico de Conteúdo (*Pedagogical Content Knowledge*) desenvolvido por Shulman (1986), o TPACK configura-se como um modelo de conhecimento docente que resulta da interseção entre saberes específicos da disciplina,

estratégias pedagógicas e o uso significativo de tecnologias. Esse referencial tem se destacado na pesquisa educacional ao iluminar as dinâmicas complexas, situadas e contextuais que afetam a prática docente em ambientes permeados por novas tecnologias.

De acordo com Mishra e Koehler (2006) o modelo serve como uma base teórica para entender detalhes dos complexos e situados fatores que afetam a ação docente e é estruturado em oito domínios de conhecimento: conhecimento de conteúdo (CK); conhecimento pedagógico (PK); conhecimento tecnológico (TK); conhecimento pedagógico de conteúdo (PCK); conhecimento tecnológico pedagógico (TPK); conhecimento tecnológico de conteúdo (TCK); conhecimento tecnológico pedagógico de conteúdo (TPACK); Conhecimento ConteXtual (XK). Na Figura 14 podemos visualizar a relação entre os domínios que resultam no TPACK:

Figura 14 – Modelo TPACK para formação docente



Fonte: Adaptado de tpack.org.

O **Conhecimento de Conteúdo (CK)** está vinculado ao entendimento profundo da disciplina objeto de ensino do professor, tal como física, química e biologia. Envolve conhecimentos como fatos, conceitos, teorias e procedimentos de uma determinada área, bem

como a respeito da natureza do conhecimento e de investigações em diferentes campos. Além disso, considera uma compreensão dos recortes de conteúdo específicos ao nível educacional que será ensinado, uma vez que o conteúdo a ser trabalhado em nível médio é diferente do conteúdo de nível superior e outras modalidades (Mishra; Koehler, 2006).

Por exemplo, conhecimento de modelos de fluxo de elétrons em física ou divisão celular em biologia e sua relação com outras subáreas. “É um conhecimento que independe de atividades pedagógicas específicas ou de como o professor pode usar essas representações para ensinar” (Nakashima; Piconez; 2016, p. 236). É importante considerar uma visão ampla a respeito do CK. Oliveira (2017) apresenta uma concepção a partir de Libâneo (1994, p. 10):

Conteúdos de ensino são o conjunto de conhecimentos, habilidades, hábitos, modos valorativos e atitudinais de atuação social, organizados pedagogicamente e didaticamente, tendo em vista a assimilação ativa e aplicação pelos alunos na sua prática de vida. Englobam, portanto: conceitos, ideias, fatos, processos, princípios, leis científicas, regras, habilidades cognitivas, modos de atividade, métodos de compreensão e aplicação, hábitos de estudo, de trabalho e de convivência social; valores, convicções, atitudes.

Essa visão ampliada se torna importante uma vez que o conteúdo engloba muito mais do que um conjunto de princípios e conceitos de determinada área/disciplina. Abarca uma gama de conhecimentos que perpassa por uma compreensão mais ampla de determinada área/disciplina e sua relação com outros saberes/contextos. No caso do ensino de Ciências é importante que os estudantes se apropriem de conceitos, regras e leis científicas tanto quanto é importante que desenvolvam o espírito científico, além de compreenderem aspectos sociais e epistemológicos atrelados a essa forma de conhecimento.

O **Conhecimento Pedagógico (PK)** envolve teorias e estratégias de ensino e aprendizagem, formas de administrar e mediar atividades em sala de aula, questões administrativas, avaliação, gestão da sala de aula de forma ampla, entre outros. Vincula-se a considerar propósitos, objetivos e valores educacionais, bem como a compreensão a respeito de como os estudantes se desenvolvem e podem ser engajados para aprender (Mishra; Koehler, 2006).

O **Conhecimento Tecnológico (TK)** refere-se à capacidade de operar tecnologias, tanto tradicionais, como livros, quadro-negro e giz, quanto contemporâneas, como a internet, vídeos digitais e softwares diversos. Esse conhecimento inclui habilidades técnicas como ligar e desligar sistemas, instalar e desinstalar programas, utilizar processadores de texto e gerenciar e-mails. Mishra e Koehler (2006) destacam a natureza mutável das tecnologias, o que exige dos professores a habilidade de adaptação constante frente a novas ferramentas e plataformas.

Complementarmente, Nakashima e Piconez (2016) e Oliveira (2017) argumentam que o TK está especialmente associado a tecnologias “não transparentes” na educação, ou seja, aquelas cujo uso pedagógico ainda não é amplamente dominado ou massificado, ao contrário de recursos já estabelecidos como o livro didático e o quadro. Assim, o TK inclui o domínio de tecnologias emergentes como impressoras 3D, cortadoras a laser, placas de prototipagem física (como o Arduino), realidade aumentada, óculos de realidade virtual, *softwares* de modelagem 2D/3D, redes sociais e ferramentas de inteligência artificial, como o ChatGPT.

O **Conhecimento Tecnológico de Conteúdo (TCK)** refere-se à interseção entre a tecnologia e o conteúdo disciplinar, envolvendo a compreensão de como determinadas tecnologias podem transformar o ensino de conteúdos específicos. Esse domínio abrange tanto o potencial das tecnologias para enriquecer o aprendizado quanto suas limitações, dependendo das escolhas didáticas.

Por exemplo, *softwares* de desenho podem facilitar a representação e o estudo de formas geométricas, otimizando a construção de provas e alterando a natureza do aprendizado em geometria (Mishra; Koehler, 2006). Da mesma forma, ferramentas de modelagem 3D podem apoiar a visualização de estruturas tridimensionais complexas, como modelos geométricos ou moléculas biológicas. Já uma impressora 3D pode ser utilizada tanto para produzir modelos físicos de constituintes celulares em aulas de biologia quanto para explorar conceitos de coordenadas cartesianas ou fenômenos térmicos e químicos envolvidos no funcionamento do equipamento. Dessa forma, o TCK destaca como a tecnologia pode mediar, reconfigurar e ampliar as possibilidades de ensino e aprendizagem nos diferentes campos do conhecimento.

O **Conhecimento Pedagógico Tecnológico (TPK)** refere-se à compreensão das diversas tecnologias e de como elas influenciam a dinâmica de ensino e aprendizagem de maneira transversal, ou seja, independentemente de um conteúdo específico. Esse domínio envolve a capacidade de avaliar e selecionar tecnologias com base nas estratégias pedagógicas que se deseja implementar, considerando as demandas de contexto e o perfil dos estudantes.

Segundo Mishra e Koehler (2006), o TPK inclui, por exemplo, o uso de tecnologias para gerenciar registros, avaliações e outras atividades didáticas, como as *webquests*, quadros de discussão interativa e salas de conversa *on-line*. Nakashima e Piconez (2016) destacam o potencial dessas tecnologias para promover a colaboração entre estudantes, evidenciando sua aplicabilidade em diferentes áreas do conhecimento.

Além disso, ferramentas como o Moodle permitem a realização de fóruns e outras formas de interação assíncrona, ampliando as possibilidades de participação. Tecnologias

maker, como impressoras 3D, cortadoras a laser e placas de prototipagem física (como Arduino), também podem ser utilizadas em atividades didáticas para materializar ideias e desenvolver protótipos. Da mesma forma, aplicativos de gravação e edição de áudio e vídeo possibilitam a criação de conteúdos multimídia que enriquecem o processo de ensino e aprendizagem.

O **Conhecimento Pedagógico de Conteúdo (PCK)** refere-se à compreensão das formas mais eficazes de apresentar determinado tópico ou conteúdo de forma a facilitar a aprendizagem dos estudantes. Esse domínio envolve a habilidade de identificar representações que possam promover ou dificultar a compreensão, a percepção de concepções alternativas frequentemente manifestadas pelos alunos e a sensibilidade para os aspectos epistemológicos dos conhecimentos envolvidos (Mishra; Koehler, 2006).

O PCK se materializa por meio de recursos pedagógicos como analogias, modelos, experimentos, esquemas e exemplos, escolhidos de acordo com seu potencial para tornar o conteúdo mais acessível. Por exemplo, um experimento simples para visualizar as linhas de campo magnético, como a construção de um eletroímã utilizando fios de cobre, uma pilha e um prego, facilita a compreensão dos fenômenos relacionados ao magnetismo e ilustra o PCK em ação.

Já o uso de simuladores digitais que exploram o mesmo conceito de eletromagnetismo exemplifica o **Conhecimento Tecnológico Pedagógico de Conteúdo (TPACK)**, pois integra tecnologia à prática pedagógica. Vale destacar que, conforme argumentam Cox e Graham (2009), tecnologias inicialmente consideradas inovadoras podem, com o tempo, tornar-se tão comuns que se integram ao repertório pedagógico usual dos professores. Nesse caso, o que antes era classificado como TPACK pode ser incorporado ao PCK, evidenciando o caráter dinâmico e contextual desses domínios.

O **Conhecimento Tecnológico Pedagógico de Conteúdo (TPACK)** corresponde à síntese integrada dos conhecimentos de conteúdo, pedagógico e tecnológico. Trata-se da competência docente em utilizar tecnologias de forma apropriada para ensinar conteúdos específicos com base em estratégias pedagógicas adequadas, de forma a potencializar o aprendizado dos estudantes. O TPACK envolve, portanto, a seleção e aplicação consciente de ferramentas e recursos tecnológicos que favorecem a compreensão conceitual, a participação ativa e o engajamento dos alunos. Conforme destacam Mishra e Koehler (2006), esse conhecimento depende da habilidade de articular representações adequadas, abordagens didáticas contextualizadas e tecnologias pertinentes ao objeto de ensino.

Cox (2008) apresenta uma versão mais estruturada para o TPACK como:

[...] o conhecimento da dinâmica, negociação transacional entre tecnologia, pedagogia e conteúdo e como essa negociação impacta o aprendizado do estudante no contexto de uma sala de aula. Essas características essenciais são (a) o uso de tecnologias apropriadas (b) em um contexto de conteúdo particular (c) como parte de uma estratégia pedagógica (d) em um dado contexto educacional (e) para desenvolver o conhecimento dos estudantes sobre um tópico particular ou atingir um objetivo educacional ou necessidade do estudante. Essa definição reconhece a presença e interação de todos os três componentes com particular ênfase no uso da dependência entre conteúdo e pedagogia (Cox, 2008, p. 65).

Essa definição evidencia a natureza relacional e interdependente dos componentes do TPACK, reconhecendo que seu desenvolvimento é fortemente contextualizado. É importante destacar o caráter individual e subjetivo desse conhecimento, uma vez que ele depende das experiências pessoais de cada professor com os diferentes domínios do modelo. A manifestação do TPACK docente depende do seu contexto de atuação: seus saberes são moldados pelas condições concretas de trabalho, como o perfil dos estudantes, a disponibilidade de tecnologias, o tempo para o planejamento e as exigências curriculares.

Além disso, suas práticas são influenciadas por crenças pessoais sobre o ensino e o papel das tecnologias no processo educativo. Conforme argumentam Greeno e o *Middle School Mathematics through Applications Project Group* (1998), o contexto social no qual os docentes estão inseridos é crucial para compreender seus comportamentos e escolhas pedagógicas. Voogt *et al.* (2016) denominam esse conjunto de influências de raciocínio profissional, que articula conhecimentos formais adquiridos na formação docente com saberes práticos construídos na ação, ambos permeados por contextos socioculturais específicos.

Hutchins (1995) reforça essa perspectiva ao mostrar que os processos cognitivos são culturalmente distribuídos, dependendo das ferramentas disponíveis, das interações sociais e dos conhecimentos individuais. Assim, o desenvolvimento e a aplicação do TPACK devem ser compreendidos como resultado de um processo complexo e situado, que emerge da interação dinâmica entre tecnologia, pedagogia, conteúdo e contexto.

Mishra (2019) reconhece que o desenvolvimento do TPACK não ocorre de forma abstrata ou universal, mas está intrinsecamente relacionado às condições institucionais, culturais, curriculares e materiais em que o professor atua. Elementos como políticas educacionais, infraestrutura tecnológica, cultura escolar, tempo disponível para planejamento, características dos estudantes e demandas avaliativas moldam as possibilidades reais de integração tecnológica e influenciam diretamente as decisões pedagógicas. Assim, o conhecimento docente não deve ser compreendido apenas como um conjunto de saberes

individuais, mas como um sistema situado e dinâmico, que emerge da interação entre o professor e seu ambiente de atuação.

Como forma de incorporar essa perspectiva, Mishra (2019) propõe uma atualização no diagrama do TPACK que inclui o **Conhecimento ConteXtual (XK)** como componente transversal aos demais domínios. Esse acréscimo busca evidenciar que a integração entre conteúdo, pedagogia e tecnologia é mediada por condições específicas que tanto habilitam quanto limitam determinadas práticas. Nesse sentido, o contexto deixa de ser entendido como um pano de fundo neutro e passa a ser concebido como elemento constitutivo do conhecimento profissional docente.

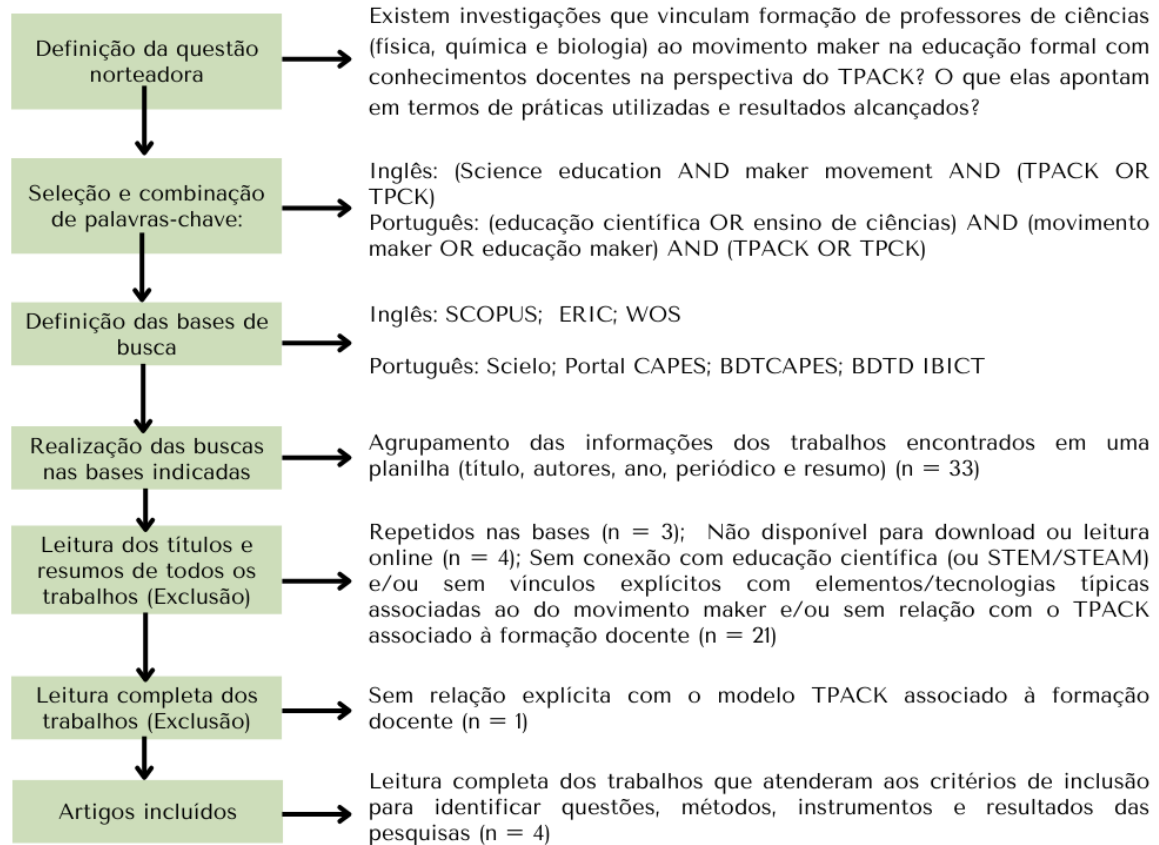
2.3 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL)

Com o objetivo de mapear iniciativas de pesquisa que articulam educação científica, movimento *maker* e formação de professores e, assim, aprofundar o entendimento necessário ao desenvolvimento da presente investigação, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Esse tipo de estudo constitui em uma metodologia rigorosa que permite explorar e sintetizar o conhecimento existente sobre um tema específico, com base em literatura científica selecionada por meio de critérios e procedimentos definidos previamente.

A RSL apresenta vantagens significativas em comparação a revisões narrativas, pois seu caráter sistemático permite que o processo seja replicável por outros pesquisadores, o que contribui para garantir confiabilidade aos resultados (Galvão; Ricarte, 2019). A partir desse procedimento, torna-se possível produzir um panorama consistente do estado da arte sobre o tema investigado, identificando lacunas, tendências e potencialidades no campo.

O Quadro 1 apresenta o fluxo de desenvolvimento da revisão sistemática de literatura realizada:

Quadro 1 – Procedimentos da Revisão Sistemática de Literatura



Fonte: elaborado pelo autor.

As questões que orientaram a revisão foram: o que indicam as investigações que vinculam formação de professores de ciências (física, química e biologia) ao movimento *maker* na educação formal com conhecimentos docentes na perspectiva do TPACK?

As buscas foram realizadas nas bases a seguir descritas, por terem uma boa abrangência das áreas de educação e ensino:

- Scopus (Elsevier) – Língua inglesa;
- *Education Resources Information Center* (Eric) – Língua inglesa;
- *Web of Science* (WoS) – Língua inglesa;
- *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) – Língua portuguesa;
- Portal Capes (Artigos e Periódicos) – Língua portuguesa;
- Banco de Dissertações e Teses da Capes (BDTCAPES) – Língua portuguesa; e
- Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do Instituto Brasileiro de informação em Ciência e Tecnologia (BDTD Ibict) – Língua portuguesa.

A busca foi realizada a partir a associação das seguintes palavras-chave e combinações:

- Língua inglesa: *science education AND maker movement AND (TPACK OR TPCK)*; e
- Língua portuguesa: *(educação científica OR ensino de ciências) AND (movimento maker OR educação maker) AND (TPACK OR TPCK)*.

As palavras-chave foram definidas em função da conexão entre os principais temas pesquisados e a partir de outros trabalhos e revisões realizadas tais como de Soster (2018) e Moura (2019). Os campos de inclusão da busca pelas palavras-chave, bem como o tipo de material pesquisado, podem variar em função dos resultados obtidos em cada base pesquisada, como será apresentado mais à frente.

Combinei as palavras-chave juntamente aos operadores booleanos *OR* e *AND* para produzir a inclusão das três temáticas: educação científica, movimento *maker* e o conhecimento de professores vinculados ao referencial TPACK. Para as bases Eric e WoS não é necessário inserir aspas em cada dupla de palavras que representam um tema uma vez que o seu algoritmo considera a palavra-chave de busca como a combinação daquilo que está antes ou depois dos operadores. Já no caso da base Scopus, é necessário incluir as duplas de palavras entre aspas para que o algoritmo compreenda-as como um termo único a ser associado na busca. O Quadro 2 apresenta resultados quantitativos das buscas realizadas.

Quadro 2 – Resultados de buscas em língua inglesa e portuguesa até 14/11/2022

(continua)

Combinações	Scopus	Eric	Web of Science
<u>ERIC e WoS:</u> <i>science education AND maker movement AND (TPACK OR TPCK)</i> <u>Scopus:</u> <i>("science education") AND ("maker movement") AND (TPACK OR TPCK)</i>	<u>Busca:</u> Todos os campos. <u>Tipo de documentos:</u> artigos; artigos de conferências; capítulos de livros; revisões; livros.	<u>Busca:</u> apenas revisados por pares. <u>Tipo de documentos:</u> artigos.	<u>Busca:</u> todos os campos. <u>Tipo de documentos:</u> artigos.
	29	3	2
<i>(educação científica OR ensino de ciências) AND (movimento maker OR educação maker) AND (TPACK OR TPCK)</i>	Portal Capes	SciELO	

Quadro 2 – Resultados de buscas em língua inglesa e portuguesa até 14/11/2022
(conclusão)

Combinações	Scopus	Eric	Web of Science
	<u>Busca:</u> Qualquer campo contém. <u>Tipos de material:</u> periódicos; artigos.	<u>Busca:</u> todos os índices.	
	0	0	
(educação científica <i>OR</i> ensino de ciências) <i>AND</i> (movimento <i>maker</i> <i>OR</i> educação <i>maker</i>) <i>AND</i> (TPACK <i>OR</i> TPCK)	BDTCAPES	BDTD IBICT	
	Todos os campos.	Todos os campos.	
	0	0	

Fonte: elaborado pelo autor.

Foram identificadas publicações em língua inglesa, mas nenhuma em língua portuguesa. Esse resultado é coerente com o panorama atual, considerando que o Movimento *Maker* contemporâneo na educação tem suas raízes nos Estados Unidos e representa uma abordagem relativamente recente no contexto escolar. No Brasil, sua inserção ocorre sobretudo sob o discurso da inovação, o que contribui para que seu desenvolvimento teórico e acadêmico ainda seja incipiente.

Adicionalmente, o recorte adotado nesta revisão, centrado na relação entre Movimento *Maker*, educação científica e o referencial teórico do TPACK, aprofunda o nível de especificidade da busca, reduzindo ainda mais o número de estudos elegíveis. Esse cenário evidencia a necessidade de ampliar pesquisas que articulem esses campos, especialmente no contexto brasileiro, para consolidar aportes teóricos e práticos mais consistentes.

Para seguir com a RSL elaborei critérios de inclusão e exclusão conforme apresentado no Quadro 3:

Quadro 3 – Critérios de inclusão e exclusão da RSL

Objetivo	Critério de inclusão	Critério de exclusão
Etapa 1: encontrar pesquisas que combinem as três temáticas vinculadas às palavras-chave.	Título ou resumo expressa vínculo explícito com educação científica (ensino de ciências, física, química e/ou biologia) ou abordagem STEM/STEAM, a formação ou conhecimento dos professores sobre o ensino de ciências à luz do TPACK e o movimento <i>maker</i> (ou recursos e equipamentos tipicamente vinculados a ele). Título ou resumo são inconclusivos.	Trabalhos repetidos. Trabalhos não acessíveis gratuitamente ou pelo portal Capes. Título ou resumo permite inferir que não tem relação com os temas de pesquisa (movimento <i>maker</i> ou tecnologias associadas a ele, educação científica ou abordagem STEM/STEAM e formação/conhecimento de professores). Artigos não aplicados à educação formal escolar
Etapa 2: refinar a busca para restarem apenas os trabalhos que se enquadrem no escopo da pesquisa.	Corpo do trabalho explicita características formativas docentes e/ou aspectos do conhecimento dos professores à luz do TPACK.	Artigos não aplicados ao contexto do Ensino Médio (<i>high school</i> ou <i>secondary education</i>) Corpo do trabalho não vincula educação científica (ou STEM/STEAM), o movimento <i>maker</i> (ou ferramentas típicas vinculadas ao movimento) e o modelo TPACK (ou conhecimentos docentes).

Fonte: elaborado pelo autor.

Incorporei os termos STEM e STEAM à estratégia de busca, considerando que essas abordagens são amplamente adotadas internacionalmente e apresentam conexão direta com os conhecimentos das áreas de Ciências da Natureza (biologia, física e química). Dessa forma, tornou-se pertinente analisar estudos que articulem Movimento *Maker*, práticas STEM/STEAM e o modelo TPACK, alinhando-se ao foco da presente investigação.

No total, foram identificados 34 trabalhos nas três bases consultadas. Desses, um artigo apareceu de forma redundante nas três bases, e outro se repetiu nas bases Eric e *Web of Science*. Além disso, três trabalhos não estavam disponíveis no acervo da plataforma de periódicos da Capes, resultando em 28 estudos potencialmente elegíveis. Após a aplicação dos critérios de seleção apresentados no Quadro 3, apenas quatro estudos atenderam aos requisitos: Chai, Rahmawati e Jong (2020), Heilala *et al.* (2020), Huang *et al.* (2022), e Silva, Nardi Silva e Bilessimo (2020).

2.3.1 Síntese dos trabalhos encontrados na RSL

Huang *et al.* (2022) realizaram uma revisão sistemática de literatura com o objetivo de identificar tendências em programas de formação de professores na perspectiva *Stem* no contexto da Educação Básica (K-12), visando fornecer subsídios para futuros programas com base em lições aprendidas e práticas promissoras. Embora não tenha como foco direto o Movimento *Maker*, os autores reconhecem que o uso de tecnologias emergentes, frequentemente associadas a esse movimento, vem se tornando uma tendência nos ambientes educacionais, especialmente em relação às práticas *Stem*.

A análise contemplou 76 estudos publicados entre 2006 e 2020 na base *Web of Science*, avaliando-os sob a perspectiva do modelo TPACK, com foco em identificar: a) características dos programas (contextos, amostras e áreas de conhecimento); b) ênfases nos domínios de conhecimento (CK, PK, TCK, PCK e TPACK); c) abordagens formativas utilizadas; e d) métodos de coleta de dados e avaliação. A maioria dos estudos concentrou-se em contextos dos Estados Unidos, com predominância de programas voltados a professores dos anos finais do Ensino Fundamental e Médio, e abordagens centradas em conteúdos específicos ou em integração interdisciplinar entre disciplinas *Stem*.

Em termos de conteúdo formativo, os autores observaram que os programas enfatizam sobretudo os conhecimentos pedagógicos (PK) e pedagógico de conteúdo (PCK), com menor foco nos conhecimentos tecnológicos, especialmente o TCK e o TPACK, um achado que reforça a necessidade de ampliar o desenvolvimento de competências docentes relacionadas ao uso integrado de tecnologia, pedagogia e conteúdo. Os temas centrais de desenvolvimento profissional identificados foram: colaboração com pares; experiências autênticas; aprendizagem baseada em design; *feedback* contínuo; reflexão; e alinhamento entre teoria e prática. Estratégias como trabalho em grupo, aprendizagem “mão na massa”, investigação, projetos e análise reflexiva com base em registros em vídeo foram frequentemente utilizadas.

Huang *et al.* (2022) destacam a predominância de abordagens mistas de coleta de dados, como entrevistas, questionários e observação de aulas, indicando a necessidade de utilização de instrumentos validados para garantir maior rigor metodológico e a possibilidade de comparação entre estudos. Como práticas exemplares, os autores selecionaram três programas: um curso de formação baseado em argumentação científica, uma parceria entre professores e engenheiros para elaboração de planos *Stem* e um processo reflexivo envolvendo facilitação de atividades em espaços *maker*, o que reforça a conexão entre cultura *maker*, aprendizagem prática e desenvolvimento docente.

Em síntese, esse estudo oferece uma visão abrangente sobre as formas como a formação de professores na perspectiva *Stem* tem incorporado elementos tecnológicos e pedagógicos, destacando lacunas, tendências e oportunidades de aprofundamento, sobretudo no que diz respeito à integração intencional de tecnologias emergentes sob a ótica do TPACK.

Chai, Rahmawati e Jong (2020) investigaram o desenvolvimento do TPACK entre professores em formação inicial, com foco em sua aplicação em abordagens *Stem*, embora sem abordar diretamente o Movimento *Maker*. Entretanto, os autores reconhecem que o cenário contemporâneo da educação envolve emergentes tecnologias de fabricação digital, microcomputadores, programação em blocos e elementos característicos do movimento *maker*, como o *making*, *coding* e *tinkering*²³. Estes são apontados pelos autores como potenciais catalisadores de mudança em um contexto escolar tradicional baseado em objetivos rígidos e atividades prescritas.

No estudo, foi utilizada uma abordagem chamada *StemQuest*, que consiste no desenvolvimento colaborativo de *webquests* voltadas ao ensino *Stem*, com suporte da plataforma Google *Sites*. O grupo participante era composto por 53 estudantes de licenciatura das áreas de Ciências (n = 21), Matemática (n = 10), Ciência da Computação (n = 12) e Engenharia (n = 10), distribuídos em grupos heterogêneos. O objetivo foi investigar o impacto dessa experiência no desenvolvimento dos domínios do TPACK específicos de cada área: Conhecimento Tecnológico Pedagógico da Ciência (TPSK), Conhecimento Tecnológico Pedagógico da Matemática (TPMK), Conhecimento Tecnológico Pedagógico da Engenharia (TPEK) e em abordagens STEAM interdisciplinares (ISTEM).

Duas questões orientaram o estudo: 1) Há diferenças significativas na eficácia do Stem-TPACK dos licenciandos após o desenvolvimento colaborativo de STEMQuests?; 2) Como os participantes descrevem suas experiências nesse processo? Para responder à primeira questão, os autores aplicaram um questionário validado com 17 itens distribuídos nos domínios TPSK, TPMK, TPEK e ISTEM, usando escala Likert de 7 pontos. Os resultados, analisados pelo teste de Wilcoxon, indicaram efeitos positivos significativos em todos os domínios: TPSK (r = 0,56); TPMK (r = 0,54); TPEK (r = 0,55); e ISTEM (r = 0,58).

A análise qualitativa, por meio de entrevistas, anotações reflexivas e observações, mostrou três temas principais: a) *Stem* como experiência autêntica e interdisciplinar, permitindo conectar saberes a problemas reais; b) TPACK como processo complexo de design centrado no aluno, envolvendo escolhas pedagógicas e tecnológicas articuladas; e c) desenvolvimento de

²³ *Making*, *coding* e *tinkering* são palavras comuns vinculadas ao universo do movimento *maker* que podem ser entendidas, respectivamente, como construindo, programando e improvisando.

habilidades de colaboração, valorizando a diversidade disciplinar sem que uma área dominasse as demais.

Assim, os resultados reforçam que o planejamento colaborativo interdisciplinar, mediado por tecnologias digitais e centrado em design pedagógico, favorece o desenvolvimento do TPACK e a compreensão mais ampla do potencial da abordagem *Stem*. Ainda que o Movimento *Maker* não seja explicitamente tratado, o estudo sugere que os conhecimentos necessários para integrar novas tecnologias e práticas pedagógicas dialogam com princípios *maker*, especialmente na intersecção entre criação, tecnologia e aprendizagem ativa.

Heilala *et al.* (2020) investigaram as percepções de professores finlandeses sobre o *making* na educação, alinhando a abordagem à perspectiva do modelo TPACK. A pesquisa foi estruturada a partir de um curso virtual de sete semanas, intitulado *Let-me Hack It* (em tradução livre, "Deixe-me hackear isto"), voltado a docentes do Ensino Fundamental e Médio, com o objetivo de incentivar o uso criativo da programação articulada à pedagogia, tecnologia e conteúdo.

A coleta de dados envolveu um questionário Likert inspirado no TPACK e quatro questões abertas que buscavam compreender: 1) as motivações dos professores para participar do curso; 2) sua autoavaliação quanto aos conhecimentos de TPACK após a formação; 3) suas percepções sobre a relevância educacional do *making*; e 4) as vantagens e desvantagens percebidas no uso dessa abordagem. Apesar de contar com apenas 33 respostas, entre 399 participantes inscritos, predominantemente das áreas de matemática, ciências naturais e *craft education*²⁴, os resultados trouxeram *insights* relevantes.

Os professores demonstraram alta motivação e curiosidade pelo *making* e, após o curso, relataram aumento significativo em seu nível de preparo técnico: 73% afirmaram sentir-se mais proficientes em tecnologia, 52% declararam possuir habilidades suficientes em programação e 48% se consideraram aptos a criar circuitos simples ou aplicar o *making* em suas aulas. Além disso, 91% expressaram interesse em aprofundar seus conhecimentos sobre a abordagem e 76% relataram compreender o conceito de *making*.

Quanto à relevância educacional do *making*, a maioria reconheceu seu potencial: 91% afirmaram desejar utilizá-lo em suas práticas; 88% acreditam que o *making* pode ser integrado ao currículo; e 82% entenderam que ele favorece a aprendizagem significativa. Apesar de enxergarem desafios como falta de tempo, recursos e competências, apenas 42% consideraram difícil implementar atividades *maker* na escola.

²⁴ Os autores não precisam o significado *craft education*, mas a palavra *craft* está associada a ideia de fazer coisas manuais.

As respostas discursivas evidenciaram que os docentes associaram o *making* a tendências educacionais contemporâneas (ex.: experimentação, aprender fazendo, pensamento crítico, motivação intrínseca, engajamento, participação, empoderamento). A mesma análise sugeriu que os professores puderam identificar ideias pedagógicas associadas ao *making* (ex.: aprendizagem experiencial, construcionismo, e pedagogia crítica). Boa parte das vantagens indicadas pelos professores para utilizar o *making* em suas práticas, indicaram a promoção da agência do estudante²⁵. Desvantagens foram informadas, como falta de tempo e recursos, grande carga de trabalho, lacunas de competência, desafios em conduzir os trabalhos em função de dificuldades dos estudantes em desenvolver atividades criativas ou trabalhar de forma independente.

Em síntese, embora o estudo conte com uma amostra reduzida, ele sugere que formações que integram a área pedagógica, a tecnologia e a criatividade podem contribuir de maneira significativa para o desenvolvimento do TPACK e estimular os professores a incorporar práticas baseadas no *making* em contextos escolares, mesmo em ambientes tradicionalmente menos abertos à experimentação.

Silva, Nardi Silva e Bilessimo (2020) relatam um projeto brasileiro voltado à integração de tecnologias digitais na Educação Básica, com foco no fortalecimento das áreas STEM, a partir do suporte técnico-pedagógico a professores e do engajamento de estudantes. Trata-se de uma iniciativa ampla que mobiliza o modelo TPACK como referencial teórico, tanto para a elaboração de planos de aula quanto para o diagnóstico dos conhecimentos docentes, em relação ao uso de tecnologias educacionais digitais.

As ações do programa foram organizadas em dois eixos: professores e estudantes. Para os docentes, foram ofertados: cursos *on-line*, materiais de apoio, treinamentos, suporte para uso de recursos digitais e físicos, incluindo espaços *maker* e aplicação de um questionário TPACK com 50 itens de escala Likert (1 a 5). Dos 398 professores que completaram ao menos 75% do curso, 361 (90,7%) responderam ao questionário, sendo 43 (11,9%) pertencentes a áreas STEM.

Os resultados quantitativos evidenciaram que, entre os sete domínios do TPACK, cinco apresentaram média acima de três, indicando um nível satisfatório de apropriação: PK (3,90), CK (3,88), PCK (3,59), TPK (3,56) e TPACK (3,77). Já os domínios TK (2,91) e TCK

²⁵ Os autores não explicam o significado dos termos *student agency*. O conceito, conforme a OECD, “está enraizado no princípio de que os alunos têm a capacidade e a vontade de influenciar positivamente suas próprias vidas e o mundo ao seu redor. *Student agency* é assim entendida como a capacidade de definir uma meta, refletir e agir de forma responsável para efetuar a mudança. Trata-se de agir em vez de receber a ação; moldar em vez de ser moldado; e tomar decisões e escolhas responsáveis ao invés de aceitar aquelas determinadas por outros” (OECD, 2019, p. 2, tradução nossa).

(2,89) ficaram abaixo de três, indicando que os docentes reconhecem limitações em sua capacidade de utilizar tecnologias digitais e relacioná-las de maneira significativa aos conteúdos curriculares.

Esses resultados dialogam diretamente com as conclusões de Huang *et al.* (2022), que também identificaram uma menor atenção aos componentes TCK e TPACK em programas de formação inicial de professores. A convergência entre esses achados sugere um desafio recorrente na formação docente em STEM: a necessidade de ampliar o domínio dos aspectos técnicos da tecnologia (TK) e de sua articulação com conceito e conteúdo (TCK), como condição para o desenvolvimento pleno das competências associadas ao TPACK.

Nesse sentido, o estudo de Silva, Nardi Silva e Bilessimo (2020) reforça a importância de políticas formativas que integrem espaços *maker*, tecnologias digitais e práticas pedagógicas vivenciais, tanto na formação inicial quanto continuada. Ao mobilizarem o TPACK como ferramenta diagnóstica e formativa, os autores indicam caminhos para o aprimoramento das competências digitais dos docentes, especialmente na interseção entre tecnologia, conteúdo e pedagogia, aspecto crucial para estabelecimento de práticas em STEM.

2.4 REFLEXÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentadas características do Movimento *Maker*, com base em autores que descrevem e discutem suas práticas sob a perspectiva de um fenômeno emergente, orgânico, plurifacetado e de gênese complexa, que muitas vezes se desenvolve à margem de ideais educacionais. Ao mesmo tempo, foram destacados autores que buscam estruturar teorias e práticas do movimento com vistas à sua apropriação pela educação formal, de modo a fomentar atitudes e promover a construção de conhecimentos. Isso permite questionar visões reducionistas que concebem o *making* apenas como o ato de fazer/construir coisas ou como uma estratégia educacional voltada à aplicação prática de conceitos, desconsiderando aspectos sociais, culturais e políticos (Blikstein, 2020; Bogers; Chiappini, 2019). Nessa direção, pode-se entender uma corrente do *making* ligada à ideia de que ele, no contexto do movimento, estaria associado a atuação individual ou coletiva, por meio da criação de “coisas” físicas e/ou digitais, com vistas a atender desejos e/ou necessidades individuais e/ou coletivas, utilizando-se de mais ou menos tecnologias contemporâneas. Ao menos, é nesse sentido que práticas *maker*, materializadas em diversos espaços e comunidades (*maker*), parecem indicar.

Na perspectiva do FabLearn, observa-se uma valorização de tecnologias de fabricação digital típicas de FabLabs, bem como metodologias como a Aprendizagem Baseada em Projetos

(Bender, 2014) e o *Learning by Doing* (Sell, 2012). No entanto, os limites teóricos do “fazer” no contexto escolar ainda carecem de delimitação, especialmente quando se trata do ensino de conteúdos disciplinares, já que o simples ato de construir não necessariamente assegura a compreensão conceitual. Como argumentam Valente e Blikstein (2019), a mediação docente é fundamental para transformar o fazer em aprender, especialmente em contextos escolares com objetivos educacionais definidos.

Percebo, ainda, o surgimento de abordagens críticas ao Movimento *Maker*, particularmente aquelas que dialogam com Paulo Freire (Barbosa e Silva, 2017; Blikstein, 2013; Moura, 2019; Soster, 2018) e Álvaro Vieira Pinto (Barbosa e Silva, 2017; Soster; Almeida; Silva, 2020), problematizando a inserção de tecnologias no currículo a partir de perspectivas éticas e sociais. Essa articulação se amplia em estudos que defendem uma visão ético-crítica da formação docente (Mannrich; Pinheiro; Brick, 2024).

Quanto à inserção do Movimento *Maker* em práticas curriculares, Blikstein, Valente e Moura (2020) destacam o potencial de flexibilizar modelos pedagógicos na educação formal. Porém, o peso das tradições curriculares constitui um grande obstáculo à adoção de abordagens mais abertas, como a *maker* (Mannrich; Pinheiro; Brick, 2024).

Em relação aos vínculos entre *making* e cultura *hacker*, embora Blikstein e Worsley (2016) afirmem que “crianças não são *hackers*”, é possível identificar princípios *hacker* na disseminação do Movimento *Maker* e no repensar de práticas educacionais. Assim como mostrado por Bogers e Chiappini (2019), tais princípios podem inspirar modos de aprendizagem colaborativa, crítica e criativa, alinhando-se a propostas de formação cidadã em uma era marcada pelo acesso à informação e pela cultura digital (Pretto, 2015).

A revisão sistemática realizada nesta pesquisa evidenciou a escassez de estudos que articulam diretamente o Movimento *Maker*, a educação científica e a formação docente à luz do modelo TPACK, mesmo na literatura internacional. Dentre os resultados significativos para esta pesquisa, envolve desafios ao desenvolvimento de conhecimentos vinculados às dimensões tecnológicas do TPACK (Huang *et al.* 2022; Silva; Nardi Silva; Bilessimo, 2020), além de potencialidades e desafios indicados por docentes associados à incorporação do movimento *maker* em práticas escolares (Heilala *et al.*, 2020).

No Brasil, o impacto do Movimento *Maker* tem se materializado sobretudo pela criação de espaços *maker* e pela transformação de laboratórios escolares. Nesse sentido, Raabe e Gomes (2019) mostram que tais espaços representam uma evolução dos antigos laboratórios de informática, não apenas incorporando tecnologias contemporâneas, mas também introduzindo metodologias centradas na exploração, experimentação e criação. Exemplos

incluem a instalação de laboratórios FabLearn em escolas públicas, como em Sobral, que combinam equipamentos tecnológicos com sequências didáticas estruturadas (Gondim *et al.*, 2023). Outras experiências relatadas envolvem projetos de robótica, fabricação de instrumentos científicos, prototipagem com impressoras 3D e competições científicas, evidenciando o potencial do movimento para estimular práticas investigativas, criativas e críticas (Sesi/SC, 2023).

Com base nas discussões apresentadas, compreendo o Movimento *Maker* como um fenômeno que, além de incorporar novas tecnologias, tem potencial para reconfigurar as formas de ensinar e aprender em contextos escolares. Os próximos capítulos abordarão o contexto da pesquisa empírica realizada, buscando compreender como essas características se traduzem em práticas docentes no ensino de ciências.

3 CONTEXTO DA PESQUISA

Nesta seção será apresentado o contexto das escolas dos professores pesquisados, bem como características físicas, pedagógicas e organizacionais do Serviço Social da Indústria de Santa Catarina (Sesi/SC).

3.1 ESCOLAS DO SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA DE SANTA CATARINA

A rede de escolas que compõe o contexto desta pesquisa integra a Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (Fiesc) e é gerenciada pelo Sesi/SC, ambos vinculados à Confederação Nacional da Indústria (CNI). Como integrante do Sistema S, o Sesi caracteriza-se juridicamente como uma organização não governamental de gestão privada e sem fins lucrativos, atuando na interface entre educação, saúde e promoção da qualidade de vida da população vinculada ao setor industrial.

Em Santa Catarina, a estrutura organizacional do Sesi se divide em dois níveis. O primeiro é o Departamento Regional, sediado em Florianópolis, responsável pela coordenação estratégica e pela gestão de programas e projetos em âmbito estadual, incluindo as ações de Educação Básica, saúde e alimentação. O segundo nível é composto pelas unidades operacionais, distribuídas em diferentes macrorregiões do Estado, que executam diretamente os atendimentos à comunidade, com foco prioritário nos trabalhadores da indústria e seus dependentes.

No campo educacional, o Sesi/SC mantém uma rede de 16 escolas de Ensino Médio, localizadas nos municípios de Blumenau, Brusque, Chapecó, Concórdia, Criciúma, Florianópolis, Itajaí, Jaraguá do Sul, Joinville, Lages, Rio do Sul, São José, São Miguel do Oeste, Tijucas, Tubarão e Videira. Em algumas dessas unidades, a oferta educacional se estende também à Educação Infantil, ao Ensino Fundamental e à Educação de Jovens e Adultos (EJA), compondo arranjos diferenciados conforme as demandas regionais e as características socioterritoriais de cada localidade.

Essa rede escolar, ao mesmo tempo em que integra uma estrutura nacional, apresenta especificidades decorrentes de sua vinculação à indústria e de sua inserção em um contexto estadual marcado por diversidades socioeconômicas. Tais elementos tornam o Sesi/SC um campo profícuo para investigar práticas docentes, inovação curricular e processos formativos no contexto do Novo Ensino Médio e da incorporação de espaços e práticas associadas ao movimento *maker*.

Em 2019, atuei, juntamente com outros especialistas do DR/Sesi/SC, na elaboração do currículo destinado à implementação do NEM, em conformidade com a BNCC (Brasil, 2017). Naquele momento, a nova organização curricular estabeleceu que até 1.800 horas da carga horária total seriam dedicadas ao desenvolvimento de competências e habilidades vinculadas às quatro áreas do conhecimento: Matemáticas e suas Tecnologias; Linguagens e suas Tecnologias; Ciências da Natureza e suas Tecnologias; e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas. As demais 1.200 horas, no mínimo, deveriam ser destinadas aos itinerários formativos, definidos como percursos de aprofundamento acadêmico ou de formação técnica e profissional.

Nesse cenário, o Sesi/SC optou por estruturar um itinerário formativo de aprofundamento da Educação Básica fundamentado no movimento internacional conhecido como STEAM. A adoção dessa abordagem está em consonância com as diretrizes nacionais da própria instituição, tendo sido defendida como estratégica, para o Brasil, pelo Sesi (Confederação Nacional da Indústria, 2021).

A equipe responsável por esse processo foi composta por oito especialistas em educação, todos vinculados ao Departamento Regional do Sesi/SC e com trajetória acadêmica que inclui níveis de especialização, mestrado e/ou doutorado. Seis deles passaram a integrar o grupo desde 2019, atuando na concepção inicial do itinerário formativo. Entre esses profissionais, encontram-se: um graduado em Matemática – Licenciatura, com mestrado em Educação Científica e Tecnológica (E1); um graduado em Física – Licenciatura, com mestrado na mesma área (E2); um graduado em Física – Licenciatura e Matemática – Licenciatura, com mestrado em Ensino de Física (E3); um graduado em Engenharia Elétrica, com mestrado em Engenharia e Gestão do Conhecimento (E4); um graduado em Matemática, com doutorado em Química (E5); e um graduado em Administração, com mestrado em Gestão Estratégica das Organizações (E6).

Em 2021, a equipe foi ampliada, incorporando dois novos especialistas que passaram a contribuir para a revisão e aperfeiçoamento do projeto: uma graduada em Letras (Português, Inglês e Espanhol) e em Direito, com especialização em Língua Portuguesa (E7); e um graduado em História e Pedagogia, com especialização em Filosofia e mestrado em História (E8).

O itinerário formativo do Ensino Médio foi organizado de forma progressiva ao longo dos três anos, articulando a BNCC e as unidades curriculares específicas do itinerário STEAM. No primeiro ano, a matriz curricular contemplou 800 horas destinadas à BNCC e 200 horas voltadas ao módulo Mundo do Trabalho, comum tanto aos itinerários de aprofundamento quanto aos itinerários de formação técnica. No segundo ano, a carga horária distribui-se em 600

horas para a BNCC e 400 horas destinadas às unidades curriculares específicas do itinerário STEAM. Já no terceiro ano, essa proporção se inverte: 400 horas permanecem dedicadas à BNCC, enquanto 600 horas são destinadas às unidades curriculares do itinerário STEAM, ampliando o aprofundamento científico, tecnológico e interdisciplinar dos estudantes.

O desenvolvimento do itinerário formativo ocorreu em quatro etapas principais. A primeira consistiu na elaboração, pela equipe de especialistas do DR/Sesi/SC, de uma matriz de competências e habilidades, bem como de um conjunto de Unidades Curriculares (UCs) interdisciplinares e temáticas alinhadas à legislação do Novo Ensino Médio. Essa versão inicial foi submetida e aprovada pelo Conselho Estadual de Educação de Santa Catarina (CEE/SC).

A segunda etapa teve início em 2020, marcada pela construção de Atividades Pedagógicas de Referência (APRs), com o objetivo de apoiar a implementação das UCs pelos professores. Essas APRs foram especialmente voltadas às práticas que seriam aplicadas pela primeira vez no 2º ano do Ensino Médio naquele ano, e incluíam tanto planos de ensino quanto planos de aula estruturados para consulta e adaptação pelos docentes para as unidades curriculares.

A elaboração das APRs foi realizada por meio de um processo colaborativo envolvendo um especialista do DR/Sesi/SC e seis professores da rede atuantes no Ensino Médio, um para cada nova UC. Nesse período, a equipe de especialistas era composta por seis membros (E1 a E6), que trabalhavam de forma integrada para garantir coerência curricular, alinhamento interdisciplinar e viabilidade pedagógica das propostas.

A terceira etapa ocorreu em 2021 e concentrou-se no desenvolvimento de APRs voltadas à implementação das práticas previstas para o 3º ano do Ensino Médio. Nessa fase, a produção pedagógica assumiu um novo formato: foram elaboradas *webquests* (WQ), roteiros estruturados de pesquisas mediados pela internet e por outros recursos. O material produzido, descrito nos Apêndices A e B, foi concebido para atender integralmente à carga horária das Unidades Curriculares, funcionando tanto como proposta completa quanto como recurso passível de adaptação pelos docentes.

Cada *webquest* apresentava um conjunto de elementos estruturantes, incluindo o contexto da atividade, as tarefas a serem desenvolvidas, os objetivos de ensino e aprendizagem e os mecanismos de avaliação. Essa configuração buscava facilitar o trabalho de planejamento dos docentes, bem como favorecer a autonomia dos estudantes, por meio da pesquisa e a integração entre conteúdos, habilidades e tecnologias.

O desenvolvimento das WQs se deu por meio de um trabalho colaborativo entre os seis especialistas do DR/Sesi/SC e seis professores do Ensino Médio da rede, alguns dos quais

não haviam participado das etapas anteriores. Assim como no ciclo anterior de produção das APRs, as equipes foram organizadas em duplas, formadas por um especialista e um professor atuante, garantindo articulação entre intencionalidade pedagógica, conhecimento disciplinar e experiência prática em sala de aula.

A quarta etapa ocorreu em 2022 e consistiu na transformação dos planos de ensino e aula originalmente elaborados para o 2º ano do Ensino Médio em *webquests* (WQ). Essa decisão decorreu de uma avaliação conduzida pela equipe de especialistas do DR/Sesi/SC, em interlocução com gestores e docentes da rede, que identificaram nas *webquests* maior potencial para apoiar a prática pedagógica. Esse formato mostrou-se mais eficaz por apresentar exemplares detalhados de como organizar projetos STEAM, articulando abordagens interdisciplinares e tecnologias associadas ao movimento e aos espaços *maker*.

Ao final de 2022, já havia um conjunto de WQs propostas para todas as Unidades Curriculares do itinerário STEAM vinculado ao Novo Ensino Médio, consolidando um repositório estruturado de referência para o trabalho docente.

Tanto os planos de ensino e de aula quanto as *webquests* foram elaborados considerando o tema de cada UC, a carga horária prevista, as competências e habilidades definidas pela BNCC, além dos recursos disponíveis nos espaços *maker* implantados nas escolas. Dessa forma, as propostas apresentadas nesses materiais foram concebidas para possibilitar sua implementação pelos docentes, exigindo adaptações, mas sem necessidade de planejar do zero.

Entretanto, o cenário de confinamento decorrente da pandemia de SARS-CoV-2 impossibilitou a execução do planejamento conforme previsto para o ano de 2020, inviabilizando atividades presenciais no primeiro e no segundo semestres. A partir de 2021, com a diminuição gradual das restrições sanitárias, os professores passaram progressivamente a incorporar as propostas didáticas, ainda que com ajustes contextuais, possibilitando sua implementação junto aos estudantes.

Além do desenvolvimento do currículo e das APRs, a equipe de especialistas do DR/Sesi/SC também planejou a implantação de espaços *maker* destinados a apoiar tanto o trabalho com as UCs do itinerário STEAM quanto outras atividades das áreas de conhecimento da Educação Básica: Linguagens e suas Tecnologias; Matemática e suas Tecnologias; Ciências da Natureza e suas Tecnologias; e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas.

O projeto iniciou-se em 2019, porém, a implantação efetiva dos espaços *maker* ocorreu apenas em 2021. Diversos fatores relacionados à pandemia de SARS-CoV-2 interferiram no cronograma, de modo que a instalação completa dos laboratórios só se concretizou no segundo

semestre de 2021. As restrições sanitárias também comprometeram o desenvolvimento das atividades conforme previsto: no primeiro semestre de 2021, as aulas ocorreram integralmente de forma remota; no segundo semestre, adotou-se um formato híbrido, em que apenas metade dos estudantes pôde realizar atividades presenciais nos espaços *maker*, enquanto a outra metade acompanhava as propostas de maneira virtual de forma concomitante com o grupo presencial em formato de revezamento semanal.

O itinerário proposto consistiu em um conjunto de seis UCs temáticas multidisciplinares no 2º ano do EM e cinco UCs temáticas no 3º ano do EM. No Quadro 4 apresentamos as UCs incluindo suas respectivas cargas horárias e áreas de conhecimento afins.

Quadro 4 – Unidades curriculares da matriz do ensino médio com Itinerário STEAM

Unidade Curricular	Ano escolar	Afinidade STEAM	Área(s) de conhecimento afim	Número de horas-aula
Linguagens e suas tecnologias	1º; 2º; 3º	-	-	240; 180; 84
Matemática e suas tecnologias	1º; 2º; 3º	-	-	240; 180; 84
Ciências humanas e suas tecnologias	1º; 2º; 3º	-	-	240; 180; 84
Ciências da natureza e suas tecnologias	1º; 2º; 3º	-	-	240; 180; 84
Mundo do trabalho	1º	-	-	240
<i>Biohackeria</i>	2º e 3º	Ciências	CN	48 e 72
Design <i>Thinking</i> e Empreendedorismo	2º	Artes	CH; LIN	48
Fabricação Digital e Modelamento Geométrico	2º e 3º	Tecnologia e Engenharia	CN; MTM	72 e 72
Games e Apps	2º e 3º	Matemática	MTM	48 e 72
Mídias Digitais	2º e 3º	Artes	LIN	48 e 72
Robótica	2º e 3º	Tecnologia e Engenharia	CN; MTM	48 e 72
Projetos livres	2º e 3º	Todas	Todas	168 e 360

Fonte: elaborado pelo autor.

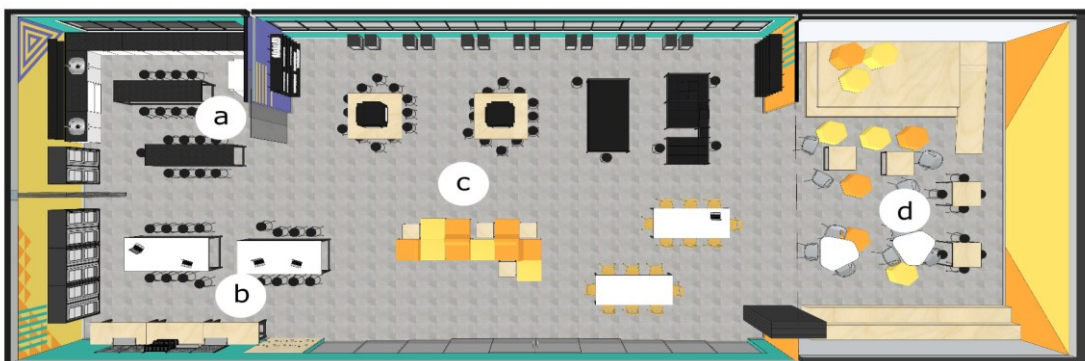
Destaco que as UCs temáticas, embora apresentem nomenclaturas distintas das áreas do conhecimento, estão vinculadas a pelo menos uma delas, conforme a matriz de competências e habilidades instituída pelo NEM. Entre essas UCs, os chamados projetos livres merecem atenção particular. Essa carga horária foi concebida para possibilitar o desenvolvimento de projetos com alto grau de autonomia, nos quais estudantes e professores podem definir os temas de investigação a partir de seus interesses, desde que atendam às habilidades previstas na matriz do itinerário formativo STEAM.

Todo o processo de concepção e estruturação do itinerário foi consolidado no documento intitulado Referencial Teórico-Metodológico (RTM) (Sesi/SC, 2023). Esse material apresenta os fundamentos da proposta para o Novo Ensino Médio, a organização curricular do itinerário STEAM e o papel dos espaços *maker*, além de discutir princípios pedagógicos relacionados à formação e atuação docente. O RTM também ofereceu orientações práticas para apoiar o trabalho dos professores nos processos de ensino e aprendizagem que envolvem o movimento STEAM, o uso pedagógico dos espaços *maker*, estratégias avaliativas e modos de integrar tecnologias na condução de projetos alinhados ao currículo.

3.2 ESPAÇOS *MAKER* NO ENSINO MÉDIO

No mesmo contexto, em 2020 o Sesi/SC implantou 13 Espaços *Maker* em 13 escolas do Ensino Médio da rede, tanto para atender atividades curriculares quanto para o contraturno da rede. Os espaços contam com equipamentos de laboratórios tradicionais (vidrarias, microscópios, capelas de fluxo laminar – o que não substitui completamente estruturas de laboratórios de física, química e biologia clássicos), equipamentos de fabricação mecânica típicos de oficinas (jogos de chaves, martelos, serrotes, equipamentos de proteção individual – EPIs, entre outros), equipamentos de fabricação digital (impressoras 3D e cortadoras a laser) e outros recursos físico-digitais (microcontroladores – Arduino e sensores, NodeMCU, Raspberry Pi, motores, baterias, entre outros). Esses espaços se diferenciam de salas de aula típicas, tanto pelo *layout* e configuração do mobiliário quanto pelos equipamentos disponíveis, que tendem a promover o trabalho colaborativo, a exploração de ideias e a construção de atividades diversas. Na Figura 15 é possível visualizar um esquema conceitual dos espaços *maker* implantados nas escolas.

Figura 15 – Modelo conceitual dos espaços *maker* do Sesi/SC



Fonte: Sesi/SC (2023).

Os espaços foram planejados para terem quatro ambientes temáticos: a) chamada área molhada, que envolve bancadas com acesso a água e pias, e serve como uma versão *maker* dos laboratórios de ciências mais tradicionais; b) área com equipamentos voltados à fabricação mecânica e digital tal como impressoras 3D, cortadoras a laser e outras ferramentas típicas de oficinas de eletrônica e marcenaria; c) espaço de prototipagem, convivência e estudos incluindo mesas e cadeiras; e d) espaço de ideação com elementos de um estúdio de gravação.

A proposta conceitual foi adaptada a cada escola em função das infraestruturas locais disponíveis. A lógica da distribuição das áreas foi idealizada considerando a necessidade de movimento de estudantes para realizarem investigações e prototipagem, tal como são os espaços *maker*, o que demanda cerca de 3 m² por estudante, em contraposição a lógicas mais comuns encontradas em salas de aulas padrão que ficam em torno de 1 m² por estudante. Nas Figuras 16, 17, 18 e 19 podemos visualizar alguns elementos constituintes dos espaços implantados em diferentes escolas.

Figura 16 – Espaço *Maker* (Criciúma)



Fonte: acervo do autor.

Figura 17 – Bancada de Fabricação Digital do espaço *maker* (Joinville)



Fonte: acervo do autor.

Legenda: à esquerda é possível visualizar uma cortadora a laser. No centro vemos três impressoras 3D e à direita uma impressora de papel A3.

Figura 18 – Torres de Raspberry Pi do espaço *maker* (Blumenau)



Fonte: acervo do autor.

Figura 19 – Espaço de prototipagem e convivência com área molhada ao fundo (Tijucas)



Fonte: acervo do autor.

No Quadro 5 indico os principais recursos disponíveis nos espaços *maker* para o desenvolvimento de atividades.

Quadro 5 – Principais recursos disponíveis nos espaços *maker*

Categoria	Ferramentas/equipamentos	Aplicações
Mecânica	Jogo de chaves, alicates, martelos, minirretífica, furadeira, serras, parafusos, porcas, barra roscada, perfil estrutural de alumínio, ferro de solda.	Prototipagens mecânicas diversas, consertos, atividades de montagem e desmontagem.
Eletrônica	Resistores, transistores, diodos leds, <i>protoboards</i> , motores, <i>jumpers</i> , conectores, fontes, baterias, sucata eletrônica, fios condutores (cabo manga) etc.	Prototipagem de circuitos eletrônicos, conexões elétricas, alimentação, automatização.
Microcontroladores	Arduino, NodeMCU ESP 8266, sensores de temperatura, umidade, luminosidade, som, magnético, temperatura, controlador de motores, <i>drives/shields</i> para sensores.	Prototipagem digital, automatização, coleta de dados, controle digital de dispositivos, programação.
Computação	Raspberry Pi 3 com periféricos (monitor, mouse e teclado).	Minicomputador que permite aplicações diversas que envolvem computação física e digital, servidores, internet das coisas, programação.
Fabricação Digital	Impressora 3D e Cortadora a Laser.	Produção de protótipos, peças e modelos via tecnologias de fabricação digital.
Laboratório	Microscópios ópticos e digitais, lupas digitais, capela de fluxo laminar com nível II de segurança biológica, micro-ondas, destilador de água, estufa bacteriológica, vidrarias, meios de cultura, placas de petri, minigeladeira, autoclave, vidrarias etc.	Práticas diversas associadas a processos biológicos (<i>biohacking</i>), químicos e físicos.
Papelaria	Fita adesiva, cola, tintas.	Aplicações diversas.
Computadores	Cada espaço conta com quatro computadores com sistema operacional Windows.	Dar suporte ao uso dos <i>softwares</i> necessários à utilização dos equipamentos e desenvolvimento de projetos.
Gravação e edição de áudio/vídeo	Câmeras fotográficas digitais, gravadores de áudio, iluminadores.	

Fonte: elaborado pelo autor.

No Quadro 6 apresento os principais *softwares* que podem ser utilizados nos espaços *maker*.

Quadro 6 – Principais *softwares* recomendados para os espaços *maker*

Processo	Software	Objetivo	Licença
Impressão 3D	TinkerCad (Autodesk)	Desenho 3D <i>on-line</i> com base em formas geométricas para gerar o arquivo tipo “.stl”.	Gratuita
	OpenSCAD	Desenho 3D a partir de linhas de comando/programação para gerar o arquivo tipo “.stl”.	Código aberto
	Fusion 360 (Autodesk)	Desenho 3D a partir de esboços (<i>sketches</i>) 2D para gerar o arquivo tipo “.stl”.	Gratuita para uso educacional ²⁶
	PrusaSlicer	Conversão do modelo 3D para um arquivo do tipo “.gcode” a ser lido pela impressora.	Código aberto
Corte a laser	InkScape	Desenho vetorial 2D que produzirá o desenho a ser lido pelo <i>software</i> da cortadora.	Código aberto
Microcontrolador	Arduino IDE	<i>Software</i> de programação dos códigos a serem carregados nas placas de Arduino e NodeMCU.	Código aberto
Computação	Raspbian	Sistema operacional oficial do Raspberry Pi.	Código aberto
Computação/IoT	Mosquitto client	Protocolo MQTT para aplicações em internet das coisas.	Código aberto
	MQTT Dash	Aplicativo Android para receber mensagens e enviar comandos via protocolo MQTT.	Gratuito
Computação	AppInventor	Plataforma do MIT para desenvolvimento de aplicativos por meio da programação por blocos.	Gratuita
	Python e PyGames	Linguagem de programação que permite diversas aplicações.	Código aberto
Criação/Edição de imagens/vídeo	Gimp	Manipulação de características diversas de imagens como cor, brilho e muitos outros efeitos.	Código aberto
	Inkscape	<i>Software</i> completo para desenho vetorial.	Código aberto
	Kdenlive	<i>Software</i> completo para edição de vídeo.	Código aberto
Simulação fluidodinâmica	CFD (Autodesk)	Realiza simulação fluidodinâmica de projetos 3D.	Gratuita para uso educacional ²⁷

Fonte: elaborado pelo autor.

²⁶ Os requisitos podem ser encontrados na página oficial da Autodesk: <https://www.autodesk.com.br/support/account/education/students-educators/overview>.

²⁷ Ibidem.

No contexto do Sesi/SC, esses espaços assumem um papel estratégico na implementação do currículo. Além de servirem ao desenvolvimento de atividades vinculadas às áreas de conhecimento previstas na BNCC, os Espaços *Maker* constituem o ambiente preferencial para a realização das propostas educacionais do Itinerário Formativo STEAM (Sesi/SC, 2023).

Esse itinerário é organizado em unidades curriculares temáticas que, em consonância com a legislação do Novo Ensino Médio, são orientadas por uma abordagem interdisciplinar e centradas no desenvolvimento de projetos. Tais projetos buscam articular ciência, tecnologia, engenharia, artes e matemática, ao mesmo tempo em que promovem o desenvolvimento das competências e habilidades previstas tanto na BNCC quanto nos Referenciais para Implementação dos Itinerários Formativos (Brasil, 2018).

Assim, os Espaços *Maker* materializam uma infraestrutura pedagógica que possibilita a integração entre currículo, experimentação e cultura tecnológica, ancorando o fazer criativo como parte constitutiva da formação dos estudantes.

3.3 FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES

O processo de implantação do itinerário STEAM e dos Espaços *Maker* ocorreu em um contexto profundamente marcado pela pandemia de Covid-19. Ao final de 2020, o RTM já estava concluído, e as obras de adaptação dos ambientes, bem como a aquisição de equipamentos e materiais para os laboratórios, estavam em andamento. A expectativa institucional era que os espaços estivessem plenamente operacionais no início do período letivo de 2020/2, de modo a apoiar as primeiras práticas curriculares vinculadas ao itinerário.

Contudo, a combinação entre os efeitos da pandemia, que impactou diretamente a logística de fornecimento de equipamentos e insumos, e os trâmites legais e operacionais próprios dos processos de aquisição no âmbito do Sistema S resultou em atrasos significativos. Em março de 2020, as aulas presenciais foram suspensas em todo o território catarinense devido à emergência sanitária causada pelo SARS-CoV-2, o que intensificou os desafios de implementação.

Esse contexto exigiu adaptações tanto no cronograma de instalação dos espaços quanto nas estratégias pedagógicas inicialmente previstas, uma vez que o itinerário STEAM precisou ser conduzido, em grande parte, em formato remoto ou híbrido, adiando o uso pleno dos Espaços *Maker* como concebido originalmente.

A estratégia de formação docente que acompanhou o início da implementação do projeto foi coordenada pelo DR/Sesi/SC e estruturada em três eixos articulados. O primeiro consistiu na criação de um ambiente virtual de aprendizagem, hospedado no Google Classroom, destinado ao compartilhamento de materiais formativos, documentos de referência e orientações pedagógicas. O segundo eixo envolveu a realização de oficinas síncronas, dedicadas ao esclarecimento de dúvidas relativas a aspectos teóricos, estruturais e operacionais, com foco nas principais ferramentas e tecnologias disponíveis nos Espaços *Maker*. Por fim, o terceiro eixo concentrou-se na orientação didático-metodológica para o trabalho com as unidades curriculares, por meio das APRs.

No Quadro 7 é apresentada a estrutura geral da formação, organizada em três etapas sequenciais, acompanhando a lógica de introdução, aprofundamento e aplicação prática pelos professores da rede.

Quadro 7 – Etapas formativas para o Itinerário STEAM

Itinerário STEAM – Formação de professores (2020-2021)				
	Período	O quê?	Ch	Formato
Etapas 1	20/11/2020	Reunião virtual de Abertura: documentos e Google Classroom (Figura 21).	1h	Síncrono
Etapas 2	18/01 até 5/02/2021	Formação inicial por unidade curricular via Google Classroom e atividades virtuais específicas com professores inscritos (Quadro 8).	20h	Assíncrono e síncrono
Etapas 3	A partir de 8/02/2021 até julho de 2021	Formação continuada por unidade curricular via Google Classroom e reuniões virtuais com professores organizados por unidades curriculares.	2h/semanais	Assíncrono e síncrono
	Até dezembro 2021	Agenda de apoio mensal contínuo e sob demanda.	-	Síncrono e assíncrono

Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira etapa consistiu em uma reunião síncrona realizada por meio da plataforma Google *Meet*, envolvendo professores e supervisores educacionais. No total, 39 participantes foram convidados, representando, naquele momento, a maior parte dos profissionais diretamente impactados pelas mudanças decorrentes do NEM e da implantação do itinerário STEAM.

A reunião teve duração aproximada de uma hora, durante a qual foram apresentados: a) a estrutura geral do NEM; b) a distribuição das cargas horárias; c) a proposta formativa do itinerário STEAM, incluindo uma breve explanação sobre o escopo das unidades curriculares; e d) a organização das oficinas síncronas previstas (Quadro 8).

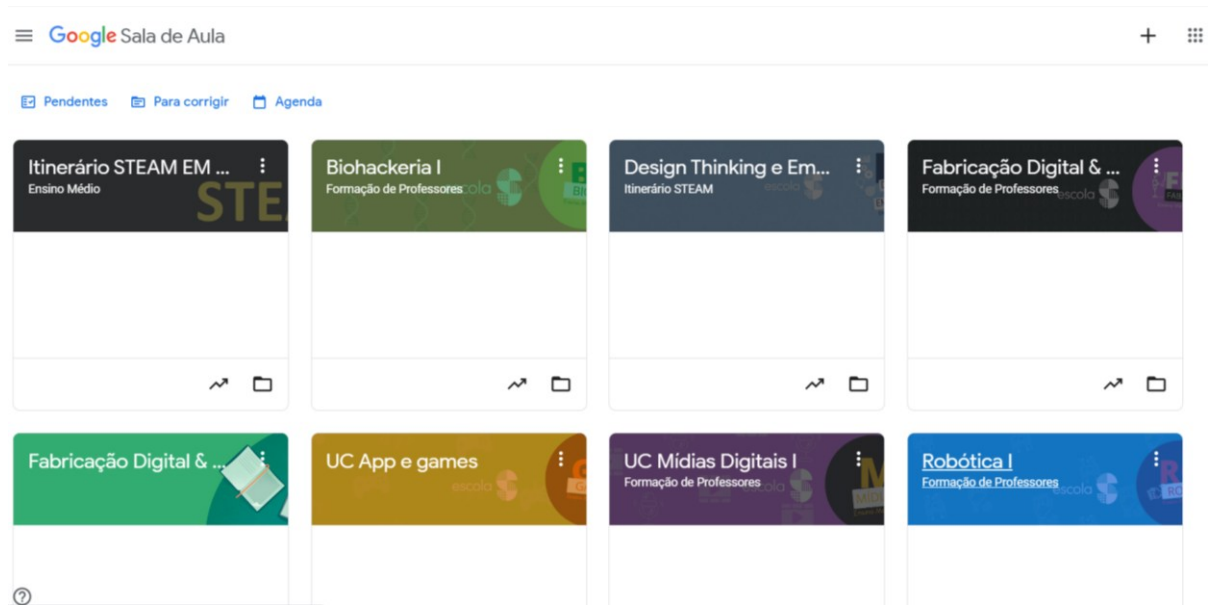
Além da apresentação das orientações gerais do itinerário STEAM, foram exibidas as salas virtuais no Google Classroom, destacando-se os documentos e materiais de apoio disponíveis. O objetivo era possibilitar que os professores iniciassem seu planejamento antes do início do ano letivo, explorando os recursos compartilhados e se preparando para as formações síncronas previstas para o início de 2021. Ao término da reunião, o *link* de acesso à gravação foi encaminhado aos participantes, incluindo aqueles que não puderam estar presentes no momento síncrono.

No final de 2020, um total de 67 professores e supervisores da rede foi distribuído em oito salas virtuais no Google Classroom, cada uma vinculada a uma unidade curricular do itinerário, além de uma sala geral. Nessa sala geral, estavam disponíveis documentos estruturantes, como o RTM do Itinerário STEAM, bem como materiais complementares, artigos, vídeos e textos selecionados, além de um espaço para interações assíncronas entre docentes e especialistas do DR/Sesi/SC.

As demais salas foram organizadas conforme as unidades curriculares: *Biohackeria* (15 participantes); Design *Thinking* e Empreendedorismo (32); Desenvolvimento de Games e Apps (35); Fabricação Digital e Modelamento Geométrico (28); Mídias Digitais (27); e Robótica (26). Em cada uma delas, os professores encontraram documentos detalhando a proposta curricular das respectivas UCs, incluindo vídeos, textos e um material denominado Plano Zero, um exemplar de plano de ensino acompanhado de seus respectivos planos de aula. Esses materiais foram concebidos para apoiar integralmente a carga horária das unidades curriculares, oferecendo uma referência concreta para sua implementação.

Embora o acesso às salas virtuais tenha sido disponibilizado com antecedência e de forma autônoma, a participação nas formações síncronas, realizadas durante a semana pedagógica no final de janeiro de 2021, nem sempre foi plena. Dificuldades relacionadas à organização dos calendários escolares, transição entre anos letivos e limites da carga horária contratual dos professores impactaram a adesão deste momento formativo inicial.

Figura 20 – Salas do Google Classroom para cada unidade curricular



Fonte: elaborado pelo autor.

As formações síncronas, com duração de quatro horas cada, foram realizadas ao final de janeiro de 2021, durante a semana pedagógica. Nesse momento, os professores que assumiriam as unidades curriculares do itinerário STEAM puderam se inscrever nas oficinas formativas ofertadas, conforme apresentado no Quadro 8. Essas oficinas tiveram como objetivo promover o contato inicial com as ferramentas e metodologias previstas para uso nos espaços *maker*.

Quadro 8 – Oficinas virtuais e síncronas ofertadas aos professores da rede 2021

(continua)

Inscrições Formação Itinerário STEAM – Jan/Fev 2021												
		25/01	26/01	27/01	28/01	29/01	01/02	02/02	03/02	04/02	05/02	Inscri- tos
Arduino	Mat	E4		E4								13
	Vesp	E4	E4									
AppInvento- r	Mat	E1			E1							14
	Vesp	E1	E1		E1	E1						
Laser	Mat			P1/E2				P1/E2				13
	Vesp		P1/E2									
Impressão 3D	Mat			E1 /E2			E1 /E2					15
	Vesp			E1 /E2		E1						
IoT	Mat				E4		E4					19
	Vesp				E4	E4	E4					

Quadro 8 – Oficinas virtuais e síncronas ofertadas aos professores da rede 2021
(conclusão)

Inscrições Formação Itinerário STEAM – Jan/Fev 2021												
		25/01	26/01	27/01	28/01	29/01	01/02	02/02	03/02	04/02	05/02	Inscri- tos
Vídeo	Mat				E2							19
	Vesp				E2	E2						
ROB / FDMG / MD	Mat									E2	E2	Livre
	Vesp								E2	E2	E2	
BHK / AG	Mat									E2	E2	Livre
	Vesp								E2	E2	E2	
DTE	Mat			E5/E6	E5/E6		E5/E6	E5/E6			E5/E6	20

Fonte: o autor.

Legenda: E1 – Mestre em Ensino de Matemática; E2 – Mestre em Ensino de Física; E3 – Mestre em Ensino de Física e licenciado em Matemática; E4 – Engenheiro Eletricista com mestrado em Engenharia e Gestão do Conhecimento; E5 – Licenciado em Matemática com doutorado em Química; E6 – Graduado em Administração com mestrado em Gestão Estratégica das Organizações. P1 – Professor convidado com experiência na cortadora a laser disponível.

O mesmo grupo de especialistas foi responsável pela condução das formações, com exceção do professor P1, que, embora já integrasse o quadro docente do Sesi/SC, atuava em outra modalidade de ensino e foi convidado a colaborar especificamente com o processo formativo. A última coluna do Quadro 8 apresenta o número de inscrições realizadas pelos docentes em cada oficina. O processo de inscrição foi livre e orientado pela escolha individual de cada professor, desde que previamente articulado com a gestão escolar local.

Ressalto que o total de inscrições contabilizadas foi de 113; entretanto, esse número não corresponde ao total de participantes, uma vez que diversos docentes optaram por se inscrever em mais de uma oficina. Considerando os participantes únicos, o processo formativo contou com a participação de 63 professores distintos, que estiveram presentes em uma ou mais atividades formativas.

Os nomes das unidades curriculares foram abreviados da seguinte forma: Robótica (ROB); Fabricação Digital e Modelamento Geométrico (FDMG); Mídias Digitais (MD); *Biohackeria* (BHK); Apps e Games (AG); e Design *Thinking* e Empreendedorismo (DTE). As oficinas identificadas com as siglas ROB, FD, MD, BHK e AG foram destinadas ao esclarecimento de dúvidas estruturais e conceituais sobre as respectivas unidades curriculares. Nessas sessões, os professores puderam dialogar diretamente com especialistas do DR/Sesi/SC, aprofundando questões que já haviam sido introduzidas nos materiais disponibilizados previamente no Google Classroom.

As demais oficinas receberam o nome das principais ferramentas associadas a cada unidade curricular. Seu propósito foi apresentar os recursos, promover o primeiro contato prático com eles e contextualizar seu uso pedagógico no âmbito das UCs correspondentes. A relação entre ferramentas e unidades curriculares foi a seguinte:

- Arduino – UC Robótica;
- App Inventor – UC Apps e Games;
- Corte a Laser – UC Fabricação Digital e Modelamento Geométrico;
- Impressão 3D – UC Fabricação Digital e Modelamento Geométrico;
- IoT (Internet das Coisas) – UC Robótica;
- Edição de Vídeo (Kdenlive – *software* livre) – UC Mídias Digitais;
- Design *Thinking* e Empreendedorismo (DTE) – UC Design *Thinking* e Empreendedorismo.

Essas formações buscaram garantir não apenas familiaridade técnica, mas também a compreensão sobre como integrar tais ferramentas às práticas pedagógicas orientadas pelo itinerário STEAM.

Embora cada ferramenta estivesse associada mais diretamente a uma unidade curricular, sua utilização poderia se estender a qualquer uma delas, uma vez que os objetivos de ensino e aprendizagem estavam vinculados à matriz da BNCC para as áreas do conhecimento. Essa flexibilidade permitiu que os professores transitassem entre diferentes recursos tecnológicos de acordo com as demandas de seus projetos e práticas pedagógicas.

No entanto, o processo formativo enfrentou dificuldades. Por se tratar de uma proposta com forte ênfase técnico-prática, a ausência de condições materiais adequadas comprometeu a participação ativa dos docentes. Muitos ainda não haviam recebido os equipamentos destinados às escolas ou não estavam, no momento da oficina, em um espaço com infraestrutura suficiente para manipular as ferramentas apresentadas. Assim, em diversas situações, os professores participaram mais como observadores do que como “*makers*”, impossibilitados de experimentar diretamente as tecnologias ou realizar os primeiros protótipos.

A etapa 3 consistiu na realização de agendas mensais envolvendo os 63 professores que iniciaram suas atuações no itinerário formativo em 2021. Todos foram convidados a participar de encontros virtuais síncronos, conduzidos via Google *Meet* ao longo do primeiro trimestre letivo. Esses encontros tiveram como propósito principal apoiar o início das atividades, oferecer orientações complementares e promover um espaço de troca de

experiências entre os docentes, favorecendo a colaboração para lidar com dúvidas, desafios e dificuldades emergentes.

Entretanto, a participação não foi integral. Alguns professores enfrentaram dificuldades para estar presentes, seja devido a demandas locais específicas, seja porque seus horários de planejamento não coincidiam com os das demais unidades escolares. Ainda assim, os encontros que se concretizaram, possibilitaram a socialização de práticas, a discussão de problemas comuns e o fortalecimento de uma rede de apoio entre as equipes docentes, constituindo um espaço formativo significativo para aqueles que puderam participar.

Entre outubro e novembro de 2021, foi ofertada uma nova rodada de formações para cada unidade curricular, totalizando 8 horas de atividades por componente, distribuídas em encontros quinzenais de 2 horas. Esses encontros tiveram como objetivo apresentar exemplos de planejamentos didáticos elaborados no formato de *webquests* (Apêndices A e B), visando subsidiar o trabalho docente nas cinco unidades curriculares que seriam desenvolvidas com as turmas de 3ª série do itinerário *Steam* em 2022.

A expectativa inicial era de que aproximadamente 65 professores, cerca de cinco por escola, participassem das oficinas. Contudo, a média de participação efetiva foi de aproximadamente três docentes por encontro, e nem todos conseguiram acompanhar integralmente as atividades propostas. Entre os fatores que podem ter contribuído para essa participação reduzida, destacam-se novamente os desafios relacionados à rotina docente, bem como dificuldades de organização interna das escolas para viabilizar a liberação de horas de formação continuada.

Cabe destacar que, além dos recursos já disponíveis nos espaços *maker* (Quadros 5 e 6), em 2022 o Sesi/DR/SC recebeu, por meio de repasse do Departamento Nacional do Sesi, um conjunto de kits denominados Laboratórios Móveis de Ciências (Labdiscs), que passaram a integrar o conjunto de equipamentos acessíveis às práticas docentes nas escolas de Ensino Médio da rede.

Os Labdiscs são dispositivos portáteis equipados com múltiplos sensores capazes de realizar tanto leituras instantâneas quanto coletas contínuas de dados. O *software* proprietário que acompanha o equipamento permite a análise dos dados registrados, incluindo a produção de gráficos em tempo real e pós-processamento. Entre as variáveis que podem ser medidas destacam-se: intensidade sonora; umidade relativa do ar; temperatura; pH; luminosidade; tensão e resistência elétrica; distância; turbidez; oxigênio dissolvido; e posicionamento georreferenciado (GPS).

Com o intuito de favorecer a apropriação pedagógica desses dispositivos, foram realizadas duas formações presenciais no mesmo ano, cada uma com carga horária de 16 horas, voltadas a professores das áreas de Ciências da Natureza (física, química, biologia e ciências) e Matemática. As formações foram conduzidas por um formador técnico-especialista no equipamento, com objetivo de apresentar seus aspectos operacionais, estimular a exploração de possibilidades didáticas e promover o compartilhamento de experiências entre os docentes. Na primeira edição participaram 18 professores licenciados em Física, Química, Biologia e Ciências; na segunda, 23 professores, incluindo também licenciados em Matemática.

Figura 21 – Laboratórios móveis Labdisc



Fonte: <https://didatech.com.br/labdisc/>.

Em janeiro de 2023, foi realizada uma formação presencial de 16 horas com a participação de 70 professores, número correspondente à totalidade dos docentes que atuavam nas unidades curriculares do itinerário. O objetivo central desse encontro foi retomar e aprofundar questões pedagógicas e operacionais identificadas como desafiadoras nos anos anteriores de implementação.

A programação contemplou a discussão de aspectos teóricos estruturantes da proposta do itinerário STEAM, incluindo fundamentos conceituais e político-educacionais. Também foram abordadas questões relacionadas à elaboração e uso pedagógico das *webquests*, com ênfase no planejamento de projetos interdisciplinares. Além disso, o encontro favoreceu o compartilhamento de experiências entre os docentes, promovendo a reflexão coletiva sobre práticas, dificuldades e possibilidades de aprimoramento.

A metodologia adotada privilegiou o trabalho cooperativo e a construção coletiva de conhecimento, em consonância com princípios do fazer investigativo, da pedagogia de projetos

e das abordagens STEAM integradoras. Nessa formação, o foco não esteve no domínio de tecnologias específicas, mas na elaboração de experiências educativas estruturadas, baseadas no planejamento de *webquest*.

4 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, apresento os aspectos metodológicos que orientam a pesquisa, bem como os procedimentos empregados na coleta e análise dos dados e os instrumentos utilizados na investigação. A abordagem adotada é de natureza qualitativa, orientada à compreensão aprofundada dos mecanismos que constituem a ação docente no contexto estudado.

Segundo Magalhães Júnior e Batista (2023, p. 14), abordagens qualitativas exigem do pesquisador um processo de imersão no campo investigado, sustentado pela convivência, escuta atenta e observação sistemática. Os autores destacam que:

Tempo de convivência e imersão no ambiente a ser analisado e usam de forma exaustiva as faculdades humanas da escuta e da observação. Os pesquisadores que adotam esse modelo metodológico praticam o exercício de escuta e observação com o objetivo de compreender como ‘consciências’ diferentes das suas, distintas das que conhecemos. [...] produzem um mundo de sentidos, de instituições, valores e atitudes que podem nos informar sobre uma diversidade de formas de ser e estar no mundo.

Nesse sentido, a investigação busca interpretar significados, relações e práticas constituídas pelos professores no processo de integração entre movimento *maker*, conhecimentos docentes e currículo, reconhecendo sua complexidade e seu caráter situado.

Como pesquisa situada no campo da educação, com foco na formação de professores, é necessário reconhecer o pesquisador como sujeito histórico, constituído por referenciais culturais, sociais e epistemológicos que orientam sua visão de mundo e influenciam a produção de sentidos. Nessa perspectiva, a investigação não se sustenta em uma neutralidade pressuposta, mas em uma relação dialógica e indissociável entre sujeito e objeto (Magalhães Júnior; Batista, 2023).

A compreensão da problemática deste estudo envolve um exercício reflexivo em que o pesquisador, ao interagir com o fenômeno investigado, aciona saberes previamente construídos por meio de suas experiências formativas e profissionais. Esse movimento possibilita a emergência de significados que permitem interpretar as dinâmicas concretas que constituem o objeto.

Nesse sentido, a validade do conhecimento produzido se ancora no que Hessen (2000) define como contexto da justificativa, no qual o investigador, apoiado na possibilidade de conhecer a realidade objetiva, interage com o objeto, elabora representações sobre seus mecanismos de funcionamento e busca compreender sua lógica interna. Trata-se, portanto, de

um processo epistemológico que assume o conhecimento como construção situada, interpretativa e fundamentada.

Para esse fim, entendo que o modelo TPACK organiza um conjunto de conhecimentos docentes que ajudam a identificar e compreender o complexo fenômeno da ação docente, a partir da integração de conhecimentos de conteúdo, pedagogia e tecnologia e que, a partir dessa configuração, é possível produzir novos sentidos e interpretações para a investigação da ação docente nos limites dos referenciais e contextos pesquisados.

Cabe ressaltar que a proposta da pesquisa e os instrumentos utilizados foram aprovados no Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH-UFSC) Caae n.º 73650723.7.0000.0121. O termo de consentimento livre e esclarecido preenchido pelos professores pode ser encontrado no Anexo C.

4.1 OS PARTICIPANTES DA PESQUISA

Foram convidados a participar da pesquisa 294 docentes vinculados à rede Sesi/SC, que atuavam nos segmentos de Ensino Fundamental (anos iniciais e finais), Ensino Médio e em atividades extracurriculares. Desse grupo, 53 professores tiveram as respostas ao questionário *Teachers Maker-based TPACK Survey Instrument* adaptado (TMTSI adaptado) validadas. Quando perguntei sobre o gênero com o qual se identificam, o resultado revelou equilíbrio, de modo que 50,94% do grupo se identificou como pertencente ao gênero feminino e 49,06% ao gênero masculino, ainda que houvesse outras opções. Dados do perfil do grupo como faixa etária, tempo de atuação como docente e tempo de atuação como docente na rede Sesi/SC pode ser visualizado no Quadro 9.

A maior concentração de docentes está nas faixas etárias de: 36 a 40 anos (28,30%), 31 a 35 anos (22,64%), e 41 a 45 anos (16,98%) que juntos representam quase 68% do total de participantes. A presença de docentes com mais de 50 anos (9,43%) e de 20 a 25 anos (1,89%) indica que há diversidade de gerações.

Ao verificar o tempo de experiência profissional, percebo que se trata de professores com considerável tempo de atuação em sala de aula: 64,15% dos docentes atuam há 11 anos ou mais; e 35,85% deles possuem 10 anos ou menos de experiência. Isso evidencia uma predominância de professores experientes, com trajetória bastante consolidada em sala de aula. Apenas 9,43% estão nos primeiros cinco anos de docência, sugerindo que o grupo investigado é formado, majoritariamente, por educadores com bagagem pedagógica relevante para refletir criticamente sobre a integração de tecnologias e práticas *maker* na educação.

Quadro 9 – Perfil geral do grupo de docentes pesquisado

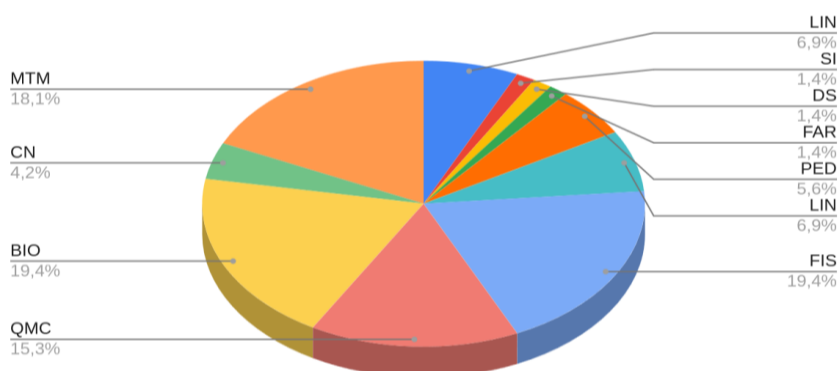
Faixa Etária (em anos)		Tempo de atuação como docente (em anos)		Tempo de Atuação no EM do Sesi (em anos)	
Grupo	%	Grupo	%	Categoria	%
Entre 20 e 25	1,89%	21 ou mais	24,53%	21 ou mais	1,89%
Entre 26 e 30	5,66%	16 a 20	15,09%	16 a 20	7,55%
Entre 31 e 35	22,64%	11 a 15	24,53%	11 a 15	13,21%
Entre 36 e 40	28,30%	6 a 10	26,42%	6 a 10	16,98%
Entre 41 e 45	16,98%	0 a 5	9,43%	3 a 5	18,87%
Entre 46 e 50	15,09%	--		0 a 2	26,42%
Mais de 50	9,43%	--	--	Não se aplica	15,09%
Total	100%	--	100%	--	100%

Fonte: elaborado pelo autor.

O tempo de atuação na modalidade de Ensino Médio da rede Sesi/SC revela que a maior parte, 26,42%, estava na rede até 2 anos, seguido de 18,87% entre 3 e 5 anos, 16,98% entre 6 e 10 anos. Se desconsiderarmos o percentual de respondentes no campo “não se aplica”, temos que o grupo com experiência de até 5 anos na rede corresponde a 53,33% do total que atua no Ensino Médio. Esses dados indicam que, embora muitos docentes possuem longa trajetória de sala de aula, parte significativa é relativamente nova na rede Sesi.

No Gráfico 1, apresento a distribuição dos participantes segundo sua área de formação inicial, permitindo uma visão mais detalhada do perfil acadêmico dos respondentes selecionados para a análise.

Gráfico 1 – Percentual da formação inicial de todos os respondentes do questionário TMTSI adaptado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: BIO – Biologia; FIS – Física; QMC – Química; CN – Ciências da Natureza com habilitação em física ou química; DS – Desenvolvimento de Sistemas; FAR – Farmácia; LIN – Linguagens (Letras Português,

Espanhol ou Inglês); MTM – Matemática; MUS – Música; PED – Pedagogia; SI – Sistemas de Informação. Os professores que indicaram as graduações ADM, DS, FAR e MUS também possuem graduação em BIO, FIS ou QMC.

O perfil dos respondentes é diversificado, incluindo, além de licenciados na área de Ciências da Natureza, profissionais com graduação em Pedagogia e Linguagens. Alguns possuem dupla formação (licenciatura e bacharelado). O percentual de licenciados em disciplinas da área de Ciências da Natureza corresponde a 58,3%, distribuídos entre as disciplinas de ciências, biologia, física e química. Do total de respondentes, 62,3% indicaram que atuam exclusivamente na rede Sesi/SC, 26,4% também atuam em escolas públicas e 11,3% em outras escolas privadas.

Também perguntei sobre a frequência com que os docentes utilizavam os espaços *maker* em suas aulas. Dessa forma, 43,4% responderam “sempre”, 18,9% “quase sempre”, 26,4% “frequentemente” e apenas 11,3% “raramente”. Ou seja, a maioria dos docentes demonstrou algum nível de familiaridade com os espaços *maker* e já fazia uso deles, de alguma forma, em suas aulas.

4.2 O QUESTIONÁRIO TMTSI ADAPTADO

Para a etapa inicial da coleta de dados, foi necessário realizar uma tradução e adaptação do questionário *Teachers Maker-based TPACK Survey Instrument* (TMTSI), desenvolvido por Ku *et al.* (2020), processo que será explicado mais à frente. O instrumento permite identificar o perfil do Conhecimento Tecnológico Pedagógico do Conteúdo (TPACK) dos professores por meio de um processo de autoavaliação.

O questionário original foi desenvolvido e validado com base nas respostas de 162 professores em formação, com foco de atuação em áreas tecnológicas do ensino secundário em Taiwan. É composto por 27 itens, cujas opções de resposta seguem uma escala do tipo Likert com cinco níveis de concordância, variando de 1 (“discordo fortemente”) a 5 (“concordo fortemente”).

A distribuição dos itens compreende três para o Conhecimento de Conteúdo (CK), quatro para o Conhecimento Pedagógico (PK), cinco para o Conhecimento Tecnológico (TK), quatro para o Conhecimento Pedagógico de Conteúdo (PCK), quatro para o Conhecimento Tecnológico de Conteúdo (TCK), três para o Conhecimento Tecnológico Pedagógico (TPK) e quatro para o Conhecimento Tecnológico Pedagógico do Conteúdo (TPACK). No componente Conhecimento Tecnológico (TK), a proposta do TMTSI incorpora a ideia de utilizar

ferramentas de fabricação digital, como impressoras 3D e cortadoras a laser, além de promover a habilidade dos estudantes no uso de ferramentas tecnológicas e sistemas de informação com o apoio dos professores.

O questionário TMTSI, elaborado por Ku *et al.* (2020) foi traduzido por mim, com o apoio de ferramentas virtuais, como o Google Tradutor e o ChatGPT, para a língua portuguesa e adaptado ao contexto do ensino de Ciências. Dois especialistas foram convidados para discutir o processo de adaptação: o primeiro, com formação em Engenharia Elétrica, mestrado em Engenharia do Conhecimento e mais de 20 anos de experiência no desenvolvimento de projetos vinculados à tecnologia e à formação de educadores da Educação Básica; o segundo, doutor em Educação, com pesquisa voltada à educação *maker* e à formação de professores para atuarem como educadores em contextos *maker*.

Na primeira etapa, realizei a tradução dos itens do questionário original com o auxílio da ferramenta virtual Google Tradutor. Em posse da primeira versão traduzida, participei de uma reunião virtual com os dois especialistas supracitados, com duração aproximada de uma hora. Durante a reunião, apresentei o objetivo geral da pesquisa e o propósito do instrumento a ser traduzido e adaptado. Os itens não foram discutidos individualmente; os especialistas forneceram sugestões gerais, como a necessidade de tornar os itens e construtos mais específicos, visando à obtenção de respostas mais precisas e alinhadas às particularidades da pesquisa.

Dessa forma, os itens que abordavam especificamente o conhecimento sobre tecnologias foram ampliados, de modo a contemplar uma maior diversidade de ferramentas disponíveis nos espaços *maker* do contexto investigado. Um dos especialistas destacou a importância de direcionar o conhecimento de conteúdo para o nível de ensino vinculado à pesquisa. No questionário final, as perguntas foram reformuladas para que os docentes avaliassem se possuíam “conhecimento suficiente em sua área de formação”, considerando que o questionário original tinha como foco principal o conhecimento sobre tecnologia.

Após a reunião para discussão da adaptação do questionário, os pesquisadores se reuniram e elaboraram a versão final do instrumento (Anexo A). As duas principais adaptações foram referentes à:

- adequação dos itens vinculados ao Conhecimento de Conteúdo (CK) para garantir que os professores pudessem avaliar os itens conforme sua formação acadêmica ampliando a abrangência do item em relação à escrita original. O mesmo padrão foi seguido para ajustes em outros itens. Por exemplo, o item CK2 original era “*I can consider technology from the perspective of subject experts*” e foi traduzido e

adaptado para “CK2 Sou capaz de discutir conceitos da minha área de formação como se fosse um especialista”; e

- desdobramento das questões a respeito do Conhecimento Tecnológico (TK), para que os professores pudessem diferenciar tecnologias de fabricação digital e tecnologias de prototipagem física. Com essa diferenciação, o questionário foi ampliado em cinco questões. Por exemplo, o item TK2 original era “*I can easily learn to use different digital fabrication tools*” e foi desdobrado em dois itens traduzidos e adaptados como “TK2 Posso facilmente aprender a usar diferentes ferramentas de fabricação digital” e “TK2a Posso facilmente aprender a usar diferentes ferramentas de prototipagem física”.

Dessa forma, a versão final do questionário passou a conter 32 itens, cinco a mais que o instrumento original. No Quadro 10, são apresentados os constructos e a quantidade de itens associados a cada um deles. O questionário aplicado, denominado *Teachers Maker-based TPACK Survey Instrument* adaptado, ou simplesmente TMTSI adaptado, preservou a estrutura original do instrumento em termos de categorias e dimensões do modelo TPACK.

Quadro 10 – Itens para cada construto TPACK do questionário TMTSI adaptado

(continua)

Constructo TPACK	Definição	Itens
Conhecimento de Conteúdo (CK)	Refere-se a todo conhecimento profissional, incluindo princípios do assunto, questões-chave, conhecimento conceitual e aplicações. Principalmente relacionado a conteúdos da área de formação dos professores (física, química, biologia, matemática, pedagogia e letras).	1, 2 e 3
Conhecimento Pedagógico (PK)	Refere-se aos métodos práticos e estratégias dos professores para o processo de ensino e os objetivos educacionais e valores gerais.	4, 5, 6 e 7
Conhecimento Tecnológico (TK)	Refere-se ao conhecimento relacionado à operação de ferramentas tecnológicas, incluindo o conhecimento de ferramentas de fabricação digital e prototipagem física.	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17
Conhecimento Pedagógico de Conteúdo (PCK)	Refere-se à conversão de CK (Conhecimento do Conteúdo) em conhecimento que pode ser ensinado, aprendido e compreendido.	18, 19, 20 e 21
Conhecimento Tecnológico de Conteúdo (TCK)	Refere-se à integração de ferramentas tecnológicas, como ferramentas de fabricação digital, para ajudar no ensino de conhecimentos profissionais.	22, 23, 24, e 25
Conhecimento Pedagógico Tecnológico (TPK)	Refere-se à integração de estratégias de ensino adequadas usando ferramentas tecnológicas como meio de ensino para melhorar a aprendizagem dos alunos.	26, 27 e 28

Quadro 10 – Itens para cada construto TPACK do questionário TMTSI adaptado

(conclusão)

Constructo TPACK	Definição	Itens
Conhecimento Tecnológico Pedagógico de Conteúdo (TPACK)	Refere-se à capacidade dos professores de integrar ferramentas tecnológicas aos cursos e aplicar seu conhecimento e habilidades profissionais na prática. (Os professores devem entender o conceito de uso de ferramentas tecnológicas, ensinar conteúdo de forma eficaz e ajudar na aprendizagem e comunicação dos alunos.)	29, 30, 31, e 32

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os itens do questionário mantiveram a escala Likert de cinco pontos, variando de 1 (“discordo totalmente”) a 5 (“concordo totalmente”). O instrumento foi disponibilizado na plataforma Google Forms e enviado a uma lista de 294 docentes vinculados à rede Sesi/SC, atuantes nos segmentos de Ensino Fundamental (anos iniciais e finais), Ensino Médio e em atividades extracurriculares.

A divulgação do questionário ocorreu por dois meios principais: i) envio por *e-mail* institucional aos docentes cadastrados; e ii) convite direto por meio de grupos de aplicativos de mensagens instantâneas, nos quais o pesquisador mantinha contato com professores da rede. Do total de destinatários, 53 contatos estavam identificados como pertencentes à área de Ciências da Natureza no Ensino Médio, conforme registro institucional.

Observei, entretanto, que alguns professores, embora não estivessem formalmente cadastrados nessa área, atuavam em unidades curriculares com temáticas afins e possuíam formação em cursos relacionados à área. A fim de contemplar esses casos e garantir uma caracterização mais precisa do perfil docente, o questionário incluiu itens complementares (ver Anexo D), nos quais os participantes puderam indicar sua área de formação e a etapa de ensino em que atuavam no momento da pesquisa.

Os dados foram registrados em uma planilha referente aos 53 respondentes, conforme apresentado na Tabela 1. Na tabela apresento apenas nove IDs correspondente a nove docentes apenas para exemplificar a organização das respostas.

Tabela 1 – Respostas dos docentes ao questionário TMTSI adaptado

ID	Categ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	docente	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	docente	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	docente	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	3	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2
4	docente	5	4	4	4	3	4	3	1	1	1	4	4	4	2	2	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3
5	docente	4	5	5	4	4	2	2	5	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	4	5	4	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4
6	docente	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7	docente	4	4	4	4	4	4	4	2	5	5	2	2	3	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
8	docente	4	5	4	4	4	4	4	5	4	5	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5

Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira linha (ID) indica o número correspondente a cada um dos 32 itens respondidos pelos docentes. Essa coluna representa a identificação de cada participante, que, na tabela completa varia de 1 a 53 e não de 1 até 8. As numerações presentes nas células de cada linha correspondente à categoria (categ.) docente, indicam o nível de concordância atribuído pelo docente ao respectivo item. Elas podem variar de 1 até 5. A análise estatística das respostas foi realizada com o auxílio do software RStudio (versão 2023.12.1), foram elaborados gráficos que apresentam os percentuais de níveis de concordância para cada item.

Além disso, no questionário original, o coeficiente Alfa de Cronbach foi utilizado como indicador da consistência interna, tanto do instrumento completo quanto dos subconjuntos de itens correspondentes a cada construto do modelo TPACK.

A consistência interna é uma medida estatística que expressa o grau de correlação entre os itens que compõem um mesmo fator, indicando se o instrumento avalia de forma coerente a característica latente para a qual foi desenvolvido. De acordo com a literatura especializada, valores superiores a 0,70 são geralmente considerados indicativos de boa consistência interna, enquanto valores acima de 0,96 podem sinalizar redundância entre os itens (Taber, 2018).

Assim, utilizei o *software* RStudio para calcular o coeficiente Alfa de Cronbach de cada construto, bem como as respectivas médias e desvios padrão. Os resultados dessas análises são apresentados na Seção 5.1.

4.3 DELIMITAÇÃO DOS PARTICIPANTES

As respostas do questionário TMTSI adaptado (Anexo A), cujas análises serão apresentadas no próximo capítulo, permitiram identificar os níveis de conhecimento de cada docente com base nos sete construtos do referencial TPACK. Essa análise subsidiou a seleção de uma amostra composta por nove professores, organizados em três grupos, conforme apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 – Critérios para seleção dos professores entrevistados

Grupo	Critérios
A	• um graduado em física, um graduado em química e um graduado em biologia atuando na área de conhecimento de ciências da natureza. • Maiores valores da média simples de todos os itens do questionário TPACK.
B	• um graduado em física, um graduado em química e um graduado em biologia atuando na área de conhecimento de ciências da natureza. • Valores ao redor da mediana das médias simples de todos os itens do questionário TPACK.
C	• um graduado em física, um graduado em química e um graduado em biologia atuando na área de conhecimento de ciências da natureza. • Menores valores da média simples de todos os itens do questionário TPACK.

Fonte: elaborado pelo autor.

Foram selecionados docentes das três disciplinas que compõem a área de Ciências da Natureza, de modo que as análises contemplassem um recorte mais representativo da área. Além disso, busquei incluir representantes de cada disciplina nos três grupos definidos a partir das respostas ao questionário TMTSI adaptado.

Esses grupos foram constituídos com base nas médias das autoavaliações nos constructos TPACK, de forma que o Grupo C representa os menores valores médios, o Grupo B os valores intermediários e o Grupo A as maiores médias. A literatura da área indica que docentes tendem a superestimar seu nível de conhecimento TPACK, contudo, partiu-se da hipótese de que os integrantes de cada grupo apresentariam níveis de integração tecnológica semelhantes.

Cada professor foi selecionado para participar de uma entrevista e para disponibilizar os materiais utilizados na condução de suas aulas. As aulas analisadas correspondem às unidades curriculares do Ensino Médio ministradas por esses docentes ao longo do ano de 2024.

Os componentes e unidades curriculares envolvidos incluem:

- Ciências da Natureza (CN) – cujo trabalho no Sesi pressupõe um planejamento e execução integrados entre os componentes de Biologia, Física e Química;
- *Biohackeria* (BHK) – com uma matriz de componentes e habilidades de aprofundamento em Ciências da Natureza;
- Fabricação Digital e Modelamento Geométrico (FDMG) – com uma matriz de componentes e habilidades de aprofundamento, principalmente, em Matemática e Ciências da Natureza, mas que também contempla competências e habilidades de Linguagens e Ciências Humanas; e
- Robótica (ROB) – com uma matriz de componentes e habilidades de aprofundamento, principalmente, em Matemática e Ciências da Natureza, além de contemplar competências e habilidades de Linguagens e Ciências Humanas.

Em função do volume de dados e do escopo da pesquisa, analisei duas unidades curriculares distintas, ministradas por professor: uma no contexto do componente curricular específico de sua área de formação (Biologia, Física ou Química) e outra vinculada às unidades curriculares do Itinerário STEAM.

4.4 RUBRICAS: SAMR (TPK) E ICAP (PCK)

Com o objetivo de categorizar o conhecimento dos professores quanto à apropriação das tecnologias em suas aulas, alinhada ao *framework* TPACK, utilizei dois modelos de análise traduzidos nas rubricas SAMR (Substituição, Ampliação, Modificação e Redefinição) e ICAP (Interativo, Construtivo, Ativo e Passivo).

4.4.1 *Framework* SAMR

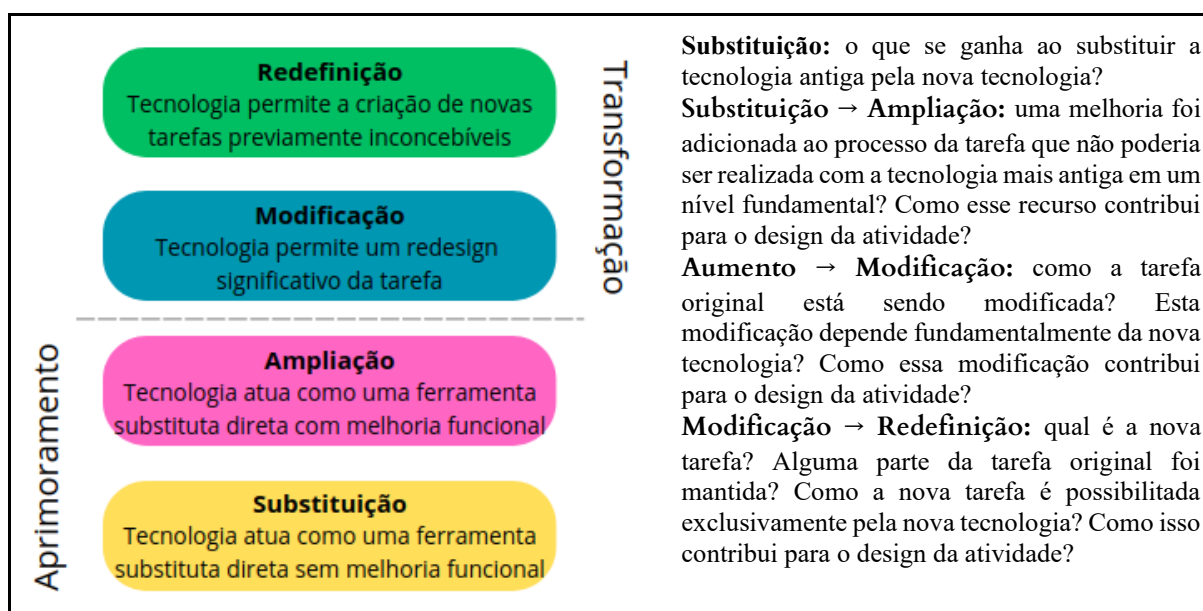
O *framework* SAMR (*Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition*) proposto por Ruben Puentedura (2010, 2013, 2016a, 2016b) é um acrônimo para Substituição, Ampliação, Modificação e Redefinição. Esse modelo foi desenvolvido para categorizar a qualidade da exploração da tecnologia em atividades de ensino, distribuindo-a em quatro níveis ascendentes: Substituição → Ampliação → Modificação → Redefinição. O *framework* pode ser utilizado para analisar a capacidade dos professores de planejar e conduzir aulas que integrem tecnologia, independentemente da área de conhecimento.

Sua aplicação, contudo, não é suficiente para avaliar isoladamente o nível de integração tecnológica em relação às práticas pedagógicas e aos conteúdos disciplinares específicos, ou seja, não permite, por si só, avaliar o conhecimento TPACK dos docentes. O modelo SAMR, entretanto, contribui para compreender as relações e interações entre tecnologia e prática pedagógica, evidenciando como as tarefas podem ser aprimoradas pelo uso significativo de recursos tecnológicos.

Dessa forma, pode-se considerar que os níveis do *framework* SAMR permitem uma avaliação do Conhecimento Tecnológico-Pedagógico (TPK) dos professores, estando alinhados aos constructos do modelo TPACK.

Uma síntese dos quatro níveis utilizados para examinar o uso da tecnologia em sala de aula pode ser visualizada no Quadro 12, a seguir.

Quadro 12 –Framework SAMR com quatro níveis para examinar o uso da tecnologia



Fonte: adaptado do blog do professor Ruben Puentedura (<http://www.hippasus.com/rrpweblog/>).

No Quadro 12 são apresentados os quatro níveis hierarquizados do modelo SAMR, sendo que os níveis de Modificação e Redefinição estão associados ao potencial transformador da tecnologia, em relação à interação dos estudantes com os conteúdos. Já os níveis de Ampliação e Substituição se associam ao potencial de aprimoramento da atividade proposta pelo docente, sem, contudo, alterar de maneira significativa a natureza da tarefa de aprendizagem.

As perguntas que acompanham cada nível auxiliam no processo de classificação do papel desempenhado pela tecnologia em determinado contexto de ensino. Caso não haja ganhos

funcionais ou cognitivos que potencializem o ensino e a aprendizagem de determinado conteúdo, a tecnologia pode ser compreendida como uma substituta direta de outra estratégia que poderia ser realizada sem sua mediação. Por exemplo, se o professor, ao invés de escrever questões no quadro e solicitar que os estudantes as copiem, apenas as projeta por meio de *slides*, a tecnologia de projeção atua como substituição da escrita, sem modificar a tarefa realizada pelos estudantes.

Em um segundo cenário, suponha que a tecnologia permita que os estudantes respondam às questões por meio de dispositivos digitais, com visualização automatizada das respostas e *feedback* imediato, possibilitando a comparação e discussão coletiva dos resultados em tempo real. Nesse caso, há um ganho funcional no processo de interação com o conteúdo, caracterizando o nível de ampliação. Ferramentas como o Kahoot, por exemplo, permitem maior agilidade no acompanhamento das respostas e favorecem a mediação docente, sem alterar substancialmente a natureza da tarefa proposta.

No nível de modificação, a tecnologia passa a permitir um redesenho significativo da atividade. Por exemplo, ao utilizar plataformas colaborativas como Padlet ou Google Docs, os estudantes podem não apenas responder às questões, mas coelaborar explicações, comentar e revisar as produções de outros grupos em tempo real, construindo coletivamente justificativas e argumentos científicos. Nesse caso, a tarefa deixa de ser apenas responsiva e passa a envolver processos de autoria e negociação de significados que seriam dificilmente viáveis sem a mediação tecnológica síncrona.

Por fim, no nível de redefinição, a tecnologia possibilita a criação de tarefas previamente inconcebíveis em contextos tradicionais. Por exemplo, os estudantes podem elaborar respostas colaborativas e submetê-las à análise de sistemas de inteligência artificial, que oferecem *feedback* imediato, geram contra-argumentos ou simulam diferentes interpretações conceituais. Esses retornos podem ser utilizados para revisar, iterar e aprimorar suas explicações ao longo de múltiplos ciclos, favorecendo processos metacognitivos e de argumentação científica em tempo real. Nesse caso, a tecnologia não apenas apoia a atividade, mas redefine sua dinâmica, ao introduzir formas de interação e reflexão que não seriam viáveis em uma aula convencional.

É importante destacar que uma mesma tecnologia pode ser classificada em diferentes níveis, a depender da forma como é incorporada à atividade. Assim, a análise deve considerar não apenas a ferramenta utilizada, mas o modo como ela é integrada ao design pedagógico, a fim de compreender se sua função caracteriza-se como aprimoramento ou transformação da tarefa de aprendizagem.

4.4.2 Framework ICAP

O acrônimo ICAP representa quatro níveis de interação cognitiva: Interativo, Construtivo, Ativo e Passivo. Proposto por Chi e Wylie (2014), o *framework* descreve a qualidade das atividades didáticas em termos do envolvimento cognitivo dos estudantes, organizando-as em quatro níveis decrescentes (interativo > construtivo > ativo > passivo; ver Quadro 13, coluna vertical).

O modelo não se restringe a materiais ou atividades que envolvam tecnologia, podendo ser aplicado a diferentes contextos de aprendizagem. No entanto, pode também ser utilizado para avaliar o engajamento cognitivo dos alunos mediado pela tecnologia, conforme demonstrado, por exemplo, por Stinken-Rösner *et al.* (2023) e por outros estudos citados pelas autoras.

Uma descrição das características que configuram cada um dos níveis do *framework* ICAP é apresentada a seguir.

Modo Passivo de engajamento: os autores definem o modo passivo de engajamento como aquele em que os estudantes recebem informações e instruções sem realizar, de forma explícita, qualquer outra ação relacionada ao aprendizado. Por exemplo, ouvir uma palestra ou assistir a um vídeo sem tomar notas ou fazer anotações é considerado um comportamento de engajamento passivo. Os autores reconhecem, contudo, que é possível que os estudantes estejam processando implicitamente os materiais e informações de modo profundo enquanto escutam, mesmo que, explicitamente, pareçam estar apenas passivamente engajados.

Modo Ativo de Engajamento: o engajamento dos estudantes pode ser caracterizado como ativo quando há algum tipo de ação motora explícita ou manipulação física de materiais disponibilizados na atividade. Exemplos incluem girar objetos para inspecionar suas partes com mais atenção, procurar elementos em um ambiente a partir de uma descrição, tomar notas, destacar trechos em textos, rever trechos de vídeos para compreender um ponto específico, ou ainda, manipular reagentes e materiais experimentais durante atividades práticas, entre outras ações.

Modo Construtivo de Engajamento: nesse modo, os estudantes geram ou produzem saídas adicionais, ou produtos externalizados, que vão além do que foi fornecido nos materiais das atividades propostas. Assim, um descritor característico do modo construtivo é o seu caráter generativo. Para que um comportamento seja classificado como construtivo, as produções ou saídas geradas devem conter novas ideias que extrapolem as informações originalmente

apresentadas; caso contrário, tais comportamentos são considerados apenas ativos ou manipulativos.

Por exemplo, em um comportamento construtivo como a autoexplicação, os estudantes discutem o significado de uma frase do texto, elaboram inferências não explicitadas ou apresentam justificativas que estendem o conteúdo inicial. Tanto as inferências quanto as justificativas representam elaborações que vão além das informações fornecidas. Se a autoexplicação do estudante for meramente literal em relação ao texto lido, o comportamento é considerado ativo, e não construtivo, pois nenhuma informação nova é elaborada.

Entre as atividades típicas do modo construtivo podem-se citar: elaboração de mapas conceituais, anotações de conclusões próprias, formulação de questões, proposição de problemas, comparação de situações, planejamento de ações, formulação de hipóteses e relações causais, reflexão sobre a própria compreensão e construção de linhas do tempo, entre outras.

Modo Interativo de Engajamento: o modo interativo operacionaliza comportamentos de diálogo colaborativo que atendem a dois critérios principais: a) as declarações de ambos os parceiros devem ser predominantemente construtivas; e b) deve haver um grau suficiente de alternância entre as contribuições. Os parceiros podem assumir diferentes papéis, como colegas, professores, pais ou agentes computacionais, desde que os critérios acima sejam atendidos. Exemplos incluem interações dialógicas entre estudantes e outras pessoas (ou agentes) que respondem de forma relevante ao conteúdo discutido.

Ser interativo implica que cada participante contribua, construtivamente, para a construção do conhecimento. Assim, se duas pessoas interagem apenas de modo físico ou motor, sem trocas discursivas significativas, por exemplo, dois alunos copiando as soluções de dever de casa um do outro, o comportamento é classificado apenas como ativo, e não como interativo, pois não há construção conjunta de significados.

Chi e Wylie (2014) reforçam que os diálogos são verdadeiramente interativos apenas quando as declarações de cada indivíduo geram novos conhecimentos, isto é, ideias que vão além do conteúdo apresentado nos materiais das atividades e do que o colega expressou. Assim, ambos os estudantes devem manter um diálogo construtivo, em que cada contribuição amplia o entendimento mútuo.

Nesse sentido, o modo interativo incorpora o construtivo, uma vez que o diálogo efetivo se baseia na construção conjunta de significados. Para as autoras, somente o engajamento cognitivo construtivo e interativo é capaz de promover uma compreensão profunda do conteúdo específico em estudo.

Entretanto, como os materiais, atividades e objetivos de aprendizagem variam significativamente entre as diferentes disciplinas, o engajamento cognitivo está indissociavelmente ligado ao conteúdo e à natureza da área de conhecimento. Essa relação se manifesta nas interações entre os objetivos de aprendizagem da educação em Ciências e as práticas pedagógicas correspondentes, evidenciando que a qualidade do engajamento depende tanto do contexto quanto da intencionalidade pedagógica.

Utilizei um delineamento analítico inspirado na proposta de Stinken-Rösner *et al.* (2023), que se fundamenta na combinação de dois *frameworks* SAMR e ICAP e em sua correlação com os constructos de Conhecimento Tecnológico-Pedagógico (TPK) e Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK), respectivamente. Essa abordagem foi adotada para avaliar as práticas docentes desenvolvidas pelos professores selecionados.

Quadro 13 – Rubricas para qualidade da tecnologia inserida nos planejamento

ICAP (PCK)	Interativo	Os alunos se envolvem construtivamente em uma comunidade igual de alunos. E Tecnologia como substituta sem melhoria funcional.	Os alunos se envolvem construtivamente em uma comunidade igual de alunos. E Tecnologia como substituta com melhoria funcional.	Os alunos se envolvem construtivamente em uma comunidade igual de alunos. E A tecnologia permite um redesign significativo da tarefa.	Os alunos se envolvem construtivamente em uma comunidade igual de alunos. E A tecnologia permite o design de novas tarefas de aprendizagem, anteriormente inconcebíveis.
	Construtivo	Os alunos geram novas inferências ou informações, que vão além dos materiais apresentados. E Tecnologia como substituta sem melhoria funcional.	Os alunos geram novas inferências ou informações, que vão além dos materiais apresentados. E Tecnologia como substituta com melhoria funcional.	Os alunos geram novas inferências ou informações, que vão além dos materiais apresentados. E A tecnologia permite um redesign significativo da tarefa.	Os alunos geram novas inferências ou informações, que vão além dos materiais apresentados. E A tecnologia permite o design de novas tarefas de aprendizagem, anteriormente inconcebíveis.
	Ativo	Os alunos manipulam materiais ou atividades de aprendizagem. E Tecnologia como substituto, sem melhoria funcional.	Os alunos manipulam materiais ou atividades de aprendizagem. E Tecnologia como substituto, com melhoria funcional.	Os alunos manipulam materiais ou atividades de aprendizagem. E Tecnologia permite um redesign significativo da tarefa.	Os alunos manipulam materiais ou atividades de aprendizagem. E Tecnologia permite o design de novas tarefas de aprendizagem, anteriormente inconcebíveis.
	Passivo	Os alunos recebem informações; nenhum indicador de interação. E Tecnologia como substituto, sem melhoria funcional.	Os alunos recebem informação; nenhum indicador de interação. E Tecnologia como substituto, com melhoria funcional.	Os alunos recebem informação; nenhum indicador de interação. E A tecnologia permite uma reformulação significativa da tarefa.	Os alunos recebem informação; nenhum indicador de interação. E A tecnologia permite design de novas tarefas de aprendizagem, anteriormente inconcebíveis.
		Substituição	Ampliação	Modificação	Redefinição
		SAMR (TPK)			

Fonte: elaborado pelo autor.

A aplicação da rubricas foi realizada a partir de três fontes de dados que são apresentada a seguir:

- 1) registros da execução das aulas realizadas pelo professor no Sistema de Gestão do Negócio, plataforma oficial de registros das aulas, avaliações e cadastro de turmas, entre outras funcionalidades;
- 2) anotações realizadas por mim provenientes de entrevistas semiestruturadas conduzidas com os docentes, cujo objetivo foi obter detalhes da execução das aulas não presentes nos registros e relevantes para a pesquisa; A realização da entrevista foi guiada pelos seguintes tópicos: Qual (is) o(s) principal(is) objetivo(s) da atividade/aula? Qual o conteúdo central da área de natureza abordado na respectiva aula? Qual(is) a(s) principal(is) tecnologias/ferramentas utilizada(s) na respectiva aula? Quem usou a tecnologia/ferramenta? Como usou a tecnologia/ferramenta? Qual(is) foi(ram) a(s) principal (is) estratégia(s) de ensino utilizada(s)? Qual(is) foi(ram) o(s) principal(is) material(is) utilizado(s) pelo professor e/ou disponibilizado aos estudantes (roteiros, apresentações, vídeos etc.)?; e
- 3) análise de materiais disponibilizados pelos professores para a condução das aulas, tanto utilizadas por eles, quanto disponibilizados aos estudantes (apresentações, roteiros, tarefas, links, entre outras).

Portanto, a aplicação das rubricas envolveu uma análise da potencial utilização das tecnologias com base nesses dados, a partir das intenções dos professores, o que não garante que os estudantes efetivamente atingiram as expectativas desejadas.

Cabe destacar que a diferenciação das interações entre os níveis construtivo e interativo dependem da natureza das interações entre os estudantes durante o estudo de um determinado conteúdo. Portanto, em função da natureza limitada dos dados para analisar os níveis de interação cognitiva entre os estudantes, especialmente com relação ao nível interativo do modelo ICAP, limitei-me a classificar as atividades entre os níveis passivo, ativo e construtivo, ainda que algumas atividades tivessem potencial de promover situações no nível interativo. Um exemplo de aplicação das rubricas pode ser visualizado no Quadro 14.

Quadro 14 – Exemplo de aplicação de rubricas para determinado conjunto de tecnologias

Ciências da Natureza I (Física)				
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: cinemática. Descrição: apresenta-se material da plataforma Geekie sobre o tema. A aula é conduzida de forma mais expositiva, abordando conceitos e exemplos comuns da área. Os estudantes devem preencher, individualmente, um roteiro de atividades no Google Forms. O professor também disponibiliza uma <i>webquest</i> no Google Docs para que os estudantes realizem uma pesquisa em duplas. A pesquisa trata de conceitos de movimento, como referencial, repouso, posição e velocidade, utilizando tanto a internet quanto o material digital da Geekie. Com base nessa pesquisa, os estudantes deveriam elaborar, em papel, um mapa conceitual correlacionando os conceitos. Na <i>webquest</i> foram disponibilizados vídeos com exemplos de construção de mapas mentais, a fim de apoiar os estudantes. Durante as pesquisas, o professor circulava entre as duplas para acompanhar o desenvolvimento, oferecendo explicações e apoiando os estudantes.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Google forms	Ativo	Os estudantes interagem individualmente com o roteiro, respondendo e registrando suas aprendizagens, mas sem construir novos significados além da atividade proposta.	Substituição	O Forms substitui um questionário impresso tradicional, sem alterar de forma significativa a tarefa pedagógica.
Computador	Construtivo	Usado como meio para acessar materiais, pesquisar e registrar informações; promove engajamento e discussão com potencial de construção de novos conhecimentos.	Ampliação	Permite acessar múltiplos recursos digitais (material Geekie, pesquisas <i>on-line</i>), ampliando as funcionalidades em relação ao uso de materiais físicos.
Vídeos	Ativo	Estudantes podem manipular ativamente os vídeos ao usar os exemplos de construção de mapas mentais como guia para suas próprias produções.	Ampliação	Substitui a explicação do professor, mas amplia a experiência ao permitir visualização repetida e exemplificada de mapas mentais.
<i>Webquest</i>	Construtivo	Os estudantes pesquisam em duplas, relacionam conceitos e produzem mapas conceituais, com potencial de envolver construção de novos significados.	Ampliação	A tarefa é ampliada com o uso da <i>webquest</i> , pois envolve pesquisa guiada, integração de diferentes fontes e produção de síntese (mapa conceitual), o que seria difícil de implementar da mesma forma em um formato puramente analógico.

Fonte: elaborado pelo autor.

Na primeira linha apresenta-se uma síntese resumida das aulas, a partir das fontes de dados. Com base nessa descrição e outros materiais disponibilizados pelo docente, registrei as tecnologias que tiveram destaque nas aulas. O potencial de interação cognitiva e do nível de apropriação da tecnologia foi avaliada no contexto para definir os níveis mais adequados a cada rubrica, juntamente com uma justificativa para a respectiva avaliação. Essas informações foram

utilizadas para construir um perfil de utilização das tecnologias e entender os níveis de desnivelamento do TPACK docente, considerando diferentes unidades curriculares. Por fim, elaborei um perfil individual e um perfil integrado do grupo. Essas análises são apresentadas e discutidas na seção 5.3.

4.5 NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DO TPACK

Um modelo de níveis de desenvolvimento do TPACK para professores foi proposto com o objetivo de auxiliar na compreensão e no direcionamento de processos formativos. Niess *et al.* (2009) propõem cinco níveis para a incorporação de tecnologias no contexto do ensino de Matemática: reconhecendo, aceitando, adaptando, explorando e avançando.

Com base nessa proposição, Bueno *et al.* (2023) ampliam o modelo e sugerem a inclusão de um novo nível, denominado pré-reconhecendo, organizando o *framework* em seis níveis de desenvolvimento.

Embora os estudos originais tenham sido realizados no campo da Educação Matemática, compreendo que o modelo é aplicável a outras áreas do conhecimento, como a de Ciências da Natureza, por abordar dimensões gerais da integração pedagógica das tecnologias.

Os seis níveis e suas respectivas descrições são apresentados a seguir.

Pré-reconhecendo onde professores não têm conhecimento de recursos tecnológicos que podem ser usados em ambientes de ensino e aprendizagem; não sabem como os alunos podem usar as TIC digitais para aprender conteúdos específicos; não têm conhecimento de como usar recursos tecnológicos para ensinar conteúdos; e não têm conhecimento de como usar as TIC digitais para melhorar o currículo ou mesmo para aumentar os materiais curriculares (Bueno *et al.* 2023).

Reconhecer (conhecimento) – É definido quando os professores parecem estar prontos para usar as TIC e reconhecem seu alinhamento com diferentes conteúdos matemáticos, porém, não conseguem integrar as tecnologias digitais aos processos de ensino e aprendizagem. A razão pela qual esse comportamento acontece é porque eles geralmente se preocupam com o tempo que os alunos levam para entender as TIC. Consequentemente, eles acabam usando ferramentas tecnológicas apenas para reforçar ideias já estudadas por outros métodos. Em relação ao desenvolvimento profissional, os professores têm considerado cursos de treinamento para aprender mais sobre TIC (Bueno; Lieban; Ballejo, 2021, p. 112, tradução nossa).

Aceitar (persuasão) – É perceptível quando os professores desenvolvem uma atitude favorável ao uso de tecnologias digitais apropriadas para ensinar e aprender Matemática. Esses educadores começam a usar as TIC no final das unidades de disciplinas, em aulas nas quais novos conceitos não são estudados pelos alunos ou em atividades complementares. Buscando desenvolver novas ideias matemáticas, eles começam a aplicar práticas simples permeadas pelas TIC. Como ainda estão inseguros sobre isso, tentam controlar os alunos orquestrando suas ações enquanto eles estão usando novas tecnologias. Ao incluir ferramentas digitais em sala de aula, os professores percebem a necessidade de aprimorar seus conhecimentos nessa área, o

que os leva a começar a procurar cursos de treinamento que incluam essa abordagem (Bueno; Lieban; Ballejo, 2021, p. 112, tradução nossa).

Adaptação (decisão) – Esta fase é identificada quando os professores começam a planejar aulas que adaptam práticas de ensino e aprendizagem usando TIC. Tecnologias digitais são usadas para reforçar ou melhorar conteúdos matemáticos que foram trabalhados anteriormente em sala de aula. Práticas simples são introduzidas com TIC, mas adaptando essas atividades à classe. Estratégias de ensino são principalmente centradas no professor para manter o controle sobre o progresso da classe. Preocupantes para seu desenvolvimento profissional, os professores aprendem e exploram novas ideias para Educação Matemática, mas ainda usam apenas um tipo de software (Bueno; Lieban; Ballejo, 2021, p. 112, tradução nossa).

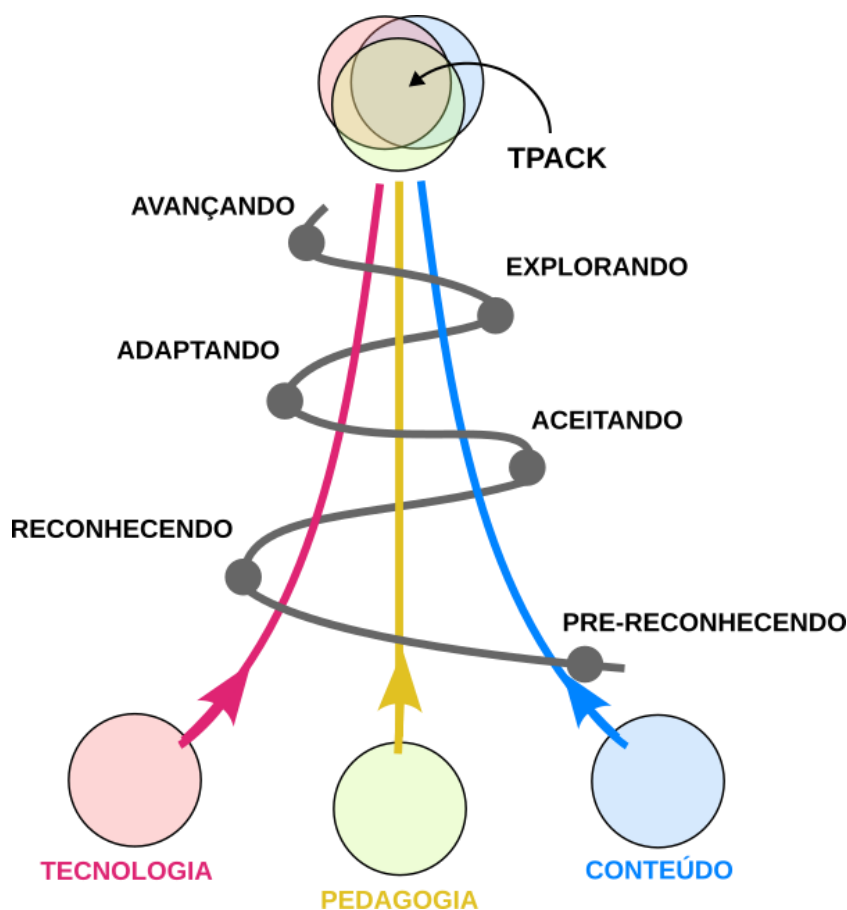
Exploração (implementação) – É perceptível quando os professores de Matemática integram constantemente práticas de ensino e aprendizagem com recursos tecnológicos apropriados. Eles começam a envolver seus alunos em atividades mais sofisticadas, como resolução de problemas ou investigação matemática em sala de aula, usando TIC como recursos significativos de aprendizagem. Assim, esses professores se tornam mediadores de interação e tendem a usar diferentes estratégias de ensino, permeadas por diferentes tipos de ferramentas de TIC. Eles começam a interagir com outros professores para investigar o currículo a fim de encontrar maneiras enriquecedoras de integrar TIC apropriadas em práticas de ensino e aprendizagem (Bueno; Lieban; Ballejo, 2021, p. 112, tradução nossa).

Avançando (confirmação) – Este estágio é caracterizado pelo uso de TIC para facilitar ideias matemáticas para os alunos, bem como por uma análise crítica dos resultados da introdução de tecnologias digitais na aula de matemática. Nesta fase, os professores começam a adaptar uma variedade de metodologias usando TIC para estimular os alunos a pensar e entender matemática. Eles coordenam atividades de ensino com uma forte presença de tecnologias digitais, buscando manter o engajamento dos alunos e encorajando sua autonomia para construir conhecimento. Em relação ao seu desenvolvimento profissional, eles estão constantemente buscando novas oportunidades para aprender sobre a integração de TIC na educação matemática e explorar ideias pedagógicas envolvendo múltiplas tecnologias (Bueno; Lieban; Ballejo, 2021, p. 113, tradução nossa).

Os autores Bueno, Lieban e Ballejo (2021) compreendem o TPACK de cada professor como uma mistura homogênea de conhecimentos. Nessa perspectiva, o docente não considera conteúdo, pedagogia e tecnologia de forma isolada durante o processo de planejamento. Em outras palavras, não há hierarquia nem sequência predefinida entre esses elementos. Na prática, o professor articula simultaneamente os três domínios (tecnologia, pedagogia e conteúdo), buscando formas de integrá-los de modo indissociável.

Um esquema proposto por Bueno *et al.* (2023, p. 98), que representa o processo de desenvolvimento do TPACK, pode ser visualizado a seguir.

Figura 22 – Integração em espiral dos constructos TPACK



Fonte: Adaptado de Bueno *et al.* (2023).

O esquema em espiral traz a ideia de que o desenvolvimento do TPACK se dá por meio de zonas que aprofundam o conhecimento dos professores quanto à integração das tecnologias no ensino e aprendizagem de conteúdos da sua área. Seu desenvolvimento não seria linear e nem uniforme, mas ocorreria de modo gradual e dinâmico, com momentos de avanço, consolidação e até regressão, dependendo do contexto, da experiência e das próprias transformações tecnológicas. Portanto, esse processo de integração convergente contínua entre Tecnologia, Pedagogia e Conteúdo se dá de forma diferente para cada docente e em determinado contexto. Na medida que os docentes internalizam as potencialidades e implicações pedagógicas das tecnologias, a integração vai ficando mais próxima até que o nível do TPACK possa atingir estados mais avançados e interconectados. Com base nesses níveis, busquei inferir o nível de desenvolvimento do TPACK dos professores, com o objetivo de compor o perfil docente no contexto pesquisado.

4.6 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS

As entrevistas foram analisadas com base na Análise Textual Discursiva, proposta por Moraes (2003) ou simplesmente ATD, é uma forma qualitativa de análise textual que visa compreensão (e não comprovação) de determinados fenômenos, utilizando um ciclo de três momentos: unitarização, categorização e comunicação. A metáfora “tempestade de luz” representa o surgimento de novas compreensões a partir do caos e da desordem. O autor argumenta que a ATD está situada entre a análise de conteúdo e a análise do discurso (Moraes, 2003).

O processo de unitarização envolve fragmentar os textos em unidades significativas. Para esse fim, engloba o seguinte escopo: leitura e significação, com vistas a elaboração de uma interpretação mais ampla do texto, influenciada por teorias que fundamentam os objetivos da pesquisa e experiências do leitor; *corpus*, associado ao conjunto de textos a serem analisados; unitarização em si, que abarca a desconstrução dos textos e partes menores para gerar unidades de sentido, incluindo um processo de codificação e reescrita; impregnação, demanda do pesquisador uma profunda imersão nos dados para permitir o surgimento de novas compreensões (Moraes, 2003).

O processo de categorização envolve o agrupamento das unidades significativas em função de semelhanças para formar categorias. As categorias podem ser dadas *a priori*, podem emergir dos dados ou mesmo podem surgir a partir da intuição do pesquisador. É importante que as categorias tenham uma representatividade nos textos analisados garantindo homogeneidade entre os dados (Moraes, 2003).

Por fim, o pesquisador deverá elaborar o metatexto em que expressa as compreensões construídas. Nesse momento, é relevante que as conclusões sejam ancoradas em citações diretas dos dados, além de discutir os resultados de forma profunda para garantir a validade da análise. É nesse momento em que o mundo teórico e empírico devem ser articulados para a construção de novas compreensões (Moraes, 2003).

É interessante considerar que Faria Silva e Corrêa de Paula (2024) discutem o potencial da utilização de ferramentas de IA para apoiar o processo de pesquisa com ATD. Segundo os autores:

No contexto da ATD, a IA, representada pelo ChatGPT3.5, ancorada em um modelo de aprendizado de máquina LLM, mostra-se como uma ferramenta valiosa para acelerar a identificação de US [Unidades Significativas]. A formulação adequada de prompts desempenha um papel fundamental na unitarização de documentos ou textos

em análise, adaptando-se às necessidades individuais da pesquisa que se concentra na compreensão dos fenômenos investigados (Faria Silva; Corrêa de Paula, 2024, p. 21).

Os autores destacam o papel central da análise crítica do pesquisador para avaliar os resultados apresentados pelas ferramentas de IA, além de cuidados éticos com o compartilhamento de dados sigilosos da pesquisa. Além disso, reforçam que o pesquisador não deve substituir suas análises pelas feitas por essas ferramentas, justamente para preservar a subjetividade do pesquisador, além dele possuir uma compreensão mais ampla e contextualizada do problema e objetivos da pesquisa.

A seguir detalharei o método utilizado para o processo de ATD com apoio da ferramenta ChatGPT na versão GPT-4-Turbo com memória ativada, que grava informações compartilhadas com *chat* no contexto da conversa. Destaco que a ferramenta foi utilizada como apoio para a realização da etapa de unitarização.

Para preparar o ChatGPT abri uma nova conversa e iniciei com o seguinte comando: “Análise Textual Discursiva” e cliquei no botão enviar para que o *chat* apresentasse um resultado. Desse modo, a IA apresentou um resumo das principais etapas da ATD. Após a avaliação das informações apresentadas pelo *chat*, realizei uma verificação entre elas com base nos textos de Moraes (2003) e Moraes e Galianzi (2007). Em seguida, fiz a seguinte pergunta: Quem são os autores que criaram a metodologia da ATD? No primeiro parágrafo da resposta, o *chat* indicou de forma errônea como Luiz Gonzaga de Moraes e Renato Caldas Galianzi. Já no segundo parágrafo, apresentou um resumo dos objetivos da ATD e no terceiro parágrafo indicou a principal referência: “MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do Carmo Galianzi. Análise Textual Discursiva. Ijuí: Editora Unijuí, 2007”. Junto à referência, o próprio *chat* corrige uma informação apresentada com a seguinte observação: “Obs.: Roque Moraes, e não Luiz Gonzaga, é o nome correto — obrigado por me permitir corrigir isso!”. Apesar do erro na descrição completa dos nomes, a referência e as principais etapas da ATD apresentadas por ele estavam coerentes com as referências bibliográficas indicadas.

Em seguida, para melhorar o contexto da conversa aberta e produzir mais uma camada de verificação da coerência e assertividade da ferramenta quanto à fidedignidade das informações apresentadas pela IA sobre ATD, realizei o *upload* completo do texto de Moraes (2003) na ferramenta e fiz a seguinte solicitação: Faça um resumo de cada tópico apresentado neste artigo sobre a ATD. A ferramenta apresentou um resumo em seis tópicos intitulados: 1) introdução; 2) desmontagem dos textos – unitarização; 3) estabelecimento de relações – categorização; 4) captando o novo emergente – comunicação; 5) um processo auto-organizado;

e 6) considerações finais. A comparação que realizei, contrapondo o artigo original e a resposta fornecida pelo *chat* mostrou-se bastante fidedigna. Desse modo, considerei que as respostas do *chat* estavam coerentes com a abordagem ATD preconizada. Solicitei mais uma informação antes de avançar para o processo de unitarização com o seguinte comando: “Apresente um método para aplicar a etapa de unitarização”. A ferramenta apresentou cinco etapas: 1) escolha e delimitação do *corpus*; 2) leitura flutuante; 3) primeira leitura analítica – identificação de unidades; 4) fragmentação e codificação; 5) reescrita da unidade (se necessário); e 6) atribuição de título (opcional, mas útil). Ao final das etapas, o *chat* apresentou uma tabela com exemplos de otimização, conforme a Quadro 15 a seguir.

Quadro 15 – Exemplo de unitarização proposta pelo ChatGPT

Código	Unidade de sentido (reescrita)	Título da unidade
D1.1	“Sinto que a escola não prepara os alunos para pensar”.	Crítica ao ensino
D1.2	“Projetos de sustentabilidade me motivam a participar”.	Engajamento com projetos
D2.1	“A gente aprende mais quando faz pesquisa de verdade”.	Valor da pesquisa

Fonte: ChatGPT.

Após esse processo, decidi avançar à etapa de unitarização com apoio da IA na sequência da conversa aberta. O comando enviado ao *chat* foi: “Aplique o processo de unitarização para a entrevista realizada entre um pesquisador e um professor. Considere que o objetivo da pesquisa é construir um perfil para o nível de conhecimento docente à luz do modelo TPACK para a incorporação de características de espaços *maker* na educação. A entrevista segue: [...]”.

O compartilhamento da entrevista foi realizado tomando cuidado para que ele não apresentasse informações sigilosas como nomes de pessoas citadas. Como resultado, a ferramenta de IA apresentou o Quadro 16 com 28 unidades de sentido conforme exibido, em que o código “P4.1” identifica o docente específico associado àquela unidade de sentido (P4); e o número que segue após o ponto identifica a ordem da unidade de sentido proposta, resultando no “P4.1”. O conteúdo foi copiado para uma planilha do google.

Quadro 16 – Unidades de sentido apresentadas pelo ChatGPT

Código	Unidade de Sentido (Original)	Unidade de Sentido (Reescrita)	Título da Unidade
P4.1	Poderia e deveria, mas aí eu acho que o que empata é formação mesmo.	O professor reconhece que deveria explorar mais os recursos do laboratório <i>maker</i> , mas indica a falta de formação como principal obstáculo.	Falta de formação
P4.2	A gente teve uma formação ano passado, acho que foi meio rapidinha.	O professor relata que teve uma formação técnica, mas ela foi superficial e insuficiente.	Formação superficial
P4.3	É uma, tipo de coisa que você tem que mexer para entender como é que funciona.	O professor destaca a importância da experimentação prática para adquirir domínio sobre as ferramentas.	Aprendizagem prática
P4.4	Eu não sou uma pessoa supercuriosa de ir lá sozinho mexer...	O professor indica uma limitação em sua postura investigativa autônoma.	Falta de autonomia/ confiança
P4.5	A gente fez uma oficina que foi meio teórica, ela não foi muito prática.	A oficina que participou não permitiu aprendizagem significativa por falta de prática.	Limitação do modelo de formação
P4.6	Dá para ser nas aulas de <i>biohackeria</i> , daria para ter usado muito mais.	O professor vê grande potencial de uso das tecnologias <i>maker</i> em disciplinas mais práticas como <i>biohackeria</i> .	Potencial em contextos práticos
P4.7	A gente acaba não tendo isso com uma prioridade por conta de tempo mesmo.	O currículo tradicional e o tempo limitado dificultam a inserção de práticas <i>maker</i> .	Tempo como barreira
P4.8	Minha formação é biologia, então, acho que dentro da biologia, ou falando aí de natureza, eu acho que é uma área que cabe bem usar essas ferramentas.	O professor vê na biologia uma área propícia ao uso de ferramentas <i>maker</i> , se bem planejado.	Aplicação em biologia
P4.9	Eu acho que não é algo que é fundamental, mas eu acho que, imagino que seja algo que poderia complementar [...].	O professor enxerga os recursos como complementares, mas não indispensáveis.	Papel complementar da tecnologia
P4.10	Em função do tempo de aula que a gente tem [...].	O currículo tradicional e o tempo limitado dificultam a inserção de práticas <i>maker</i> .	Tempo como barreira
P4.11	Eu acho que ela seria algo a mais e que sim, talvez tornasse a prática muito mais interessante para ele mais atrativa.	Projetos práticos têm potencial de atrair (ou engajar) os estudantes.	Atividade <i>maker</i> engaja

Código	Unidade de Sentido (Original)	Unidade de Sentido (Reescrita)	Título da Unidade
P4.12	O desafio para turma é: tem que construir um microscópio... [...].	O professor percebe que poderia utilizar mais os recursos do laboratório <i>maker</i> , mas indica a falta de formação como principal obstáculo.	Falta de formação
P4.13	Agora a gente tem o PASSE lá [...].	O professor mostra diferenças nas propostas curriculares que afetam suas práticas de maneira decisiva.	Contexto influencia a tomada de decisão
P4.14	[...] a gente tem a parte teórica nas aulas de natureza [...].	O professor descreve como as práticas <i>maker</i> podem complementar a explicação dos conteúdos.	Papel complementar da construção/prática
P4.15	Não usar não atrapalha a qualidade. Mas eu acho que ela seria algo a mais.	A ausência das ferramentas não impede o ensino, mas limita possibilidades.	Tecnologia como valor agregado
P4.16	Você tem que ter a parte teórica e você tem que ter a parte prática...	O professor defende a combinação entre teoria e prática para um ensino mais completo.	Integração teoria-prática
P4.17	Se tiver que escolher só uma, a teórica eu acho que ela é mais eficiente [...].	O professor conclui que a união entre teoria e prática seria uma abordagem mais completa para ensinar os conteúdos.	Limitação do modelo educacional vigente
P4.18	Pode ser que uma escola não tenha uma impressora 3D [...].	Professor reforça a necessidade de que conhecimento técnico básico sobre os recursos é fundamental para utilizá-los.	Conhecimento técnico básico
P4.19	Eu acho que estrutura, a mínima que seja [...].	A estrutura escolar influencia diretamente a capacidade de aplicar práticas <i>maker</i> .	Influência da infraestrutura
P4.20	Tem turmas, grupos que supercompram a ideia e grupo que não compra muito [...].	Professor reconhece a diversificação de perfis de estudantes como fator relevante para a proposição de práticas que envolvem o <i>maker</i> .	Perfil dos alunos
P4.21	A do Labdisk foi bem legal porque daí eu aprendi mexer nele [...].	Demonstra domínio básico do Labdisk e sua aplicação em sala, contrastando com a falta de domínio da impressora 3D.	Domínio desigual das tecnologias
P4.22	Não adianta eu ter a melhor impressora 3D se eu não sei ligar o negócio.	Reforça a importância da formação técnica para viabilizar o uso de tecnologia.	Formação para uso efetivo

Código	Unidade de Sentido (Original)	Unidade de Sentido (Reescrita)	Título da Unidade
P4.23	Porque quando você explicar [...].	Professor reconhece que abordagens <i>maker</i> podem potencializar o aprendizado por proporcionar que o estudante vivencie de alguma maneira a explicação.	Prática como importante para consolidação do aprendizado
P4.24	Eu já montei várias coisas no <i>Maker</i> com eles e que acabou não dando certo assim [...].	O professor destaca que mesmo erros em projetos <i>maker</i> geram aprendizado relevante.	Erro como parte do processo
P4.25	É, eu acho que o tempo para fazer as coisas é o fator [...].	Ressalta que o tempo é o principal limitador, mais até que a falta de recursos.	Tempo como fator chave
P4.26	É um professor sei lá [para] 30, 40 alunos [...].	Comenta sobre o desafio de lidar com turmas grandes e limitações temporais para práticas manuais.	Limitação por tamanho de turma
P4.27	[...] em geral quanto tempo o professor vai ter para essa aula? [...].	Afirma que o tempo e o perfil do professor influenciam na escolha metodológica.	Tempo é determinante
P4.28	Então eu acho tempo e recurso, mas o recurso você consegue improvisar [...].	Professor destaca que o tempo é um fator que se sobrepõe aos recursos por ele não ser adaptável.	Tempo x recursos

Fonte: dados do pesquisador.

Foi realizada uma avaliação crítica das unidades de sentido, inicialmente apresentadas. Verifiquei que a inteligência artificial sintetizou essas unidades em expressões bastante resumidas. No entanto, essa redução, em diversos casos, comprometeu a contextualização necessária para a adequada compreensão dos sentidos atribuídos, dificultando, inclusive, o processo de categorização temática.

Com o intuito de aprimorar a análise, elaborei um documento na plataforma Google Docs, no qual as unidades de sentido foram destacadas diretamente no corpo das entrevistas. A planilha utilizada para a organização dos dados foi estruturada em duas abas: a primeira, intitulada “*chat*”, contém o conteúdo gerado originalmente pelo ChatGPT; a segunda, denominada “pesquisador”, apresenta a versão revisada das unidades de sentido, com as modificações realizadas.

A partir dessa revisão, procedi à reavaliação integral das proposições iniciais. Muitas unidades foram ampliadas, algumas substituídas e outras ajustadas, com o objetivo de assegurar maior fidelidade ao sentido original das falas dos participantes. O resultado ajustado pode ser verificado no Quadro 17, a seguir.

Quadro 17 – Unidades de sentido revisadas pelo pesquisador

Código	Unidade de Sentido (Original)	Interpretação geral	Título da Unidade
P4.1	Poderia e deveria, mas aí eu acho que o que empata é formação mesmo.	O professor reconhece que deveria explorar mais os recursos do laboratório <i>maker</i> , mas indica a falta de formação como principal obstáculo.	Falta de formação (técnica)
P4.2	A gente teve uma formação ano passado, acho que foi meio rapidinha.	O professor relata que teve uma formação técnica, mas ela foi superficial e insuficiente.	Formação superficial
P4.3	É uma coisa que você tem que mexer para entender como é que funciona.	O professor destaca a importância da experimentação prática para adquirir domínio sobre as ferramentas.	Aprendizagem prática
P4.4	Eu não sou uma pessoa supercuriosa de ir lá sozinho mexer...	O professor indica uma limitação em sua postura investigativa autônoma.	Falta de autonomia/confiança
P4.5	A gente fez uma oficina que foi meio teórica, ela não foi muito prática.	A oficina que participou não permitiu aprendizagem significativa por falta de prática.	Limitação do modelo de formação
P4.6	Dá para ser nas aulas de <i>biohackeria</i> , daria para ter usado muito mais.	O professor vê grande potencial de uso das tecnologias <i>maker</i> em disciplinas mais práticas como <i>biohackeria</i> .	Potencial em contextos práticos
P4.7	A gente acaba não tendo isso com uma prioridade por conta de tempo mesmo.	O currículo tradicional e o tempo limitado dificultam a inserção de práticas <i>maker</i> .	Tempo como barreira
P4.8	Minha formação é biologia, então acho que dentro da biologia, ou falando aí de natureza, eu acho que é uma área que cabe bem usar essas ferramentas.	O professor vê na biologia uma área propícia ao uso de ferramentas <i>maker</i> , se bem planejado.	Aplicação em biologia
P4.9	Eu acho que não é algo que é fundamental, mas eu acho que, imagino que seja algo que poderia complementar. Mas ela não é essencial para a aula acontecer. Mas nas aulas práticas ou numa aula como <i>biohackeria</i> que é um itinerário, que é uma proposta diferente, aí eu acho que ela é bem mais necessária do que numa aula mais [...] tradicional.	O professor enxerga os recursos como complementares, mas não indispensáveis.	Papel complementar da tecnologia
P4.10	Em função do tempo de aula que a gente tem, que é curto, não fica muito viável de fazer, porque eu preciso dar conta do conteúdo, então, a gente deixa essa parte prática que é mais demorada de lado.	O currículo tradicional e o tempo limitado dificultam a inserção de práticas <i>maker</i> .	Tempo como barreira
P4.11	Eu acho que ela seria algo a mais e que sim, talvez tornasse a prática muito mais interessante para ele mais atrativa.	Projetos práticos tem potencial de atrair (ou engajar) os estudantes.	Atividade <i>maker</i> engaja
P4.12	O desafio para turma é: tem que construir um microscópio...[...]. Alguns alunos desse ano até me pediram: “Ah dá para gente imprimir tal coisa ou cortar uma peça? De novo, não domino, eu não consegui fazer com eles. Eu ajudei a fazer	O professor percebe que poderia utilizar mais os recursos do laboratório <i>maker</i> , mas indica a falta de formação como principal obstáculo.	Falta de formação

Código	Unidade de Sentido (Original)	Interpretação geral	Título da Unidade
	de forma manual, a gente acabou cortando e resolvendo a situação. [...] o professor precisa dominar elas [refere-se a impressora 3D] e ter autonomia para poder ir lá e usar.		
P4.13	Agora a gente tem o PASSE lá [refere-se a avaliação em larga escala da rede], tem as metas para bater, para resolver, para seguir, tem conteúdo para finalizar, para chegar no PASSE com aquele conteúdo já trabalhado [...]...entre uma aula expositiva para limitar o conteúdo e uma semana toda focada para mexer na impressora 3D, [...]. Então, isso te faz meio que escolher, a gente fica obrigado... Diferente assim: ó, o tempo é todo teu, você tem disponibilidade, usa aí e aproveita. Por isso que eu acho que em <i>biohackeria</i> cabe muito mais, [...] porque em <i>biohackeria</i> você não tem que vencer conteúdo, tem as habilidades para trabalhar ali e aí você fica muito livre, você tem muita liberdade, mas quando te engessa, aí você tem que fazer escolhas.	O professor mostra diferenças nas propostas curriculares que afetam suas práticas de maneira decisiva.	Contexto influencia a tomada de decisão
P4.14	[...] a gente tem a parte teórica nas aulas de natureza, fala sobre microscópio, fala sobre sei lá, microrganismos e tal, meio de cultura, e aí depois você consegue inserir porque daí eles têm o microscópio que eles construíram, [...]. [...] então, eu acho que a <i>biohackeria</i> é a parte mais prática da natureza, [...]. Na aula de natureza você acaba fazendo uma aula prática um pouco mais quadradinha, mais ligada ao que você tá trabalhando, e <i>biohackeria</i> você consegue deixar um pouco mais livre assim, [...] tem um grande aprendizado nisso: o trabalho em grupo, o trabalho manual também, essa outra parte que entra de ter que medir, cortar, saber se vai dar certo. “Pô, errei vou ter que fazer de novo. Pô, não, já vou fazer assim para não ter que errar de novo na próxima”. [...] ah, botei a lente e tô vendo invertido. Daí você puxa: ó, a gente viu lá na aula de natureza a questão das lentes, da formação da imagem, então, tem que ajustar a distância da lente. Só que você não fica trabalhando conceito com ele, você vai conversando e trazendo o que foi falado em aula e aí eles vão, parece, que concretizando o que foi falado lá.	O professor descreve como as práticas <i>maker</i> podem complementar a explicação dos conteúdos.	Papel complementar da construção/prática.
P4.15	Não usar não atrapalha a qualidade. Mas eu acho que ela seria algo a mais.	A ausência das ferramentas não impede o ensino, mas limita possibilidades.	Tecnologia como valor agregado
P4.16	Você tem que ter a parte teórica e você tem que ter a parte prática...	O professor defende a combinação entre teoria e prática para um ensino mais completo.	Integração teoria-prática
P4.17	Se tiver que escolher só uma, a teórica eu acho que ela é mais eficiente para o modelo que a gente tem hoje na sociedade, assim, é um modelo que vai oferecer mais, mas ele não é o mais completo. Mas os dois casados eu acho que é a	O professor conclui que a união entre teoria e prática seria uma abordagem mais completa para ensinar os conteúdos. Ao mesmo tempo, reconhece que, para o modelo de	Limitação do modelo educacional vigente

Código	Unidade de Sentido (Original)	Interpretação geral	Título da Unidade
	perfeição.	educação existente, é mais eficiente (ou adequada), uma abordagem mais teórica.	
P4.18	Pode ser que uma escola não tenha uma impressora 3D, uma cortadora laser. Pode ser que a escola tenha só um microscópio velho lá, mas eu sei mexer no microscópio? Ter uma formação básica digo. Nesse sentido, eu sei mexer no microscópio? Que aí eu vou conseguir trabalhar isso com os alunos, até poder explicar como é que funciona. Então, quando eu digo formação, não é seis meses de curso não, é uma noção básica de como liga, como desliga.	O professor reforça a necessidade de que conhecimento técnico básico sobre os recursos é fundamental para utilizá-los.	Conhecimento técnico básico
P4.19	Eu acho que estrutura, a mínima que seja, mas eu preciso ter um mínimo de estrutura para isso, nem que seja a própria sala de aula ou ter um espaço separado como é o <i>maker</i> , mas ter os recursos ali. Quanto mais recurso, mais fácil fica de você também poder executar essas práticas.	A estrutura escolar influencia diretamente a capacidade de aplicar práticas <i>maker</i> .	Influência da infraestrutura
P4.20	Tem turmas, grupos que supercompram a ideia e grupo que não compra muito a ideia, eles meio que fazem por obrigação. Não é uma coisa que eles gostam, enquanto tem outros grupos que amam fazer aquilo. Então, o perfil do aluno, essa demanda dele também é importante.	Professor reconhece a diversificação de perfis de estudantes como fator relevante para a proposição de práticas que envolve o <i>maker</i> .	Perfil dos alunos
P4.21	A do Labdisk foi bem legal porque daí eu aprendi a mexer nele, assim 100% não, mas eu tenho um conhecimento básico para orientar os alunos. Agora, a impressora 3D e cortadora eu ainda não tenho esse [conhecimento].	Demonstra domínio básico do Labdisk e sua aplicação em sala, contrastando com a falta de domínio da impressora 3D.	Domínio desigual das tecnologias
P4.22	Não adianta eu ter a melhor impressora 3D se eu não sei ligar o negócio.	Reforça a importância da formação técnica para viabilizar o uso de tecnologia.	Formação para uso efetivo
P4.23	Porque quando você explicar: ah se a lente tiver assim a imagem vai ficar invertida. Beleza, decorei essa informação. Agora quando ele pega, monta o microscópio e vê que a imagem que ele tá olhando tá invertida, aí ele vê que: opa! Verdade, tem sentido aquilo que eu tava falando. É isso de realizar, de ver mesmo aquilo que tava sendo falado, porque é tipo você fala e depois você vai lá e prova o negócio.	Professor reconhece que abordagens <i>maker</i> podem potencializar o aprendizado por proporcionar que o estudante vivencie de alguma maneira a explicação.	Prática como importante para consolidação do aprendizado
P4.24	Eu já montei várias coisas no <i>Maker</i> com eles e que acabou não dando certo assim. Para, refaz tudo ou descarta e vamos para outra. Teve algumas coisas assim, mas é interessante mesmo o resultado que não é o que você esperava ele acaba sendo um resultado legal para discutir com ele depois.	O professor destaca que mesmo erros em projetos <i>maker</i> geram aprendizado relevante.	Erro como parte do processo
P4.25	É eu acho que o tempo para fazer as coisas é o fator, acho que é o fator determinante [...] se eu preciso sei lá, botar uma semente num vaso, eu preciso	Ressalta que o tempo é o principal limitador, mais até que a falta de recursos.	Tempo como fator chave

Código	Unidade de Sentido (Original)	Interpretação geral	Título da Unidade
	pegar o vaso, preciso botar terra, preciso botar semente, preciso.... isso demanda tempo, não dá para eu fazer em 50 minutos às vezes, não é um grupo, é um professor sei lá...30, 40 alunos dependendo da escola como é... Como é que você vai orientar todo mundo? Então, assim, o tempo para fazer as coisas ele é fundamental [...].		
P4.26	[...] é um professor sei lá [para] 30, 40 alunos dependendo da escola como é. Como é que você vai orientar todo mundo?	Comenta sobre o desafio de lidar com turmas grandes e limitações temporais para práticas manuais.	Limitação por tamanho de turma
P4.27	[...] em geral quanto tempo o professor vai ter para essa aula? Eu tenho 50 minutos. É muito mais fácil eu ir lá falar a teoria e segue o baile. [...]. Não, eu tenho 2 horas para fazer isso pô, 2 horas é um tempo legal. [...] E são duas aulas [refere-se a uma abordagem mais teórica e outra mais prática]. Uma é melhor, outra é pior? Não sei! As duas podem ser eficientes, mas aí tem a ver com o perfil do aluno também, com a proposta, com tudo isso. Então esse tempo disponível para você poder botar em ação ali os planos ele faz toda diferença.	Afirma que o tempo e o perfil do professor influenciam na escolha metodológica.	Tempo é determinante
P4.28	Então eu acho tempo e recurso, mas o recurso você consegue improvisar, você consegue adaptar, substituir. Mas o tempo não, o tempo é fundamental.	O professor destaca que o tempo é um fato que se sobrepõem aos recursos por ele não ser adaptável.	Tempo x recursos

Fonte: dados da pesquisa.

A partir da análise das unidades de sentido, avaliei as temáticas apresentadas e elenquei possíveis agrupamentos, cujos nomes foram anotados na própria planilha na coluna categorias.

Para os obstáculos do movimento *maker* à educação formal indicados pelos docentes, as categorias reduzidas são: 1. limitações de tempo e carga horária; 2. infraestrutura física e logística; 3. formação e domínio técnico; 4. integração entre conteúdos curriculares e práticas *maker*; e 5. recursos materiais e manutenção.

Para o caso dos benefícios apresentados por eles, as categorias reduzidas são: 1. compreensão conceitual; 2. promoção do interesse; 3. habilidades e competências múltiplas; 4. pensamento científico; 5. aprendizagem colaborativa; e 6. promove a inclusão de diferentes perfis de aprendizagem. As categorias são apresentadas e descritas nas seções 5.5 e 5.6.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados e análises decorrentes dos dados coletados por meio da aplicação do questionário TMTSI adaptado, o que possibilitou a definição dos perfis dos professores convidados a participar da etapa de análise das aulas. Em seguida, foram aplicadas rubricas avaliativas às aulas ministradas pelos docentes selecionados, cujos resultados são discutidos à luz de critérios previamente estabelecidos. Por fim, realizei a Análise Textual Discursiva (ATD) das entrevistas conduzidas, com o objetivo de compreender as percepções dos professores acerca da incorporação de características do movimento *maker* em suas práticas pedagógicas e no ensino de Ciências de forma mais ampla.

5.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO TMTSI ADAPTADO

As respostas ao questionário TMTSI adaptado foram coletadas entre os dias 8 e 28 de março de 2024. Ao final do período de coleta, foram registradas 53 respostas válidas, correspondendo a uma taxa de retorno de aproximadamente 18% em relação ao total de convites enviados.

Dentre os respondentes, 30 declararam atuar no Ensino Médio no momento da pesquisa e informaram possuir formação em alguma área das Ciências da Natureza, compreendendo Biologia, Ciências, Física ou Química. Esse grupo foi considerado central para as análises desta investigação, por refletir o perfil de docentes diretamente relacionados ao objeto de estudo.

O *software* RStudio, versão 2023.12.1, foi utilizado para determinar as variáveis estatísticas do questionário adaptado e compará-las à versão original. Na Tabela 2, apresento os parâmetros calculados, incluindo o alfa de Cronbach, a média e o desvio padrão dos constructos do TPACK.

No instrumento original, os valores de Alfa de Cronbach variaram entre 0,72 e 0,86. Já no questionário adaptado, esses valores situaram-se entre 0,79 e 0,94. Tais resultados permitem afirmar que o processo de adaptação preservou e, em alguns casos, elevou o nível de consistência interna dos construtos, indicando coesão interna satisfatória entre os itens do instrumento adaptado.

Tabela 2 – Variáveis estatísticas do instrumento TPACK original e adaptado

Constructo TPACK	Alfa de Cronbach para o questionário adaptado	Alfa de Cronbach para o questionário Original	Média para o questionário adaptado	Média para o questionário original	Desvio Padrão para o questionário adaptado	Desvio Padrão para o questionário original
CK	0,79	0,79	4,3	3,62	0,48	0,65
PK	0,85	0,81	4,2	3,74	0,51	0,57
TK	0,93	0,79	3,7	3,71	0,72	0,64
PCK	0,86	0,80	4,3	3,76	0,49	0,57
TCK	0,88	0,85	4,2	3,86	0,57	0,57
TPK	0,84	0,72	4,1	3,86	0,58	0,59
TPACK	0,94	0,86	4,2	3,74	0,64	0,62

Fonte: elaborado pelo autor.

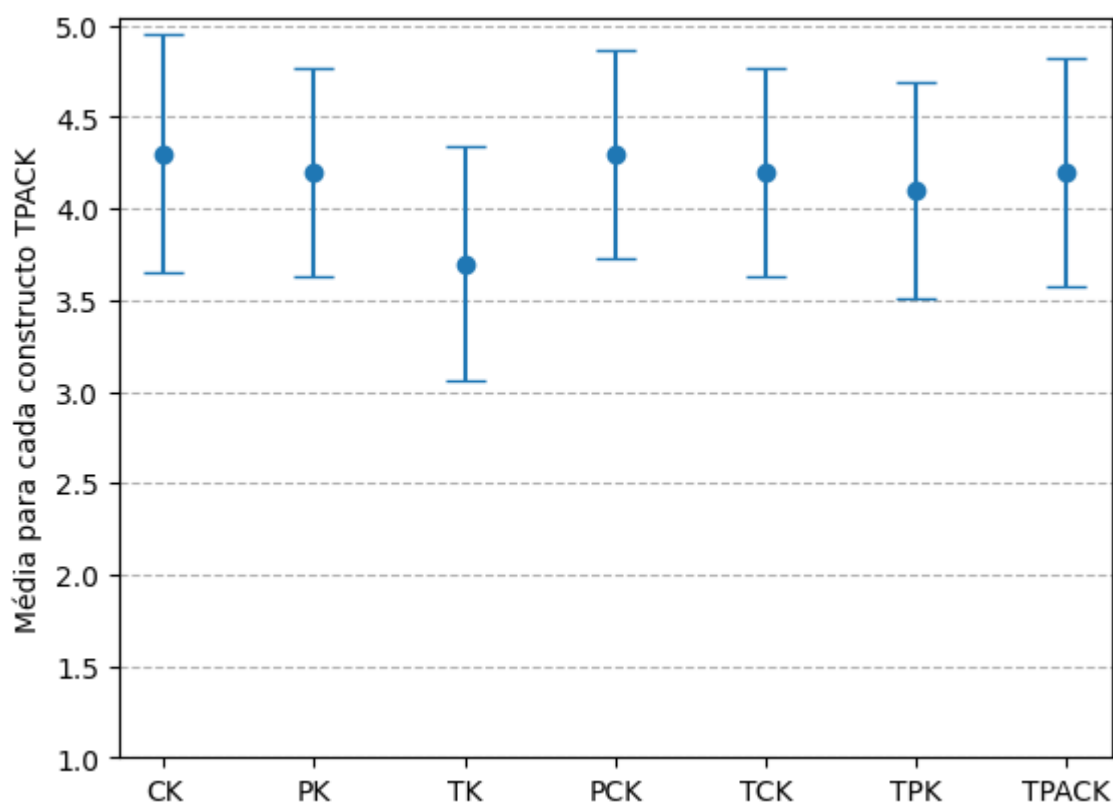
As médias das respostas também indicam um leve aumento. No questionário original, os valores médios variaram entre 3,62 e 3,86, ao passo que, na versão adaptada, oscilaram entre 3,7 e 4,3. Essa diferença pode estar relacionada à constituição distinta dos grupos participantes. Enquanto os respondentes do instrumento original estavam em processo de formação inicial, os participantes da versão adaptada do questionário eram professores em exercício, com experiência prática em sala de aula, além de terem participado de momentos formativos oferecidos pela rede e serem incentivados a usarem recursos disponíveis nos espaços *maker*. Essas características podem ter influenciado positivamente as médias de respostas aos itens do questionário, especialmente em relação à autopercepção sobre a integração pedagógica de tecnologias. No entanto, é importante destacar que outros fatores contextuais também podem ter interferido nos resultados, limitando a possibilidade de atribuir causalidade direta às diferenças observadas.

Ainda assim, o fato de as médias permanecerem próximas entre os diferentes construtos do questionário adaptado, sugere certa uniformidade nas respostas, com pontuações consistentemente acima do ponto médio da escala (3,0). Esse padrão pode ser interpretado como um indicativo de que os docentes se percebem como capazes de integrar tecnologias no ensino de conteúdos específicos da sua área. A única exceção foi observada no construto TK (Conhecimento Tecnológico), cuja média foi ligeiramente inferior às demais, sugerindo uma autopercepção mais limitada em relação ao domínio técnico das tecnologias digitais.

Quanto ao desvio padrão, que expressa a dispersão dos dados em torno da média, observou-se, em geral, uma menor variabilidade nas respostas do questionário adaptado. Isso

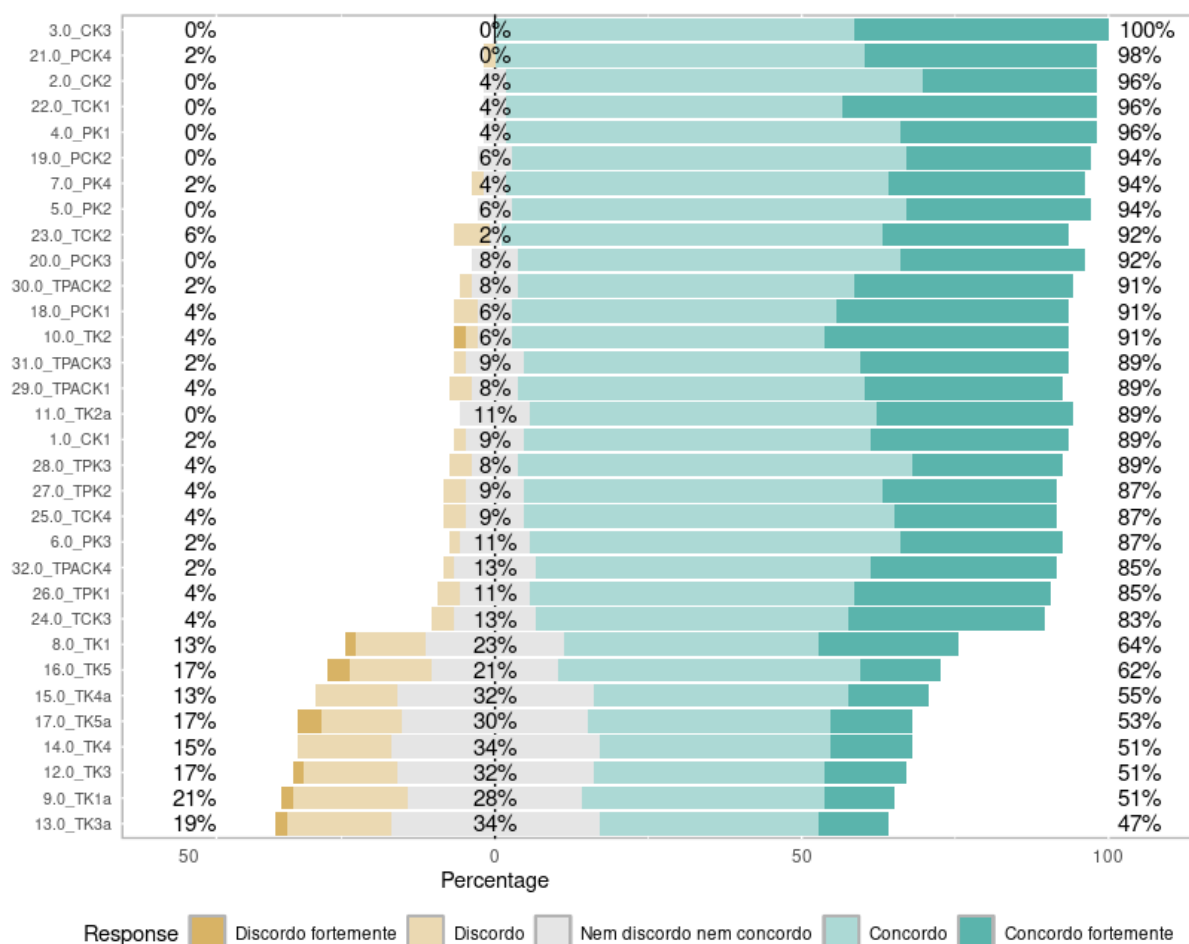
indica maior homogeneidade nas percepções dos participantes em relação aos construtos avaliados. A exceção ocorreu novamente no componente TK, cuja maior dispersão sugere maior heterogeneidade entre os professores quanto ao domínio tecnológico. Esses resultados estão visualmente representados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Média das pontuações de cada construto TPACK do questionário adaptado com seu respectivo desvio padrão



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Percentual de respostas para cada item de construto TPACK considerando todos os respondentes do questionário



Fonte: elaborado no RStudio.

A partir da análise do Gráfico 3, observa-se uma predominância de respostas indicativas de concordância superior a 50% em todos os itens do instrumento, com exceção do item TK3a, que se refere à habilidade de lidar com questões técnicas relevantes ao utilizar ferramentas de prototipagem física. Esse nível de concordância predominante indica que a maioria dos professores se percebe como capaz de integrar conhecimentos de conteúdo, pedagogia e tecnologia, compondo experiências de ensino significativas para seus estudantes.

Entretanto, é importante destacar que oito dos itens associados ao construto TK (Conhecimento Tecnológico) apresentaram os maiores percentuais de discordância entre os participantes, o que sugere uma percepção de maior dificuldade relacionada ao domínio de aspectos operacionais das tecnologias comumente encontradas nos espaços *maker*. Essa percepção pode estar associada ao acesso desigual a formações técnicas específicas, à pouca

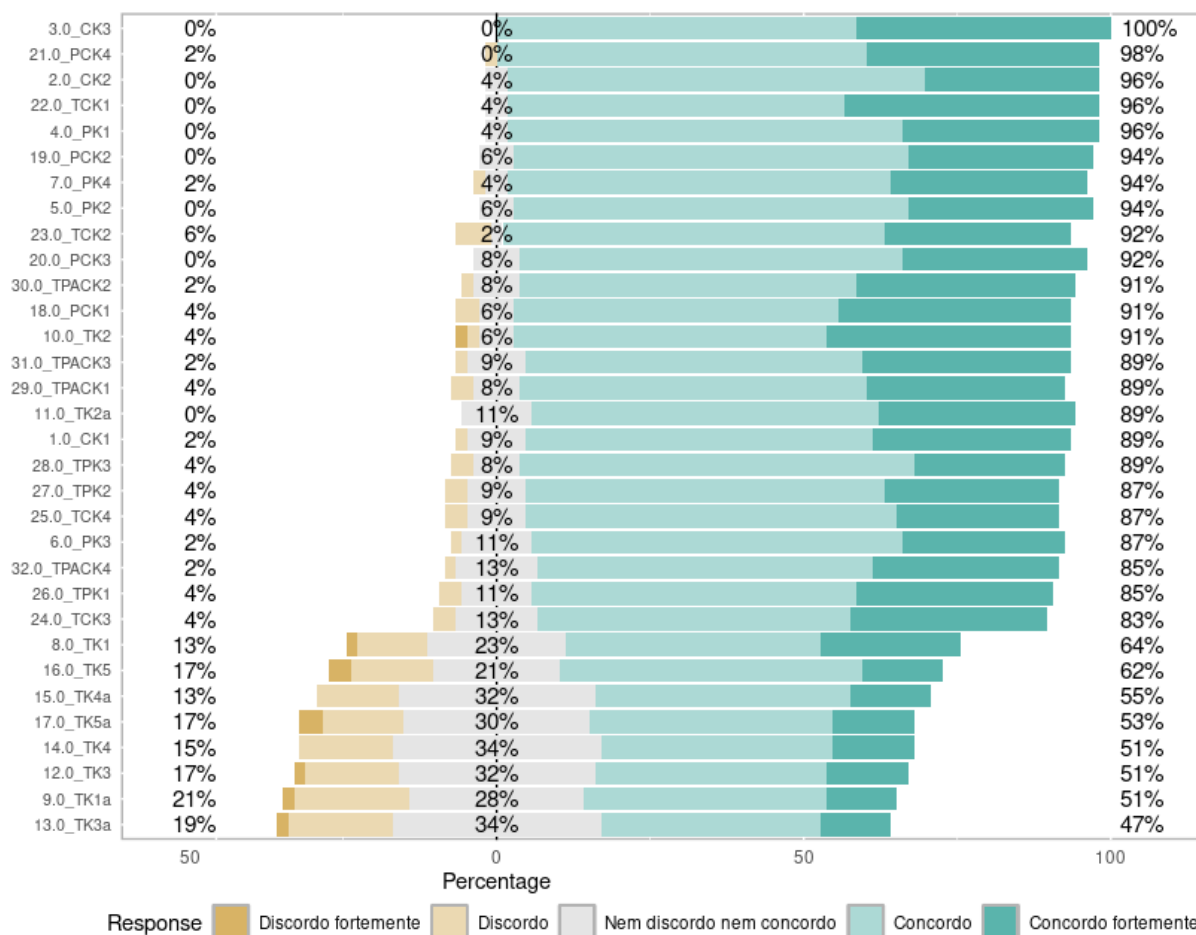
familiaridade com ferramentas *maker*, ou ainda a uma ausência de oportunidades concretas de experimentação em contextos de ensino.

Essa tendência corrobora os achados discutidos na RSL, especialmente os estudos de Huang et al. (2022) e Silva, Nardi Silva e Bilessimo (2020), que mostram desafios recorrentes enfrentados por professores, no que se refere à utilização técnica e autônoma de recursos digitais e de prototipagem em contextos educacionais. Encontrei o mesmo padrão para o grupo específico da área de Ciências da Natureza como se verá adiante.

Esses dados reforçam a importância de se considerar, nos processos de formação docente, não apenas o desenvolvimento de competências pedagógicas e de planejamento, mas também, a capacitação técnica efetiva para o uso de tecnologias emergentes, sobretudo aquelas vinculadas à cultura *maker*, de forma articulada às demandas do currículo e às necessidades dos estudantes.

Quando analisei o recorte das respostas para os docentes da área de Ciências da Natureza, distribuídos com o seguinte perfil de formação – Física: 34,3%, Biologia: 28,6% e Química: 28,6%, Ciências da Natureza com Habilitação em física ou química: 5,7% e Farmácia: 2,9% – alguns deles com dupla formação (um em física e ciências; um em biologia e química; dois em física e química; um em química e farmácia), notei um padrão similar ao grupo todo (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Percentual de respostas para cada item do construto TPACK considerando apenas os respondentes que atuam em alguma área de Ciências da Natureza no Ensino Médio



Fonte: Elaborado pelo autor no RStudio.

Os resultados sugerem uma tendência consistente de autopercepção positiva quanto à integração entre conhecimentos pedagógicos, tecnológicos e de conteúdo, ainda que com variações pontuais entre os diferentes componentes do modelo. Essa tendência cai para subitens específicos do Conhecimento Tecnológico (TK).

A partir da análise do Gráfico 4, observa-se uma tendência de concordância (soma das categorias “concordo” e “concordo fortemente”) em mais de 50% das respostas para a maioria dos itens do instrumento TPACK. Esse padrão indica uma autopercepção positiva dos professores quanto à sua competência para integrar conhecimentos pedagógicos, tecnológicos e de conteúdo no ensino dos componentes da área de Ciências da Natureza.

Entretanto, essa tendência não se mantém para todos os itens. O item TK3a, que avalia a habilidade dos professores em lidar com questões técnicas associadas a ferramentas de prototipagem física, apresentou o menor índice de concordância (47%), acompanhado do

segundo maior percentual de discordância (19%) entre todos os itens. Esse resultado sugere uma fragilidade percebida no domínio técnico-operacional de tecnologias ligadas à cultura *maker*, refletindo uma lacuna recorrente na formação docente, como discutido por Silva, Nardi Silva e Bilessimo (2020) e Huang et al. (2022).

Chama a atenção para as respostas aos itens TK2 (Posso facilmente aprender a usar diferentes ferramentas de fabricação digital) e TK2a (Posso facilmente aprender a usar diferentes ferramentas prototipagem física), cujo nível de concordância chega a 91% para TK2 e 89% para TK2a, respostas que destoam dos demais componentes TK. Os dois itens com alto nível de concordância estão relacionados à possibilidade de aprenderem a usar determinadas tecnologias, enquanto os demais componentes da dimensão TK estão mais associados ao domínio de conhecimentos, ferramentas e *softwares* para, efetivamente, operar os dispositivos. Ou seja, os docentes se sentem muito capazes de aprender, apesar de boa parte indicar que não os domina.

Já os itens com os maiores índices de concordância (acima de 90%) estão concentrados nos construtos CK (Conhecimento do Conteúdo), PK (Conhecimento Pedagógico) e PCK (Conhecimento Pedagógico do Conteúdo). Isso indica que os professores se sentem mais seguros ao trabalhar com o conteúdo específico de suas áreas e ao aplicar estratégias pedagógicas de ensino e aprendizagem consolidadas.

Itens dos construtos TPACK, TCK e TPK, que envolvem a articulação entre conteúdo, pedagogia e tecnologia, também apresentam índices consistentes de concordância (acima de 80%), sugerindo um reconhecimento, por parte dos professores, de sua capacidade para integrar esses domínios de forma significativa no contexto escolar.

No geral, o gráfico evidencia que, embora os professores de Ciências da Natureza demonstrem alto nível de autoconfiança na articulação pedagógica e de conteúdo, ainda há desafios no domínio técnico de ferramentas tecnológicas, especialmente aquelas relacionadas aos espaços *maker*.

A partir dos resultados obtidos, emergem algumas questões para a compreensão do modo como as tecnologias são apropriadas no contexto das práticas docentes: as tecnologias, de fato, estão presentes nas práticas pedagógicas? De qual maneira essa presença se manifesta? Quais tipos de atividades são mobilizadas com o apoio de recursos tecnológicos? Além disso, é pertinente questionar se as menores pontuações atribuídas aos itens do construto TK (Conhecimento Tecnológico) podem estar relacionadas a uma baixa frequência ou diversidade no uso de tecnologias em sala de aula. Essas são algumas das questões que orientam as análises apresentadas nas seções a seguir.

5.2 PERFIL DOS GRUPOS DE ANÁLISE

A Tabela 3 apresenta exclusivamente o perfil dos respondentes que atuam no Ensino Médio e que possuem formação inicial em alguma das áreas das Ciências da Natureza (biologia, física, química ou ciências). Além disso, o quadro inclui um mapa de calor construído com base na média aritmética simples das respostas dos participantes à escala Likert do questionário TMTSI adaptado.

A coluna denominada ID corresponde a um identificador numérico atribuído a cada professor, preservando o anonimato dos participantes. A linha TOTAL indica o número total de professores graduados em cada uma das quatro áreas consideradas.

O mapa de calor foi gerado, por meio da ferramenta de formatação condicional do Google Planilhas. Nesse esquema de cores, as células com valores mais próximos de 5,00 são representadas em tons de verde, indicando maior concordância quanto mais escuro o tom; valores próximos de 1,00 são representados em tons de vermelho, sinalizando maior discordância quanto mais escuro o tom; e os valores intermediários são apresentados em tons amarelados, refletindo respostas mais neutras ou moderadas.

As linhas correspondentes aos IDs destacados em verde claro foram os professores escolhidos para aprofundamento da pesquisa. Os critérios para seleção foram apresentados no Quadro 11 (Seção 4.3). A definição dos três grupos se deu utilizando-se como parâmetro o valor da média do constructo TPACK (4,2) e de um desvio padrão acima da média (4,84) e um desvio padrão abaixo da média (3,56). Nesse caso, os professores selecionados apresentam o seguinte perfil: grupo A – dois com TPACK 5,00 e um com 4,75; grupo B – três com TPACK 4,00; grupo C – um com TPACK 3,25, um com 3,00 e um com 2,25.

Tabela 3 – Mapa de calor das respostas do instrumento TMTSI adaptado dos professores de Ciências da Natureza que atuam no Ensino Médio

ID	Média simples das respostas para cada constructo do TPACK							BIO	FIS	QMC	CN	ADM	FAR	MTM	EF	EM	EJA
	CK	PK	TK	PCK	TCK	TPK	TPACK										
1	5,00	5,00	4,80	5,00	5,00	5,00	5,00		1					1	1	1	
35	4,67	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00		1					1		1	
23	4,67	4,75	4,10	5,00	5,00	5,00	5,00		1		1				1	1	
31	4,00	4,75	4,70	4,75	4,75	4,33	5,00		1							1	
38	4,00	5,00	3,50	5,00	4,75	5,00	5,00	1		1						1	
29	4,67	5,00	4,20	5,00	4,50	5,00	4,75		1							1	
8	4,33	4,00	4,40	4,75	5,00	5,00	4,75			1						1	
14	5,00	5,00	3,80	5,00	4,25	4,67	4,75	1								1	
20	5,00	4,00	4,30	4,25	4,75	4,67	4,75		1	1						1	
50	4,67	3,75	4,20	4,50	4,50	5,00	4,75		1							1	
43	5,00	5,00	3,10	4,50	4,50	4,67	4,75	1							1	1	1
15	4,67	5,00	3,10	4,75	4,25	4,00	4,75			1			1			1	
19	5,00	5,00	3,90	5,00	5,00	4,33	4,50	1								1	
13	4,00	4,00	4,20	4,00	4,00	4,00	4,25		1			1		1		1	
28	4,00	4,25	4,30	4,00	4,75	4,33	4,00			1						1	
37	4,33	5,00	4,20	4,00	4,00	4,00	4,00		1					1		1	
17	4,00	4,00	3,60	5,00	4,50	4,00	4,00			1					1	1	
11	4,67	4,25	3,80	4,00	4,00	4,00	4,00	1								1	
25	4,33	3,75	3,90	4,00	4,00	4,00	4,00		1							1	
51	4,00	4,00	3,80	4,00	4,00	4,00	4,00	1								1	
45	4,00	4,00	3,50	4,00	4,00	4,00	4,00			1				1		1	
6	3,67	3,75	3,40	4,00	4,00	4,00	4,00				1				1	1	
30	5,00	4,00	2,60	4,00	3,50	3,67	3,75	1								1	
53	4,00	4,00	3,10	3,25	3,75	3,67	3,75		1	1						1	
5	4,67	3,00	2,90	4,00	3,25	3,67	3,75	1							1	1	
4	4,33	3,50	2,10	4,00	4,00	3,67	3,75	1								1	1
33	4,00	3,25	3,10	3,50	4,00	4,00	3,25	1							1	1	1
52	4,00	4,00	2,40	3,50	2,50	2,00	3,25			1						1	1
44	4,00	4,00	3,20	4,00	4,00	3,33	3,00			1						1	
32	5,00	3,75	3,20	3,75	3,50	2,33	2,25		1							1	
TOTAL								10	12	10	2	1	1	5	7	30	

Fonte: elaborado pelo autor.

Os nove professores participantes da pesquisa são provenientes de escolas localizadas nos municípios de Itajaí, Jaraguá do Sul, Joinville, Lages, São José, Tijucas e Tubarão, abrangendo 43,75% das unidades escolares do Sesi em Santa Catarina. Essa distribuição geográfica contribui para uma análise mais heterogênea, permitindo conclusões mais amplas e favorecendo a construção de perfis docentes com maior potencial interpretativo dentro do contexto da rede de ensino investigada.

Todos os professores convidados aceitaram participar da pesquisa. As entrevistas foram realizadas virtualmente entre novembro de 2024 e agosto de 2025, com duração média de três horas. Na primeira parte da entrevista, foram revisitados os registros das aulas, com o

objetivo de possibilitar ao pesquisador compreender as metodologias e tecnologias utilizadas, a forma como o docente conduziu as atividades e o papel desempenhado pelos estudantes. Essa etapa teve duração aproximada de duas horas. Na segunda parte, foi conduzida uma entrevista semiestruturada voltada à compreensão dos obstáculos e potencialidades relacionados ao uso de recursos e tecnologias associadas aos espaços *maker* em aulas de Ciências da Natureza.

O Quadro 18 apresenta os componentes e unidades curriculares trabalhados pelos professores selecionados em 2024.

Quadro 18 – Perfil de atuação dos professores selecionados da rede Sesi/SC

Prof. ID	Tempo de docência (em anos)	Docência no EM Sesi/SC (em anos)	BIO	FIS	QMC	BHK	G&A	FDMG	ROB	PL
GRUPO A										
23	11	10		X					X	X
38	8	8			X			X		X
43	13	até 2	X			X				X
GRUPO B										
28	14	12			X		X	X		X
11	5	até 2	X	X		X		X		
25	23	17		X					X	X
GRUPO C										
33	13	15	X			X				X
32	12	11		X			X		X	X
44	12	12			X			X		X

Fonte: elaborado pelo autor.

Devido a dificuldades na definição de agendas, não foi possível coletar dados com os docentes P33 e P38. Considerando o encerramento da pesquisa, optei por prosseguir sem essas contribuições. Avaliei, contudo, que os demais participantes asseguraram uma representação adequada dos grupos A, B e C, bem como dos três componentes curriculares da área (biologia, física e química).

5.3 ANÁLISE DAS AULAS

As rubricas foram aplicadas conforme os procedimentos descritos nas Seções 4.3 e 4.4. A seguir, apresento as análises dessas aplicações, com o objetivo de compreender as características do TPACK de cada docente. A análise tem início com os professores do grupo C, seguida pelos do grupo B e, por fim, pelos do grupo A, cujo critério de organização foi puramente operacional em função da ordem em que as entrevistas foram conduzidas. Inicialmente, descrevo as características gerais da organização curricular das aulas ministradas pelos professores. Em seguida, são apresentadas as aplicações das rubricas SAMR (TCK) e ICAP (PCK), que subsidiaram a discussão sobre o perfil TPACK de cada participante.

Para cada docente, foi avaliado o perfil geral de suas aulas, agrupadas em cinco categorias de atividades: ensino de conteúdos da área de formação (física, química ou biologia) ou unidade curricular de atuação do docente (robótica, fabricação digital e modelamento geométrico e *biohackeria*), revisões, avaliações, eventos e outros. A partir desses agrupamentos, realizei um segundo nível de análise, especificamente, sobre a categoria “ensino de conteúdos da área de formação ou unidade curricular de atuação do docente”. Esse processo não apenas possibilitou uma compreensão do perfil geral das aulas de cada professor, mas também, identificar aquelas cujo foco central estava no ensino de conteúdos da área ou unidade curricular e as formas de integração de tecnologias em cada uma delas, em especial as associadas aos espaços *maker*.

Para a análise das rubricas, identifiquei as tecnologias utilizadas pelos docentes em um conjunto específico de aulas, examinando as formas de uso, de modo a classificar cada tecnologia conforme os níveis descritos nas rubricas. Os resultados dessa análise são apresentados em quadros que indicam a tecnologia analisada, o nível atribuído e a justificativa correspondente àquela classificação.

5.3.1 Grupo C – Professor 32 (P32)

Foram acessados os registros de aulas do componente de Física da área de Ciências da Natureza do primeiro ano do EM e as aulas da unidade curricular intitulada de Robótica I para uma turma da segunda série do Ensino Médio, ministradas por P32. Em ambos os casos, os registros cobriram os meses de fevereiro até novembro de 2024.

Análise da unidade curricular de Física

A unidade curricular de Física consistiu em 71 aulas de 50 minutos realizadas duas vezes por semana em dias diferentes. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 19.

Quadro 19 – P32: dados percentuais do número de aulas de física e suas características

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo da física	Aulas com explicações teóricas e conceituais (ex: posição, velocidade, MRU/MRUV, lançamento vertical, queda livre, movimento circular); resolução e correção de exercícios (inclusive na Geekie); estudos dirigidos; experimentos (queda livre, circunferência etc.); uso de tecnologias (Forms, <i>webquest</i> , Kahoot); criação de jogos (<i>card game</i>); bate-papo com foco conceitual; correções de avaliações; resolução e correção de exercícios; exibição de episódio da série Cosmos.	47 (66,1%)
Eventos	Organização ou participação em eventos escolares: Interclasse, Festa da Colheita, Mostra STEAM, palestra, apresentação de trabalhos premiados.	8 (11,27%)
Revisões	Revisões gerais, preparação para o Avalia Sesi, retomada de conteúdos antes de avaliações.	6 (8,45%)
Outros	Faltas do professor (incluindo por motivos de saúde e formação), substituições, planeamento inicial da UC, organização do portfólio, orientações administrativas ou comportamentais sem foco direto no conteúdo físico.	6 (8,45%)
Avaliações	Aplicação de avaliações formais; provas sobre cinemática, queda livre, lançamento vertical; avaliação de recuperação.	4 (5,63%)
Total de registros		71

Fonte: elaborado pelo autor.

É possível observar que 33,9% das aulas se deram para atividades de revisão, avaliação, eventos e outras não vinculadas a situações de ensino de conteúdos da área. O perfil das 47 aulas da categoria “ensino de conteúdos da física” pode ser visualizado no Quadro 20.

Verifica-se a predominância das aulas em atividades expositivas e discussão de conteúdos, resolução e correção de exercícios. De modo geral, as aulas estavam ancoradas no material didático digital (Plataforma Geekie). Cada estudante pôde acessá-lo por meio de um *chromebook* individual. No material digital, os estudantes têm acesso ao conteúdo básico da unidade curricular, trilhas com exercícios indicados pelo professor e indicações de vídeos. Além disso, o professor criou uma sala virtual na ferramenta Google *Classroom* para que pudesse compartilhar instruções sobre as atividades e para que os estudantes pudessem realizar entregas de suas produções. Não identifiquei atividades associadas ao movimento e/ou laboratórios *maker*.

Quadro 20 – P32: perfil das aulas vinculadas à categoria “ensino de conteúdos da física”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Resolução e correção de exercícios (em aula)	Atividades com resolução de questões propostas pelo professor, envolvendo cálculos, análises de gráficos e interpretação conceitual. Correção coletiva de atividades anteriores, especialmente exercícios da plataforma GEEKIE ou propostos em sala.	19 (40,43%)
Explicações e discussões teóricas	Apresentação e discussão de conceitos como referencial, posição, MRU, MRUV, velocidade média, aceleração, queda livre, lançamento vertical, movimento circular a partir de recursos diversos (Apresentações, Geekie, Kahoot, Google Forms).	16 (34,04%)
Atividades práticas e experimentais	Aulas com demonstração de experimento e prática com materiais simples (queda livre com discussão da resistência do ar; atividade com circunferências e barbante para trabalhar o círculo trigonométrico).	4 (8,51%)
Criação de recursos didáticos (<i>card game</i>)	Elaboração de jogo de cartas com base em conceitos de cinemática e física do cotidiano.	3 (6,38%)
Estudos dirigidos (plataforma GEEKIE)	Atividades orientadas na plataforma digital GEEKIE.	2 (4,26%)
Correção de avaliações	Aulas focadas na análise e correção de avaliações aplicadas.	2 (4,24%)
Apresentações de conteúdos audiovisuais	Exibição de episódios com discussão conceitual associada ao conteúdo de Cinemática (Episódio da série Cosmos).	1 (2,13%)
Total		47

Fonte: elaborado pelo autor.

Identifiquei seis tecnologias que se destacaram no conjunto de seis aulas para avaliar, a partir das rubricas ICAP e SAMR. O resultado é apresentado no Quadro 21.

Para o indicador ICAP, 50% (3 de 6) das atividades permeadas pelas tecnologias indicam a atuação ativa dos estudantes; 50% (3 de 6) atuação construtiva. De modo geral, as tecnologias (computadores, vídeos, material didático digital da Geekie, fotografias, *webquests*, kahoot e Google Docs) foram utilizadas pelos estudantes para buscar conteúdos ou completar tarefas que, em alguns casos, tiveram potencial de construção de novos conceitos. Já para o indicador SAMR, as pontuações apresentadas indicam que 33,3% (2 de 6) estiveram associadas ao nível de substituição; 66,7% (4 de 6) no nível de ampliação, indicando que as tecnologias aparecem como ferramentas que substituem outras estratégias, mas não agregam ganhos para potencializar a apropriação de conhecimentos estudados.

Quadro 21 – Rubricas aplicadas às tecnologias em física

(continua)

Ciências da Natureza I (Física)				
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: cinemática. Descrição: apresenta-se material da plataforma Geekie sobre o tema. A aula é conduzida de forma mais expositiva, abordando conceitos e exemplos comuns da área. Os estudantes devem preencher, individualmente, um roteiro de atividades no Google <i>Forms</i>. O professor também disponibiliza uma <i>webquest</i> no Google Docs para que os estudantes realizem uma pesquisa em duplas. A pesquisa trata de conceitos de movimento, como referencial, repouso, posição e velocidade, utilizando tanto a internet quanto o material digital da Geekie. Com base nessa pesquisa, os estudantes deveriam elaborar, em papel, um mapa conceitual correlacionando os conceitos. Na <i>webquest</i> foram disponibilizados vídeos com exemplos de construção de mapas mentais, a fim de apoiar os estudantes. Durante as pesquisas, o professor circulava entre as duplas para acompanhar o desenvolvimento, oferecer explicações e apoiar os estudantes.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Google <i>Forms</i>	Ativo	Os estudantes interagem individualmente com o roteiro, respondendo e registrando suas aprendizagens sem construir novos significados.	Substituição	O <i>Forms</i> substitui um questionário impresso tradicional, sem alterar de forma significativa a tarefa pedagógica.
Computador	Construtivo	Usado como meio para acessar materiais, pesquisar e registrar informações; promove engajamento e discussão com potencial de construção de novos conhecimentos.	Ampliação	Permite acessar múltiplos recursos digitais (material Geekie, pesquisas <i>on-line</i>), ampliando as funcionalidades em relação ao uso de materiais físicos.
Vídeos	Ativo	Estudantes podem manipular ativamente os vídeos ao usar os exemplos de construção de mapas mentais como guia para suas próprias produções.	Ampliação	Substitui a explicação do professor, mas amplia a experiência ao permitir visualização repetida e exemplificada de mapas mentais.
<i>Webquest</i>	Construtivo	Os estudantes pesquisam em duplas, relacionam conceitos e produzem mapas conceituais, com potencial de envolver construção de novos significados.	Ampliação	A tarefa é ampliada com o uso da <i>webquest</i> , pois envolve pesquisa guiada, integração de diferentes fontes e produção de síntese (mapa conceitual), o que seria difícil de implementar da mesma forma em um formato puramente analógico.
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: cinemática. Descrição: utilizando os <i>Chromebooks</i>, os estudantes deveriam pesquisar, no livro digital da Geekie e na internet, conceitos do dia a dia relacionados à cinemática, como aceleração, velocidade, autonomia e consumo de combustível. Organizados em duplas ou trios, os grupos deveriam elaborar cartas no estilo “Magic”, representando características de carros elétricos, tais como velocidade máxima, autonomia, tempo necessário para acelerar de 0 a 100 km/h e peso. As cartas eram produzidas em papel, com design criativo desenvolvido pelos próprios estudantes. Ao final, cada grupo deveria fotografar suas cartas e enviá-las ao professor pelo Google <i>Classroom</i>.				

Quadro 21 – Rubricas aplicadas às tecnologias em física

(conclusão)

Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Computador com acesso à internet	Construtivo	Os estudantes não apenas consomem informações, mas deveriam reinterpretar conceitos de cinemática para criar representações novas (cartas), estabelecendo relações entre teoria e prática no dia a dia.	Ampliação	O computador amplia as possibilidades de acesso a informações e materiais de apoio (livro digital e internet), mas o uso se mantém em nível de suporte, sem transformar a prática pedagógica significativa.
Fotografia	Ativo	O ato de fotografar e enviar é funcional e envolve participação ativa, mas não promove elaboração conceitual adicional.	Substituição	A fotografia substitui a entrega física das cartas, atuando como meio prático de registro e compartilhamento, mas não altera o processo pedagógico central.

Fonte: elaborado pelo autor.

Na primeira atividade (*Google Forms*, *Webquest* e vídeos), o uso das tecnologias se concentrou no apoio à pesquisa e sistematização de conceitos básicos. O *Forms* atuou como instrumento de registro individual, favorecendo uma postura mais ativa, mas ainda com foco na reprodução de conceitos (ICAP), e situado no nível de substituição/ampliação (SAMR). Já a *Webquest* e os vídeos ampliaram a autonomia e ofereceram apoio à organização do conhecimento, permitindo práticas mais construtivas (ICAP), embora ainda em um nível de ampliação (SAMR). A produção do mapa conceitual em papel foi o momento com maior potencial de envolvimento cognitivo, mas a tecnologia serviu mais como suporte do que como elemento transformador da prática.

Na segunda atividade (pesquisa, elaboração de cartas e uso de fotografia), a ênfase recaiu na criatividade e na transposição de conceitos abstratos para um formato de jogo. A pesquisa em fontes digitais novamente caracterizou-se como construtiva (ICAP) e localizada no nível de ampliação (SAMR). O diferencial esteve na elaboração das cartas, que demandou reorganização conceitual e produção autoral, reforçando o caráter construtivo da proposta. Contudo, a fotografia usada para registro e envio limitou-se a um papel funcional, situada no nível ativo (ICAP) e de substituição (SAMR).

No ICAP, ambas alcançaram momentos de construção de conhecimento, mas ainda restritos a etapas específicas das atividades. No SAMR, nenhuma ultrapassou o patamar de ampliação, o que indica que as tecnologias funcionaram mais como suporte funcional ou de acesso a conteúdos, do que transformaram a lógica pedagógica. O foco cognitivo esteve mais nos produtos analógicos (mapa conceitual e cartas) do que na exploração ampliada das

possibilidades tecnológicas. Dessa forma, posso inferir que a integração tecnológica ocorreu de forma mais instrumental.

Análise da unidade curricular de Robótica I

A unidade curricular de Robótica I consistiu 49 aulas realizadas em três aulas-faixa semanais de 50 minutos. Um resumo das categorias de atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 22.

Quadro 22 – P32: características percentuais das aulas de Robótica I

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo de Robótica	Aulas práticas e teóricas sobre Arduino, circuitos, sensores (LDR, ultrassônico), <i>buzzer</i> , servo motor e potenciômetro; uso de programação (blocos e texto); construção de protótipos; introdução a componentes eletrônicos; discussão sobre lógica de programação; atividades no <i>lab maker</i> ; exibição de filmes com vínculo temático (Interestelar, Família Mitchell).	34 (69,39%)
Outros	Aulas integradas com outras turmas/professores; atividades no <i>Minecraft Education</i> com programação em blocos; combinados comportamentais.	6 (12,24%)
Revisões	Aulas sobre portfólio (criação, atualização no <i>Google Sites</i>); organização e revisão de mapas mentais; retomada de conteúdo em formato de síntese ou finalização de projetos com foco em sistematização.	5 (10,20%)
Avaliações	Aplicação de avaliações formais da UC de Robótica.	3 (6,12%)
Eventos	Intervalo cultural.	1 (2,04%)
Total de registros		49

Fonte: elaborado pelo autor.

Observo que 30,61% das aulas se deram para atividades de revisão, avaliação, eventos e outras não vinculadas a situações de ensino de conteúdos da unidade curricular. Identifiquei 11 tecnologias que se destacaram no conjunto de 15 aulas para avaliar a partir das rubricas ICAP e SAMR. No Quadro 23, é possível visualizar a aplicação das rubricas para o componente de Robótica I.

Quadro 23 – P32: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I

(continua)

Robótica I				
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: física, eletricidade e eletrônica. Descrição: o professor utilizou uma apresentação digital (PowerPoint) para introduzir conceitos básicos sobre o Arduino, destacando suas principais funcionalidades, como alimentação, portas digitais e analógicas. A aula incluiu uma simulação no <i>Tinkercad</i> para acionar um LED, acompanhada de exemplos de aplicações da placa/controlador. Foram apresentados ainda conceitos de simbologia de circuitos e esquemas elétricos, enfatizando as diferenças em relação ao simulador <i>Tinkercad</i>. O professor explicou a função de componentes como resistores, LEDs e suas polaridades, além de noções de corrente elétrica e formas de evitar problemas como curtos-circuitos e queima de componentes. Também apresentou a <i>protoboard</i>, suas conexões e ideias de montagem de circuitos. Por fim, os estudantes foram desafiados, no simulador <i>Tinkercad</i>, a montar um circuito e programar o funcionamento de um semáforo utilizando LEDs.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Apresentação Digital (PowerPoint)	Passivo	Os estudantes recebem informações de forma organizada e visual, mas permanecem em papel mais receptivo, com interação limitada ao acompanhamento e anotações.	Substituição	A apresentação substitui o quadro/livro, mas sem alteração significativa na natureza da atividade pedagógica.
<i>Tinkercad</i> (simulação inicial – piscar LED)	Ativo	Os estudantes devem reproduzir a simulação de piscar o LED, sem evidências de construção de novos conhecimentos além dos apresentados pelo docente.	Modificação	O uso do simulador permite testar o circuito e a programação evitando possíveis danos ao material físico, além de ser mais rápido de realizar do que a montagem física.
<i>Tinkercad</i> (atividade do semáforo)	Construtivo	A tarefa demanda elaboração de programação e montagem de circuito, exigindo integração de conceitos e resolução de problemas. Quando realizada em colaboração, aproxima-se da interação.	Modificação	Os estudantes devem recriar o semáforo de forma, unindo programação e eletrônica. O fato de minimizar riscos e ampliar a velocidade dos testes, coloca a tecnologia no nível de modificação da atividade analógica.
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: eletrônica e programação (Controlar LED e <i>Serial Print</i>). Descrição: organizados em grupos de três a quatro integrantes, os estudantes tiveram o primeiro contato com a plataforma Arduino. A proposta envolveu a montagem de circuitos simples com LEDs em uma <i>protoboard</i> e sua programação para acender de forma alternada, simulando o funcionamento de um semáforo. A atividade foi guiada por uma <i>webquest</i> adaptada, que orientou a pesquisa sobre comandos básicos na IDE Arduino, como <code>pinMode</code>, <code>digitalWrite</code>, <code>delay</code> e <code>Serial.println</code>. O professor atuou como mediador, oferecendo explicações sempre que surgiam dúvidas nos grupos. A proposta integrou conteúdos de eletrônica básica e lógica de programação, com o uso de Arduino Uno R3, computadores e materiais eletrônicos simples. A avaliação contemplou a entrega de um relatório reflexivo e o registro da experiência no portfólio dos estudantes.				

Quadro 23 – P32: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I

(continua)

Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Webquest</i>	Ativo	Os estudantes seguem um roteiro estruturado com etapas pré-definidas. Há engajamento na execução, mas pouco espaço para criação ou tomada de decisão autônoma.	Substituição	A <i>webquest</i> substitui materiais impressos por um recurso digital, mas sem transformação significativa da prática pedagógica.
Computador	Ativo	Utilizado para programar no ambiente da IDE Arduino, os alunos aplicam instruções, mas de forma ainda guiada e pouco exploratória.	Ampliação	Amplia a aprendizagem ao permitir testar códigos e visualizar resultados de forma mais rápida e acessível do que em meios tradicionais.
Kit arduino	Ativo	A montagem de circuitos e LEDs é feita a partir de instruções orientadas pelo professor e pelo roteiro, demandando execução prática, mas não exigindo elaboração criativa autônoma.	Ampliação	Amplia as possibilidades de ensino ao permitir a experimentação física de conceitos de eletrônica e programação, mas ainda dentro de tarefas de reprodução guiada.
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: eletrônica e programação (Sensor LDR e semáforo). Descrição: na aula, o professor introduziu as condições necessárias para o funcionamento do circuito, explicando a lógica do comando IF para acender e apagar o LED. Os estudantes aprenderam a utilizar o monitor serial do Arduino para verificar as leituras e compreender que os valores apresentados pelo sensor (LDR) representam a intensidade da luminosidade. Durante a explicação, o professor relacionou a atividade a aplicações práticas, como iluminação pública automatizada ou sistemas residenciais de automação, e destacou a diferença entre sinais digitais (binários) e sinais analógicos (elétricos). Em alguns momentos, também fez menções ao efeito fotoelétrico em resposta a dúvidas dos estudantes. Os alunos foram organizados em grupos e orientados a pesquisar informações em uma <i>webquest</i> e na internet, desenvolvendo as atividades de forma relativamente autônoma, com o professor fornecendo explicações quando necessário, especialmente em pequenos grupos. Inicialmente, os estudantes montaram e testaram o circuito no simulador <i>Tinkercad</i>; em seguida, construíram fisicamente o circuito no Arduino, programando o LED para acender em função da leitura do sensor LDR. A <i>webquest</i> serviu como guia, apresentando passo a passo os materiais, o esquema de montagem e a programação. Ao final, os grupos elaboraram e entregaram um relatório virtual com fotos ou vídeos do processo de construção.				
<i>Webquest</i> (passo a passo)	Ativo	Fornecer instruções detalhadas para execução prática; os alunos reproduzem etapas e manipulam materiais, mas há pouco espaço para criar novas inferências ou replanejar a tarefa.	Substituição	Substitui um roteiro impresso/manual por um guia digital; não transforma a natureza da tarefa. Trata-se de um passo a passo digital que replica procedimentos tradicionais.
<i>Tinkercad</i> (simulação)	Ativo	Os alunos montam e testam virtualmente o circuito seguindo instruções; há manipulação, experimentação e verificação, mas a autonomia investigativa é limitada pelo roteiro passo a passo.	Ampliação	A simulação acelera testes, oferece segurança e <i>feedback</i> imediato; amplia funcionalidade em relação ao experimento físico isolado, sem reformular significativamente a tarefa.

Quadro 23 – P32: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I

(conclusão)

Computador (IDE / pesquisa)	Ativo	Usado para programar segundo o roteiro e acessar materiais de apoio; promove manipulação de ferramentas e execução de tarefas guiadas.	Substituição	No contexto da atividade, o computador serve como alimentação para o Arduino, ou seja, substitui a fonte de alimentação (tomada). Portanto, não há ganhos funcionais que justifiquem o nível de ampliação.
Kit Arduino (montagem física)	Ativo	Montagem e programação física demandam manipulação de componentes e execução prática; porém, por seguir o passo a passo, os alunos realizam mais reprodução técnica com pouco espaço para produção de novos conhecimentos.	Ampliação	Permite resultados práticos que ampliam a experiência (sensor e efeitos reais), mas como a montagem é guiada pelo passo a passo, não redesenha a tarefa. Acrescenta funcionalidade prática sem transformação significativa.
Quantidade de aulas: 6 Conteúdo foco das aulas: circuitos em série, paralelo e medidas de grandezas elétricas. Descrição: o professor percebeu dificuldades dos estudantes na montagem de circuitos elétricos e, por isso, estruturou uma sequência de aulas mais orientada. Inicialmente, utilizou o quadro para explicações introdutórias sobre conceitos de circuitos, resistores e LEDs. Em seguida, projetou o <i>Tinkercad</i> para simular a montagem, contextualizando o funcionamento do circuito. Posteriormente, levou o kit Arduino para alimentação real dos circuitos. Trabalhou com resistores em série e paralelo, medindo corrente e tensão com multímetro, e explorou as diferenças entre ligações de LEDs em série e paralelo. Por fim, os estudantes montaram circuitos utilizando LEDs, percebendo suas funções no acender e apagar de forma prática.				
Kit arduino	Ativo	Os estudantes manipulam fisicamente os componentes, montam circuitos e testam ligações, o que exige ação prática, mas dentro de um roteiro dirigido pelo professor.	Ampliação	Amplia a experiência em relação ao quadro ou explicações teóricas, pois possibilita medir e observar resultados reais (corrente, tensão, LEDs acendendo), mas não redefine a natureza da atividade.

Fonte: elaborado pelo autor.

Com base nas classificações apresentadas no Quadro 23 referentes ao indicador ICAP, observa-se que 9,1% das tecnologias analisadas (1 de 11) indicaram uma atuação passiva dos estudantes, enquanto 81,81% (9 de 11) revelaram uma atuação ativa, e 9,1% (1 de 11) atuação construtiva. As práticas se caracterizam pelo predomínio de situações que situam os estudantes no nível ativo do indicador ICAP. Nessa configuração, os alunos interagem com ferramentas como computadores, *Tinkercad*, kits Arduino e *webquests* para executar atividades orientadas pelo professor, sobretudo na reprodução de montagens previamente determinadas. Embora tenha havido registros pontuais de práticas no nível construtivo, estas se mostraram pontuais, uma vez que a maior parte das tarefas se concentrou na familiarização inicial com componentes e linguagens básicas de programação/robótica. Esse resultado está diretamente relacionado ao caráter introdutório da disciplina, voltada a estudantes em seus primeiros contatos com as ferramentas de eletrônica e programação. O docente reconhece que, em etapas posteriores do

curso, como na Robótica ofertada na 3ª série do Ensino Médio, há maior espaço para a criação e autoria, quando os estudantes já possuiriam maior domínio dos princípios básicos.

No que se refere ao indicador SAMR, as pontuações obtidas indicam que 36,36% (4 de 11) das tecnologias se enquadram no nível de substituição, outros 45,45% (5 de 11) no nível de ampliação e 18,18% (2 de 11) no nível de modificação. Isso significa que, embora as tecnologias estejam integradas às aulas, elas são utilizadas, em grande parte, como ferramentas que reproduzem ou ampliam práticas já conhecidas, com baixo impacto transformador dos processos de ensino e aprendizagem. A *Webquest*, por exemplo, funcionou essencialmente como um guia digital, substituindo roteiros impressos, enquanto o computador e o kit Arduino permitiram ampliar as possibilidades de visualização, montagem e programação, embora de forma ainda dirigida. As experiências mais próximas de modificação ocorreram com o simulador *Tinkercad*, que viabilizou a simulação segura de circuitos e códigos, reduzindo riscos de danos aos componentes físicos, agilizando a prática e favorecendo a compreensão de conceitos que, em uma abordagem predominante concreta/física, demandaria mais tempo e recursos.

Síntese do TPACK de P32

Do ponto de vista da integração entre conhecimento de conteúdo e tecnologia (TCK), P32 procurou estabelecer pontes entre a Robótica e a Física, ainda que não fosse o objetivo central da unidade curricular. Foram trabalhados conceitos como tensão, corrente elétrica, portas digitais e analógicas, polaridade de LEDs, uso de resistores e funcionamento de sensores como LDR, potenciômetro e sensor ultrassônico. Esse movimento evidencia uma tentativa de articular conteúdos da área de Ciências da Natureza com a lógica de programação e a exploração de circuitos, ampliando o potencial pedagógico do Arduino, como apoio ao ensino desses conteúdos.

Um episódio ilustrativo dessa integração foi a sequência de aulas em que o docente, ao perceber dificuldades recorrentes dos estudantes na montagem de circuitos simples (Figura 24), organizou uma sequência didática que articulou teoria, simulação e prática. Inicialmente, retomou conceitos fundamentais de ligações em série e paralelo, por meio de explicações no quadro e de imagens da internet. Em seguida, utilizou o *Tinkercad* e o simulador PhET Colorado para promover uma visualização interativa de conceitos associados a eletricidade e circuitos. Por fim, conduziu experimentos práticos em que os alunos montaram circuitos com resistores e LEDs alimentados por placas Arduino, realizando medições de corrente e tensão com multímetros. Essa abordagem demonstra o esforço do professor em não apenas instrumentalizar

apoio ou gestão, sem efetivamente potencializar a compreensão conceitual ou gerar novas formas de engajamento.

Já no componente de Robótica I, observa-se um cenário distinto. Trata-se de uma unidade curricular introdutória, voltada à familiarização com kits Arduino, simuladores digitais (*Tinkercad*) e conceitos básicos de eletrônica e programação. Os estudantes realizam atividades práticas em grupo, ainda que fortemente dirigidas, com foco na reprodução de circuitos e códigos predefinidos. O uso das tecnologias é mais diversificado e recorrente do que em Física, mas se mantém em grande parte instrumental e guiado por *webquests* estruturadas em formato de passo a passo, o que reduz o espaço para criação e autonomia dos estudantes. Mesmo assim, a presença mais constante da tecnologia na prática de P32 confere à disciplina um perfil de aceitação, no qual o docente reconhece seu potencial pedagógico, mas ainda a emprega de forma limitada em termos de inovação.

A diferença entre os dois componentes evidencia como a natureza curricular influencia diretamente as manifestações do TPACK. A Física, enquanto disciplina tradicional, possui um currículo consolidado, materiais de referência mais consolidados e expectativas externas fortemente associadas a avaliações institucionais, o que tende a reforçar práticas que privilegiam o conteúdo em relação às experiências pedagógicas e tecnológicas. Já a Robótica, fruto das diretrizes do Novo Ensino Médio e da ênfase institucional em itinerários formativos, oferece maior liberdade de experimentação ao professor. No entanto, essa liberdade não resulta necessariamente em práticas transformadoras, já que aspectos como a ausência de parâmetros curriculares explícitos, a falta de integração sistemática entre tecnologia e conteúdo, além de limitações formativas do docente, acabam por limitar a potencialidade da unidade.

O próprio docente reconhece benefícios da abordagem *maker* e da Robótica para ampliar a motivação e o engajamento dos estudantes. Contudo, tais benefícios não se traduzem em mudanças efetivas no ensino de Física, em que os custos em termos de tempo, planejamento e adequação curricular são percebidos como superiores aos ganhos pedagógicos.

De modo mais amplo, o caso de P32 sugere que o desenvolvimento do TPACK não é homogêneo, mas condicionado pelo tipo de unidade curricular em que o professor atua. Em disciplinas tradicionais, a tecnologia é utilizada de forma periférica, enquanto em componentes novos, como Robótica, ocupa papel central, ainda que não transformador. Essa diferença reforça a tese de que a flexibilização curricular, a disponibilidade de materiais de referência, o repertório tecnológico oferecido pela rede e os valores institucionais influenciam diretamente a forma como os docentes mobilizam o TPACK em situações de ensino. Em última instância, o fator decisivo para a variação do TPACK não é apenas o acesso à tecnologia, mas a natureza

epistemológica da unidade curricular: se vinculada a uma área de conhecimento tradicional ou a um campo emergente.

5.3.2 Grupo C – Professor 44 (P44)

Obtive registros das aulas do componente de Química da área de Ciências da Natureza do 1º ano do EM e a aulas da unidade curricular intitulada de Fabricação Digital e Modelamento Geométrico I para uma turma da 2ª série do EM ministradas por P44. Em ambos os casos, os registros cobriram os meses de fevereiro até novembro de 2024.

Análise da unidade curricular de Química:

Acessei registros de 24 aulas de química, de 50 minutos, realizadas semanalmente em aulas-faixa. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 24.

Quadro 24 – P44: características percentuais das aulas de química

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo da química	Aulas expositivas e explicativas sobre conteúdos específicos: conceitos fundamentais, propriedades da matéria, modelos atômicos, identificação dos átomos, distribuição eletrônica.	18 (75%)
Eventos	Atividades extracurriculares ou paralelas ao conteúdo (jogos interséries).	2 (8,33%)
Revisões	Aulas voltadas à retomada de conteúdos para preparação para avaliação institucional em larga escala (Revisão para Avaliação Sesi).	2 (8,33%)
Outros	--	--
Avaliações	Momentos destinados à realização de provas e entrega de listas avaliativas (Prova PPE e Lista de exercícios).	2 (8,33%)
Total de registros		24

Fonte: elaborado pelo autor.

Noto que 25% das aulas se deram para atividades de revisão, avaliação, eventos não vinculados a situações de ensino de conteúdos da área. Não foram identificadas atividades classificáveis na categoria outros. No Quadro 25 pode-se verificar o perfil das aulas da categoria “ensino de conteúdos da química”.

Quadro 25 – P44: perfil das aulas vinculadas à categoria “ensino de conteúdos da física”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Exposições dialogadas e resolução de exercícios	Atividades baseadas em apresentações de <i>slides</i> construídas pelo professor, incluindo exemplos e práticas de resolução de exercícios teóricos; exploração de simulador Phet Colorado para montagem de átomos. As apresentações costumam ter imagens dos cientistas e seus experimentos, modelos teóricos e animações, além de fórmulas e diagramas.	14 (75%)
Atividade prática	Construção de átomos com materiais concretos (palitos de madeira e massinha de modelar).	4 (25%)
Total		18

Fonte: elaborado pelo autor.

Observo a predominância das aulas em atividades expositivas dialogadas de conteúdos e resolução de exercícios. De modo geral, as aulas foram conduzidas com base em apresentações elaboradas pelo professor. Além disso, ele criou uma sala virtual na ferramenta Google *Classroom* para que pudesse compartilhar instruções sobre as atividades e para que os estudantes pudessem realizar as entregas de suas produções. Não foram identificadas atividades associadas ao movimento e/ou laboratórios *maker* nessas aulas.

Avaliei três tecnologias que se destacaram ao longo de seis aulas, a partir das rubricas ICAP e SAMR, como apresentado no Quadro 26.

A análise das aulas de Química ministradas por P44 revela um perfil de integração tecnológica marcado pela predominância de práticas centradas na exposição e sistematização dos conteúdos, com reduzido espaço para a autonomia dos estudantes. No que se refere ao indicador ICAP, observo que 66,67% (2 de 3) das tecnologias analisadas estiveram associadas a práticas de caráter passivo, enquanto apenas 33,33% (1 de 3) corresponderam a situações classificadas como construtivas. Essa atuação construtiva esteve vinculada ao uso do simulador PhET Colorado (Monte um átomo), recurso que possibilitou, aos estudantes, manipular variáveis, montar átomos e, assim, elaborar compreensões mais dinâmicas a respeito dos conceitos de partículas subatômicas e estrutura atômica. Apesar desse momento de maior engajamento, os dados indicam que a maior parte das tecnologias foi utilizada de forma a sustentar práticas centradas na recepção de informações e reprodução de exercícios, sem gerar transformações significativas na lógica do ensino e aprendizagem.

Em termos do modelo SAMR, identifico a mesma tendência. Observo que em 66,67% (2 de 3) das tecnologias foram classificadas no nível de substituição, pois recursos digitais como apresentações ou materiais didáticos digitais foram empregados como alternativas às práticas tradicionais, sem alteração substantiva no desenho pedagógico. Já em 33,33% (1 de 3) das

tecnologias situaram-se no nível de ampliação, particularmente no caso do uso do simulador PhET Colorado, que proporcionou maior interatividade e favoreceu a visualização de conceitos abstratos. Entretanto, não verifiquei evidências consistentes de práticas situadas nos níveis mais elevados da escala, como modificação ou redefinição.

Quadro 26 – Rubricas aplicadas às tecnologias em Química

Ciências da Natureza (Química I)				
Quantidade de aulas: 4 Conteúdo foco das aulas: modelos atômicos. Descrição: o professor(a) utilizou uma apresentação digital para expor as principais características dos modelos atômicos e destacar suas diferenças. Em seguida, organizados em grupos, os estudantes construíram seus próprios modelos, utilizando materiais como massinha de modelar e palitos. Cada grupo ficou responsável por elaborar um modelo distinto. Após a finalização, os estudantes apresentaram suas produções, explicando as partes que compunham o modelo, de acordo com o que havia sido estudado em sala. A partir dessas apresentações, o(a) professor(a) retomou as características de cada modelo, sistematizando e aprofundando os conceitos, especialmente no que se refere à evolução histórica e conceitual dos modelos atômicos.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Apresentação Digital (Google apresentações)	Passivo	Os estudantes apenas assistem à exposição de <i>slides</i> , recebendo informações sem interagir com a tecnologia. Ela se dá como apoio à explicação do docente.	Substituição	O recurso substitui o quadro ou livro didático na apresentação dos conteúdos, sem alterar a lógica da aula.
Quantidade de aulas: 2 Conteúdo foco das aulas: distribuição eletrônica. Descrição: a professora utiliza uma apresentação digital no Google Apresentações para explicar conceitos como massa e peso atômico, além do diagrama de Linus Pauling para distribuição eletrônica, incluindo exemplos de aplicação desses conceitos em fenômenos do cotidiano. Em seguida, faz uso do simulador PhET Colorado (“Monte um átomo”), no qual os estudantes devem montar átomos adicionando prótons, nêutrons e elétrons. Inicialmente, os alunos exploram livremente o simulador para se familiarizar com suas funções e possibilidades. Posteriormente, a professora orienta a atividade, a partir da montagem de átomos específicos, relacionando o exercício aos conceitos estudados. O simulador é utilizado de forma individual pelos estudantes em seus <i>Chromebooks</i>.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Apresentação Digital (Google apresentações)	Passivo	Os estudantes apenas assistem à exposição de <i>slides</i> , recebendo informações sem interagir com a tecnologia. Ela se dá como apoio à explicação do docente.	Substituição	O recurso substitui o quadro ou livro didático na apresentação dos conteúdos, sem alterar a lógica da aula.
Simulador PhET Colorado	Construtivo	Ao manipularem o simulador, construirão átomos e relacionarão conceitos, a atividade tem potencial de promover a elaboração de novas compreensões sobre o tema.	Modificação	O simulador possibilita uma experiência interativa e visual que modifica a forma de ensinar e aprender, indo além do que seria possível apenas com recursos tradicionais.

Fonte: elaborado pelo autor.

Esses resultados sugerem que, mesmo com a presença de diferentes recursos tecnológicos, como computadores, apresentações digitais, simuladores e materiais digitais, a apropriação pedagógica realizada por P44 mantém um caráter predominantemente instrumental, em que a tecnologia funciona mais como apoio ou substituto de ferramentas convencionais do que como catalisadora de novas formas de ensinar e aprender. Nesse sentido, o TPACK do docente apresenta-se em níveis mais básicos do Conhecimento Tecnológico do Conteúdo (TCK) e Conhecimento Pedagógico de Conteúdo (PCK).

Análise da unidade curricular de Fabricação Digital e Modelamento Geométrico I

A unidade curricular de Fabricação Digital e Modelamento Geométrico I (FDMG-I) consistiu em 60 aulas realizadas em duas aulas-faixa semanais de 50 minutos. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 27.

Quadro 27 – P44: características percentuais das aulas de FDMG-I

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo de FDMG-I	Aulas voltadas à apresentação da unidade curricular, ao desenvolvimento de habilidades técnicas e projetos <i>maker</i> , como modelamento 2D/3D, uso de fatiador, impressão 3D e construção de protótipos (foguetes de garrafas pet e cadeirinha para pets).	48 (80%)
Eventos	Aulas relacionadas a ações extracurriculares ou comemorativas, como preparação para Mostra STEAM, jogos interséries e comemorações julinas.	6 (10%)
Revisões	Registro das atividades no portfólio digital.	4 (6,7%)
Avaliações	Avaliações vinculadas ao componente de Ciências da Natureza.	2 (3,3%)
Outros	--	--
Total de registros		60

Fonte: elaborado pelo autor.

Verifico que 20% das aulas se deram para atividades de revisão, avaliação e eventos não vinculadas a situações de ensino de conteúdos da unidade curricular. Elenquei três tecnologias da categoria “ensino de conteúdos de FDMG-I” utilizadas ao longo de 16 aulas para avaliar a partir das rubricas ICAP e SAMR, cujas análises podem ser observadas no Quadro 28.

Quadro 28 – P44: rubricas aplicadas às tecnologias em FDMG-I

(continua)

Fabricação Digital e Modelamento Geométrico I				
Quantidade de aulas: 2 Conteúdo foco das aulas: planejamento e modelagem 2D/3D de foguetes de garrafas pet. Descrição: na unidade curricular de Fabricação Digital e Modelamento Geométrico, os estudantes iniciaram um projeto voltado à construção de foguetes. O processo começou com o planejamento, que envolveu pesquisas sobre diferentes possibilidades de design, incluindo o formato e a quantidade de aletas, além da definição da presença ou não de bico, bem como a elaboração de uma lista de materiais necessários. Após essa etapa inicial, cada grupo deveria produzir um esboço em 2D, seguido de uma modelagem em 3D no <i>Tinkercad</i>, condição considerada essencial para avançar ao processo de construção física dos foguetes. A atividade envolveu múltiplas habilidades, não apenas relacionadas a conteúdos científicos, mas também à apropriação de ferramentas e equipamentos novos para os estudantes, como serras, alicates e chaves. A entrega da primeira etapa correspondeu ao planejamento do foguete; na semana seguinte, foi solicitado o modelo em 2D, e, posteriormente, o modelo em 3D. Nessas duas últimas aulas, especificamente, os estudantes tiveram de elaborar no <i>Tinkercad</i> um modelo tridimensional da base de lançamento e do corpo do foguete. Durante o processo, a professora analisou as entregas realizadas e ofereceu <i>feedbacks</i> que relacionavam diretamente os modelos criados a conceitos científicos, como aerodinâmica, formato das aletas e da ponta do foguete, entre outros aspectos que emergiram das produções dos grupos.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Tinkercad</i>	Construtivo	Os estudantes não apenas reproduzem instruções, mas criam seus próprios modelos tridimensionais, explorando alternativas de design e relacionando-as a conceitos científicos discutidos com o(a) professor(a). Isso implica no potencial de construção de novos conhecimentos.	Modificação	O uso do <i>Tinkercad</i> transforma o processo de ensino e aprendizagem, pois possibilita modelar virtualmente o foguete e sua base de lançamento antes da construção física, permitindo testar hipóteses de design e discutir princípios de aerodinâmica que não seriam facilmente exploráveis sem a tecnologia.
Quantidade de aulas: 10 Conteúdo foco das aulas: construção de foguetes de garrafas pet. Descrição: os estudantes reuniram os materiais e, no laboratório <i>maker</i>, iniciaram a construção de seus foguetes. Cada dupla ficou responsável por desenvolver um protótipo, a partir de seu planejamento prévio, enquanto a base de lançamento poderia ser construída e compartilhada entre duas duplas. A professora atuou como orientadora, circulando entre os grupos e oferecendo apoio conforme a necessidade, especialmente ao abordar conceitos científicos relacionados, como pressão e o uso de instrumentos de medida, como o manômetro. Os estudantes tiveram liberdade para utilizar ferramentas de fabricação digital, como a cortadora a laser ou a impressora 3D, na produção de peças específicas do foguete, como as aletas e a coifa (bico). O requisito principal era a construção de um protótipo funcional, capaz de ser lançado. Durante o processo, a professora incentivou que os alunos realizassem experimentações prévias utilizando apenas ar, com uma bombinha manual, para simular o funcionamento. Os problemas enfrentados durante os testes eram transformados em oportunidades de discussão sobre melhorias, resiliência e possíveis ajustes no projeto. Os lançamentos oficiais foram realizados em um local afastado da escola, ao longo de uma semana, momento em que cada grupo pôde avaliar o desempenho de seus foguetes e refletir sobre os resultados obtidos.				

Quadro 28 – P44: rubricas aplicadas às tecnologias em FDMG-I

(conclusão)

Fabricação Digital e Modelamento Geométrico I				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Laboratório <i>Maker</i>	Construtivo	Os estudantes colaboram em duplas ou pequenos grupos, construindo protótipos reais com base em seus planejamentos. O processo envolve tomada de decisão, resolução de problemas e aplicação de conceitos científicos durante a prática.	Modificação	As tecnologias de fabricação digital modificam, significativamente, a prática tradicional de construção de foguetes (precisão, design aprimorado, prototipagem mais fiel), mas a experiência central (construir e lançar foguetes) ainda poderia ser realizada sem elas.
Quantidade de aulas: 4 Conteúdo foco das aulas: registro das atividades no portfólio digital. Descrição: na etapa final do projeto, os estudantes devem elaborar um relatório em formato de postagem informativa, contendo introdução, fotos, vídeos e percepções socioemocionais relacionadas ao processo de construção e lançamento dos foguetes. O relatório também deve incluir explicações sobre o funcionamento dos foguetes, articulando aspectos técnicos e conceituais. A professora acompanha a produção e realiza correções com o objetivo de orientar e apoiar os estudantes no aprimoramento dos relatos.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Fotografia	Ativo	Os estudantes registram o processo de construção dos foguetes. Não há indicativos de que as fotografias são utilizadas para a construção de novas compreensões a respeito da prática.	Ampliação	A fotografia permite a realização de registros reais e detalhes do processo que não são simples de produzir de forma analógica facilitando o processo de registro. Mas no contexto da atividade não traz ganhos pedagógicos que modifiquem a prática pedagógica.

Fonte: elaborado pelo autor.

No indicador ICAP, as aulas revelam que 66,67% (2 de 3) das tecnologias analisadas promoveram interações construtivas, e 33,33% (1 de 3) ativas, configurando um ambiente em que os estudantes aprendem fazendo, discutindo e refletindo sobre suas produções. O uso do *Tinkercad* para modelagem 3D e do Laboratório *Maker* para a construção de foguetes e protótipos físicos ampliou, significativamente, o envolvimento dos estudantes com processos de experimentação e resolução de problemas. O(a) docente atuou como mediador(a), orientando discussões e intervenções pontuais sobre princípios de física (aerodinâmica, pressão, empuxo) e química (reações entre vinagre e bicarbonato), o que indica articulação prática e contextualizada de saberes científicos.

No indicador SAMR, as tecnologias distribuíram-se em 66,67% (2 de 3) das vezes no nível de modificação e em 33,33% (1 de 3) no nível ampliação, evidenciando que o uso das ferramentas tecnológicas possibilitou modificações em processos de ensino e aprendizagem.

No Laboratório *Maker*, por exemplo, os estudantes puderam aplicar conhecimentos de design e engenharia para construir foguetes e bases de lançamento funcionais, atividades que podem ser potencializadas por esses recursos. Ainda que o produto pudesse ser construído com materiais simples (como garrafas PET e outras ferramentas mais tradicionais), a integração das tecnologias digitais (modelagem 3D e corte a laser) ampliou as possibilidades de criação, análise e refinamento dos projetos, transformando qualitativamente o processo de aprendizagem.

Essa unidade curricular evidencia um TPACK dinâmico e contextualizado, em que o conhecimento tecnológico (TK) é mobilizado para dar sentido à aplicação de princípios científicos e matemáticos, mesmo que estes não sejam o foco da unidade curricular. P44 demonstra compreender o papel pedagógico das tecnologias como meios de mediação e expressão criativa, favorecendo situações de ensino e aprendizagem ativas e interdisciplinares.

Contudo, ainda observo uma ênfase maior na dimensão técnica e operacional das práticas do que na reflexão sistemática sobre conceitos científicos. Isso sugere a necessidade que o Conhecimento Tecnológico de Conteúdo (TCK) possa avançar, de modo que as tecnologias não apenas viabilizem a execução dos projetos, mas também, aprofundem entendimentos conceituais dos fenômenos envolvidos. Ainda assim, o perfil de P44 em FDMG-I representa um avanço significativo em direção a uma integração tecnológica transformadora, um exemplo de prática pedagógica em que as tecnologias avançam da simples substituição de recursos para níveis que passam a modificar as experiências de ensino e aprendizagem.

Síntese do TPACK de P44

Nas respostas ao questionário TMTSI adaptado, P44 apresentou a segunda menor média para o constructo TPACK (3,00 do máximo 5,00) e a segunda menor média no componente conhecimento pedagógico tecnológico – TPK (3,33 de 5,00), o que representa uma autoavaliação para esses construtos próximo da média do questionário (3,00). Esse resultado converge para sua atuação no componente de química, mas diverge da atuação no componente de FDMG-I para a rubrica SAMR, uma vez que, em química, as atividades se concentraram em abordagens em que as tecnologias aparecem com níveis de substituição, já em FDMG-I no nível de modificação.

A análise integrada do TPACK de P44, considerando as unidades curriculares de Química e FDMG-I, marca as manifestações dos conhecimentos do(a) docente por diferentes níveis de articulação entre tecnologia, pedagogia e conteúdo. Essas diferenças refletem não

apenas a natureza distinta de cada componente curricular, mas também, as condições estruturais e conceituais que os sustentam.

No componente de Química, as práticas docentes caracterizam-se por uma abordagem predominantemente expositiva, com foco na transmissão de conteúdos conceituais e resolução de exercícios. O uso de tecnologias, como apresentações digitais, simuladores do PhET Colorado e materiais da plataforma Geekie, cumpre função instrumental e de apoio à explicação, operando majoritariamente nos níveis passivo e ativo do modelo ICAP e de substituição e ampliação no modelo SAMR. Assim, as tecnologias contribuem para organizar e visualizar informações, mas não alteram a estrutura pedagógica nem o papel do professor como mediador. Essa prática sugere que o conhecimento tecnológico (TK) está presente, mas ainda pouco integrado aos conhecimentos pedagógico (PK) e de conteúdo (CK), o que posiciona a TPACK no nível de reconhecimento, em que o(a) professor(a) reconhece o potencial pedagógico das tecnologias, mas as utiliza como extensões dos métodos tradicionais.

Já na unidade de FDMG-I, observo uma ampliação significativa na integração tecnológica e na diversificação metodológica. As tecnologias, como *Tinkercad*, impressora 3D, cortadora a laser e o próprio laboratório *maker*, são incorporadas a partir de projetos práticos de caráter interdisciplinar, nos quais os estudantes constroem artefatos (como foguetes e cadeiras de rodas para pets), relacionando conhecimentos de engenharia, design e ciências. Essas práticas indicam um deslocamento da atuação docente em direção a uma perspectiva mais construtiva e colaborativa, promovendo um engajamento mais ativo e reflexivo dos alunos. No entanto, mesmo com esse avanço, a integração entre conteúdo científico e tecnologia permanece pontual, pois os conceitos de física e química são mobilizados apenas quando emergem da necessidade prática dos projetos, e não como eixo estruturante do percurso pedagógico. Assim, a docente alcança o nível aceitando do modelo de desenvolvimento TPACK, em que há disposição para integrar tecnologias de maneira significativa, mas ainda com foco na execução técnica e no produto, mais do que na reflexão conceitual.

Essas diferenças evidenciam a influência da estrutura curricular e da natureza das unidades sobre a manifestação do TPACK. Enquanto a Química se ancora em um currículo consolidado, com conteúdos e metodologias cristalizadas pela tradição disciplinar e pela formação inicial, a FDMG-I surge como um espaço mais flexível e experimental, favorecendo práticas *maker* e o protagonismo dos estudantes. Contudo, a ausência de referenciais curriculares claros e de uma formação docente voltada à interdisciplinaridade limita o potencial integrador dessas experiências.

Em síntese, P44 demonstra uma evolução no domínio tecnológico (TK) e uma postura aberta à inovação pedagógica e tecnológica, mas a integração plena entre tecnologia, conteúdo e pedagogia (TPACK) ainda se mostra incipiente. As práticas observadas indicam para um TPACK em transição, situado entre o uso mais instrumental das tecnologias com potencial de incorporação transformadora.

5.3.3 Grupo B – Professor 25 (P25)

Tive acesso a registros de aulas do componente de Física da área de Ciências da Natureza do 1º ano do EM; e do componente Robótica I para uma turma da 2ª série do EM. Em ambos os casos, os registros cobriram os meses de fevereiro até novembro de 2024.

Análise da unidade curricular de Física

Do conjunto de 108 aulas ministradas pelo docente, os registros mostram 41 aulas de 50 minutos voltadas a conteúdos de Física, realizadas em três aulas-faixa por semana. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 29.

Quadro 29 – P25: características percentuais das aulas de física

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo da Física	Aulas teóricas e práticas com foco em conteúdos como cinemática, gravitação, lançamento de projéteis (construção e lançamento de foguetes de papel), Leis de Newton, energia mecânica (construção de carrinhos movido à energia elástica), apresentação do projeto carrinho com elástico, além da resolução de exercícios.	29 (70,73%)
Avaliações	Momentos destinados à realização de avaliação institucional (Avalia Sesi) ou de recuperação de conteúdos.	6 (14,63%)
Revisões	Aulas voltadas à retomada de conteúdos para preparação para avaliação sobre cinemática.	3 (7,32%)
Outros	Aulas ministradas por outro docente (substituição).	3 (7,32%)
Eventos	--	--
Total de registros		41

Fonte: elaborado pelo autor.

Observo que 29,27% das aulas se deram para atividades de revisão, avaliação, outros não vinculadas a situações de ensino de conteúdos da área. Não identifiquei atividades classificáveis na categoria eventos. O perfil da categoria “Ensino de conteúdo da Física” foi distribuída, as atividades das 29 aulas, em duas subcategorias apresentadas no Quadro 30.

Quadro 30 – P25: perfil das aulas vinculadas à categoria “ensino de conteúdos da física”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Explicações e discussões teóricas	Aulas iniciais de apresentação da UC; introdução à investigação científica, promovendo aproximação entre método científico e prática da física escolar; conteúdos introdutórios sobre cinemática, Leis de Newton e energia mecânica.	12 (41,38%)
Atividades práticas e experimentais	Construção e testes com foguetes de sopro, lançamentos, carrinhos com elástico, envolvendo práticas experimentais associadas a conceitos de física.	9 (31,03%)
Resolução e correção de exercícios (em aula)	Aulas voltadas para exercícios e aplicação dos conceitos estudados, incluindo exercícios avaliativos em sala sobre energia mecânica.	5 (17,24%)
Apresentações	Aulas destinadas à socialização e apresentação dos produtos desenvolvidos pelos estudantes nos projetos práticos.	3 (10,34%)
Total		29

Fonte: elaborado pelo autor.

Verifico uma predominância nas aulas com explicações e discussões teóricas, seguida de atividades práticas e experimentais, resolução de exercícios e apresentações realizadas pelos estudantes. Apesar da existência de atividades práticas, não identifiquei atividades com incorporação de tecnologias associadas ao movimento e/ou laboratórios *maker* nessas aulas.

Durante a entrevista com o docente, elenquei nove aulas em que tecnologias estiveram presentes e que poderiam ser avaliadas a partir das rubricas ICAP e SAMR, o que corresponde a 31% do total de 29 aulas voltadas ao ensino de conteúdos de Física, como apresentado no Quadro 31.

Quadro 31 – P25: rubricas aplicadas às tecnologias em Física

(continua)

Ciências da Natureza I (Física)				
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: cinemática. Descrição: o professor introduz o tema do carrinho elástico utilizando vídeos demonstrativos de montagem como material de apoio. Em grupos, os estudantes constroem seus carrinhos em casa utilizando elásticos, palitos e outros materiais simples, como forma de introdução aos conceitos de cinemática. Durante a aula, registram com o celular vídeos das práticas, medindo o tempo percorrido e a distância. A partir dos resultados obtidos, o professor conduz a sistematização dos conceitos teóricos. O docente explica que costuma inverter a lógica tradicional da aula, realizando primeiro a prática e depois a explicação conceitual, para provocar curiosidade e promover questionamentos nos estudantes.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Vídeo	Ativo	Os estudantes utilizam o celular de forma ativa para registrar o experimento, coletar dados e analisar resultados, integrando ação prática para posterior análise.	Ampliação	O uso do vídeo amplia a forma de registro e análise da atividade experimental: permite medições mais precisas, revisão posterior dos movimentos e comparação entre grupos, superando o registro manual tradicional.

Quadro 31 – P25: rubricas aplicadas às tecnologias em Física

(conclusão)

Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: lançamento oblíquo. Descrição: o professor solicita que os estudantes construam foguetes caseiros, organizando-se em grupos com funções definidas (coordenador, responsável pelos recursos, repórter e controlador de tempo). Os lançamentos são realizados horizontalmente, enquanto o professor introduz os conceitos de lançamento vertical e horizontal, destacando diferenças entre os dois movimentos. Durante a prática, os estudantes filmam os experimentos com o celular e realizam medições de altura, distância e tempo de voo. O docente tenta utilizar o <i>software</i> Tracker para análise da trajetória, mas enfrenta dificuldades devido ao tempo reduzido de aula. A partir dos vídeos e das observações, o professor introduz o conceito de aceleração da gravidade, articulando os resultados obtidos com a teoria.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Vídeo	Ativo	Os estudantes utilizam o celular de forma ativa para registrar o experimento, coletar dados e analisar resultados, integrando ação prática para posterior análise.	Ampliação	O vídeo amplia o processo de observação, tornando possível registrar e analisar movimentos de forma mais detalhada e reprodutível, ampliando a precisão da coleta de dados e a discussão conceitual.
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: Leis de Newton. Descrição: o professor solicita que os estudantes construam foguetes caseiros, organizando-se em grupos com funções definidas (coordenador, responsável pelos recursos, repórter e controlador de tempo). Os lançamentos são realizados horizontalmente, enquanto o professor introduz os conceitos de lançamento vertical e horizontal, destacando diferenças entre os dois movimentos. Durante a prática, os estudantes filmam os experimentos com o celular e realizam medições de altura, distância e tempo de voo. O docente tenta utilizar o <i>software</i> Tracker para análise da trajetória, mas enfrenta dificuldades devido ao tempo reduzido de aula. A partir dos vídeos e das observações, o professor introduz o conceito de aceleração da gravidade, articulando os resultados obtidos com a teoria.				
Kit Lego e rampa	Construtivo	Os estudantes manipulam materiais concretos para investigar relações entre variáveis físicas, construindo conhecimento por meio da experimentação e observação.	Ampliação	Os recursos Lego agilizam a montagem, permite que os estudantes verifiquem variáveis que podem afetar o movimento e testar suas construções. Contudo, a atividade pode ser realizada com outros materiais que permitem chegar a resultados similares.
Vídeo	Ativo	Os estudantes utilizam o celular de forma ativa para registrar o experimento, coletar dados e analisar resultados, integrando ação prática para posterior análise.	Ampliação	O vídeo amplia o processo de observação, tornando possível registrar e analisar movimentos de forma mais detalhada e reprodutível, ampliando a precisão da coleta de dados e a discussão conceitual.
Planilha eletrônica	Construtivo	Os estudantes organizam e interpretam dados, constroem gráficos e analisam padrões, envolvendo raciocínio lógico e autonomia na exploração das variáveis.	Modificação	A planilha digital transforma o processo de tratamento de dados, permitindo cálculos automáticos, visualizações gráficas e análise comparativa com maior precisão e eficiência.

Fonte: elaborado pelo autor.

Com base nas pontuações apresentadas no Quadro 31, para o indicador ICAP, observei que em 60% (3 de 5) das tecnologias analisadas as aulas apresentaram atuação ativa dos

estudantes, e em 40% (2 de 5) houve atuação construtiva. Essa combinação evidencia práticas em que os alunos se engajam ativamente na execução de experimentos e, em alguns casos, alcançam níveis mais elaborados de construção conceitual. As tecnologias utilizadas (vídeos, kits Lego e planilhas eletrônicas) foram incorporadas de maneira funcional para facilitar as construções, a coleta e a análise de dados, otimizando o processo de investigação e apoiando a aprendizagem dos conceitos de cinemática, lançamento oblíquo e Leis de Newton.

No indicador SAMR, os resultados mantêm coerência com esse padrão: 80% (4 de 5) das aulas foram classificadas no nível de ampliação, e 20% (1 de 5) no nível de modificação. Tais percentuais indicam que o uso das tecnologias, embora consistente e intencional, se configura predominantemente como uma estratégia de aprimoramento de práticas tradicionais, sem necessariamente modificar a estrutura pedagógica de forma profunda. As tecnologias funcionam como ferramentas de apoio instrumental, ampliando a precisão das medições, a organização dos dados e o engajamento dos estudantes, mas mantendo o professor como mediador central do processo.

Ainda assim, a prática de P25 demonstra uma compreensão significativa da articulação entre conhecimento tecnológico (TK), conhecimento pedagógico (PK) e conhecimento de conteúdo (CK). O docente integra as tecnologias como meios para promover o ensino de conceitos, integrando-as de forma coerente com os objetivos de ensino. O uso do vídeo como instrumento de observação, do Lego como modelo físico e da planilha eletrônica como ferramenta analítica revela uma abordagem reflexiva, na qual a tecnologia é mobilizada para dar suporte à investigação científica e à resolução de problemas.

Dessa forma, posso afirmar que o TPACK de P25 se caracteriza por um nível de integração consistente, porém, ainda predominantemente instrumental, em que a tecnologia atua como elemento facilitador do ensino, mas não chega a redefinir completamente as práticas pedagógicas.

Análise da unidade curricular de Robótica I

A unidade curricular de Robótica I consistiu em 36 aulas realizadas em três aulas-faixa semanais de 50 minutos. Agrupei o perfil das aulas em cinco categorias: aulas de conteúdos de Robótica I, revisões, avaliações, eventos e outros. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 32.

Quadro 32 – P25: características percentuais das aulas de Robótica I

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo de Robótica I	Aulas voltadas ao desenvolvimento de projetos com Arduino, sensores, montagem de carrinhos elétricos, pesquisa e elaboração de cartões sobre sensores, construção de manuais sobre inteligência artificial.	33 (91,67%)
Outros	Aulas substituídas por outros professores.	3 (8,33%)
Total de registros		36

Fonte: elaborado pelo autor.

Observo que 91,67% das aulas se deram para atividades vinculadas à robótica, e apenas 8,33% à categoria outros. Elenquei 18 aulas da categoria “Ensino de conteúdo de Robótica I” para avaliar a partir das rubricas ICAP e SAMR, que correspondem a 50% das 36 aulas destinadas ao componente. No Quadro 33 é possível visualizar a aplicação das rubricas para o componente de Robótica I.

Quadro 33 – P25: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I

(continua)

Robótica I				
Quantidade de aulas: 9 Conteúdo foco das aulas: introdução à robótica e circuitos. Descrição: objetivos: trabalho em grupo; manipulação de ferramentas; introduzir a circuitos elétricos, corrente, funcionamento de baterias, conservação de energia. Professor fornece kits de robótica aos estudantes (chassis, motores acoplados a rodas, baterias, Arduino). Estudantes têm como objetivo montar o carro e fazê-lo andar controlando os motores utilizando o Arduino para alimentá-los. Estudantes devem elaborar um manual que ensine a montagem do carrinho (manual físico ou em vídeo). A partir das dificuldades técnicas e conceituais encontradas pelos estudantes, o professor faz uma aula tradicional utilizando material didático da Geekie, a respeito de circuitos elétricos e funcionamento das partes elétricas que permitem ligar ou desligar o motor. O Professor utiliza o <i>Tinkercad</i> para esclarecer a montagem dos circuitos com o movimento das rodas (polarização do fio e sentido de rotação). O professor apresenta desafios conceituais para que estudantes possam aplicar os conceitos estudados, simulando situações hipotéticas como alterar velocidade do carro, aumentar a potência (velocidade) do motor.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Kit Arduino	Construtivo	Os alunos manipulam o kit, constroem o carrinho e elaboram um manual explicativo, o que exige interpretação, organização e produção de novos significados.	Ampliação	A montagem prática dos circuitos com motores, baterias e Arduino facilita explorações práticas sobre sistemas elétricos. Os kits permitem montagens rápidas e seguras. Substitui outros recursos utilizados como pilhas e leds.

Quadro 33 – P25: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I

(continua)

<i>Tinkercad</i>	Passivo	Usado pelo professor para demonstrar e simular hipóteses propostas, como mudar rotação ou potência do motor. Estudantes recebem informação, mas não manipulam o <i>software</i> .	Ampliação	A simulação de circuitos permite interação visual com toda a turma, além de oferecer agilidade e segurança na demonstração. Contudo, outras formas seriam possíveis como a própria montagem física. Dessa forma, a utilização não modifica significativamente a atividade proposta.
Material Geekie	Passivo	Usado em aula expositiva, como recurso de apoio ao professor para explicar conceitos que os estudantes não haviam compreendido. A participação dos alunos é receptiva.	Substituição	Substitui o quadro ou apostila sem melhora funcional significativa. O uso é tradicional e centrado na exposição docente.
Quantidade de aulas: 9 Conteúdo foco das aulas: introdução à programação do Arduino. Descrição: professor apresenta a placa Arduino Uno. Explica as entradas digitais e como fazer o programa. Estimula utilizar programas prontos para os sensores escolhidos (repositório do Arduino). Estudantes podem pesquisas tutoriais na internet, além de usarem ferramentas de IA para elaborar programas. O professor orienta os estudantes no uso mais eficiente da IA, particularmente sobre a especificação correta da necessidade para obterem boas respostas. O professor introduz alguns sensores disponíveis e sua funcionalidade. Para isso costuma lançar perguntas aos estudantes. Por exemplo: como fazer um carrinho que segua a trilha ou não bate em parede? O professor explica que existem 37 sensores e solicita que escolham alguns. Estudantes devem fazer pesquisas sobre o seu funcionamento e elaborar cartões explicativos, incluindo informações sobre seu funcionamento e aplicações. Esses cartões são compartilhados com a turma por meio de apresentações. O professor identifica pontos que não ficaram esclarecidos durante as apresentações e complementa com aspectos conceituais específicos, geralmente a respeito do funcionamento físico do sensor (Por exemplo: Ultrassônico, fotoresistor, luminosidade).				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Kit Arduino	Construtivo	Os estudantes selecionam sensores, devem pesquisar seu funcionamento e integrá-los a projetos, gerando novos conhecimentos a partir da pesquisa e da prática.	Modificação	O uso do Arduino e sensores permite reformular significativamente a tarefa, possibilitando montagem de sistemas reais (como carrinho com sensores) com interação física e exploração de conceitos contextualizados, atividades que de outro modo seriam mais teóricas e demonstrativas.
Inteligência Artificial (ChatGPT)	Construtivo	Os estudantes utilizam IA para criar ou adaptar códigos, com orientação docente para estruturar boas perguntas, indo além da simples recepção de informações.	Redefinição	A IA permite aos alunos executar tarefas antes inconcebíveis, como gerar código funcional sem domínio prévio de linguagem, ampliando a autonomia e exploração criativa.

Quadro 33 – P25: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I

(conclusão)

Computador (internet)	Ativo	Os estudantes manipulam ferramentas de busca e tutoriais <i>on-line</i> para encontrar soluções, mas não há necessariamente geração de novos conhecimentos ou discussão entre pares.	Ampliação	O computador é usado como substituto funcional com melhorias no acesso à informação e aprendizagem, mas sem reformulação profunda da tarefa.

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com as pontuações apresentadas no Quadro 33, o indicador ICAP demonstra uma variação significativa nas formas de engajamento dos estudantes: 50% (3 de 6) das tecnologias analisadas indicaram atuação construtiva, 33,3% (2 de 6) revelaram atuação passiva, e 16,7% (1 de 6) atuação ativa. Essa distribuição indica que, embora haja momentos de autonomia e construção de sentido, parte das atividades ainda se estrutura em execuções dirigidas, nas quais os estudantes seguem instruções previamente definidas pelo professor ou pela *webquest*. O equilíbrio entre momentos reprodutivos e de criação sugere um estágio intermediário de desenvolvimento do TPACK, em que o docente busca promover a autonomia, mas mantém forte controle sobre o processo de aprendizagem devido à natureza introdutória da unidade curricular.

No indicador SAMR, em 50% (3 de 6) predomina o nível ampliação, que reforça uma tendência instrumental do uso das tecnologias, nas quais elas expandem e otimizam práticas tradicionais, mas sem alterar radicalmente a estrutura pedagógica. As demais classificações, substituição (16,67% – 1 de 6), modificação (16,67% – 1 de 6) e redefinição (16,67% – 1 de 6), indicam que, embora pontualmente o professor explore possibilidades mais criativas e transformadoras, essas experiências ainda não se apresentam de forma regular nas aulas. Em outras palavras, o uso das tecnologias possibilita um avanço gradual em direção à transformação pedagógica, mas ainda está limitado a tarefas mais prescritivas, voltadas à execução técnica e à familiarização com o Arduino e o *Tinkercad*.

A integração entre conteúdo, pedagogia e tecnologia (TPACK) nas aulas de Robótica de P25 mostra-se em construção. O conhecimento tecnológico (TK) é explorado de forma consistente, especialmente na manipulação dos microcontroladores e simuladores, enquanto o conhecimento pedagógico (PK) se expressa em estratégias de mediação e colaboração entre os estudantes. Já o conhecimento de conteúdo (CK) de física aparece de modo complementar, quando o docente introduz conceitos de Física para apoiar a compreensão técnica dos projetos.

Ele emerge de forma pontual, em resposta a dificuldades dos alunos, e não de maneira estruturante da prática pedagógica.

Em síntese, o TPACK de P25 em Robótica I evidencia um perfil docente em transição, no qual o domínio técnico e a atitude positiva em relação às tecnologias se consolidam, mas a integração pedagógica e conceitual se encontra em desenvolvimento, no que diz respeito à área de Física.

Síntese do TPACK de P25

Nas respostas ao questionário TMTSI adaptado, P25 apresentou a média de 4,00 para os construtos TPACK, TPK e PCK, o que representa uma autoavaliação para esses construtos acima da média 3,00 do questionário. Isso demonstra confiança do docente para utilizar tecnologias em suas aulas, contudo, as avaliações da rubrica SAMR ressaltam que as integrações tecnológicas avaliadas se mantêm em torno do nível de ampliação das práticas.

As práticas docentes de P25 revelam dois modos ligeiramente distintos de manifestação do TPACK, diretamente relacionados à natureza dos componentes curriculares nos quais atua: Física, pertencente ao núcleo tradicional das Ciências da Natureza; e Robótica I, integrante do itinerário formativo de base tecnológica e *maker*. Embora as duas unidades apresentem convergências em relação à postura investigativa e ao protagonismo dos estudantes, diferenciam-se pela forma e nível de integração entre conteúdo, pedagogia e tecnologia.

No componente de Física, o professor demonstra segurança no uso de tecnologias para aprimorar práticas já consolidadas. As atividades desenvolvidas, como a construção de carrinhos elásticos, foguetes e experimentos de movimento, articulam práticas experimentais com uso de vídeos, planilhas eletrônicas e kits de montagem. O indicador ICAP evidencia predominância de atividades ativas (60%) e construtivas (40%), mostrando que os estudantes participam ativamente da coleta e análise de dados, com potencial de construção de novos conhecimentos. No indicador SAMR, o predomínio do nível de ampliação (80%) e a ocorrência pontual de modificação (20%) reforçam o caráter instrumental e adaptativo da integração tecnológica. Assim, o TPACK de P25 nesse componente se situa no nível adaptando, com a tecnologia operando como meio de otimização das aulas.

Já na unidade de Robótica I, observa-se um avanço qualitativo no uso das tecnologias. O professor propõe desafios práticos que envolvem a construção e programação de carros elétricos com sensores Arduino, estimulando a resolução de problemas e a colaboração entre os grupos. O ICAP indica predominância do nível construtivo (50%), complementada por passiva (33,3%), e ativa (16,7%). O SAMR distribui-se entre ampliação (50%), modificação (16,7%) e

redefinição (16,7%), revelando um movimento gradual em direção ao uso transformador da tecnologia. Nessa unidade, o docente explora a dimensão experimental de forma mais aberta e criativa, ainda que o foco principal recaia sobre a execução técnica e o domínio operacional dos recursos. Embora conceitos de Física surjam pontualmente como suporte para a realização das tarefas (por exemplo, polaridade de circuitos e funcionamento de motores), não há intencionalidade direcionada ao ensino de conteúdos da física, o que limita a integração plena entre esses conteúdos e tecnologia. Por isso, o TPACK é classificado no nível adaptando.

De modo geral, as diferenças observadas entre os dois componentes refletem o contraste entre uma área tradicional (Física) e uma área emergente (Robótica I). Enquanto a Física apresenta práticas consolidadas e fortemente pautadas pela formação inicial e por materiais didáticos estabelecidos, a Robótica se constitui como um campo em construção, exigindo do professor adaptação e criação contínua de estratégias. Essa transição exige que o docente mobilize novos conhecimentos tecnológicos e pedagógicos, o que potencializa o desenvolvimento de competências para fazer, mas desafia a integração intencional com o conteúdo científico.

Em ambos os contextos, P25 demonstra postura investigativa e reflexiva, promovendo experiências que colocam os estudantes em contato com fenômenos reais e com o raciocínio experimental. Seu TPACK revela maturidade no domínio técnico e metodológico, embora ainda predomine uma integração tecnológica instrumental, em que as tecnologias ampliam práticas já existentes mais do que as transformam.

5.3.4 Grupo B – Professor 11 (P11)

Tive acesso a registros de aulas dos componentes de Biologia da área de Ciências da Natureza do 1º ano do EM; e do componente *Biohackeria* I para uma turma da 2ª série do EM. Em ambos os casos, os registros cobriram os meses de fevereiro até outubro de 2024.

Análise da unidade curricular de Biologia

Do conjunto de 102 aulas ministradas pelo docente, os registros mostram 89 aulas de 50 minutos voltadas a conteúdos de Biologia, realizadas em três aulas-faixa por semana. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 34.

Verifiquei uma predominância nas aulas com explicações e discussões teóricas com 57,75% das atividades, seguida de apresentações realizadas pelos estudantes, atividades práticas e experimentais e resolução de exercícios. As atividades práticas identificadas

envolveram construções em plataforma virtual (*Minecraft*), construção e impressão de modelos digitais em 3D das diferentes fases embrionárias, elaboração de modelos físicos dos sistemas do corpo humano com materiais diversos e encontrados nos espaços *maker* ou em casa.

Observei que 20,22% das aulas se deram para atividades de revisão, avaliação e eventos não vinculadas a situações de ensino de conteúdos da área. Não identifiquei atividades classificáveis na categoria outros. O perfil da categoria “Ensino de conteúdos da biologia” pode ser verificado no Quadro 35.

Quadro 34 – P11: características percentuais das aulas de biologia

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo da Biologia	Aulas expositivas-dialogadas, práticas em grupo, uso de <i>Minecraft</i> para modelagem de organelas, construção e apresentação de maquetes e modelos, atividades investigativas sobre origem da vida, estrutura e funções celulares, transporte celular, divisão celular (mitose e meiose), embriologia, sistemas do corpo humano, evolução, seleção natural, saúde coletiva e SUS.	71 (79,78%)
Avaliações	Provas do desafio do conhecimento, recuperação paralela, avaliações trimestrais, e outras atividades pendentes.	12 (13,48%)
Revisões	Aulas voltadas à retomada de conteúdos para preparação para avaliação sobre mitose, meiose e embriologia.	3 (3,37%)
Eventos	Apresentação de projetos na mostra STEAM	3 (3,37%)
Outros	--	–
Total de registros		89

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 35 – P11: características da categoria “ensino de conteúdos da biologia”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Explicações e discussões teóricas	Aulas expositivas-dialogadas sobre origem da vida, evolução, estrutura e funcionamento celular, transporte, divisão celular (mitose e meiose), embriologia, corpo humano, saúde coletiva, teorias evolucionistas, seleção natural.	41 (57,75%)
Apresentações	Apresentação de experimentos, seminários sobre alterações cromossômicas, exibição de modelos geométricos, defesa de trabalhos e maquetes para a turma.	15 (21,13)
Atividades práticas e experimentais	Elaboração de experimentos teóricos sobre abiogênese/biogênese, construção de organelas e modelos geométricos, uso do <i>Minecraft</i> para modelagem celular de organelas, montagem de maquetes de sistemas do corpo humano.	9 (12,68%)
Resolução e correção de exercícios (em aula)	Listas de exercícios (Geekie e outros), atividades de reforço, revisão de conteúdos com perguntas norteadoras, correção de provas com discussão das questões.	6 (8,45%)
Total		71

Fonte: elaborado pelo autor.

Durante a entrevista com o docente, elenquei sete tecnologias presentes em 24 aulas que poderiam ser avaliadas a partir das rubricas ICAP e SAMR, o que corresponde a 33,80% do total de 71 aulas voltadas ao ensino de conteúdos de biologia, como apresentado no Quadro 36.

Quadro 36 – P11: rubricas aplicadas às tecnologias em Biologia

(continua)

Ciências da Natureza I (Biologia)				
Quantidade de aulas: 6 Conteúdo foco das aulas: estrutura celular e organelas. Descrição: o(a) professor(a) utiliza uma apresentação digital para abordar conceitos iniciais sobre o tema. Estudantes são organizados em grupos para construir organelas na plataforma virtual do <i>Minecraft</i> . O(a) professor(a) determina critérios para a construção das organelas. Parte da entrega foi via plataforma da Geekie, a partir do carregamento da imagem da construção. Ao final, os estudantes apresentaram suas produções para a turma.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Apresentação Digital	Passivo	Estudantes recebem informações do docente.	Substituição	Substitui recursos como quadro e giz.
Ambiente Virtual (<i>Minecraft</i>)	Construtivo	Os alunos reproduzem as organelas no ambiente virtual, o que exige interpretação, organização e produção de novos significados.	Substituição	Substitui outros recursos como massas de modelar físicas. Contudo, não é possível afirmar que há ganhos pedagógicos funcionais no contexto da atividade.
Quantidade de aulas: 9 Conteúdo foco das aulas: embriologia. Descrição: professor(a) utiliza uma apresentação para abordar os conceitos. Estudantes produziram modelos geométricos de embriões no <i>software Tinkercad</i> . Os modelos foram confeccionados com auxílio da impressora 3D. Como envolveu o primeiro contato da turma como processo de Impressão 3D, o(a) professor(a) teve que ensinar características básicas do <i>software</i> de modelagem, de fatiamento, além da manipulação e configuração da impressora 3D. Cada grupo deveria elaborar um estágio embriológico diferente. A maior parte dos grupos modelou o estágio no <i>Tinkercad</i> , um dos grupos optou por escolher um modelo pronto de um bebê para imprimir. Cada grupo apresentou o seu modelo impresso aos demais.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Apresentação Digital	Passivo	Estudantes recebem informações do docente.	Substituição	Substitui recursos como quadro e giz.
<i>Tinkercad</i>	Ativo	Estudantes manipulam os materiais e ferramentas para reproduzir etapas do processo embrionário. Não há garantias de que os estudantes gerem novas inferências ou informações para além do que é apresentado.	Substituição	Substitui outros recursos como massas de modelar físicas. Contudo, não é possível afirmar que há ganhos pedagógicos funcionais no contexto da atividade.

Quadro 36 – P11: rubricas aplicadas às tecnologias em Biologia

(conclusão)

Impressão 3D	Ativo	Os estudantes utilizam a tecnologia para reproduzir o modelo físico, mas não há necessariamente geração de novos conhecimentos vinculados ao conteúdo da área com este uso.	Substituição	Substitui outros recursos como massas de modelar físicas. Contudo, não é possível afirmar que há ganhos pedagógicos funcionais no contexto da atividade.
Quantidade de aulas: 9 Conteúdo foco das aulas: sistemas do corpo humano. Descrição: o(a) professor(a) apresenta características dos principais sistemas do corpo humano com base no material da Geekie e quadro. Em grupos, os estudantes deveriam criar modelos (maquetes) dos sistemas e apresentar à turma. Poderiam utilizar recursos encontrados no laboratório STEAM e outros recursos coletados em casa. De modo geral, estudantes não utilizam recursos de Fabricação Digital. Durante as apresentações, o professor e outros estudantes puderam realizar perguntas para o grupo.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Material Digital Geekie	Passivo	Estudantes recebem informações do docente.	Substituição	Substitui recursos como quadro e giz.
Lab <i>Maker</i>	Ativo	Estudantes manipulam os materiais e ferramentas para reproduzir modelos de sistemas do corpo humano. Não há garantias de que os estudantes gerem novas inferências ou informações para além do que é apresentado.	Substituição	Nesse caso, as tecnologias disponíveis no laboratório <i>maker</i> poderiam substituir recursos mais simples. Contudo, o fato de os estudantes terem autonomia para utilizarem recursos disponíveis no laboratório <i>maker</i> não garante que há ganhos pedagógicos funcionais no contexto da atividade.

Fonte: elaborado pelo autor.

As práticas docentes de P11, no componente de Biologia, revelam um perfil pedagógico que combina momentos de exposição teórica com atividades práticas de reprodução de modelos biológicos, apoiadas por tecnologias digitais e de fabricação. A integração tecnológica, embora presente e diversificada, assume predominantemente um caráter instrumental, sem implicar mudanças estruturais nas práticas pedagógicas ou no papel dos estudantes no processo de aprendizagem.

Com base nas pontuações apresentadas no Quadro 36, o indicador ICAP evidencia que 42,86% (3 de 7) das tecnologias analisadas promoveram atuação passiva, 42,86% (3 de 7) resultaram em atuação ativa, e apenas 14,29% (1 de 7) possibilitaram atuação construtiva. Essa distribuição demonstra um equilíbrio entre atividades centradas na apresentação de conteúdos e aquelas que mobilizam a ação dos estudantes, ainda que em um escopo restrito. As aulas observadas intercalaram momentos de explicação teórica, frequentemente apoiadas por apresentações digitais e materiais da plataforma Geekie, com propostas de reprodução de modelos em ambientes como *Minecraft*, *Tinkercad* e laboratórios *maker*, nas quais os

estudantes recebiam instruções prévias para representar estruturas como organelas celulares, estágios embrionários e sistemas do corpo humano.

No indicador SAMR, todas as tecnologias analisadas (100%) foram classificadas no nível de substituição, o que confirma uma integração tecnológica de natureza instrumental. As ferramentas digitais atuaram como substitutos de materiais e estratégias tradicionais (como quadro, giz ou maquetes físicas), sem alteração significativa nos processos cognitivos ou nas dinâmicas pedagógicas. Por exemplo, o uso do *Minecraft* e do *Tinkercad* substituiu a modelagem manual com massinha, mas manteve a lógica de reprodução de formas predefinidas, sem promover exploração conceitual mais profunda ou reflexão sobre os modelos biológicos.

O uso das tecnologias nas aulas de Biologia de P11 evidencia domínio técnico e disposição para explorar novas ferramentas, mas ainda com foco na execução de tarefas de reprodução de modelos. O professor demonstra uma abordagem didática organizada e sequenciada, conduzindo os estudantes com clareza nas etapas das atividades, em que as tecnologias não têm papel de modificação de práticas tradicionais. O potencial criativo e exploratório de recursos como *Tinkercad*, impressão 3D e *Minecraft* aparece limitado ao nível da visualização e representação, e não como instrumentos de problematização, investigação ou modelagem científica.

Esses resultados indicam que o TPACK de P11 se encontra em estágio inicial de integração tecnológica, caracterizado pelo uso instrumental e substitutivo das tecnologias. O conhecimento tecnológico (TK) é mobilizado de forma pontual, enquanto o conhecimento pedagógico (PK) manifesta-se na gestão organizada das atividades em grupo. Contudo, a intersecção entre esses domínios (TPACK) ainda é limitada, uma vez que o uso da tecnologia não reconfigura as práticas de ensino, nem promove articulações construtivas ou que modifiquem as relações entre conteúdo da biologia e tecnologias.

Em síntese, o TPACK de P11 reflete um perfil docente em consolidação, que reconhece o valor das tecnologias e as incorpora em suas práticas, mas sem explorá-las como catalisadoras de transformação pedagógica.

Análise da unidade curricular de *Biohackeria*

A unidade curricular de *Biohackeria* I consistiu em 42 aulas realizadas em três aulas-faixa semanais de 50 minutos. Agrupei o perfil das aulas em cinco categorias: aulas de conteúdos de *Biohackeria* I, revisões, avaliações, eventos e outros. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 37.

Quadro 37 – P11: características percentuais das aulas de *Biohackeria I*

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo de <i>Biohackeria I</i>	Introdução à disciplina (plano anual, <i>classroom</i> , diário de bordo), construção e apresentação de microscópios caseiros, <i>webquests</i> (armadilhas para insetos), análise dos insetos em laboratório, projeto de Micropropagação Vegetativa I e construção de estufa inteligente.	24 (57,14%)
Outros	Projetos STEAM (foguetes); Projeto Lekto; Visita à Feira das Profissões da Uniplac.	12 (28,57%)
Revisões	Revisão interativa dos cadernos Sesi, revisão para o Avalia Sesi 2, exercícios de reforço na Geekie.	6 (14,29%)
Avaliações	--	--
Eventos	--	--
Total de registros		42

Fonte: elaborado pelo autor.

Observei que 57,14% das aulas se deram para atividades vinculadas à *Biohackeria I*, e 42,86% às categorias outros e avaliações. Não identifiquei atividades classificáveis na categoria avaliação e eventos. O perfil da categoria “Ensino de conteúdos de *Biohackeria*” pode ser verificado no Quadro 38.

Quadro 38 – P11: características da categoria “ensino de conteúdos da *biohackeria*”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Atividades práticas e experimentais	<i>Webquests</i> (construção de microscópios, confecção de armadilhas de insetos), análise dos insetos em laboratório, projeto de micropropagação vegetal e construção da estufa inteligente.	21 (87,5%)
Explicações e discussões teóricas	Introdução e explanação sobre plano de ensino, explicação dos projetos.	3 (12,5%)
Total		24

Fonte: elaborado pelo autor.

Verifiquei a predominância de atividades práticas e experimentais com 87,75% das atividades, seguida por explicações teóricas. As atividades práticas identificadas envolveram construção de microscópios “caseiros” com materiais encontrados no dia a dia, construção de armadilhas para insetos e estufa inteligente automatizada. Algumas dessas práticas se deram com apoio de recursos disponíveis nos espaços *maker*.

Durante a entrevista com o docente, elenquei quatro tecnologias que se destacaram em 18 aulas para serem avaliadas a partir das rubricas ICAP e SAMR como apresentado no Quadro 39.

Quadro 39 – P11: rubricas aplicadas às tecnologias em *Biohackeria*

<i>Biohackeria I</i>				
Quantidade de aulas: 9 Conteúdo foco das aulas: microscópio caseiro. Descrição: o(a) professor(a) contextualizou o projeto da construção de microscópios caseiros funcionais. Faz uma adaptação da <i>webquest</i> para enviar aos estudantes. A atividade durou três semanas, entre introdução, produção e apresentação. Estudantes construíram utilizando materiais alternativos como garrafas plásticas, rolos de papel higiênico etc. Um dos grupos construiu utilizando uma <i>webcam</i> , outros utilizaram lentes encontradas por eles. Os grupos tinham liberdade para escolher os materiais do microscópio. Os estudantes deveriam buscar materiais para serem observados nos seus microscópios. Por fim, eles deveriam apresentar os seus microscópios para a turma.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Webquest</i>	Construtivo	Os estudantes utilizam a <i>webquest</i> para entender o que é solicitado pelo docente e para realizar pesquisas sobre o tema, além de discutir e definir como irão construir o seu dispositivo.	Ampliação	A <i>webquest</i> promove autonomia dos estudantes ao fornecer caminhos para que pesquisem e construam seu dispositivo sem definir um passo a passo, além de contar com a criatividade e trabalho em equipe do grupo apresentando melhoria funcional a outras opções.
Laboratório <i>Maker</i>	Construtivo	Os estudantes devem pesquisar e discutir formas de construir um microscópio caseiro funcional, indo além do que é apresentado pelo docente.	Substituição	Estudantes se restringiram a utilizar recursos tradicionais como garrafas plásticas e rolos de papel higiênico, o que não configura melhorias funcionais em função dos recursos disponíveis nesse espaço.
Quantidade de aulas: 9 Conteúdo foco das aulas: micropropagação de plantas. Descrição: o(a) professor(a) realizou contextualização sobre micropropagação de plantas, abordando justificativas para a construção das estufas. Estudantes construíram estufas automatizadas com sensores de temperatura e umidade, além da instalação de um <i>cooler</i> para circulação do ar. Houve alguns problemas de construção que impediram o funcionamento completo dos projetos, como leitura de dados de temperatura no <i>display</i> LCD. Alguns estudantes realizaram a impressão de miniplantas para compor a estufa. O(a) professor(a) auxiliou na construção das caixas com apoio da impressora 3D. Os estudantes também tinham apoio da unidade curricular de robótica para a construção da parte eletrônica e programação do projeto. Nas três primeiras semanas houve a construção do projeto, na quarta foram realizadas as apresentações.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Webquest</i>	Construtivo	Os estudantes utilizam a <i>webquest</i> para entender o que é solicitado pelo docente e para realizar pesquisas sobre o tema, além de discutir e definir como irão construir a sua estufa.	Ampliação	A <i>webquest</i> promove autonomia dos estudantes ao fornecer caminhos para que pesquisem e construam seu dispositivo sem definir um passo a passo, além de contar com a criatividade e trabalho em equipe do grupo apresentando melhoria funcional a outras opções.
Laboratório <i>Maker</i>	Construtivo	Os estudantes devem pesquisar e discutir formas de construir uma estufa automatizada, com discussões que vão além das ideias apresentadas pelo docente.	Redefinição	Estudantes construíram estufas com controle de temperatura automatizada utilizando microcontrolador Arduino sensores, o que não poderia de ser feito de outra forma.

Fonte: elaborado pelo autor.

As práticas observadas na unidade curricular de *Biohackeria* I, conduzida por P11, revelam uma abordagem pedagógica fortemente orientada para a experimentação, a investigação e o protagonismo dos estudantes, em que o fazer científico é mediado por tecnologias *maker* e pela integração entre Biologia e Robótica. Essa unidade curricular representa um espaço privilegiado para práticas mais abertas e construtivas, nas quais os estudantes são desafiados a planejar, pesquisar, projetar e construir protótipos vinculados a temas da biologia, como a construção de microscópios caseiros e estufas automatizadas para micropropagação de plantas.

De acordo com as pontuações apresentadas no Quadro 39, o indicador ICAP evidencia que 100% (4 de 4) das tecnologias analisadas promoveram atuação construtiva dos estudantes. As atividades demonstram que o docente adota desafios que demandam não apenas a aplicação de conceitos, mas também autonomia, tomada de decisão e criação de soluções inéditas. O professor atua como orientador do processo, fornecendo diretrizes e apoio técnico, permitindo que os grupos definam seus próprios caminhos de pesquisa, materiais e estratégias de construção. Esse padrão de engajamento sugere um avanço significativo em relação às práticas observadas no componente tradicional de Biologia, com forte ênfase na aprendizagem pela experiência e na produção de conhecimento contextualizado.

No indicador SAMR, as tecnologias foram distribuídas entre ampliação (50% – 2 de 4), substituição (25% – 1 de 4) e redefinição (25% – 1 de 4). Essa distribuição indica um processo de amadurecimento na integração tecnológica, em que as ferramentas digitais e *maker* começam a extrapolar a simples substituição de materiais tradicionais, passando a ampliar e, em alguns casos, redefinir o processo de ensino e aprendizagem. Um exemplo notável é a construção das estufas automatizadas com sensores e microcontroladores Arduino, que representa uma forma de aprendizagem redefinida, impossível de ser realizada sem a incorporação de tecnologias digitais e de fabricação. Já, em algumas práticas, como a construção de microscópios com materiais recicláveis, a ausência de uso efetivo de tecnologias digitais manteve a proposta no nível de substituição.

O perfil de integração tecnológica de P11 em *Biohackeria* revela uma evolução qualitativa em relação ao observado nas aulas de Biologia. O docente demonstra uma compreensão ampliada do potencial das tecnologias *maker*, articulando-as com conteúdos biológicos de forma contextualizada e prática. A *Biohackeria*, nesse sentido, funciona como um ambiente de extensão e aprofundamento das aprendizagens de Biologia, permitindo ao professor explorar conteúdos que não cabem no currículo tradicional, como biotecnologia, automação de processos biológicos e cultura experimental. A parceria com a unidade de

Robótica reforça a dimensão interdisciplinar do trabalho, evidenciando uma intersecção entre saberes tecnológicos e científicos.

Todavia, o caráter ainda parcialmente instrumental de algumas atividades e a presença de ações escolares desvinculadas da área indicam que o potencial transformador da *Biohackeria* ainda não se realiza de forma plena. A ausência de um currículo estruturado para a unidade e a necessidade de conciliar outras demandas da escola com objetivos de aprendizagem da área, podem limitar a consolidação de práticas inovadoras.

De forma geral, o TPACK de P11 em *Biohackeria* se manifesta em um nível exploratório e emergente, no qual o docente demonstra domínio técnico crescente (TK) e capacidade de integrar tecnologias com objetivos pedagógicos (TPK), mas ainda busca maior intencionalidade na articulação entre tecnologia, pedagogia e conteúdo (TPACK). A unidade curricular oferece um campo fértil para o desenvolvimento do pensamento científico e *maker*, indicando para uma prática docente que transita de uma integração instrumental para uma integração criativa e transformadora, especialmente quando as tecnologias são utilizadas para materializar conceitos biológicos e promover a investigação científica.

Síntese do TPACK de P11

A análise das práticas de P11 nos componentes curriculares de Biologia e *Biohackeria* I evidencia dois perfis distintos de manifestação do TPACK, influenciados tanto pela natureza dos componentes quanto pelas possibilidades pedagógicas e tecnológicas oferecidas em cada contexto. Embora o docente demonstre autoconfiança elevada no uso de tecnologias, com médias de 4,0 nos construtos TPACK, TPK e PCK, os resultados da rubrica SAMR indicam que a integração tecnológica nas aulas permanece majoritariamente nos níveis de substituição e ampliação, caracterizando um uso predominantemente instrumental das tecnologias educacionais.

No componente de Biologia, as tecnologias são utilizadas de modo funcional e controlado, sem provocar transformações no processo de ensino e aprendizagem. Ferramentas como *Minecraft*, *Tinkercad* e impressoras 3D são incorporadas, principalmente, como meios de representação visual e modelagem de estruturas biológicas, reproduzindo práticas já tradicionais de construção de maquetes ou modelos físicos. O indicador ICAP revela uma distribuição equilibrada entre atividades passivas (42,8%) e ativas (42,8%), com momentos pontuais de atuação construtiva (14,29%). Já no indicador SAMR, todas as práticas (100%) foram classificadas como substituição, indicando que, embora o docente utilize tecnologias que poderiam ser consideradas como inovadoras, elas não alteram substancialmente o papel dos

estudantes nem os processos cognitivos envolvidos na aprendizagem. Assim, o TPACK de P11 nesse contexto situa-se no nível aceitando, caracterizado pela apropriação das tecnologias como apoio pontual ao ensino, reforçando práticas e conteúdos previamente abordados.

Em contraste, na unidade de *Biohackeria* I, o docente demonstra uma postura mais exploratória, investigativa e interdisciplinar, com forte valorização da autonomia dos estudantes e do trabalho colaborativo. As práticas de construção de microscópios caseiros e de estufas automatizadas para micropropagação de plantas mostram uma transição para práticas construtivas (100%) no indicador ICAP, nas quais as tecnologias funcionam como meios de investigação e experimentação. No indicador SAMR, observa-se a ampliação da integração tecnológica: 50% das atividades situam-se no nível de ampliação, 25% em substituição e 25% em redefinição, especialmente na atividade que envolveu microcontroladores Arduino e sensores para controle automatizado das estufas, uma prática que só é possível devido à incorporação efetiva das tecnologias digitais. Essa variação demonstra um avanço qualitativo no uso das tecnologias, que passam de ferramentas representacionais para instrumentos de criação e resolução de problemas reais, com maior potencial de redefinir o processo de ensino e aprendizagem.

As diferenças entre os dois componentes curriculares refletem o contraste entre uma disciplina tradicional, com currículo e referenciais bem definidos, e uma unidade emergente em construção, que permite maior flexibilidade e inovação pedagógica. Em Biologia, o ensino segue uma lógica mais linear e conteudista, apoiando-se em materiais didáticos consolidados e com pouca margem para experimentação novas abordagens baseadas em tecnologias. Já em *Biohackeria*, o professor atua em um contexto mais dinâmico e interdisciplinar, no qual é possível estabelecer pontes entre biologia, robótica e tecnologias disponíveis nos espaços *maker*, explorando o caráter experimental e criativo desses recursos.

Em *Biohackeria*, o TPACK de P11 se encontra no nível explorando, pois, embora o docente demonstre maior intencionalidade pedagógica e abertura à experimentação, ainda há espaço para aprofundar a integração entre conteúdo biológico, práticas investigativas e tecnologias. O professor utiliza as tecnologias para enriquecer a experiência prática, mas nem sempre estabelece conexões conceituais explícitas entre os fenômenos biológicos e as ferramentas tecnológicas utilizadas.

De modo geral, a trajetória de P11 demonstra um movimento evolutivo no desenvolvimento do TPACK, que transita do uso funcional para o uso criativo e contextualizado das tecnologias. Enquanto em Biologia, o docente encontra-se em fase de aceitação da tecnologia, em *Biohackeria* demonstra crescente capacidade de integrar tecnologia, com

potencial maior potencial de exploração desses recursos. Essa dualidade evidencia como a natureza curricular e o grau de flexibilidade das disciplinas influenciam diretamente a manifestação do TPACK docente, indicando que novos contextos favorecem a inovação de práticas, ao passo que contextos mais tradicionais tendem a reproduzir modelos pedagógicos consolidados, mesmo diante da disposição de diversas tecnologias.

5.3.5 Grupo B – Professor 28 (P28)

Tive acesso a registros de aulas do componente de Química da área de Ciências da Natureza do 1º ano do EM e a aulas da unidade curricular intitulada de Fabricação Digital e Modelamento Geométrico I para uma turma da 2ª série do EM ministradas por P28, cuja licenciatura é em química. Os registros do primeiro componente cobriram os meses de fevereiro até novembro de 2024 e do segundo de fevereiro a junho do mesmo ano. A partir de uma entrevista com o(a) professor(a), dos registros e acesso a outros materiais como apresentações e roteiros disponibilizados aos estudantes, defini algumas aulas para analisar em maiores detalhes.

Análise da unidade curricular de Química

Obtive acesso a registros de 66 aulas de química de 50 minutos realizadas duas vezes por semana em dias distintos. Agrupei o perfil das atividades realizadas em cinco categorias: ensino de conteúdo de química; revisões; avaliações; eventos; e outros. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 40.

Quadro 40 – P28: características percentuais das aulas de química

(continua)		
Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo da química	Aulas teóricas e expositivas com vídeos, apresentações, simuladores (PhET, Geekie, infográficos); atividades práticas e experimentais (teste da chama, identificação de vidrarias, montagem de moléculas com kits, uso de pHmetro e indicadores, separação de misturas em formato de vídeo); resolução de exercícios e correções de avaliações em sala e no <i>Classroom</i> .	51 (77,27%)
Avaliações	Avaliações escritas e digitais (<i>Forms</i> , Avalia Sesi, provas presenciais), avaliações específicas sobre propriedades periódicas, polaridade, ligações químicas, provas de recuperação paralela.	10 (15,15%)
Revisões	Revisões gerais para avaliação (<i>flashcards</i> , exercícios Geekie, listas de pré-avaliação, revisão Avalia Sesi, revisão de conteúdos como polaridade, ligações e funções inorgânicas).	3 (4,55%)

Quadro 40 – P28: características percentuais das aulas de química

		(conclusão)
Eventos	Jogos Interséries.	1 (1,52%)
Outros	Palestra sobre intercâmbio.	1 (1,52%)
Total de registros		66

Fonte: elaborado pelo autor.

Observei que 22,73% das aulas se deram para atividades de revisão, avaliação, eventos e outras não vinculadas a situações de ensino de conteúdos da área. Para obter uma avaliação mais precisa do perfil dessa categoria, distribuí as atividades das 51 aulas em duas subcategorias apresentadas no Quadro 41.

Verifiquei a predominância das aulas em atividades expositivas dialogadas (62,75%), centradas em explicações e discussões com recursos digitais e tradicionais. Atividades práticas e experimentais (15,69%) e resolução e correção de exercícios correspondem a 37,26% das atividades. De modo geral, as aulas foram conduzidas com estratégias diversas incluindo apresentações elaboradas pelo(a) docente, uso de simuladores, exibição e produção de vídeos, resolução de exercícios e outras atividades de ensino. Além disso, o professor criou uma sala virtual na ferramenta Google *Classroom* para que pudesse compartilhar instruções sobre as atividades e para que os estudantes pudessem realizar entregas de suas produções, especialmente para disponibilização de exercícios teóricos. Não identifiquei atividades que incorporaram recursos e tecnologias associados ao movimento e/ou laboratórios *maker* nessas aulas.

Quadro 41 – P28: características da categoria “ensino de conteúdos de química”

(continua)

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Explicações e discussões teóricas	Aulas expositivas e dialogadas com apoio de vídeos (modelos atômicos, evolução da química), infográficos, simuladores (PhET), material Geekie e apresentações. Temas: átomo, íons, propriedades periódicas, ligações químicas, geometria molecular, polaridade, funções inorgânicas, ácidos, bases, neutralização, cálculos químicos, atividade sobre carta do químico apaixonado, relatórios e registros no portfólio, produções digitais (Google <i>Classroom</i>), Oficinas Senai, viagem a Porto Alegre, organização de portfólio, orientações diversas.	32 (62,75%)
Atividades práticas e experimentais	Conhecimento do laboratório e vidrarias, <i>selfies</i> criativas com IA, guia digital de vidrarias, teste da chama, montagem de moléculas com kits, determinação de pH com indicadores, fita e pHmetro, produção de vídeos de separação de misturas.	8 (15,69%)

Quadro 42 – P28: características da categoria “ensino de conteúdos de química”

(conclusão)

Resolução e correção de exercícios	Exercícios via <i>Classroom</i> , <i>Geekie One</i> , listas pré-avaliação, quizzes gamificado, resolução e correção de atividades, balanceamento de equações com simulador.	11 (21,57%)
Total		51

Fonte: elaborado pelo autor.

Avaliei sete tecnologias que se destacaram em sete aulas, a partir das rubricas ICAP e SAMR como apresentado no Quadro 42.

Quadro 43 – P28: rubricas aplicadas às tecnologias em química

(continua)

Ciências da Natureza I (Química)				
Quantidade de aulas: 4 Conteúdo foco das aulas: átomos e íons. Descrição: o(a) docente utiliza uma apresentação digital para introduzir o conceito de átomo e suas características de acordo com a tabela periódica. Apresentou um vídeo com a história dos modelos atômicos. Utiliza um simulador do PhET colorado sobre a montagem de átomos para ilustrar características da composição atômica. Disponibiliza lista de exercícios da ferramenta Google <i>classroom</i> e resolve em sala com apoio do quadro. https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Apresentação de slides	Passivo	Estudantes recebem informações do(a) docente.	Substituição	A apresentação substitui recursos tradicionais como quadro e giz e livro didático.
Vídeo	Passivo	Estudantes recebem informações do(a) docente.	Ampliação	Substitui recursos como quadro, giz, cartolina ou apresentações digitais, além de exibir de modelos animados sobre os conteúdos. Portanto, apresenta melhorias funcionais que ampliam as possibilidades de ensino.
Simulador PhET Colorado	Ativo	Estudantes manipulam o simulador para realizar a montagem de átomos. Não há indicativos de que os estudantes geraram novas inferências para além do que foi apresentado pelo(a) docente.	Modificação	No contexto da atividade, o recurso permite que os(as) estudantes montem estruturas atômicas e recebam <i>feedback</i> imediato a respeito da posição das partículas, do nome do átomo, da eletronegatividade, entre outros parâmetros, o que seria mais difícil de realizar com outros recursos.
Quantidade de aulas: 2 Conteúdo foco das aulas: equipamentos de laboratórios. Descrição: o(a) docente realiza explicações no laboratórios para mostrar características básicas do uso de vidrarias. No laboratório, os estudantes devem identificar as principais vidrarias. Com base em um sorteio realizado pelo(a) docente, cada estudante deve fazer uma <i>selfie</i> com a vidraria sorteada e utilizar ferramentas de inteligência artificial para colocá-la em algum lugar (ex.: béquer no meio de deserto). Estudantes inserem a <i>selfie</i> com a vidraria em um documento digital único para a turma, que inclui o nome e função da vidraria. O documento se transforma em um guia de identificação de materiais de laboratórios para ser utilizado durante as aulas.				

Quadro 42 – P28: rubricas aplicadas às tecnologias em química

(conclusão)

Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Google Docs	Ativo	Estudantes devem pesquisar os tipos de vidrarias para identificá-las e incluir no guia da turma. Não há indicações de que os estudantes geraram nossas inferências para além dos materiais apresentados.	Substituição	Substitui recursos como um caderno ou apostila física. Não há indicativo de que a tecnologia promoveu melhorias funcionais na atividade.
Fotografia	Ativo	Estudantes manipulam a IA para produzir uma imagem. Não há indicações de que os estudantes geraram nossas inferências para além dos materiais apresentados.	Substituição	No contexto da atividade, a imagem criada com apoio de IA não apresenta melhorias funcionais ou reformulação da tarefa que agregam ao aprendizado do conteúdo, apenas substitui outras abordagens como desenhos ou imagens obtidas de outras formas.

Quantidade de aulas: 1**Conteúdo foco das aulas:** separação de misturas.

Descrição: estudantes devem criar um vídeo com métodos de separação de misturas. Durante a aula o(a) docente organiza os grupos e explica a atividade. O vídeo deve apresentar uma história em que a separação da mistura aparece em uma situação real. Os estudantes devem produzir o vídeo como tarefa de casa com prazo de entrega de um mês.

Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Vídeo	Construtivo	Estudantes devem estudar tipos de misturas e discutir estratégias para representá-las em situações reais. A atividade tem potencial para que estudantes produzam novas inferências e informações.	Substituição	A gravação do vídeo altera a forma de entrega da atividade que poderia ser em formato teatral ao vivo. Não há indicativos de melhoria funcional caracterizado pela utilização do vídeo.

Quantidade de aulas: 2**Conteúdo foco das aulas:** balanceamento de equações.

Descrição: o(a) docente utiliza um simulador do PhET Colorado para que os estudantes possam visualizar o tema e resolver desafios apresentados pelo docente de forma mais visual. Apresenta exemplos de resolução no quadro e utiliza o simulador para que estudantes resolvam as situações, conforme os níveis apresentados no recurso com apoio do(a) professor(a).

Simulador (PhET Colorado)	Ativo	Estudantes devem preencher as quantidades corretas que balanceiam as reações apresentadas, o que reforça o que foi trabalhado. Não há indicativos de que os estudantes geraram novas inferências para além do que foi apresentado pelo(a) docente.	Ampliação	No contexto da atividade, o recurso permite que o(a) os estudantes exercitem o balanceamento de equações químicas e recebam <i>feedback</i> imediato se acertam ou não, o que apresenta ganho funcional em relação a realizar a mesma atividade com lápis e papel ou no quadro.

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise das práticas de P28 no componente de Química revela um perfil docente que alia domínio conceitual e pedagógico a uma integração tecnológica de caráter, predominantemente, instrumental, com ênfase na mediação tradicional e no uso funcional das tecnologias. Os resultados apresentados no Quadro 42 evidenciam uma prática pedagógica equilibrada entre explicações teóricas e atividades interativas, nas quais os estudantes manipulam recursos digitais sob orientação do professor, mas com pouco espaço para autonomia dos estudantes.

O indicador ICAP mostra que 28,57% (2 de 7) das tecnologias analisadas se associam a atuação passiva, 57,14% (4 de 7) a atuação ativa, e 14,29% (1 de 7) a atuação construtiva. Essa distribuição demonstra que o docente busca envolver os estudantes em atividades de exploração e manipulação, como no uso dos simuladores PhET e na produção de vídeos sobre separação de misturas, mas o foco permanece em reforçar conceitos previamente explicados. As práticas oscilam entre momentos de exposição e aplicação, caracterizando um ambiente em que a ação dos estudantes é orientada pelo docente. Ainda que atividades como a criação de vídeos e o uso de simuladores demandem engajamento prático, não há evidências de que os estudantes extrapolem as informações trabalhadas para gerar novos conhecimentos.

Em consonância, o indicador SAMR confirma o caráter funcional da integração tecnológica: 57,14% (4 de 7) das tecnologias se situam no nível de substituição, 28,57% (2 de 7) em ampliação e apenas 14,29% (1 de 7) em modificação. Isso indica que a maior parte das tecnologias é utilizada como substituta de recursos tradicionais, como quadro, livro ou maquete, sem redefinir o processo de ensino e aprendizagem. Há, contudo, indícios de uso mais significativo em casos pontuais, como no simulador de montagem de átomos do PhET, que proporciona *feedback* imediato e visualização interativa, configurando uma experiência que amplia e modifica, parcialmente, o modo como os estudantes interagem com o conteúdo. Apesar desses avanços, não há evidências de integração de recursos dos espaços *maker* nas aulas.

De modo geral, o TPACK de P28 se caracteriza por um nível de consolidação pedagógica tradicional, no qual o conhecimento de conteúdo (CK) e o conhecimento pedagógico (PK) são bem estruturados, mas a intersecção com o conhecimento tecnológico (TK) ainda não se traduz em transformações substanciais das práticas. As tecnologias são mobilizadas para ilustrar, reforçar e tornar mais dinâmicas as aulas, mas com poucos espaços para reconfigurar o papel do professor ou promover práticas mais autônomas pelos estudantes. O docente demonstra segurança em integrar recursos digitais, como apresentações de *slides*,

vídeos, simuladores e ferramentas colaborativas *on-line*, mas o uso dessas tecnologias se mantém ancorado em modelos de ensino centrados na explicação e demonstração.

A predominância de atividades ativas, mas pouco construtivas, e o foco em substituição e ampliação, situam o TPACK de P28 no nível aceitando, conforme a escala interpretativa do modelo. Isso significa que o docente reconhece o valor das tecnologias, as incorpora de modo planejado, mas com enfoque na reprodução de práticas.

Em síntese, o trabalho de P28 revela consistência didática e domínio conceitual, mas uma integração tecnológica em fase intermediária, em que os recursos digitais atuam como extensões de práticas tradicionais, ainda distantes do potencial transformador ao ensino de Química.

Análise da unidade curricular de Fabricação Digital e Modelamento Geométrico I

A unidade curricular de Fabricação Digital e Modelamento Geométrico I (FDMG-I) consistiu em 76 aulas realizadas em aulas-faixa de 50 minutos duas vezes por semana. Agrupei o perfil das aulas em cinco categorias: aulas de conteúdos de FDMG-I, revisões, avaliações, eventos e outros. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 43.

Quadro 44 – P28: características percentuais das aulas de FDMG-I

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo de FDMG-I	Uso do <i>Tinkercad</i> ; <i>webquests</i> para confecção de brindes e suportes; fabricação digital (corte a laser); prototipagem de cases; produção de plaquinhas; jogos de tabuleiro; prototipagem e impressão de microscópios; práticas de corte e montagem; registros das atividades em portfólio; contrato pedagógico; apresentações dos resultados das <i>webquests</i> (brindes, suportes); apresentação de planejamentos de microscópios; socialização de jogos e produtos finais.	76 (100%)
Outros	--	--
Revisões	--	--
Avaliações	--	--
Eventos	--	--
Total de registros		76

Fonte: elaborado pelo autor.

Observei que 100% das aulas se deram para atividades vinculadas à FDMG-I. Não identifiquei atividades classificáveis nas demais categorias. Para obter uma avaliação mais precisa do perfil dessa categoria distribuí as atividades das 76 aulas em duas subcategorias apresentadas no Quadro 44.

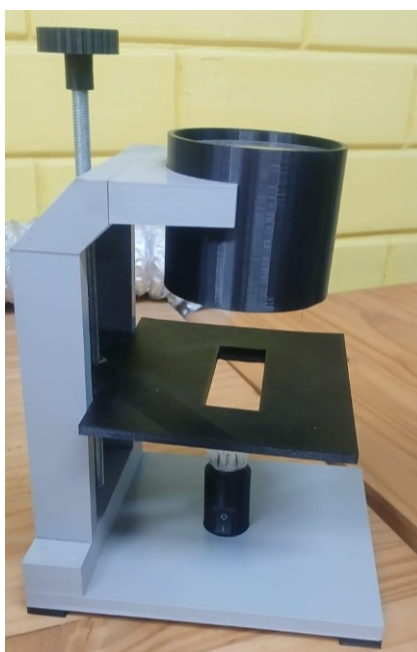
Verifiquei a predominância de atividades práticas e experimentais com 81,58% das atividades, seguida por explicações teóricas e apresentações. As atividades práticas identificadas envolveram prototipagem de suportes de ferramentas, construção de microscópios “caseiros” com apoio da impressão 3D (Figura 24), construção de placas e jogos com recursos de fabricação digital. Todas as práticas envolveram recursos e tecnologias disponíveis no espaço *maker*.

Quadro 45 – P28: características da categoria “ensino de conteúdos da FDMG-I”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Atividades práticas e experimentais	Uso do <i>Tinkercad</i> ; <i>webquests</i> para confecção de brindes e suportes; fabricação digital (corte a laser); prototipagem de cases; produção de plaquinhas; jogos de tabuleiro; prototipagem e impressão de microscópios; práticas de corte e montagem; registros das atividades em portfólio.	62 (81,58%)
Explicações e discussões teóricas	Contrato pedagógico; introdução ao <i>Tinkercad</i> ; introdução ao <i>Inkscape</i> ; primeiros contatos com <i>softwares</i> e conceitos de fabricação digital.	8 (10,53%)
Apresentações	Apresentações dos resultados das <i>webquests</i> (brindes, suportes); apresentação de planejamentos de microscópios; socialização de jogos e produtos finais.	6 (7,89%)
Total		76

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 24 – Microscópio produzido pelos estudantes com auxílio de impressão 3D



Fonte: dados do autor.

Durante a entrevista com o docente, elenquei nove tecnologias que se destacaram ao longo de 39 aulas para serem avaliadas, a partir das rubricas ICAP e SAMR, como apresentado no Quadro 45.

Quadro 46 – P28: rubricas aplicadas às tecnologias em FDMG-I

(continua)

FDMG-I				
Quantidade de aulas: 6 Conteúdo foco das aulas: modelagem e impressão 3D. Descrição: o(a) professor(a) apresenta a ferramenta do <i>Tinkercad</i> e suas funções básicas. Em duplas, os estudantes devem construir um projeto simples que possa ser impresso, para aprender a mexer no modelador e entender o processo de impressão que envolve o fatiador (Cura) e a própria impressão. O professor acompanha os grupos para realizar a impressão. Nesse processo, já apresenta o passo a passo da impressão 3D (colocar filamento, aquecer, preparar a máquina). Quando apresenta os tipos de filamento utilizados na impressora (PLA e ABS) costuma fazer conexões com características químicas para entender as diferenças (propagação de chama ou não); ponto de fusão do filamento, entre outras características técnicas e curiosidades.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Tinkercad</i>	Ativo	Estudantes criam modelos 3D simples para aprender comandos iniciais do <i>software</i> com apoio do docente. Não há indicativos de que geram novas inferências ou informações.	Redefinição	O <i>software</i> permite a construção de modelos 3D criados pelos estudantes e que possam ser impressos. Essa atividade não pode ser feita com ferramentas/recursos tradicionais.
Impressora 3D	Ativo	Estudantes seguem o passo a passo apresentado pelo docente para realizar a impressão. Não há indicativos de que geram novas inferências ou informações.	Modificação	A impressão 3D permite que estudantes materializem com precisão suas criações digitais, o que poderia ser feito de forma manual mas sem a precisão, velocidade e qualidade atrelada à tecnologia.
Quantidade de aulas: 8 Conteúdo foco das aulas: projeto 1 – suporte para ferramentas do laboratório. Descrição: estudantes são divididos em equipes para construir suportes para o painel de ferramentas do laboratório STEAM na impressora 3D. Estudantes irão aprender a realizar modelos reais, para isso devem entender escala, utilizar instrumentos de medição como paquímetro e pensamento espacial. Devem elaborar o projeto e um vídeo viral similar a vídeos de redes sociais com a “venda” do suporte. Estudantes devem criar uma página na internet (<i>landing page</i>) apresentando o seu suporte para o público, simulando uma página comercial do produto. Nesse processo, o(a) professor(a) tem expectativa de que os estudantes percebam que essas páginas de “venda” são estrategicamente elaboradas para fazer você comprar o produto. Muitas vezes essas atividades de criação de vídeos/páginas e apresentações são complementos do tempo necessário aos tempos demandados pelas impressões.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Tinkercad</i>	Construtivo	Os estudantes devem planejar e construir protótipos de suportes para ferramentas da oficina. No processo, os estudantes discutem a respeito de instrumentos de medidas e precisam definir escalas e proporções promovendo a geração de novas inferências.	Redefinição	O <i>software</i> permite a construção de modelos 3D criados pelos estudantes e que possam ser impressos. Os estudantes irão construir o protótipo, e poderão, após impressão, verificar se os conceitos matemáticos foram aplicados corretamente. Essa atividade não pode ser feita com recursos tradicionais.

Quadro 45 – P28: rubricas aplicadas às tecnologias em FDMG-I

(continua)

Impressora 3D	Construtivo	Estudantes utilizam o recurso para imprimir o protótipo desenvolvido no <i>Tinkercad</i> . O fato de o projeto 3D precisar levar em conta técnicas de impressão 3D demanda que estudantes gerem novas inferências e informações sobre o projeto.	Modificação	Os estudantes imprimem um protótipo que terá uma função real no espaço <i>maker</i> , o que não poderia ser facilmente substituído por processos manuais em função do tempo e precisão necessários à aplicação final.
<i>Landing page</i> ²⁸	Construtivo	Estudantes devem discutir e planejar a página para gerar um sentimento de desejo nas pessoas, ressaltando atributos técnicos e benefícios das suas criações, o que demanda reflexão e discussão sobre suas criações.	Modificação	O próprio “conceito” de <i>landing page</i> está atrelado ao universo digital, o que seria difícil de realizar por outros meios. A criação da página digital agiliza o processo quando comparado com produções físicas, além de permitir utilização de diferentes mídias como fotos, vídeos, textos, <i>hiperlinks</i> , entre outros. Como o objetivo do docente também envolveu refletir a respeito de estratégias de marketing digital específicas, o fato de os estudantes produzirem uma página simulando uma situação real faz com que a tecnologia reformule significativamente a atividade.
Quantidade de aulas: 15 Conteúdo foco das aulas: projeto 2 – microscópio com impressão 3D. Descrição: na unidade curricular de <i>Biohackeria</i>, os estudantes devem construir um microscópio 100% construído na impressora 3D usando lentes encontradas por eles. Na aula de <i>biohackeria</i> e física já estudaram a respeito do funcionamento de microscópios e a física das lentes. Em fabricação o desafio é realizar o projeto com liberdade. Na primeira etapa, os estudantes devem projetar um esboço 2D com lápis e papel em 2D detalhando as funcionalidades, os encaixes, os tamanhos das partes do microscópio. O(a) professor(a) auxilia com dicas técnicas e valida o processo. Na medida que validam, os grupos devem construir o modelo 3D. Alguns incluem recursos como leds (ou Arduino para ligar o led), utilizam regulagens de foco, <i>dimmer</i>/potenciômetros entre outros recursos. O(a) professor(a) costuma avaliar o processo de impressão, a construção, os encaixes, entre outros parâmetros. Ao longo das demais aulas devem concluir as construções em função da disponibilidade de equipamentos. O(a) docente da unidade curricular de <i>biohackeria</i> avalia a funcionalidade como microscópio.				

²⁸ Uma *landing page* é uma página da internet autônoma, ou “página de destino”, projetada para uma campanha ou oferta específica, com o objetivo principal de converter visitantes em *leads* ou clientes, realizando uma ação definida, como preencher um formulário, fazer uma compra ou baixar um material.

Quadro 45 – P28: rubricas aplicadas às tecnologias em FDMG-I

(conclusão)

Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Tinkercad</i>	Construtivo	Os estudantes devem planejar, desenvolver modelos digitais das peças e construir um microscópio funcional impresso na 3D. No processo, os estudantes discutem a respeito de instrumentos de medidas e precisam definir escalas e proporções, além de funcionalidades do equipamento, promovendo a geração de novas inferências.	Modificação	Os estudantes criam modelos virtuais em 3D para imprimir. A partir disso eles constroem seis protótipos e poderão verificar se os conceitos matemáticos e científicos vinculados ao funcionamento de microscópios. O planejamento que o desenho 3D demanda faz com que a tarefa seja significativamente reformulada.
Impressora 3D	Construtivo	Estudantes utilizam o recurso para imprimir o protótipo desenvolvido no <i>Tinkercad</i> . O fato de o projeto 3D precisar levar em conta técnicas de impressão 3D demanda que estudantes gerem novas inferências e informações sobre o projeto.	Modificação	Os estudantes imprimem um protótipo que terá uma função real no espaço <i>maker</i> , o que não poderia ser facilmente substituído por processos manuais, em função do tempo e precisão necessários à aplicação final.
Quantidade de aulas: 10 Conteúdo foco das aulas: projeto 3 – jogo interdisciplinar de tabuleiro. Descrição: organizados em grupos, os estudantes criam jogo interdisciplinar de tabuleiro com os manuais em inglês e português. O jogo ensina sobre algum assunto a escolha dos estudantes. Eles podem utilizar materiais diversos como corte a laser para o tabuleiro, impressão 3D para peças, papel/cartolina para cartas. Além disso, criam um <i>site</i> do jogo com os materiais e informações disponíveis. Ao final, os jogos são doados para instituições de ensino da região. Exemplos: tipo <i>hot dog</i> maluco (ensina inglês), inspirado na jogabilidade de outros jogos consolidados; e jogos de perguntas e respostas sobre conteúdos específicos.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Lab Maker</i>	Construtivo	Estudantes devem discutir, planejar e construir jogos interdisciplinares de tabuleiro, a respeito de determinados conteúdos com apoio dos recursos de recursos disponíveis no espaço <i>maker</i> , o que tem potencial de provocar novas inferências ou informações pelos estudantes.	Ampliação	As tecnologias disponíveis no laboratório <i>maker</i> poderiam substituir recursos mais simples como cartolina e papelão. Contudo, as tecnologias ampliam o processo de construção na agilidade, precisão e apresentação/acabamento do produto.
<i>Website</i>	Construtivo	Estudantes devem discutir, planejar e construir um <i>site</i> com informações para sistematizar e compartilhar informações sobre o jogo, o que tem potencial de provocar novas inferências ou informações pelos estudantes.	Ampliação	O <i>site</i> permite a criação de <i>hiperlinks</i> além da disponibilização de recursos multimidiáticos, além de possibilitar que outras pessoas acessem as informações. Portanto, amplia as funcionalidades de outras entregas como manuais físicos ou relatórios escritos impressos.

Fonte: elaborado pelo autor.

As práticas de P28, na unidade curricular de FDMG-I, revelam um perfil voltado à experimentação tecnológica e ao desenvolvimento de competências práticas, com baixa integração direta a conteúdos da área de Química. O docente demonstra domínio das ferramentas de modelagem e fabricação digital, bem como apropriação dos processos técnicos envolvidos, impressão 3D, modelagem no *Tinkercad*, fatiamento e operação das impressoras, mas sua intencionalidade pedagógica se orienta, majoritariamente, à construção de artefatos físicos e resolução de desafios práticos, e pouco espaço à exploração de conteúdo de química.

De acordo com as pontuações do Quadro 45, o indicador ICAP demonstra que 77,78 % (7 de 9) das tecnologias promoveram atuação construtiva e 22,22 % (2 de 9) uma atuação ativa dos estudantes. Esses dados refletem o caráter “mão na massa” das práticas, nas quais os estudantes se engajam no planejamento, prototipagem e produção de objetos 3D. A predominância de atividades construtivas evidencia a criação de situações de aprendizagem em que o estudante constrói conhecimento, a partir da ação e reflexão sobre o fazer, seja projetando suportes funcionais para o laboratório, microscópios impressos em 3D ou jogos de tabuleiro interdisciplinares. Ainda assim, a dimensão conceitual vinculada à Química aparece apenas de forma pontual, por exemplo, a discussões sobre propriedades de matérias-primas para impressão 3D como o PLA e o ABS.

Em relação ao indicador SAMR, em 55,56% (5 de 9) das práticas as tecnologias se caracterizam no nível modificação, em 2,22% (2 de 9) no nível ampliação e em 22,22% (2 de 9) no nível redefinição, o que demonstra um avanço em relação ao uso instrumental identificado na unidade de Química. O professor utiliza tecnologias que reformulam as tarefas tradicionais, transformando atividades que antes dependeriam de recursos analógicos em experiências digitais e colaborativas. A criação de modelos 3D, páginas virtuais e produtos físicos funcionais evidencia a integração significativa de tecnologia e processo criativo, aproximando as práticas de níveis mais altos da escala SAMR. Contudo, as modificações e redefinições identificadas dizem respeito à natureza da tarefa e à experiência tecnológica, e não necessariamente à aprendizagem de conteúdos da química.

O TPACK de P28 em FDMG-I manifesta-se, portanto, em um nível de exploração e consolidação técnica, com forte ênfase no conhecimento tecnológico (TK) e em sua articulação com o conhecimento pedagógico (PK), mas com menor articulação ao conhecimento de conteúdo (CK) da Química. O docente demonstra competência para orientar projetos *maker* complexos, oferecendo suporte técnico e estimulando a autonomia dos estudantes, mas sem intencionalidade de integrar os conceitos científicos e matemáticos à lógica da fabricação digital. Assim, o foco da unidade recai sobre o desenvolvimento de habilidades transversais,

como trabalho colaborativo, pensamento espacial, resolução de problemas e comunicação, mais do que sobre a sistematização de saberes disciplinares.

Essa configuração permite situar o TPACK de P28 em FDMG-I no nível adaptando, caracterizado por um docente que utiliza tecnologias de forma criativa e significativa, promovendo experiências autênticas de aprendizagem, com limitações na consolidação da integração entre conteúdo de química nas atividades propostas.

Síntese do TPACK de P28

A análise das práticas de P28 nas unidades curriculares de Química e FDMG-I evidencia dois perfis distintos de manifestação do TPACK, influenciados tanto pela natureza das disciplinas quanto pelas possibilidades tecnológicas e pedagógicas de cada contexto. Apesar de o docente apresentar autoavaliações elevadas nos construtos TPACK (4,0), PCK (4,0) e TPK (4,33), o modo como articula o conhecimento tecnológico, pedagógico e de conteúdo varia entre as duas unidades, refletindo o contraste entre uma disciplina tradicional e uma em emergente, ainda em construção.

No componente de Química, as práticas de P28 são marcadas por um uso instrumental das tecnologias, voltado ao reforço de conteúdos conceituais e à organização das aulas, sem grandes transformações na estrutura pedagógica. O docente utiliza recursos como apresentações digitais, vídeos, simuladores PhET, exercícios *on-line* e listas via Google *Classroom* para abordar os conteúdos. O indicador ICAP revela uma predominância de atividades ativas (57,14%), em que os estudantes interagem com as tecnologias para consolidar conceitos já apresentados, e passivas (28,57%), associadas a momentos de exposição teórica. Em contrapartida, o indicador SAMR mostra predomínio do nível de substituição (71,43%), sinalizando que as tecnologias substituem recursos tradicionais como quadro, giz ou livro didático, sem alterar o papel do professor ou promover novas formas de ensinar/aprender.

As aulas combinam explicações expositivas e uso de recursos digitais de apoio, o que torna o processo de ensino mais dinâmico, mas mantém o foco na transmissão e aplicação de conhecimentos previamente ensinados. Assim, o TPACK de P28 em Química situa-se no nível aceitando, pois, embora o docente reconheça o potencial das tecnologias e as utilize de modo planejado, elas cumprem função complementar e ilustrativa, com pouco espaços para reconfigurar as práticas pedagógicas.

Já na unidade de Fabricação Digital e Modelamento Geométrico, observo uma mudança substancial no perfil de integração tecnológica. P28 demonstra maior capacidade de articular tecnologias, pedagogia e autonomia dos estudantes, criando situações de aprendizagem

contextualizadas e colaborativas. O foco recai sobre a construção de artefatos físicos, como suportes de ferramentas, microscópios e jogos de tabuleiro, por meio do uso de ferramentas de modelagem 3D (*Tinkercad*), impressão 3D, corte a laser, *landing pages* e *websites*. Essas atividades exigem planejamento, medição, pensamento espacial e discussão em equipe, proporcionando experiências “mão na massa” com forte apelo investigativo.

Os resultados do indicador ICAP mostram que as atividades se concentram em práticas construtivas (77,78%), enquanto o SAMR revela predominância das práticas no nível de modificação (55,56%) e redefinição (22,22%), o que evidencia uma incorporação mais criativa e transformadora das tecnologias. Nessa unidade, as tecnologias não apenas substituem recursos, mas modificam a natureza das tarefas, permitindo a criação de produtos reais e o desenvolvimento de competências múltiplas, como resolução de problemas, pensamento de design e habilidades de comunicação. Contudo, a integração com conteúdos da área de Química ou Física é mínima, o que reforça que o foco está mais na formação tecnológica e interdisciplinar do que na aplicação de conceitos científicos.

Assim, o TPACK de P28 em FDMG-I é classificado no nível adaptando, indicando um docente que vai além do uso instrumental e utiliza tecnologias para reformular práticas de ensino, ainda que a articulação com os saberes disciplinares específicos seja parcial.

A comparação entre os dois componentes revela que o TPACK de P28 varia conforme as exigências curriculares e as margens de flexibilidade de cada disciplina. A Química, por ser uma área com uma tradição curricular, tende a limitar a experimentação tecnológica e manter a centralidade docente. Já a FDMG-I, unidade emergente e interdisciplinar, propicia maior liberdade para a criação e o uso criativo das tecnologias digitais e *maker*.

Em síntese, o perfil TPACK de P28 revela um professor confiante e tecnicamente competente, capaz de utilizar tecnologias para aprimorar e diversificar o ensino, mas cuja integração epistemológica ainda depende do contexto disciplinar. Enquanto na Química o uso tecnológico é funcional e conteudista, em FDMG-I ele se torna criativo, experimental e interdisciplinar. Essa dualidade evidencia como o grau de liberdade curricular e a natureza das práticas pedagógicas influenciam diretamente a manifestação do TPACK docente, reforçando, por um lado, o potencial de espaços curriculares inovadores, como FDMG-I, para fomentar o uso mais transformador das tecnologias digitais em situações de ensino, ao mesmo tempo, desafios no que diz respeito a efetividade dessas apropriações para ensino estruturado de conteúdos da área de química.

5.3.6 Grupo A – Professor 23 (P23)

Tive acesso a registros de aulas do componente de Física da área de Ciências da Natureza do 1º ano do EM; e do componente Robótica I para uma turma da 2ª série do EM. Em ambos os casos, os registros cobriram os meses de fevereiro até outubro de 2024.

Análise da unidade curricular de Física

Do conjunto de 68 aulas ministradas pelo docente, os registros indicam 46 aulas de 50 minutos voltadas a conteúdos de Física, realizadas em duas aulas-faixa por semana. Agrupei o perfil das atividades realizadas em cinco categorias: ensino de conteúdo de física; revisões; avaliações; eventos; e outros. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 46.

Observei que 32,35% das aulas se deram para atividades de revisão, avaliação e outros não vinculadas diretamente a situações de ensino de conteúdos da área. Não identifiquei atividades classificáveis na categoria eventos. As subcategorias identificadas na categoria “ensino de conteúdos de física” são apresentadas no Quadro 47.

Quadro 47 – P23: características percentuais das aulas de física

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo da Física	Aulas expositivas-dialogadas e práticas sobre: Sistema Internacional de Unidades, velocidade média, movimento uniforme e variado (horizontal e vertical), movimento circular uniforme, dinâmica (Leis de Newton, aplicações e força de atrito), trabalho de uma força. Inclui também orientações do PPE.	46 (67,65%)
Avaliações	Provas formais (Habilidade 6, movimentos variados, PPE da Habilidade 6) realizadas pelos estudantes.	12 (17,65%)
Revisões	Correções de provas, retomada de habilidades (recuperações de H6, movimentos variados e aplicações das Leis de Newton), listas de exercícios e revisões direcionadas para avaliações (como Avalia Sesi I).	6 (8,82%)
Outros	Atividades escolares diferenciadas não diretamente ligadas ao ensino de conteúdos de Física, como participação no projeto Lekto.	4 (5,88%)
Eventos	--	--
Total de registros		68

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 48 – P23: características da categoria “ensino de conteúdos da física”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Explicações e discussões teóricas	Apresentação e contrato didático; conteúdos sobre Sistema Internacional de Unidades, velocidade média, movimento uniforme, movimentos variados (incluindo verticais), movimento circular uniforme, introdução à dinâmica, Leis de Newton, aplicações das Leis de Newton, força de atrito, trabalho de uma força, orientação PPE sobre movimentos verticais.	36 (65,22%)
Atividades práticas e experimentais	Elaboração e lançamento de foguetes da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA).	4 (8,70%)
Resolução e correção de exercícios (em aula)	Correção de avaliações; exercícios aplicados sobre as Leis de Newton.	4 (8,70%)
Apresentações	Apresentação de trabalhos sobre as Leis de Newton.	2 (4,35%)
Total		46

Fonte: elaborado pelo autor.

Verifiquei a predominância das aulas em explicações e discussões teóricas com 65,22% das atividades, seguida de apresentações realizadas pelos estudantes, atividades práticas e experimentais e resolução de exercícios. Recursos tecnológicos estiveram associadas à projeção de apresentações pelo docente, utilização do material didático digital e, pontualmente, a utilização de vídeos e simulador virtual como suporte a explicações geralmente com abordagens centradas no docente.

Durante a entrevista com P23, elenquei cinco tecnologias com destaque em 10 aulas da subcategoria “ensino de conteúdos de física” para avaliar as rubricas ICAP e SAMR, como apresentado no Quadro 48.

Quadro 49 – P23: rubricas aplicadas às tecnologias em Física

(continua)

Ciências da Natureza I (Física)				
Quantidade de aulas: 4 Conteúdo foco das aulas: Movimentos Variados Descrição: O(a) professor(a) trabalha os principais conceitos sobre os movimentos variados (aceleração, alcance...) em aulas anteriores. Como forma de preparação para a Olimpíada Brasileira de Foguetes, o(a) docente apresentou um vídeo próprio lançando um foguete feito com garrafas pet. Além do vídeo, P23 levou o foguete para a aula, explicou como funciona e pediu para os estudantes pesquisarem as formas de construí-los. Na aula cada estudante construiu o seu foguete, mas deveriam compartilhar a base construída pela equipe para realizar os lançamentos. Explicações conceituais vieram em aulas seguintes.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Vídeo	Passivo	Estudantes recebem informações do(a) docente.	Substituição	O vídeo demonstra o funcionamento do foguete. Contudo, o(a) docente realiza a mesma apresentação com um modelo físico em outra aula, portanto, o vídeo não agrega ganhos funcionais nesse contexto.

Quadro 48 – P23: rubricas aplicadas às tecnologias em Física

(conclusão)

Lab <i>Maker</i>	Ativo	Durante a construção dos foguetes não há indicativos de que os estudantes geram novos conhecimentos para além do que foi repassado pelo(a) docente.	Substituição	Ferramentas tradicionais de oficinas foram utilizadas no processo, como serras e chaves, o que não agrega melhorias funcionais à atividade, além da própria construção.
Quantidade de aulas: 2 Conteúdo foco das aulas: movimento vertical variado. Descrição: o(a) professor(a) utilizou o simulador do PhET para explicar porque indicou a angulação de 45° para construção da base na aula de construção, com apoio do quadro e material da Geekie. Professor acessa a Geekie projetada e realiza explicações para a turma. Quando resolvem exercícios, cada estudante utiliza seu <i>chromebook</i> , mas pode resolver em grupo.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Simulador PhET Colorado	Passivo	Estudantes recebem informações do(a) docente.	Ampliação	No contexto da atividade, o recurso permite que o(a) docente manipule variáveis para simular diferentes configurações de lançamento. Trata-se de um ganho funcional em relação a utilização de desenhos e esquemas.
Quantidade de aulas: 4 Conteúdo foco das aulas: Leis de Newton. Descrição: o(a) professor(a) explicou as Leis de Newton projetando materiais como vídeos ou imagens que podem auxiliar na explicação das forças. Estudantes tiveram que escolher uma modalidade olímpica e apresentar como as Leis de Newton se aplicam na situação por meio da elaboração de apresentação digital ou gravação de vídeo. Durante a apresentação dos trabalhos, os estudantes e o(a) professor(a) fazem perguntas para os grupos.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Apresentação digital	Construtivo	Estudantes devem produzir inferências sobre a aplicação das Leis de Newton em contextos olímpicos para elaborar uma apresentação digital.	Substituição	Substitui recursos como quadro, giz ou cartolina. Não há indicativo de que a elaboração de apresentações digitais promoveu melhorias funcionais na atividade.
Vídeos	Construtivo	Estudantes devem produzir inferências sobre a aplicação das Leis de Newton em contextos olímpicos para elaborar vídeos.	Substituição	Substitui recursos como quadro, giz, cartolina ou apresentações digitais. Não há indicativo de que a tecnologia audiovisual promoveu melhorias funcionais na atividade.

Fonte: elaborado pelo autor.

As aulas observadas contemplaram temas como movimentos variados, movimento vertical e Leis de Newton, articulando momentos expositivos, práticas experimentais e atividades investigativas com foco na Olimpíada Brasileira de Foguetes (Obafog). O(a) professor(a) iniciou as discussões com vídeos demonstrativos e explicações teóricas, seguidas pela construção e lançamento de foguetes de garrafas PET. A sequência foi concluída com a sistematização de conceitos e produções digitais, como apresentações e vídeos sobre as Leis de Newton aplicadas a modalidades esportivas.

O indicador ICAP evidencia que 40% (2 de 5) das tecnologias promoveram atuações passivas, 40% (2 de 5) construtivas e 20% (1 de 5) ativas, o que demonstra oscilação entre momentos em que os estudantes receberam informações, mas também tiveram que produzir conhecimentos, com tendência abordagens de ensino guiadas pelo(a) docente. Os momentos construtivos estiveram associados, principalmente, às atividades de aplicação conceitual e produção de vídeos e apresentações digitais, nas quais os estudantes precisaram relacionar os conceitos físicos a fenômenos do cotidiano. Contudo, nas etapas iniciais, em particular durante a exposição de conteúdos e uso de simuladores, prevalecem ações centradas no(a) docente.

O indicador SAMR corrobora esse perfil: 80% (4 de 5) das tecnologias analisadas situaram-se no nível de substituição, e 20% (1 de 5) no nível de ampliação. Isso indica que os recursos, como vídeos, simuladores, apresentações digitais e materiais da plataforma Geckie, foram utilizados como apoio ao ensino tradicional, sem reconfigurar as práticas. Por exemplo, o uso do simulador PhET representou um ganho funcional em relação aos esquemas estáticos no quadro, mas ainda dentro de uma lógica demonstrativa conduzida pelo professor.

De modo geral, o TPACK de P28 se caracteriza por um nível de consolidação pedagógica tradicional, no qual o conhecimento de conteúdo (CK) e o conhecimento pedagógico (PK) são bem estruturados, mas a intersecção com o conhecimento tecnológico (TK) ainda não se traduz em transformações das práticas. As tecnologias são mobilizadas para ilustrar, reforçar e tornar as aulas mais dinâmicas, com poucos espaços para reconfigurar o papel do professor ou promover práticas mais autônomas pelos estudantes.

O(a) docente incorpora tecnologias de modo a facilitar a visualização de fenômenos e a execução das atividades, porém, não transformaram as relações de ensino e aprendizagem, mantendo a centralidade no docente e uma estrutura de aula mais tradicional, ainda que intercalada com práticas experimentais. As experiências práticas, como o projeto dos foguetes, aproximaram a Física de contextos reais, mas o papel da tecnologia digital permaneceu secundário no processo de construção do conhecimento.

Análise da unidade curricular de Robótica I

A unidade curricular de Robótica I consistiu em 49 aulas, sendo duas aulas semanais de 50 minutos realizadas em dias distintos. Agrupei o perfil das aulas em cinco categorias: aulas de conteúdos de Robótica I, revisões, avaliações, eventos e outros. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 49.

Quadro 50 – P23: características percentuais das aulas de Robótica I

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo de Robótica I	Introdução e contrato pedagógico; circuitos elétricos simples; projetos com Arduino (pisca LED, LDR, <i>push button</i> , <i>buzzer</i> , sirene, piano, aplicações práticas); estudo de sensores e atuadores (ultrassônico, DHT11, <i>display LCD</i> , <i>servo motor</i>).	47 (95,92%)
Avaliações	Realização da avaliação institucional (Avalia Sesi I)	1 (2,04%)
Outros	Atividade para introdução à iniciação científica em função da indisponibilidade do laboratório <i>maker</i> .	1 (2,04%)
Eventos	--	--
Revisões	--	--
Total de registros		49

Fonte: elaborado pelo autor.

Observei que 95,92% das aulas se deram para atividades vinculadas à Robótica I, e 4,08% às categorias avaliações e outros. Não identifiquei atividades classificáveis na categoria eventos e revisões. Optei por separar as avaliações e outros da categoria “ensino de conteúdos da robótica”, uma vez que esse conjunto teria mais potencial de englobar práticas que pudessem se utilizar de elementos da cultura a laboratórios *maker*. Para obter uma avaliação mais precisa do perfil dessa categoria, distribuí as atividades das 47 aulas em duas subcategorias apresentadas no Quadro 50.

Quadro 51 – P23: características da categoria “ensino de conteúdos da robótica”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Atividades práticas e experimentais	Projetos com Arduino (pisca LED, LDR, <i>push button</i> , <i>buzzer</i> , sirene, piano), aplicações práticas de componentes, sensores e atuadores, desenvolvimento dos projetos “Como a robótica pode ajudar em nosso cotidiano?”	39 (68,09%)
Explicações e discussões teóricas	Apresentação da Unidade Curricular, contrato pedagógico, introdução a conceitos de circuitos elétricos, componentes do Arduino e atuadores (sensor ultrassônico, DHT11, LCD, servo motor).	4 (14,89%)
Apresentações registros	e Apresentação dos projetos finais da UC e registros finais nos portfólios.	5 (8,51%)
Total		47

Fonte: elaborado pelo autor.

Verifiquei a predominância de atividades práticas e experimentais com 68,09% das atividades, seguida por explicações teóricas e apresentações e registros. As atividades práticas identificadas envolveram a exploração de sensores e do microcontrolador Arduino, bem como aplicações em projetos aplicados. As práticas se deram com apoio de recursos disponíveis nos

espaços *maker*. Destaco que, logo nas primeiras aulas, o(a) docente aborda conceitos iniciais associados a circuitos elétricos (ligações em série, paralelo, polaridade) e aos dispositivos como resistor, led, corrente (tensão, resistência e corrente – URI) com apoio de demonstrações práticas e imagens de circuitos projetadas à turma.

Durante a entrevista com o docente, elenquei sete tecnologias que se destacaram ao longo de 18 aulas voltadas ao ensino de conteúdos de Robótica I para serem avaliadas a partir das rubricas ICAP e SAMR, como apresentado no Quadro 51.

Quadro 52 – P23: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I

(continua)

Robótica I				
Quantidade de aulas: 4 Conteúdo foco das aulas: montagem de circuitos e introdução à programação no Arduino. Descrição: o professor utiliza o simulador <i>Tinkercad</i> para ensinar os estudantes a montar um circuito elétrico com Arduino e fazer o led piscar, aborda os primeiros passos na programação do Arduino. Na aula seguinte, os estudantes possuem funções específicas: líder, programador, organizador e montador, que se revezam ao longo do tempo. No laboratório <i>maker</i> devem reproduzir a prática realizada no <i>Tinkercad</i> com dispositivos físicos. O professor passa nos grupos para sanar dúvidas e realizar explicações adicionais.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Tinkercad</i>	Ativo	O professor explica o passo a passo para fazer o led piscar no <i>Tinkercad</i> . Não há indicativos de que os estudantes produzem novas inferências ou informações.	Modificação	Montar circuitos no simulador permite que os estudantes trabalhem de forma segura, sem estragar componentes e realizar testes de forma mais livre, além de verificarem se a programação está correta.
Kit Arduino	Ativo	Os estudantes devem reproduzir a montagem do <i>Tinkercad</i> com itens físicos. Não há indicativos de que os estudantes produzem novas inferências ou informações.	Ampliação	O uso do Arduino e sensores permite ampliar a proposta da atividade no simulador <i>Tinkercad</i> com a montagem de sistemas reais. Contudo, não há ganhos conceituais quando comparado ao uso do simulador no contexto da atividade proposta.
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: funcionamento e programação de Sensor LDR (Diodo dependente de luz). Descrição: o(a) professor(a) apresenta o funcionamento básico do sensor LDR, a relação entre fóton e produção de corrente elétrica. Estudantes devem montar o circuito no <i>Tinkercad</i> com apoio do(a) docente. Em seguida, devem reproduzir a montagem com as peças físicas no laboratório <i>maker</i> . Além disso, estudantes devem registrar as construções, por meio de fotos e vídeos e incluir no portfólio digital.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Tinkercad</i>	Ativo	O professor auxilia os estudantes a programarem o LDR no <i>Tinkercad</i> . Não há indicativos de que os estudantes produzem novas inferências ou informações.	Modificação	Montar circuitos no simulador permite que os estudantes trabalhem de forma segura, sem estragar componentes e realizar testes de forma mais livre, além de verificarem se a programação está correta.

Quadro 51 – P23: rubricas aplicadas às tecnologias em Robótica I

(conclusão)

Kit Arduino	Ativo	Os estudantes devem reproduzir a montagem do <i>Tinkercad</i> com itens físicos. Não há indicativos de que os estudantes produzem novas inferências ou informações.	Ampliação	O uso do Arduino e sensores permite ampliar a proposta da atividade no simulador <i>Tinkercad</i> com a montagem de sistemas reais. Contudo, não há ganhos conceituais quando comparado ao uso do simulador no contexto da atividade proposta.
Quantidade de aulas: 3 Conteúdo foco das aulas: funcionamento e programação de chave <i>Push Button</i>. Descrição: o(a) professor(a) contextualiza o funcionamento principal do controlador <i>Push Button</i> com conceitos básicos da física. Utiliza uma apresentação com imagens para explicar aspectos técnicos do funcionamento do sensor enfatizando a ideia do dispositivo como uma chave que abre e fecha o circuito. Realiza a montagem junto com os estudantes no <i>Tinkercad</i>. Em seguida, em grupos, os estudantes devem reproduzir o sistema físico. Ao final, devem elaborar registros em foto e vídeo no portfólio. Aqueles que completam devem realizar um desafio extra: ao invés de acender o led com o botão pressionado, o efeito deve ser invertido.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Tinkercad</i>	Ativo	O professor auxilia os estudantes a incorporarem o <i>Push Button</i> no <i>Tinkercad</i> . Não há indicativos de que os estudantes produzem novas inferências ou informações.	Modificação	Montar circuitos no simulador permite que os estudantes trabalhem de forma segura, sem estragar componentes e realizar testes de forma mais livre, além de verificarem se a programação está correta.
Kit Arduino	Ativo	Os estudantes devem reproduzir a montagem do <i>Tinkercad</i> com itens físicos. Não há indicativos de que os estudantes produzem novas inferências ou informações.	Ampliação	O uso do Arduino e sensores permite ampliar a proposta da atividade no simulador <i>Tinkercad</i> com a montagem de sistemas reais. Contudo, não há ganhos conceituais quando comparado ao uso do simulador no contexto da atividade proposta.
Quantidade de aulas: 8 Conteúdo foco das aulas: desenvolvimento de projeto com sensores. Descrição: estudantes já conhecem os componentes e as principais ligações. Em grupos, eles devem utilizar esses componentes para criar um protótipo de aplicação dos sensores em um sistema real “simulado”. Ex.: sensor de estacionamento sonoro. Estudantes podem criar e pesquisar ideias na internet. Ao final, os estudantes devem explicar “o quê” fizeram, “por quê” fizeram e “como” fizeram. Ao explicar, devem abordar aspectos técnicos do funcionamento do circuito, por exemplo, efeito de “<i>delay</i>” da medição e velocidade do som com o sensor ultrassônico. Explicações concentradas no funcionamento do projeto como um todo. O(a) docente faz perguntas e intervenções durante as apresentações.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Kit Arduino	Construtivo	Os estudantes devem mobilizar os conhecimentos anteriores para criar seus próprios projetos de aplicação. Para isso, no mínimo deverá discutir ideias e conceitos para definir como irão incorporá-las ao projeto.	Redefinição	Nesse caso, o <i>Tinkercad</i> não poderia ser utilizado ou ser realizado de forma teórica. Portanto, a disponibilidade do kit Arduino torna-se essencial para o desenvolvimento dos protótipos, inconcebíveis de outra forma.

Fonte: elaborado pelo autor.

As práticas de P23 na unidade curricular de Robótica I evidenciam um perfil docente voltado ao desenvolvimento técnico-operacional e introdutório da robótica educacional, com foco na familiarização dos estudantes com os princípios básicos de circuitos elétricos, sensores e programação de microcontroladores. O docente demonstra domínio técnico do Arduino e do simulador *Tinkercad*, conduzindo as aulas de forma estruturada e gradual, da simulação à montagem física dos protótipos, o que garante consistência metodológica e segurança no processo de ensino e aprendizagem. Ainda assim, o foco predominante recai sobre a execução das tarefas e a compreensão prática do funcionamento dos componentes, mais do que sobre a exploração conceitual da física associada às tecnologias, como eletricidade, energia e força.

De acordo com os resultados do indicador ICAP, 85,71% (6 de 7) das tecnologias promoveram atuação ativa e 14,29% (1 de 7) atuação construtiva. Esse dado reflete uma abordagem centrada no caráter “mão na massa”, em que os estudantes manipulam sensores, testam códigos e reproduzem montagens, porém, dentro de sequências didáticas guiadas pelo professor. Apenas nas etapas finais, quando os grupos desenvolvem seus próprios protótipos, observo maior protagonismo e elaboração de inferências de novos conhecimentos, evidenciando o início de uma transição para práticas mais construtivas.

Em relação ao indicador SAMR, 42,86% (3 de 7) das tecnologias se caracterizam no nível ampliação, 42,86% (3 de 7) no nível modificação (42,86%) e 14,29% (1 de 7) no nível redefinição, sugerindo um equilíbrio entre práticas instrumentais e com potencial transformador. O uso do *Tinkercad* e do kit Arduino promove ganhos funcionais, como segurança, teste de hipóteses e simulação de resultados em tempo real, que modificam as possibilidades de experimentação em comparação a métodos analógicos. No projeto final, em que os estudantes conceberam aplicações reais para sensores (como sistemas de estacionamento sonoro), observo a redefinição da tarefa, pois tais experiências seriam inviáveis sem o suporte das tecnologias digitais e da eletrônica embarcada.

O TPACK de P23 em Robótica I manifesta-se em um nível de adaptação, caracterizado por uma articulação sólida entre o conhecimento tecnológico (TK) e o conhecimento pedagógico (PK), mas ainda com pouca articulação com conhecimentos de conteúdo (CK) da Física. Embora os conceitos científicos estejam presentes, por exemplo, nas discussões sobre resistência, corrente ou comportamento dos sensores, eles aparecem como pano de fundo, sem papel estruturante no processo de ensino. As tecnologias são, portanto, meios para desenvolver competências técnicas e lógicas, não necessariamente pontes para aprofundar os conteúdos da área.

Em síntese, P23 integra tecnologias de forma sistemática e significativa, promovendo experiências de aprendizagem autênticas e contextualizadas, mas com pouco espaço de integração especialmente entre conteúdos da física com os de pedagogia e tecnologia. As práticas analisadas indicam que o docente domina tecnicamente as tecnologias e é capaz de criar um ambiente de experimentação e colaboração entre os estudantes.

Síntese do TPACK de P23

Nas respostas ao questionário TMTSI adaptado, P23 apresentou a média de 5,00 para os construtos TPACK, TPK e PCK, o que representa autoavaliação máxima em todos os domínios. Esse resultado revela um(a) docente com elevada autoconfiança em relação ao uso de tecnologias em sua prática pedagógica. Entretanto, as análises empíricas das rubricas ICAP e SAMR evidenciam que as integrações tecnológicas realizadas mantêm-se majoritariamente nos níveis de substituição e ampliação, ainda que no componente de Robótica I surjam práticas que alcançam níveis mais altos de modificação e, pontualmente, redefinição. Assim, compreende-se que, apesar da segurança no uso das tecnologias, a apropriação pedagógica demonstra um carácter predominantemente instrumental, variando conforme o contexto curricular e os objetivos de cada unidade.

No componente de Física, as práticas de P23 se estruturam a partir de uma lógica de equilíbrio entre demonstração, experimentação e sistematização conceitual. As atividades analisadas abordaram temas como movimentos variados, Leis de Newton e lançamentos oblíquos, utilizando tecnologias como vídeos, simuladores PhET, apresentações digitais e materiais recicláveis para a construção de foguetes. As aulas seguem um padrão que envolve introdução teórica, experimentação prática e retomada conceitual, o que evidencia um planejamento cuidadoso, porém, centrado no(a) docente.

De acordo com os indicadores, o ICAP indica para práticas passivas (40%), ativas (20%) e construtivas (40%), revelando a coexistência de momentos de escuta, ação e construção de conhecimento. Já o SAMR mostra predominância da substituição (80%), seguida da ampliação (20%), o que reforça a compreensão de que as tecnologias são empregadas para reforçar práticas já existentes, como projeções ou exibições audiovisuais, sem reconfigurar significativamente o processo de ensino e aprendizagem.

Ainda que o docente relate experiências de integração mais profundas, como o espectrômetro desenvolvido com Arduino em seu projeto de mestrado, tais práticas não se manifestam no contexto observado, que permanece restrito a abordagens mais tradicionais. Dessa forma, o TPACK na Física pode ser caracterizado no nível aceitando, em que o uso das

tecnologias contribui para melhorar a clareza e o engajamento das aulas, mas não altera de maneira estrutural o modo como o conhecimento científico é produzido ou explorado pelos estudantes.

Na unidade curricular de Robótica I, observo uma mudança substancial no perfil de integração tecnológica. As práticas se concentram na introdução à eletrônica, sensores e programação com Arduino, apoiadas pelo uso de simuladores (*Tinkercad*) e kits físicos. O docente organiza as aulas de modo progressivo iniciando com explicações guiadas, avança para montagens controladas e culmina em desafios criativos que envolvem aplicações práticas, como sistemas de estacionamento automatizado (Figura 25) ou sensores de luminosidade e movimento.

Os resultados do ICAP revelam predominância de práticas ativas (85,71%) e esporadicamente construtivas (14,29%), destacando um processo de aprendizagem centrado na experimentação e na resolução de desafios técnicos-procedimentais. Já o SAMR distribui-se de forma mais equilibrada, ampliação (42,86%), modificação (42,86%) e redefinição (14,29%), sinalizando que as tecnologias utilizadas transformam as tarefas, especialmente quando os estudantes precisam integrar programação, eletrônica e criatividade em um mesmo projeto.

Embora o docente mantenha forte controle sobre as etapas e orientações, as práticas em Robótica I promovem maior autonomia e colaboração entre os estudantes. A presença de desafios abertos estimula a aplicação prática dos conceitos físicos, ainda que estes não constituam o foco central da unidade. Assim, o TPACK em Robótica I situa-se no nível adaptando, indicando integração consistente e significativa das tecnologias, com potencial para evoluir em direção a uma prática mais interdisciplinar e exploratória.

As práticas em ambos os componentes evidenciam modos complementares de apropriação tecnológica. Em Física, P23 atua em um campo curricular consolidado, regido por conteúdos, sequências e materiais didáticos tradicionais, o que tende a limitar a experimentação tecnológica a formas de mediação mais convencionais. Já em Robótica I, o docente encontra maior liberdade pedagógica e flexibilidade curricular, o que favorece a exploração de ferramentas *maker* e o uso de tecnologias digitais de modo criativo e aplicado.

Quadro 53 – P43: características percentuais das aulas de biologia

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo da Biologia	Aulas expositivas-dialogadas com uso do <i>Geekie One</i> , vídeos e simuladores; atividades práticas em laboratório (microscópio, lâminas, relatórios); construção de modelos de células; gravação de vídeos sobre organelas; confecção de <i>sites</i> e <i>podcasts</i> sobre sistemas do corpo humano; apresentações de trabalhos; discussões em grupo; resolução de exercícios.	49 (69,01%)
Eventos	Festa da colheita, Jogos Interclasses, Mostra STEAM (organização, orientação, apresentações).	9 (12,68%)
Avaliações	Provas (Passe, Avalia Sesi I e II), avaliações no <i>Forms</i> e Docs, atividades de recuperação avaliativa, avaliação digital no <i>Geekie</i> (linha do tempo do átomo), avaliação da Mostra Científica (individual e por pares).	8 (11,27%)
Revisões	Revisões de conteúdos para provas (<i>flash cards</i> , retomadas expositivas sobre Avalia Sesi I).	3 (4,23%)
Outros	Aulas substituídas por outros docentes.	2 (2,82%)
Total de registros		71

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 54 – P43: características da categoria “ensino de conteúdos da biologia”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Explicações e discussões teóricas	Aulas expositivas dialogadas com apoio do <i>Geekie One</i> , <i>slides</i> , vídeos e simuladores; introdução de conceitos (origem da vida, biogênese, evolução, mitose, meiose, sistemas do corpo humano).	22 (44,9%)
Atividades práticas e experimentais	Construção de modelos de células; produção de vídeos encenando funções das organelas; aula prática de microscópio (manuseio e lâminas); construção de relatórios; atividade passo a passo sobre mitose; criação de <i>sites</i> e <i>podcasts</i> sobre sistemas do corpo humano.	15 (30,61%)
Apresentações	Apresentação de vídeos sobre organelas; apresentações orais e em slides dos sistemas do corpo humano; socialização de <i>sites</i> e <i>podcasts</i> .	8 (16,33%)
Resolução e correção de exercícios (em aula)	Situação-problema via <i>Geekie</i> ; correção de atividades; resumos em caderno; exercícios integrados às explicações.	4 (8,16%)
Total		49

Fonte: elaborado pelo autor.

Verifiquei a predominância das aulas em explicações e discussões teóricas com 44,9% das atividades, seguida de atividades práticas e experimentais, apresentações realizadas pelos estudantes e resolução de exercícios. As atividades práticas identificadas envolveram construções de modelos de células com materiais simples, produção de vídeos, observações no microscópio, produção de relatórios e elementos digitais como *site* e *podcast* sobre os assuntos trabalhados. Não foram identificadas práticas associadas a ferramentas e tecnologias típicas disponíveis nos espaços *maker*.

Durante a entrevista com o(a) docente foram identificadas sete tecnologias que se destacaram no conjunto de 20 aulas para serem avaliadas a partir das rubricas ICAP e SAMR, como apresentado no Quadro 54.

Quadro 55 – P43: rubricas aplicadas às tecnologias em Biologia

(continua)

Ciências da Natureza I (Biologia)				
Quantidade de aulas: 4 Conteúdo foco das aulas: origem da vida. Descrição: o(a) professor(a) apresenta trechos de um documentário da <i>National Geographic</i> para introduzir conceitos sobre o tema da origem da vida. A partir daí, propõe atividades em dupla para construir uma linha do tempo sobre a origem da vida no Docs. Em seguida realizam atividade individual, em sala e em casa, com roteiro disponibilizado no Google Docs que envolve pesquisas na internet, a partir de páginas pré-selecionadas para responder perguntas abertas. Utilizam os <i>chromebooks</i> para realizar pesquisas e responder em um Google Docs. O(a) docente também realiza explicações para esclarecer dúvidas e estruturar as principais ideias sobre o tópico, além de resolver exercícios teóricos na plataforma da Geekie.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Vídeo	Passivo	Estudantes recebem informações do docente/vídeo.	Ampliação	O vídeo possui uma narrativa construída com apoio de imagens e animações que pode ampliar o potencial de outros recursos como desenhos e imagens estáticas.
Google Docs	Ativo	Estudantes devem elaborar uma linha do tempo a partir das informações apresentadas pelo(a) docente e vídeo. Não há indicativos de que há novas inferências.	Substituição	Ferramenta substitui o registro das pesquisas de forma física, mas não há ganhos funcionais no contexto da atividade.
Computador (internet)	Construtivo	Apesar da atividade ser individual, o estudante pode utilizar a ferramenta para pesquisar em diferentes fontes e produzir análises críticas solicitadas no roteiro.	Ampliação	O computador é usado como substituto funcional com melhorias no acesso à informação, mas sem reformulação profunda da tarefa.
Quantidade de aulas: 5 Conteúdo foco das aulas: células procariontes e eucariontes. Descrição: em grupos, os estudantes tiveram que gravar vídeos sobre organelas. Eles deveriam escolher, a seu critério, três organelas dentre as estudadas, realizar pesquisas sobre suas características e produzir uma minienenação, retratando a função de cada uma das organelas escolhidas. Os vídeos não deverão declarar explicitamente qual organela estava sendo exibida, apenas suas características. Outros grupos tiveram que assistir o vídeo e identificar o tipo de organela representada.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Vídeo	Construtivo	Os estudantes precisam pesquisar, discutir e definir o roteiro do vídeo, o que tem potencial para produzir novas conclusões/informações a respeito do tema.	Substituição	A gravação do vídeo altera a forma de entrega da atividade, que poderia ser em formato teatral ao vivo. Não há indicativos de melhoria funcional caracterizado pela utilização do vídeo.

Quadro 54 – P43: rubricas aplicadas às tecnologias em Biologia

(conclusão)

Quantidade de aulas: 1 Conteúdo foco das aulas: mitose e meiose. Descrição: o(a) professor(a) inicia a aula de forma expositiva dialogada, com esquemas criados no quadro, para que os estudantes anotem em seus cadernos. Após esta etapa, utilizaram um jogo virtual para visualizar detalhadamente cada etapa do processo de divisão celular (http://www.meiose.online/). O(a) docente joga uma vez para demonstrar e depois os estudantes deveriam jogar em seus <i>chromebooks</i> em duplas/grupos. Estudantes discutem formas de completar os desafios, com apoio do(a) professor(a).				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
Jogo virtual	Ativo	Estudantes devem completar as etapas do jogo com apoio do(a) docente. Não há indicativos de que geram novas informações que vão além dos apresentados no jogo.	Ampliação	Os estudantes poderiam ordenar as etapas, por meio de material físico ou selecioná-las em esquemas/desenhos. O jogo simulado agrega animações e a jogabilidade, o que traz melhorias funcionais.
Quantidade de aulas: 10 Conteúdo foco das aulas: sistemas do corpo humano. Descrição: o(a) professor(a) organiza os estudantes em grupos de até cinco integrantes. Cada grupo deve escolher um dos sistemas: digestório, respiratório, cardiovascular, imunitário, linfático, excretor, nervoso, endócrino, reprodutor. Devem fazer uma pesquisa inicial sobre o sistema escolhido, identificando as principais funções, órgãos envolvidos e doenças comuns. A partir da pesquisa, devem criar um <i>site</i> no Google contemplando: apresentação do sistema, com uma imagem chamativa e um breve resumo; funcionamento do sistema, incluindo doenças e cuidados, além de curiosidades. Por fim, devem elaborar um <i>podcast</i> em áudio sobre seu tema. Cada grupo realizou uma apresentação oral do seu trabalho, explicando os principais pontos do <i>site</i> e do <i>podcast</i> .				
Google sites	Construtivo	Estudantes precisavam pesquisar e discutir quais informações e como iriam fazer o <i>site</i> , possivelmente indo além do que foi apresentado pelo(a) docente.	Ampliação	A organização das informações na ferramenta permite produzir um ambiente com diversas mídias e <i>hyperlinks</i> , ampliando as possibilidades de registro e apresentação quando comparado com ferramentas como cartazes ou relatórios físicos.
Podcast em áudio	Construtivo	Estudantes precisavam pesquisar e discutir quais informações e como iriam elaborar o <i>podcast</i> , possivelmente indo além do que foi apresentado pelo(a) docente.	Ampliação	A elaboração de um <i>podcast</i> em áudio agrega desafios como construção de roteiros, escolha de informações mais importantes a serem apresentadas, além de possibilidades de recursos técnicos diversos (efeitos sonoros, inclusão de músicas etc.). Portanto, amplia a proposta de apresentações orais tradicionais.

Fonte: elaborado pelo autor.

As aulas analisadas sugerem um perfil caracterizado por momentos expositivos, atividades colaborativas e produções digitais, com integração tecnológica voltada, principalmente, à ampliação de práticas tradicionais de ensino.

O indicador ICAP apresenta que 57,14% (4 de 7) resultaram na atuação construtiva dos estudantes; em 28,57% (2 de 7) resultaram na atuação ativa; e em 14,29% (1 de 7)

resultando na atuação passiva. O predomínio da dimensão construtiva se manifesta em práticas como a produção de vídeos, *podcasts* e *sites*, nas quais os estudantes elaboraram roteiros, pesquisaram fontes diversas e organizaram conteúdos de forma autoral.

As atividades classificadas como ativas e passivas correspondem aos momentos de visualização de vídeos, jogos digitais e pesquisas individuais, que reforçam a aprendizagem de conceitos, mas com menor espaço para formulação de novas ideias. Assim, o perfil do componente curricular evidencia uma alternância entre abordagens mais direcionadas e momentos de autoria, com a tecnologia atuando como mediadora do processo.

No modelo SAMR, 71,43% (5 de 7) das tecnologias situam-se no nível de ampliação e 28,57% (2 de 7) no nível de substituição. Essa distribuição demonstra uma integração tecnológica de caráter instrumental, na qual as ferramentas digitais tais como Google Docs, Google *Sites*, *podcasts* e vídeos, otimizam a comunicação, o registro e a apresentação dos conteúdos, mas não transformam a natureza das tarefas. A substituição é observada, por exemplo, quando o Google Docs apenas replica a função do caderno, enquanto a ampliação ocorre quando o Google *Sites* e o *podcast* diversificam as linguagens e formatos de expressão científica, ainda sem alterar a lógica de ensino tradicional.

P43 demonstra articular os conteúdos a abordagens pedagógicas e tecnológicas biológico, especialmente na capacidade de organizar sequências didáticas que intercalam teoria, pesquisa e criação digital. As tecnologias são incorporadas como apoio e como meio para realização das atividades, incentivando práticas autorais, porém, dentro de um escopo predominantemente ampliador e não transformador do ensino.

Dessa forma, o TPACK se manifesta em estágio de adaptação das práticas, em que o(a) docente começa a aceitar o uso de tecnologias em suas aulas, mas anda de forma pontual e para apoiar as atividades. Em síntese, o componente de Biologia de P43 apresenta integração de tecnologias, mas direcionada ao reforço e ampliação de práticas tradicionais, promovendo envolvimento ativo e construtivo dos estudantes.

Análise da unidade curricular de *Biohackeria*

A unidade curricular de *Biohackeria* I consistiu em 48 aulas realizadas em três aulas-faixa semanais de 50 minutos. Agrupei o perfil das aulas em cinco categorias: aulas de conteúdos de *Biohackeria* I, revisões, avaliações, eventos e outros. Um resumo das atividades e frequência pode ser visualizado no Quadro 55.

Quadro 56 – P43: características percentuais das aulas de *Biohackeria I*

Categoria	Atividades principais	Frequência e %
Ensino de conteúdo de <i>Biohackeria I</i>	Inclui aulas voltadas ao ensino de conceitos, práticas e experimentos de <i>Biohackeria</i> : apresentação da unidade curricular, e orientação a respeito de pesquisas e práticas sobre segurança no laboratório, método científico, construção e uso de microscópio caseiro, entomologia (coleta e classificação de insetos), estudo da fermentação e dos microrganismos, análise microbiológica e além de apresentações realizadas pelos estudantes.	46 (95,83%)
Eventos	Participação em palestra sobre Síndrome de Down.	2 (4,17%)
Revisões	--	--
Avaliações	--	--
Outros	--	--
Total de registros		48

Fonte: elaborado pelo autor.

Verifico que 95,83% das aulas se deram para atividades vinculadas à *Biohackeria I*, e 4,17% às categorias eventos. Não foram identificadas atividades classificáveis nas categorias revisões, avaliação e outros. As aulas voltadas aos conteúdos de *biohackeria* foram reagrupadas em categorias como apresenta o Quadro 56.

Quadro 57 – P43: características da categoria “ensino de conteúdos de *biohackeria*”

Subcategoria	Atividades principais	Frequência e %
Atividades práticas e experimentais	Pesquisas sobre segurança no laboratório e método científico; <i>Webquests</i> (construção de microscópios, confecção de armadilhas de insetos, investigação de fermentação), pesquisa sobre aplicações de microrganismos na tecnologia.	40 (86,96%)
Explicações e discussões teóricas	Introdução e explanação sobre a unidade curricular e uso do espaço <i>maker</i> .	3 (6,52)
Apresentações	Apresentação de trabalho sobre método científico.	3 (6,52)
Total		46

Fonte: elaborado pelo autor.

Verifiquei a predominância de atividades com foco em práticas experimentais com 86,96% das atividades, seguida por momentos pontuais de explicações teóricas e apresentações. As atividades práticas identificadas envolveram construção de microscópios “caseiros” com materiais encontrados no dia a dia, construção de armadilhas para inseto, além de atividades que envolvem microrganismos e fermentação e pesquisas. Algumas dessas práticas se deram com apoio de recursos disponíveis nos espaços *maker*.

Durante a entrevista com o docente, destaco duas tecnologias associadas a um conjunto de 10 aulas para serem avaliadas a partir das rubricas ICAP e SAMR, como apresentado no Quadro 57.

As práticas observadas na unidade curricular de *Biohackeria I*, conduzida por P43, revelam uma abordagem pedagógica orientada para a experimentação, a investigação e o protagonismo dos estudantes, em que o fazer científico prevaleceu. Contudo, a exploração de tecnologias associada aos espaços *maker* não encontram muitos espaços nas práticas, que tendem a se aproximar mais a experimentações tradicionais de laboratório. Nessa unidade curricular, os estudantes são convidados a realizar uma série de investigações, mas com poucos aspectos associados às tecnologias.

De acordo com as pontuações apresentadas no Quadro 57, o indicador ICAP evidencia que 100% (2 de 2) das tecnologias analisadas promoveram atuação construtiva dos estudantes. A atividade analisada demonstra que o docente adota desafios que mobilizam a autonomia, tomada de decisão e criação de soluções. Essa abordagem implica em diferenças das atividades realizadas no componente tradicional de Biologia, com forte ênfase na aprendizagem pela construção de artefatos, ainda que análogos.

Quadro 58 – P43: rubricas aplicadas às duas tecnologias em *Biohackeria*

(continua)

<i>Biohackeria I</i>				
Quantidade de aulas: 10 Conteúdo foco das aulas: microscópio caseiro. Descrição: o(a) docente disponibiliza um roteiro (<i>webquests</i>) para que os estudantes pesquisassem ideias para construir um microscópio. A <i>webquest</i> solicita que os estudantes se organizem em grupos, indica vídeos do YouTube, em que os estudantes encontram diferentes tipos de microscópios caseiros, incluindo versões utilizando com lentes e grampos de roupa, celular, e utilizando <i>webcam</i> . Em um segundo momento, estudantes devem coletar amostras diversas para observar com o microscópio. O(a) docente costuma apoiar realizando sugestões técnicas sobre o funcionamento do microscópio. Os estudantes tiveram liberdade para planejar e construir seus microscópios com ferramentas e materiais diversos, com ou sem apoio de recursos tecnológicos disponíveis nos espaços <i>maker</i> . O(a) docente ressaltou que os estudantes já haviam estudado sobre microscopia nas aulas de biologia, portanto, nesse momento, o objetivo era que eles construíssem e experimentassem o seu microscópio ao observarem diferentes amostras coletadas por eles, verificando a efetividade funcional das suas construções.				
Tecnologias	ICAP	Justificativa	SAMR	Justificativa
<i>Webquest</i>	Construtivo	Os estudantes utilizam a <i>webquest</i> para entender o que é solicitado pelo docente e para realizar pesquisas sobre o tema, além de discutir e definir como irão construir o seu dispositivo.	Ampliação	A <i>webquest</i> promove autonomia dos estudantes ao fornecer caminhos para que pesquisem e construam seu dispositivo sem definir um passo a passo, além de contar com a criatividade e trabalho em equipe do grupo apresentando melhoria funcional a outras opções.

Quadro 58 – P43: rubricas aplicadas às duas tecnologias em *Biohackeria* (conclusão)

Laboratório <i>Maker</i>	Construtivo	Os estudantes devem pesquisar e discutir formas de construir um microscópio caseiro funcional, indo além do que é apresentado pelo docente.	Substituição	Estudantes se restringiram a utilizar recursos tradicionais como garrafas plásticas e rolos de papel higiênico, o que não configura melhorias funcionais em função dos recursos disponíveis nesse espaço.

Fonte: elaborado pelo autor.

No indicador SAMR, as tecnologias foram distribuídas entre substituição (50% – 1 de 2), e ampliação (50% – 1 de 2). Essa distribuição indica um processo de amadurecimento na integração tecnológica, em que as práticas têm potencial para ampliar o nível de incorporação tecnológica. Contudo, apesar da disponibilidade tecnológica, as aulas no projeto analisado são concentradas na construção de microscópios com materiais recicláveis, evidenciando a ausência de uso efetivo de tecnologias digitais. Portanto, a classificação do(a) docente se manteve no nível de substituição.

O perfil de integração tecnológica de P43 em *Biohackeria* não demonstra uma evolução qualitativa sistemática em relação ao observado nas aulas de Biologia, ainda que com enfoque na realização de atividades práticas. A *Biohackeria*, nesse sentido, ocupa uma posição que muda o enfoque do perfil pedagógico das aulas do(a) docente, mas não o perfil tecnológico. De forma geral, o TPACK de P43 em *Biohackeria* se manifesta em um nível de reconhecimento de tecnologias, no qual o docente começa a considerar a possibilidade de integração tecnológica, contudo, ainda apresenta desafios para começar a explorar os recursos de maneira efetiva. Aspectos vinculados ao conhecimento tecnólogo (TK) apresentam uma barreira inicial que tende a inviabilizar experimentações.

Síntese do TPACK de P43

A análise das práticas de P43 nos componentes curriculares de Biologia e *Biohackeria* I evidencia dois perfis similares de manifestação do TPACK, ainda que as unidades curriculares tenham direcionamentos e sofram pressões distintas em termos de expectativas curriculares. A ligeira diferença entre elas está associada ao fato do enfoque mais prático do *biohackeria* em relação à biologia. Contudo, os níveis de engajamento cognitivo e incorporações tecnológicas das aulas analisadas seguem uma lógica similar. Embora o(a) docente demonstre autoconfiança elevada no uso de tecnologias, com médias de 4,50 no constructo PCK, 4,67 em TPCK e 4,75 no TPACK, os resultados da rubrica SAMR indicam que a integração tecnológica bastante

incipiente nos níveis de substituição e ampliação, caracterizado pela quase completa ausência de recursos tecnológicos, particularmente vinculada aos espaços *maker*.

No componente de Biologia, as tecnologias são utilizadas de modo funcional e controlado, sem provocar transformações no processo de ensino e aprendizagem. Ferramentas como vídeos, computador, jogos e produção de *podcast* são incorporadas, principalmente, como meios para receber, pesquisar ou entregar conteúdos estudados. No indicador ICAP predominam as atividades construtivas (57,14%). No SAMR predomina uso tecnológico no nível ampliação (71,43%). Assim, o TPACK de P43, nesse contexto, situa-se no nível aceitando, caracterizado pela apropriação das tecnologias como apoio a discussões e conclusões de atividades, as quais não dependem fundamentalmente das tecnologias, para haver interações construtivas.

Na unidade de *Biohackeria I*, o(a) docente demonstra abordagens similares em ambos os indicadores, cuja diferença está mais nas temáticas e enfoque prático das atividades, do que nas diferenças de níveis dos indicadores ICAP e SAMR com que os estudantes se envolveram nas atividades. A prática de construção de microscópios destaca o nível construtivo (100%) no indicador ICAP, contudo, no indicador SAMR, a integração tecnológica não é substancialmente alterada, mantendo-se nos níveis substituição e ampliação, pois não houve incorporações que alterassem a natureza da atividade. Desse modo, posso caracterizar que o TPACK nesse componente também se situa no nível aceitando.

Apesar de haver um contraste entre o componente de biologia, que se caracteriza como uma disciplina tradicional, com currículo e referenciais bem definidos, e a unidade de *biohackeria*, um componente emergente em construção, que permite maior flexibilidade e inovação tecnológica, as análises demonstram que o TCK se desenvolveu de forma similar em ambos os componentes. De modo geral, a trajetória de P43 indica para o TPACK constante, mantendo a mesma perspectiva nos componentes. Nesse caso, a natureza curricular e o grau de flexibilidade dos componentes não tiveram grande influência na manifestação do TPACK docente, indicando que nem sempre novos contextos favorecem a inovação de práticas, mesmo diante da disposição de diversas tecnologias.

5.4 PERFIS DOCENTES À LUZ DO TPACK

Com objetivo de verificar tendências nos TPACK dos grupos a partir das rubricas avaliadas, elaborei o Quadro 59 a seguir, com os compilados das frequências em que cada nível dos indicadores foi pontuado para as tecnologias e aulas avaliadas.

Quadro 59 – Somatório das pontuações para os indicadores ICAP e SAMR

		ICAP (PCK)				SAMR (TPK)			
		Passivo	Ativo	Construtivo	Interativo	Substituição	Ampliação	Modificação	Redefinição
P32	Física	0	3	3	0	2	4	0	0
	Robótica I	1	9	1	0	4	5	2	0
P44	Química	2	0	1	0	2	0	1	0
	FDMG I	0	1	2	0	0	1	2	0
P25	Física	0	3	2	0	0	4	1	0
	Robótica I	2	1	3	0	1	3	1	1
P11	Biologia	3	3	1	0	7	0	0	0
	<i>Biohackeria</i>	0	0	4	0	1	2	0	1
P28	Química	2	4	1	0	4	2	1	0
	FDMG I	0	2	7	0	0	2	5	2
P23	Física	2	1	2	0	4	1	0	0
	Robótica I	0	6	1	0	0	3	3	1
P43	Biologia	1	2	4	0	2	5	0	0
	<i>Biohackeria</i>	0	0	2	0	1	1	0	0

Fonte: elaborado pelo autor.

No Quadro 60 apresento conclusões do perfil geral das tendências individuais de cada docente, a partir das rubricas.

Quadro 60 – Tendências de atuação individuais (ICAP e SAMR)

(continua)

Docente	Componente	ICAP (PCK) –Tendência	SAMR (TPK) –Tendência
P32	Física	Predomínio Ativo (3) e Construtivo (3). Uso mais limitado: Atuação voltada ao engajamento e construção de conceitos.	Substituição (2) e Ampliação (4). Pouco espaço para novas abordagens com tecnologias.
	Robótica I	Forte Ativo (9), com Passivo (1) e Construtivo (1). Ênfase em reprodução de projetos introdutórios orientados pelo docente tangenciando conteúdos da física.	Maior diversidade: Substituição (4), Ampliação (5) e Modificação (2). Caminha para práticas mais transformadoras com tecnologias.

Quadro 60 – Tendências de atuação individuais (ICAP e SAMR)

(continua)

Docente	Componente	ICAP (PCK) –Tendência	SAMR (TPK) –Tendência
P44	Química	Maior presença em Passivo (2), pouco Construtivo (1). Prevalece ensino expositivo com interações ativas e construtivas pontuais.	Tecnologias com papel mais instrumental: Substituição (2), e pontualmente com potencial de Modificação (1).
	FDMG I	Predomínio em Construtivo (2), e ativo (1). Incentiva criação construtiva com enfoque no processo de desenvolvimento de projetos e tangenciando conteúdos da química.	Uso moderado: Ampliação (1) e Modificação (2). Caminha para práticas mais transformadoras com tecnologias.
P25	Física	Forte Construtivo (3) e Ativo (2). Indícios de ensino baseado na exploração experimental/construtiva de conceitos	Predomínio em Ampliação (4) e Modificação (1) com ensaio de novas abordagens com tecnologias.
	Robótica I	Equilíbrio entre Passivo (2), Ativo (1), Construtivo (3). Indício de práticas diversificadas, com conexões moderadas a conteúdos de física.	Uso diversificado: Substituição (1), Ampliação (3), Modificação (1), Redefinição (1). Caminha para práticas mais transformadoras com tecnologias.
P11	Biologia	Predomínio em Passivo (3) e Ativo (3). Pouco Construtivo (1). Prevalece ensino expositivo e práticas de reprodução com interações construtivas pontuais.	Forte em Substituição (7). Uso instrumental da tecnologia, sem indícios de práticas transformadoras com tecnologia.
	Biohackeria	Foco em Construtivo (4). Incentiva criação construtiva com enfoque no processo de desenvolvimento de projetos fortemente conectados a conteúdos de biologia.	Distribuição mais diversificada: Ampliação (2), Substituição (1) e Redefinição (1). Caminha para práticas mais transformadoras com tecnologias.
P28	Química	Forte em Ativo (4) com apoio de Passivo (2), além de Construtivo (1). Prevalece ensino expositivo com interações ativas voltadas à exploração de conceitos.	Predomínio em Substituição (5), mas com inserções em Ampliação (1) e Modificação (1). Experimentação pontual para novas abordagens com tecnologias.
	FDMG I	Muito Construtivo (7), pontualmente Ativo (1). Práticas de ensino atreladas aos recursos <i>maker</i> mais consolidadas com enfoque no desenvolvimento de projetos francamente conectados a conteúdos da química.	Forte em Modificação (5), evidências de Ampliação (2) e Redefinição (2). Prevalência de práticas mais transformadoras.
P23	Física	Distribuído: Passivo (2), Ativo (1), Construtivo (2). Atuação na explicação e construção de conceitos a partir da sua aplicação prática.	Predomínio em Substituição (4), pouco Ampliação (1). Pouco espaço de novas abordagens com tecnologias.
	Robótica I	Predomínio em Ativo (6), com pouco Construtivo (1). Ênfase em reprodução de projetos introdutórios orientados pelo docente, com espaço para construção criativa, tangenciando conteúdos da física.	Diversificação em níveis intermediários: Ampliação (3), Modificação (3), Redefinição (1). Demonstra maior consolidação de práticas mais transformadoras com tecnologias.

Quadro 60 – Tendências de atuação individuais (ICAP e SAMR)

(conclusão)

Docente	Componente	ICAP (PCK) –Tendência	SAMR (TPK) –Tendência
P43	Biologia	Predomínio em Construtivo (4). Pouco Ativo (2) e Passivo (1). Enfoque na autonomia construtiva de “relatórios” em formatos diversificados.	Forte em Ampliação (5) e Substituição (2). Uso instrumental da tecnologia, sem indícios de práticas transformadoras com tecnologia.
	<i>Biohackeria</i>	Foco em Construtivo (2). Incentiva criação construtiva com enfoque no processo de desenvolvimento de projetos conectados a conteúdos de biologia.	Predomínio em Substituição (1) e Ampliação (1). Pouco espaço para novas abordagens com tecnologias.

Fonte: elaborado pelo autor.

Com base no Quadro 60, elaborei os Gráficos 5 de teia separadamente para cada docente, o que permite uma avaliação mais holística do perfil de cada um em relação às unidades curriculares analisadas.

P32 mostra tendências similares entre as unidades curriculares de física e robótica, com prevalência ao eixo ativo-construtivo para ICAP (PCK) e substituição-ampliação para SAMR (TCK) em ambas.

P44 demonstra tendências ligeiramente diferentes entre as unidades, com prevalência do eixo passivo em química e construtivo em fabricação digital para ICAP (PCK); e substituição em química e modificação em fabricação digital para SAMR (TCK).

P25 demonstra tendências ligeiramente diferentes entre as unidades, com prevalência do eixo ativo em física e construtivo em robótica para ICAP (PCK); e ampliação em física e robótica para SAMR (TCK).

P11 demonstra tendências ligeiramente diferentes entre as unidades, com prevalência do eixo passivo-ativo em biologia e construtivo em biohackeria para ICAP (PCK); e substituição em biologia e ampliação em biohackeria para SAMR (TCK).

P28 demonstra tendências diferentes entre as unidades, com prevalência do eixo ativo em química e construtivo em fabricação digital para ICAP (PCK); e substituição em química e modificação em fabricação para SAMR (TCK).

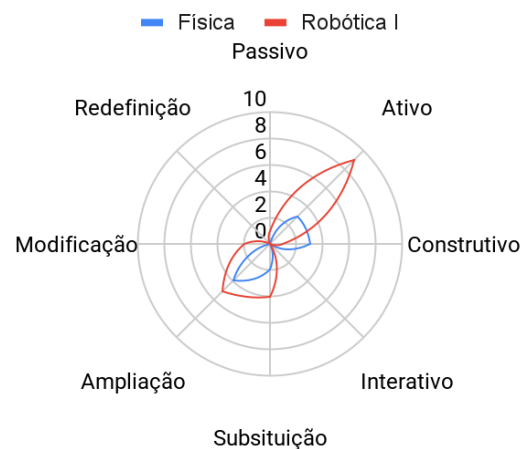
P23 demonstra tendências diferentes entre as unidades, com prevalência do eixo ativo em física e passivo-construtivo em robótica para ICAP (PCK); e substituição em química e ampliação-modificação em robótica para SAMR (TCK).

P43 demonstra tendências similares entre as unidades, com prevalência do eixo construtiva em biologia e biohackeria para ICAP (PCK); e ampliação em biologia e substituição-ampliação em biohackeria para SAMR (TCK).

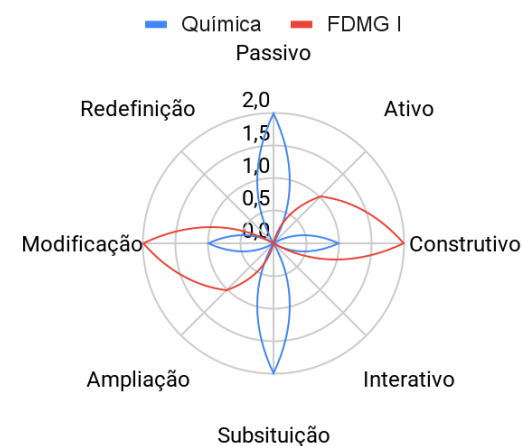
Em unidades curriculares tradicionais (Biologia, Física e Química), as tecnologias utilizadas tendem a recursos mais tradicionais como apresentações digitais, reprodução e criação de vídeos, uso de simuladores, elaboração de relatórios em processadores de textos e ferramentas de criação de *sites*. Já em unidades curriculares “*maker*” (*Biohackeria*, Fabricação Digital e Modelamento Geométrico e Robótica), a presença de tecnologias associadas ao movimento *maker* como impressão 3D, corte a laser, kits de Arduino, entre outros, se fizeram mais presentes. Ou seja, a natureza das tecnologias em cada enfoque curricular é significativamente diferente.

Gráfico 5 – Indicadores ICAP x SAMR para os docentes analisados

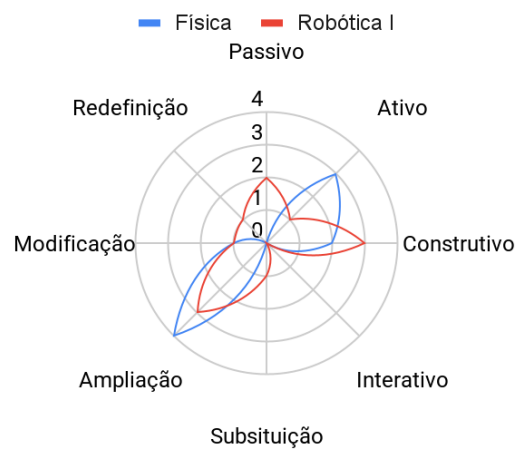
P32 - Física e Robótica I



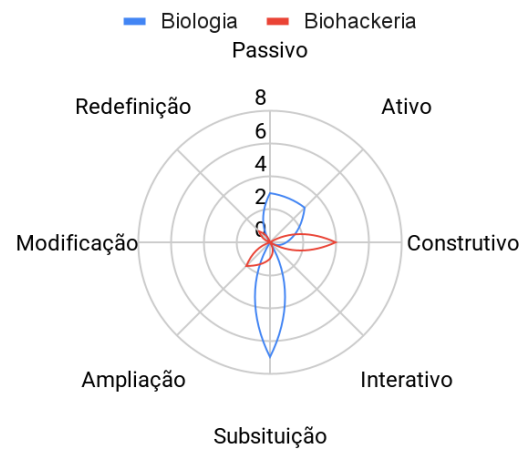
P44 - Química e FDMG I



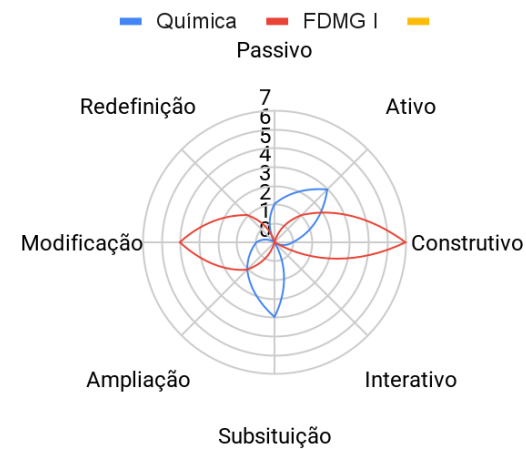
P25 - Física e Robótica I



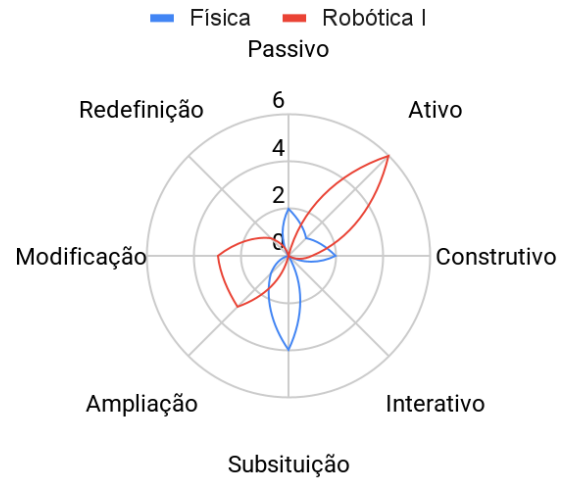
P11 - Biologia e Biohackeria



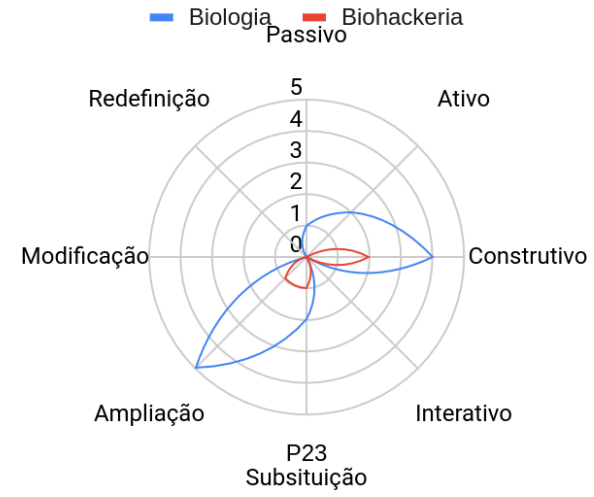
P28 - Química e FDMG I



P23 - Física e Robótica I



P43 - Biologia e Biohackeria



Fonte: Elaborado pelo autor.

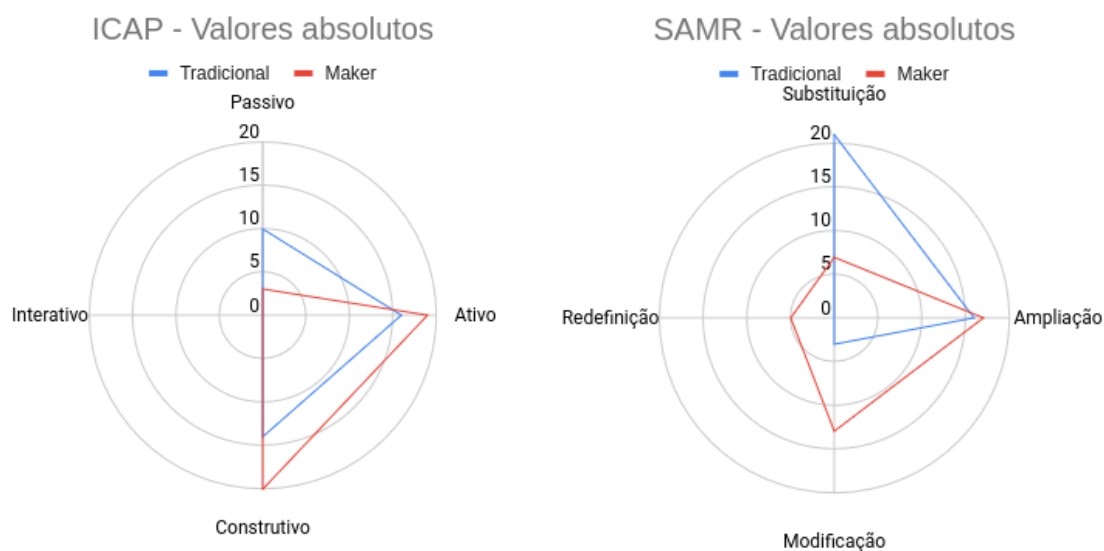
Para uma interpretação integrada das tendências individuais, elaborei o Quadro 61 e o Gráfico 6 com os valores absolutos das frequências dos níveis de cada indicador.

Quadro 61 – Frequências absolutas para os indicadores ICAP (PCK) e SAMR (TCK)

		ICAP		SAMR		
		Tradicional	<i>Maker</i>		Tradicional	<i>Maker</i>
	Passivo	10	3	Substituição	21	7
	Ativo	16	19	Ampliação	16	17
	Construtivo	14	20	Modificação	3	13
	Interativo	0	0	Redefinição	0	5
Total	--	40	42	--	40	42

Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 6 – Frequências absolutas para o indicadores ICAP (PCK) e SAMR (TCK)



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao analisar as frequências absolutas apresentadas no Gráfico 6, verifico tendências integradas nas manifestações do TPACK dos docentes. Para o indicador ICAP, verifico tendências similares entre as unidades curriculares tradicionais (Biologia, Física e Química) e *maker* (Robótica, Fabricação Digital e Modelamento Geométrico e *Biohackeria*). Nesse caso, prevalecem atividades vinculadas ao eixo ativo-construtivo para as unidades tradicionais e *maker*. Destaco que as atividades passivas são bem mais frequentes para as unidades tradicionais do que nas unidades *maker* (10 contra 3). Contudo, ainda assim, observo que as abordagens docentes buscam engajamentos ativos e construtivos em ambos os casos.

Já para o indicador SAMR verifico maiores diferenças de tendências entre as unidades curriculares tradicionais e *maker*. Nesse caso, prevalecem atividades vinculadas ao eixo substituição-ampliação para as unidades tradicionais. Nas unidades *maker* prevalece o eixo ampliação-modificação. Destaco que o nível de substituição é mais frequente em unidades tradicionais quando comparadas com as *maker*. Em contraposição, atividades do nível de modificação se sobressaem em unidades *maker*. Verifico, ainda, que a intensidade do nível de ampliação é praticamente a mesma em ambos os casos.

No Quadro 62, elaboro uma síntese comparativa entre características dos perfis docentes a partir das dualidades apresentadas.

Quadro 62 – Perfis gerais do TPACK em unidades curriculares tradicionais e *maker*

Indicador	Unidades Tradicionais (Bio Fís, Qui)	Síntese	Unidades <i>Maker</i> (Rob, FDMG, BHK)	Síntese
ICAP (PCK)	Predomínio no eixo ativo-construtivo, com ênfase no ativo.	O uso das tecnologias apoia práticas expositivas e atividades participativas, mas ainda com foco na reprodução e acompanhamento do conteúdo. Estudantes participam com espaço para autoria.	Predomínio no eixo ativo-construtivo, com ênfase no construtivo.	A abordagem “ <i>maker</i> ” favorece maior engajamento, autoria e exploração prática. O estudante passa de consumidor de conteúdo a criador de soluções e projetos. Ênfase na prática, mas não necessariamente a reflexão conceitual sobre a prática.
SAMR (TPK)	Predomínio no eixo substituição – ampliação, com ênfase na substituição.	As tecnologias funcionam como extensões de recursos tradicionais (<i>slides</i> , simuladores, vídeos) sem alterar significativamente a lógica pedagógica.	Predomínio no eixo ampliação-modificação, com ênfase na ampliação.	As tecnologias passam a enriquecer e diversificar práticas, permitindo experiências colaborativas, criativas e, em alguns casos, de transformação do currículo.
Características gerais	Forte relação com conteúdos das áreas; foco em conteúdos disciplinares; orientadas a avaliações tradicionais (internas e externas); práticas docentes mais cristalizadas; forte influência curricular; forte influência da formação docente inicial; tecnologia como ferramentas para ensinar conteúdos sem grandes transformações nas práticas; pouca reflexão sobre a tecnologia.		Baixa relação e presença de conteúdos das áreas; foco em habilidades múltiplas; não orientada a avaliações (ou a avaliações mais processuais e holísticas); práticas docentes em construção; fraca influência curricular; formação docente em construção; tecnologias como ferramentas para ensinar processos e/ou para desenvolver projetos; tecnologia como objeto de conhecimento técnico (pouca reflexão sobre a tecnologia).	

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise das práticas docentes evidencia um movimento dicotômico entre conteúdo científico e tecnologia. Quando há maior ênfase em conteúdos cristalizados das áreas de Biologia, Física e Química, como organização celular, seleção natural, estudo dos movimentos,

forças, energia mecânica, modelos atômicos ou tabela periódica, a integração tecnológica tende a ser mais reduzida. Já nas unidades *maker* (Robótica, Fabricação Digital e *Biohackeria*), observo o predomínio das tecnologias como foco de ensino, com menor aprofundamento conceitual nas áreas científicas. Esse efeito revela uma certa separação entre “conteúdo” e “tecnologia”, reforçando que a apropriação tecnológica pelos docentes ainda não se articula de forma plena com os conteúdos curriculares. Ainda assim, os professores reconhecem o potencial das tecnologias *maker* para desenvolver habilidades múltiplas (como colaboração, autoria, criatividade e pensamento lógico e inventivo), mesmo que menos relacionadas a conceitos específicos de suas áreas.

Um dos fatores que podem explicar esse comportamento dicotômico encontra-se na estrutura curricular. Enquanto as disciplinas tradicionais contam com conteúdos histórico e culturalmente bem definidos, as unidades *maker* foram estruturadas a partir de competências amplas da BNCC, sem uma matriz de conteúdos científicos bem definidos. Esse desenho curricular possibilitou grande autonomia docente para definir o foco das práticas, permitindo flexibilidade e construção de novas abordagens, mas também resultando em incerteza e dispersão no ensino dos conceitos científicos. Na ausência de um fio condutor curricular mais detalhado, os professores tenderam a oscilar entre priorizar o “fazer tecnológico” e resgatar conteúdos disciplinares apenas quando julgavam necessário para o fazer.

A literatura alerta que a simples presença da tecnologia não garante inovação pedagógica (Blikstein; Valente; Moura, 2020). A mediação docente é essencial para que as tecnologias se tornem instrumentos de aprendizagem significativa, promovendo reflexões, discussões e explicações conceituais (Valente; Blikstein, 2019). Nas práticas observadas, contudo, a tecnologia enquanto objeto de conhecimento raramente foi abordada. Nas unidades curriculares tradicionais, predominou o ensino de conteúdos com uso pontual da tecnologia como recurso auxiliar. Nas disciplinas “*maker*”, por sua vez, priorizou-se o “fazer” e a produção de projetos, mas com pouco espaço para reflexões críticas sobre o funcionamento das tecnologias, seus impactos e limitações. Assim, as práticas caminharam mais em direção à operacionalização do uso das tecnologias do que à construção de uma visão crítica e contextualizada sobre elas.

Outro aspecto importante é a formação inicial dos professores, que influencia sua visão de mundo e sua relação com a tecnologia. Estudos recentes (Battú e Gonçalo, 2024; Stinken-Rösner *et al.*, 2023) mostram que formações explícitas com foco no TPACK favorecem a integração efetiva da tecnologia ao ensino de conceitos científicos. Eles identificaram que os professores que tiveram experiências formativas, em que a tecnologia ocupou posição integrada

a conteúdos durante sua formação inicial, caminham na direção de incorporá-la de modo mais transformador em suas práticas.

Além disso, os resultados da pesquisa indicam uma discrepância entre a autopercepção dos docentes e a análise de seus planejamentos e práticas: muitos declararam possuir TPACK mais desenvolvido do que efetivamente evidenciado. Esse dado confirma achados de Riales (2011), Taylor-Ivy (2011) e Tatar *et al.* (2018), citados por Battú e Gonçalo (2024). Curiosamente, quando os docentes atuam em unidades *maker* mais distantes de sua formação original, tendem a ampliar o uso da tecnologia, mas nem sempre de forma pedagógica transformadora. Isso sugere que a integração tecnológica depende tanto de condições curriculares quanto dos conhecimentos construídos pelos docentes durante sua formação inicial. Do ponto de vista das políticas educacionais, a LDB (1996) e a BNCC (2017) estabelecem a tecnologia como objeto essencial de conhecimento e formação cidadã. No entanto, nas práticas observadas, esse potencial não foi plenamente explorado.

A pouca presença de reflexões sobre a tecnologia, observadas nas práticas dos docentes implica riscos, como alerta Schwab (2016), ao enfatizar os efeitos da exclusão digital e da concentração de poder em grupos que dominam as tecnologias. Para além do uso instrumental, é necessário promover nos estudantes uma compreensão crítica da tecnologia e suas relações sociais. Feenberg (2003, 2017) propõe diferentes visões: instrumentalismo (tecnologia neutra), determinismo (autônoma), substantivismo (carregada de valores) e teoria crítica (humanamente controlada e ancorada em valores democráticos). Muitos docentes apresentam visões ingênuas ao integrar tecnologias em sala de aula, resultado em acordo com achados de Schaeffer (2018) ao concluir que muitos ainda apresentam visões instrumentalistas e deterministas, o que limita o potencial formativo crítico da tecnologia em sala de aula. Superar tais concepções exige inserir a tecnologia também como objeto de estudo e reflexão, não apenas como ferramenta ou produto de/para projetos. Isso ampliaria o horizonte cultural dos estudantes e contribuiria para práticas mais integradas entre ciência, tecnologia e sociedade.

Quando utilizo os níveis de desenvolvimento do TPACK propostos por Niess *et al.* (2009) e ampliados por Bueno *et al.* (2023) identifico o seguinte padrão:

Quadro 63 – Síntese dos níveis de integração tecnológica

Unidades Curriculares Tradicionais e <i>Maker</i>						
	Pré-reconhecendo	Reconhecendo	Aceitando	Adaptando	Explorando	Avançando
C – P32						
C – P44						
B – P25						
B – P11						
B – P28						
A – P23						
A – P43						

Fonte: elaborado pelo autor.

Legenda: células em verde representam unidades curriculares tradicionais. Células em roxo representam unidades curriculares *maker*.

Em termos absolutos, constato que as unidades curriculares tradicionais demonstram tendência predominantemente aos níveis iniciais da trajetória de desenvolvimento do TPACK, especialmente no nível aceitando, identificado em quatro docentes, seguido de reconhecendo (dois docentes) e adaptando (um docente). Esse padrão indica que, embora os professores reconheçam o valor da tecnologia e iniciem sua incorporação pedagógica, tal integração ainda ocorre de maneira mais pontual, reforçando práticas já consolidadas e com baixo potencial de transformação.

Nas unidades curriculares *maker*, observo um movimento ligeiramente mais avançado. Três docentes situam-se no nível aceitando e outros três no nível adaptando, com apenas um professor alcançando o nível explorando. Esses resultados sugerem que as unidades *maker* podem estimular o desenvolvimento do TPACK, pois a natureza voltada à exploração tecnológica dessas unidades exige, dos docentes, uma maior incorporação desses recursos em

suas aulas. Ainda assim, a integração tende a ocorrer com pouca articulação aos conteúdos das áreas, o que limita o avanço em direção a níveis mais elevados do TPACK, especialmente o estágio de “avançando”, ausente em todos os casos analisados.

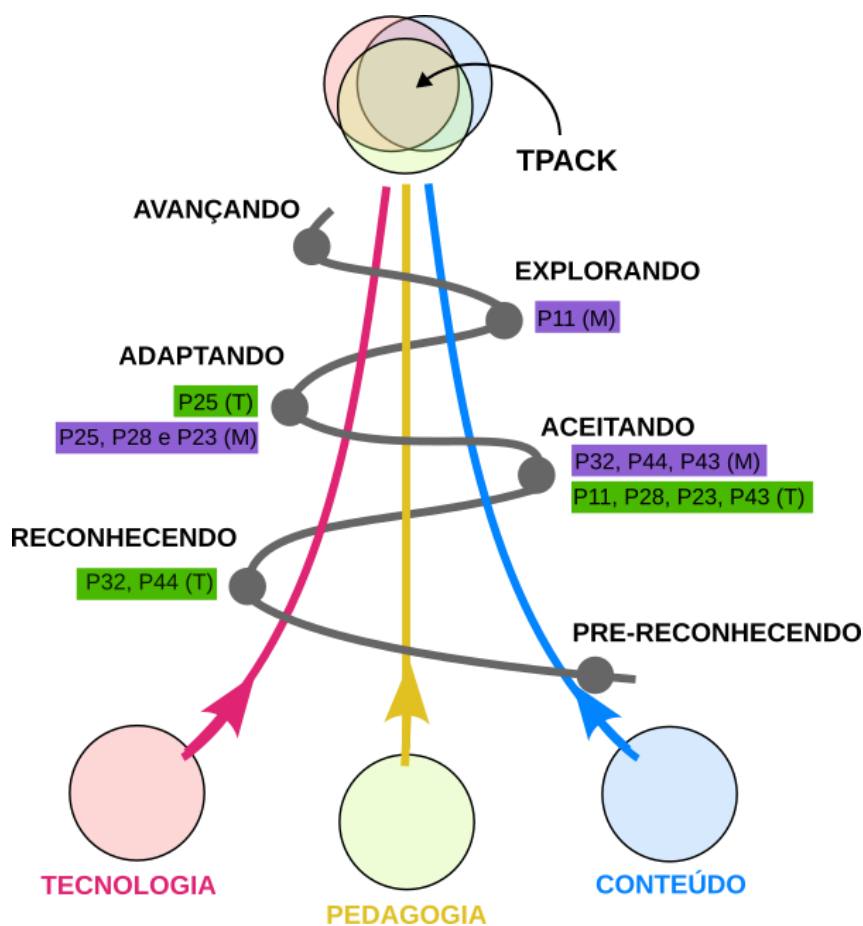
Quando observo a frequência absoluta dos níveis em ambas as categorias curriculares, percebo maior concentração no nível aceitando (sete ocorrências), seguido de adaptando (quatro ocorrências), reconhecendo (duas ocorrências) e apenas uma ocorrência de explorando. A partir desses dados, é possível afirmar que os docentes incorporam tecnologias em suas práticas, mas com desafio de integração mais plena do TPACK, seja por sua função de apoio ao ensino tradicional nas unidades convencionais, seja pela predominância de habilidades técnicas em detrimento dos conteúdos disciplinares nas unidades *maker*.

Ao relacionar esses resultados com os grupos docentes da pesquisa (A, B e C), emergem elementos importantes sobre a relação entre autopercepção TPACK e níveis de integração observados na prática. Os docentes do Grupo C (P32 e P44) foram justamente aqueles que apresentaram as menores médias no questionário TMTSI adaptado e, coerentemente, posicionaram-se nos níveis mais iniciais da escala de Niess *et al.* (2009). Tal convergência sugere que, para esses casos, a baixa autoconfiança no TPACK manifesta-se diretamente na prática em sala de aula. Contudo, essa correlação não se mostra presente nos Grupos A e B.

O caso de P11, por exemplo, que pertencente ao Grupo B, destaca-se por ser o único docente situado no nível explorando, apesar de seu grupo não apresentar, como um todo, as maiores médias em autopercepção TPACK. Esse resultado reforça a tese de Niess *et al.* (2009) de que o desenvolvimento do TPACK ocorre de forma não linear, podendo ser fortemente influenciado por dimensões contextuais, trajetórias individuais, experiências prévias, autonomia docente e natureza da unidade curricular.

Uma síntese dos estágios de desenvolvimento do TPACK para os docentes analisados é apresentada na Figura 26.

Figura 26 – Síntese do processo de desenvolvimento do TPACK



Legenda: a letra T entre parênteses e cor verde representa os docentes cujos níveis de desenvolvimento do conhecimento TPACK dizem respeito às unidades tradicionais. A letra M entre parênteses e a cor roxa representa os docentes cujos níveis de desenvolvimento TPACK dizem respeito às unidades *maker*.

Verifico um cenário no qual os docentes encontram-se majoritariamente em um processo de transição, que reconhecem o valor pedagógico das tecnologias e começam a integrá-las com maior intencionalidade, mas ainda carecem de condições, formativas, curriculares e institucionais, para avançar rumo a práticas transformadoras. Os dados sugerem que o movimento *maker* oferece potencial para promover essa transição, mas somente quando acompanhados de formação robusta, apoio institucional, tempo para planejamento e clareza sobre o papel da tecnologia na relação com o conteúdo. Sem esses elementos, a integração permanece situada nos estágios intermediários, caracterizando um TPACK em desenvolvimento, mas ainda distante de sua consolidação plena.

5.5 OBSTÁCULOS AO MOVIMENTO *MAKER* À EDUCAÇÃO FORMAL

Com base nas questões indicadas no Anexo D, conduzidas por meio de entrevistas semiestruturadas, identifiquei as percepções individuais dos docentes para os obstáculos citados por eles que dificultam a incorporação de recursos e tecnologias associadas aos espaços *maker* em suas aulas, elaborei cinco categorias de obstáculos: 1. limitações de tempo e carga horária; 2. infraestrutura física e logística; 3. formação e domínio técnico; 4. integração entre conteúdos curriculares e práticas *maker*; e 5. recursos materiais e manutenção.

5.5.1 Categoria 1 – Limitações de tempo e carga horária

Esta categoria refere-se à insuficiência de tempo, tanto para o planejamento quanto para a execução de atividades vinculadas ao movimento *maker*, agravada por currículos densos e pelas pressões de avaliações externas. Todos os docentes destacaram o tempo como fator impactante, embora em diferentes dimensões, que podem ser organizadas em três subcategorias:

Subcategoria 1.1 – Tempo para planejamento

O tempo destinado à preparação de atividades *maker* é insuficiente para atender às demandas de organização, tanto na etapa prévia (planejamento das situações de ensino, montagem de materiais e recursos) quanto na etapa posterior (reorganização do espaço e registros burocráticos). Essa dificuldade foi fortemente evidenciada nas falas de P32, P25, P11 e P23.

O que desestimula... é a cobrança em cima de processos burocráticos [...] aí eu não consigo gastar meu tempo preparando isso (P32).

Precisaria de dedicação exclusiva. [...] por exemplo, eu termino a aula meio dia e meia com a turma do primeiro A. No dia seguinte, eu tenho no primeiro horário o primeiro B. [...] Só que eu não tenho entre o primeiro A e o primeiro B, eu não tenho tempo para reorganizar o laboratório, para guardar os materiais, entendeu? (P25).

A vida de professor não é fácil, né? Têm [planejamento] quinta-feira, hoje, né? É um dia que eu trabalho até às 9h30 da manhã e daí eu venho para casa e eu não trabalho mais. Eu tenho a tarde toda livre, então é um dia que eu geralmente sento, vou ler alguma coisa, vou planejar minhas as minhas atividades da próxima semana, enfim. Mas tem dias que eu tô exausta e a única coisa que eu faço é sentar, tomar um café, passar um tempo com meu filho, assistir um pouco de TV. Então tem dias que a gente tá exausto e aí realmente não dá para se preparar. Nesse ponto daria para melhorar, com certeza, né? Mas nem sempre eu consigo fazer tudo do jeito que eu gostaria de fazer, né? (P11).

Para mim é o tempo. [...] se tiver tempo aí você consegue, por exemplo, no caso da física, você vai lá, prepara uma aula, prepara um experimento com Arduino mesmo, né? Ali é que você pode fazer as medições, já sai a informação no *display*, né? E tudo é assim, então se tiver tempo para preparar isso, cara, é show de bola (P23).

Subcategoria 1.2 – Carga horária versus currículo denso

As atividades *maker* demandam mais tempo de aula, o que gera tensão com a necessidade de cumprir os conteúdos previstos em currículos tradicionais. Como consequência, os docentes frequentemente optam por priorizar o ensino de conteúdos em detrimento de práticas experimentais ou *maker*. Essa situação foi relatada por P32, P24, P25 e P11.

Por exemplo, química eu também só tenho duas aulas por semana. [...] Eu utilizo uma semana para fazer a avaliação, outra semana para fazer a correção da prova e recuperação do conteúdo e a outra semana para fazer a recuperação da prova. Aí três semanas foram só nessa jogada, né? (P44).

Principalmente com o terceiro ano que a gente só tem três aulas por semana [...] para ir pro laboratório, para mostrar como é que carrega o programa na placa de Arduino, montar os sensores [...] demora muito (P25).

Ah, se eu não tiver mais essas três aulas [de *biohackeria*] por semana, mas ciências da natureza, eu mantiver as duas que eu tenho por semana, não dá para fazer, entende? Então assim, o impeditivo seria o tempo. [...] o potencial para fazer as atividades, a gente tem, a capacidade e as ferramentas para fazer, a gente tem. Agora, se não tiver tempo suficiente, aí infelizmente vai ter que escolher o que que é prioridade. Então, na verdade, a prioridade vai ser passar todo conteúdo que a gente precisa vencer durante o ano, né? Porque querendo ou não, a gente tem uma matriz curricular para vencer durante o ano e daí se a gente consegue encaixar uma coisa ou outra, a gente encaixa (P11).

Mas realmente como fica essa loucura de você ter que vencer o conteúdo, [...] porque se você leva a turma para o laboratório, isso já vai uma aula, duas, né? Então se quando você trata de conteúdos que você tem realmente que atingir aqueles conteúdos, são duas aulas a menos que você tem para os conteúdos. Então você é obrigado a correr com isso. Por isso que acaba limitando, né? Quando você utiliza aí, pega feriados, pega prova, correção, tudo isso tira aula, tira tempo, né? Eu acho que o tempo é o principal fator que que atrapalha isso, isso (P33).

Subcategoria 1.3 – Pressões de avaliações externas

Avaliações institucionais em nível de rede, como exames padronizados, influenciam diretamente as escolhas pedagógicas dos docentes. A pressão por resultados faz com que priorizem os conteúdos exigidos por essas avaliações, reduzindo o espaço para práticas mais abertas e experimentais. Essa subcategoria apareceu nas falas de P44, P28 e P23.

Então, na química eu trabalho mais tradicionalmente, tá? [...] Eh, até porque a gente precisa, né? A gente tem as avaliações, a gente é cobrado por isso, precisa ter esses resultados, né? (P44).

Principalmente com Avalia Sesi ali que vem pegando a gente no pé, né, pô, eu terminei o conteúdo da valia Sesi cara, foi o que caiu. Caiu uma coisa a mais, nem a menos que eu passei, sabe? Foi no limite do limite assim, porque eu tinha feito um cálculo básico ali, seriam no mínimo 20 aulas e a gente tinha 22 aulas. E onde que fica a avaliação e onde que fica a recuperação paralela, sabe? Então é mais a questão do tempo. Então por que que a gente não faz mais prática e tal? Por causa do tempo, porque se eu paro o conteúdo, eu preciso e assim, por exemplo, uma prática que se eu for fazer, eu preciso dividir a turma em duas partes. Ai eu já perdi no mínimo uma semana com aquela turma. Então, a questão da quantidade de número de aulas é uma coisa que eu acho que nos atrapalha bastante, né? (P28).

O problema é realmente tempo, né? [...] como a parte da física e hoje nós somos muito cobrados pelo avalia SESI, então é uma cobrança para você poder vencer os conteúdos. [...] Se você deixa de fazer alguma atividade experimental [...] você acaba deixando para focar no conteúdo mais tradicional (P23).

Estudos como Barbosa e Vieira (2013), Bozzato e Uhmman (2025) e Garcia, Bizzo e Rosa (2019) permitem identificar uma convergência interpretativa quanto aos efeitos das avaliações externas sobre o trabalho docente. Em distintos contextos investigativos, os três estudos indicam que tais avaliações passam a extrapolar sua função diagnóstica original, operando como mecanismos de indução curricular e de regulação pedagógica que influenciam diretamente o planejamento do ensino, a seleção e priorização de conteúdos e a organização do tempo didático. Como consequência, observo uma reconfiguração das práticas pedagógicas orientada pelo cumprimento de metas e pelo alinhamento às matrizes avaliativas, frequentemente em detrimento de abordagens investigativas, experimentais ou abertas.

Assim, ainda que não prescrevam formalmente o currículo, os sistemas de avaliação em larga escala tendem a produzir efeitos normativos sobre a tomada de decisão docente, induzindo ajustes nas práticas de ensino e contribuindo para a consolidação de dinâmicas pedagógicas mais alinhadas às exigências de desempenho mensurável. Nesse sentido, os três trabalhos indicam para a compreensão das avaliações externas como dispositivos que passam a integrar a gestão do trabalho pedagógico, incidindo sobre as escolhas didático-metodológicas realizadas pelos professores no cotidiano escolar.

Nesse contexto, tais avaliações deixam de assumir função exclusivamente diagnóstica e passam a configurar como dispositivos de regulação do trabalho pedagógico, com implicações diretas sobre a gestão do tempo, a organização curricular e a tomada de decisão docente. Esses elementos dialogam com as falas dos participantes P44, P28 e P23, nas quais a necessidade de “vencer conteúdos” e atender às exigências do Avalia Sesi emerge como fator limitante à realização de atividades experimentais nas disciplinas tradicionais de Ciências da Natureza. Em contraste, nas unidades curriculares de natureza *maker*, como Fabricação Digital, Robótica e *Biohackeria*, embora também afetadas por características temporais, os desafios recaem,

sobretudo, sobre o planejamento e a logística de execução das atividades, revelando uma tensão estrutural entre modelos pedagógicos orientados por desempenho em avaliações padronizadas e propostas formativas baseadas em experimentação, investigação e aprendizagem prática.

5.5.2 Categoria 2 – Infraestrutura física e logística

Esta categoria refere-se às dificuldades relacionadas ao espaço físico insuficiente, à sobrecarga dos laboratórios e, em alguns casos, à ausência de ambientes adequados para práticas *maker*. Os relatos docentes mostram que, mesmo quando os recursos estão disponíveis, questões estruturais comprometem a implementação das atividades. Essas dificuldades podem ser organizadas em três subcategorias:

Subcategoria 2.1 – Número elevado de estudantes

O excesso de alunos por turma ou a presença simultânea de várias turmas no mesmo ambiente compromete a realização de atividades práticas. Os docentes relatam que a quantidade de estudantes dificulta a orientação individualizada e a execução de experimentos com qualidade. Essa situação foi evidenciada por P32 e P28, que destacaram o desafio de lidar com grupos numerosos e espaços superlotados, chegando a situações extremas de até 70 alunos em um mesmo laboratório.

Outro problema crucial que a gente tem é o número de alunos em sala de aula (P32).

No segundo ano ainda dá uma correria louca ali, é muita gente para orientar (P32).

Cara, deveria usar mais. Problema do poder aqui no nosso caso, é a questão da limitação do espaço mesmo, né? A gente tem muita, muita turma para pouco espaço, né? [...] a gente tem uma escola com 12 turmas, né? Então, por exemplo, se eu tô na aula de química, mas o Professor X tá usando o STEAM, por exemplo. Então, aí tem vezes, por exemplo, que a gente coloca 70 alunos lá dentro do STEAM. [...] Mas a questão da limitação do espaço é o principal problema (P28).

Subcategoria 2.2 – Espaço físico limitado e compartilhado

Além do número de estudantes, há o problema do compartilhamento de laboratórios entre diferentes turmas e componentes curriculares. Essa limitação impede maior frequência de atividades no espaço *maker* e obriga os docentes a adaptar suas práticas, muitas vezes trazendo recursos para dentro da sala de aula convencional. Essa subcategoria aparece nas falas de P25, P11 e P23, que relatam a falta de espaços exclusivos, a necessidade de revezamento e, em alguns casos, a inexistência de laboratórios adequados em determinadas redes de ensino.

Eu acho que eu deveria e poderia usar muito mais, mas a gente tem um limitante aí que é bem complicado, que é só ter um laboratório. Então, por exemplo, na semana passada, acho que foi quinta-feira, foi bem complicado, porque nós tínhamos três turmas de *biohackeria*, uma de ciências da natureza e outra de física, que era a minha, para usar o mesmo espaço, para usar o mesmo laboratório. [...] Eu adoraria fazer todas as aulas no *maker*, acharia tranquilo, mas não é possível por causa da falta de espaço, né? (P25).

Mas eu poderia usar mais se a gente tivesse nesse momento um espaço maior, né? Porque muitas das vezes eu tô em ciências da natureza, mas eu não tenho ensalamento pro STEAM. Então eu tenho que usar o recurso que eu posso dentro da sala de aula. Se eu consigo buscar alguma coisa no laboratório que eu posso trazer para dentro da sala de aula, eu faço isso (P11).

Tipo assim, até como eu trabalho nessas duas redes os alunos se conhecem, né? Então, o trabalho aqui física e robótica, lá só física [refere-se a escola de outra rede]? Eu falo: ‘Mas, mas lá não dá, a proposta é outra ? [...] Não tem laboratórios, não tem nada à disposição, né?’ (P23).

Subcategoria 2.3 – Logística de uso e organização do espaço

Mesmo quando os espaços existem, a organização logística se apresenta como obstáculo. O preparo e a manutenção dos recursos demandam tempo e apoio extra, como a presença de monitores ou a possibilidade de dedicação exclusiva ao laboratório. Além disso, questões relacionadas à autonomia para usar os espaços influenciam, diretamente, a prática docente. Essa perspectiva foi destacada por P25 e P11, que mencionam tanto a necessidade de apoio adicional para gerir os ambientes quanto o papel da autonomia docente para compensar limitações estruturais.

Eu poderia já deixar montado algumas coisas para ilustrar primeiro, tal, né? [...] Só que aí tem outro detalhe. Teria que ter ou um monitor no laboratório ou, né? Ou na boa, pra gente trabalhar direitinho teria que ter dedicação exclusiva (P25).

Ali no Sesi a gente tem os recursos, mesmo que às vezes não dá para usar o espaço ou não, mas uma das coisas que eu sinto que apoia o meu trabalho, que eu posso desenvolver as atividades, é que eu tenho uma certa autonomia, sabe? (P11).

De forma geral, os relatos indicam que a infraestrutura física e a logística escolar representam barreiras concretas para a consolidação das práticas *maker*, reforçando que a simples disponibilização de equipamentos não é suficiente: é preciso garantir condições adequadas de espaço, organização e suporte humano para que o potencial pedagógico desses ambientes seja efetivamente realizado.

Essa discussão não é nova e já foi divulgada por trabalhos consagrados na área como Blikstein (2013), ao discutir a inserção de tecnologias de fabricação digital na educação, argumentando que a simples disponibilização de infraestrutura não assegura sua integração às

práticas pedagógicas, uma vez que o funcionamento desses ambientes demanda tempo de preparação, manutenção de recursos e suporte técnico contínuo, funções que, na ausência de apoio institucional, acabam sendo incorporadas ao trabalho docente.

Nessa mesma direção, Sheridan *et al.* (2014), a partir de um estudo de caso comparativo em diferentes *makerspaces* educacionais, evidenciam que o uso sustentável desses espaços depende de rotinas organizacionais bem estabelecidas, da mediação de profissionais especializados e de condições institucionais que viabilizem o planejamento prévio das atividades. Os autores destacam que, mesmo em contextos bem equipados, limitações logísticas relacionadas ao acesso, à gestão de materiais e à ausência de apoio humano podem comprometer a efetividade das práticas pedagógicas propostas.

Esses ideias dialogam diretamente com os relatos de P25 e P11, nos quais a necessidade de monitores, de dedicação exclusiva ao laboratório e de autonomia docente emergem como elementos centrais para compensar limitações estruturais e tornar viável a realização de atividades práticas nos espaços disponíveis.

5.5.3 Categoria 3 – Formação e domínio técnico

A categoria refere-se a aspectos associados à formação inicial e continuada para o uso de tecnologias vinculadas ao movimento *maker*, somada à insegurança docente quanto ao manejo de equipamentos e metodologias específicas. A ênfase está no aspecto técnico-operacional dessas tecnologias, mais do que em sua integração pedagógica.

Os docentes relataram que, ao longo do tempo, foram desenvolvendo habilidades para operar alguns recursos, mas esse processo ocorreu de forma fragmentada e, muitas vezes, difícil, mesmo diante de formações pontuais oferecidas pelas instituições. Embora alguns se sintam confiantes no uso de determinadas tecnologias, reconhecem não dominar todas. Cabe destacar que a instalação dos espaços *maker* nas escolas se deu no início da epidemia do coronavírus, o que produziu uma série de alterações nas dinâmicas de interação social e afetou de forma determinante a implantação e formação inicial docente na ocasião da implantação do projeto. Essa situação foi destacada nas falas de P32, P44, P28 e P23.

Minha formação [inicial] não teve nada a ver com isso, né?... foram dois semestres construindo coisas... mas é pouca coisa (P32).

Agora eu tô reaprendendo [mexer em impressora 3D e cortadora a laser][...] então eu tô aprendendo, eu acho o máximo [...] só que aí falta aquele tempo também (P32).

A gente fez formação [...] mas é uma formação que às vezes dura um fim de semana... depois a gente não tem tempo para aplicar (P32).

Outra coisa que eu particularmente não tenho domínio, não utilizo é aquela CNC. A CNC eu não eu não uso não, a gente nunca, vamos dizer assim, não tivemos algum treinamento, alguma coisa assim (P44).

Ah, tipo assim, eu conhecia um pouco [de Arduino], mas nada muito aprofundado, né? Tipo assim, ah, fazia os projetinhos básicos, aí quando surge aquilo, aí até falar: ‘Ó, você vai ficar com essa UC cara?’ Aí tu pensa: ‘E agora?’ Aí tu vai atrás, tu busca, você corre, enfim, dá um dá um choque no começo, né? [...] eu cheguei a fazer alguns cursos, peguei lá uns tutoriais do YouTube, cheguei a comprar [cursos]. Tem lá várias caras, eu não vou me lembrar. Eh, acho que é um deles, acho que é brincando com ideias, uma coisa assim. Aí ele faz um tutorialzinho lá. Aí, tipo assim, eu tive que ir atrás, peguei lá, fiz, fui aperfeiçoando, né, até quando conseguir por conta, por fora (P23).

O depoimento de P28 traz uma análise mais ampla, ao comparar contextos escolares distintos. Ele observa que, apesar da existência de recursos em algumas instituições, a falta de profissionais qualificados, associada à rotatividade docente e contratos temporários, inviabiliza a consolidação de práticas *maker*. Assim, políticas públicas voltadas à contratação e formação de professores aparecem como um fator crítico para garantir a efetividade desses espaços.

Os resultados do questionário TMSTI adaptado revelaram uma autopercepção positiva dos docentes em relação ao domínio de tecnologias *maker*, sugerindo confiança na capacidade de integrá-las às suas práticas. No entanto, essa percepção contrasta com as dificuldades relatadas nas entrevistas, evidenciando uma discrepância entre autoavaliação e prática: os professores tendem a superestimar seu TPACK, resultado condizente com a literatura da área (Battú e Gonçalo, 2024; Riales, 2011; Tatar et al., 2018; Taylor-Ivy, 2011), e por exemplo, podem ter dificuldades para perceber os limites entre saber operar uma tecnologia (TK) e integrá-la pedagogicamente ao ensino (TCK/TPACK).

Portanto, a categoria “Formação e domínio técnico” não deve ser entendida apenas como dificuldades em habilidades técnicas, mas como sintoma de uma lacuna estrutural de formação docente. O domínio técnico (TK) é condição necessária, mas não suficiente; o verdadeiro desafio está em transformá-lo em integração pedagógica que fortaleça a relação entre conteúdo e tecnologia.

Nesse sentido, Moura (2019) enfatiza a necessidade de repensar os processos formativos, especialmente nas licenciaturas, a fim de desenvolver gradualmente habilidades que permitam aos professores incorporar novas tecnologias em suas práticas. Esse avanço poderia ampliar a segurança docente no uso de recursos *maker* e favorecer uma conexão mais sólida entre tecnologias, currículo e inovação pedagógica.

5.5.4 Categoria 4 – Integração entre conteúdos curriculares e práticas *maker*

Esta categoria evidencia as dificuldades dos docentes em alinhar os conteúdos tradicionais das áreas de Ciências da Natureza (física, química e biologia) às práticas e tecnologias vinculadas ao movimento *maker*. O desafio não se limita ao uso técnico dos recursos, mas envolve a criação de conexões pedagógicas significativas entre conceitos curriculares consolidados e experiências práticas desenvolvidas nos espaços *maker*.

No ensino de física, o professor P32 destaca a escassez de materiais de referência que possam apoiar essa integração. Mesmo dedicando tempo à pesquisa, não encontrou propostas consistentes que orientassem o uso de tecnologias *maker* como suporte para o ensino de conceitos específicos da área: “Mesmo quando eu já tive tempo para pesquisar e procurar, eu não consegui encontrar muita coisa de referência [refere-se a materiais de referência que apresentem propostas do ensino de conteúdos de física com tecnologias *maker*] (P32)”.

No ensino de química, o professor P28 expressa uma dificuldade ainda mais acentuada: a percepção de falta de conexão entre recursos *maker* e conteúdos curriculares. Ele reconhece o potencial dos espaços *maker* para desenvolver habilidades múltiplas dos estudantes, como a construção de moléculas em atividades de geometria, mas afirma não conseguir estabelecer uma conexão direta com os conteúdos químicos que precisa trabalhar em sala:

O conteúdo de química eu não vejo. Eu sinceramente eu não consigo ver a aplicação. [...] Eu consigo utilizar o STEAM como um uma ferramenta para que eu possa desenvolver aquela habilidade do aluno, por exemplo, ah, sei lá, vou trabalhar geometria, eles vão construir as moléculas, alguma coisa assim. Mas eu não consigo colocar química dentro daquilo ali, daquele contexto muito difícil, né? Até porque não tem muito, eu não consigo ver necessariamente, hoje eu não consigo analisar. [...] eu não consigo [...] usar como ferramenta para alguma coisa da química (P28).

Essas falas revelam que a integração entre conteúdos curriculares e práticas *maker* não ocorre de forma automática. Pelo contrário, depende de mediações pedagógicas complexas, bem como da disponibilidade de materiais, propostas de ensino e referenciais formativos que orientem os docentes a transformar recursos tecnológicos em oportunidades de aprendizagem conceitual. Sem esse apoio, o risco é que o espaço *maker* seja utilizado de forma paralela ou acessória ao currículo, mas não como parte integrada do ensino de conteúdos das disciplinas tradicionais, efeito problematizado por Blikstein, Valente e Moura (2020) e Valente e Blikstein (2019) e discutido na seção anterior.

5.5.5 Categoria 5 – Recursos materiais e manutenção

Esta categoria evidencia os problemas enfrentados pelos docentes em relação à disponibilidade, compra e manutenção de equipamentos e insumos necessários para o funcionamento dos espaços *maker*. As falas revelam que, embora os recursos tecnológicos estejam presentes em maior ou menor medida, a sua utilização, em alguns momentos, é comprometida por processos que envolvem aquisições para reposição de materiais e manutenção de equipamentos.

O professor P23 destaca a questão de investimento e manutenção envolvidos na estruturação e no funcionamento de laboratórios *maker*. Para ele, os recursos demandados superam os de laboratórios de ciências convencionais, o que levanta dúvidas sobre a viabilidade financeira deste tipo de proposta:

Então, não sei no contexto ali se valeria muito a pena fazer esse investimento que ele é muito caro, eu acredito que o investimento no laboratório *maker*, ele é mais caro do que um laboratório de ciências, eu não sei mesmo em questão de preço que aí vai colocar a impressora depende da quantidade também de impressora 3D cortadora tudo isso, né? E outra coisa que é importante manutenção, né manutenção isso tudo também. Isso é um custo muito grande, né? (P23).

Já o professor P44 traz um exemplo concreto da inutilização de equipamentos devido a problemas técnicos. Ele relata que uma cortadora a laser apresentou falhas e acabou sendo substituída por outra, sem que houvesse uma solução efetiva para o problema, o que resultou em um recurso caro e não utilizado:

Não, o nosso maior desafio foi aquela vez com a cortadora [a laser]. Eu não sei se tu lembra, até tu veio, vocês vieram aqui uma vez no meio de ano. Falei: ‘Gente, isso aqui não corta não, não é possível’. Aí ela foi até levada para arrumar e acho que voltou. Mas aí assim, como veio a nova, a gente acabou nem utilizando mais. Então aquela lá é realmente um desafio assim, a gente não utiliza (P44).

O professor P28, por sua vez, indica duas dimensões distintas desse problema. A primeira está ligada a atrasos e falhas no processo de compras institucionais, que fazem com que materiais solicitados cheguem tardiamente e, muitas vezes, percam sua utilidade no contexto pedagógico: “E assim, outra coisa que a gente esbarra muito, acho que é problema de toda a unidade, é as compras. Tem coisa que a gente pede que você já até esqueceu. Não faz mais sentido. O negócio vem, cara, você fala: ‘E agora faço o que com isso?’ (P28)”.

A segunda dimensão refere-se à dificuldade de manutenção rápida e eficaz dos equipamentos. P28 relata ter tomado a iniciativa de adquirir peças por conta própria para evitar

que a impressora 3D permanecesse inutilizada por longos períodos, evidenciando tanto a burocracia institucional quanto a dependência da iniciativa individual do docente:

Já ‘briguei’ com a coordenadora aqui de comprar a coisa, a impressora parou de funcionar, fui lá e comprei as peças, porque eu não consigo ver a impressora [...] parada, sem funcionar porque tá faltando uma peça, porque daí se eu for pedir a peça, eu tenho que pedir a peça, mas sei lá em quanto tempo vem (P28).

Assim, a categoria “Recursos materiais e manutenção” revela que a simples presença de equipamentos nos espaços *maker* não garante sua utilização pedagógica. Custos, falhas de gestão e a ausência de políticas de manutenção adequadas acabam gerando barreiras significativas para a continuidade e eficácia das práticas.

5.6 POTENCIALIDADES DO MOVIMENTO *MAKER* À EDUCAÇÃO FORMAL

Com base nas questões indicadas no Anexo D conduzidas por meio de entrevistas semiestruturadas, identifiquei benefícios que potencializam o ensino ao incorporarem recursos e tecnologias associadas aos espaços *maker* em suas aulas. Desse processo emergiram seis categorias: 1. compreensão conceitual; 2. engajamento e motivação; 3. habilidades e competências múltiplas; 4. pensamento científico 5. aprendizagem colaborativa; e 6. promove a inclusão de diferentes perfis de aprendizagem.

5.6.1 Categoria 1 – Compreensão conceitual

A categoria refere-se a atividades que tornam os conteúdos abstratos mais concretos, permitindo que os estudantes visualizem, experimentem e atribuam significado ao conhecimento, além de promover experiências contextualizadas em aplicações. Portanto, posso organizar as falas em duas subcategorias: uma que facilita a apropriação de conhecimentos (perspectiva cognitiva); outra com a dimensão da aplicação prática dos conhecimentos (perspectiva de contextualização).

Subcategoria 1.1 – Apropriação de conceitos

Ao permitir que os estudantes construam, manipulem e experimentem materiais e criações, essas práticas contribuiriam para a materialização do pensamento, criando pontes entre teoria e experiência no mundo concreto. Nesse contexto, o ensino emerge da interação

ativa com fenômenos concretos, favorecendo a apropriação de conceitos e o desenvolvimento de compreensões mais profundas e perenes.

Os docentes relatam que a abordagem prática desperta o interesse dos estudantes e facilita as suas compreensões, especialmente para aqueles que apresentam dificuldades em compreender conteúdos quando tratados apenas de forma teórica. A experimentação, a observação e a manipulação de materiais e tecnologias facilitariam a significação, possibilitando que o estudante perceba o fenômeno em sua complexidade e atribua sentido ao conhecimento. Essa percepção se manifesta nas falas dos professores, que destacam o impacto da prática para potencializar o aprendizado.

[...] muitos alunos têm dificuldade, eles acabam nessa parte prática, às vezes se destacando ou até conseguindo compreender melhor (P32).

Mas eu vejo hoje que se eles não fizerem alguma coisa com a mão, eles são mais sinestésicos. Se eles não saberem, não pegarem aquilo para fazer alguma coisa, eu acho que alguns alunos não iriam conseguir absorver esse conhecimento (P11).

Nesse sentido [desenvolver projeto com aplicação prática], tipo assim, sobre o conteúdo foi muito positivo. Realmente dá para fazer várias conexões assim até o termo que é utilizado ali na pedagogia, né, aprendizagem significativa, ou seja, dá realmente significado aquilo ao aluno (P23).

Essas falas convergem com a ideia de que o fazer pode apoiar o ensino, no sentido de que ele atribua significado àquilo que ele estuda na teoria. Ao oferecer situações-problema, essas práticas reduziriam a distância entre o conceito e sua aplicação, fortalecendo o vínculo entre o conhecimento científico e o cotidiano do estudante.

Subcategoria 1.2 – Aproximação entre teoria e prática

A categoria evidencia o papel das tecnologias e práticas *maker* como uma forma de possibilitar que os estudantes elaborem materializações dos conhecimentos na vida real, no mundo “físico” (ou digital). Ao transpor o ensino da abstração para a prática, o fazer promoveria aprendizagem mais significativa e contextualizada, aproximando o raciocínio científico do cotidiano e favorecendo a construção de sentidos.

Os docentes relatam que o uso de recursos práticos, dispositivos tecnológicos e projetos realizados permite superar a fragmentação entre o “saber” e o “fazer”. Essa relação entre teoria e prática não se limita à execução de experimentos, mas envolve a compreensão dos fenômenos a partir de situações passíveis de concretização, capazes de gerar reflexão sobre os conhecimentos teóricos associados.

Os nossos alunos assim, são bem eh, são bem nesse perfil, né, de ir atrás e tal, de se sentir desafiado, não somente em estudar, tipo, a teoria, mas em desvendar o que vem na prática (P44).

Então achei que foi um jeito bem legal de *linkar* toda aquela parte teórica que eu já tinha passado de conteúdo na sala de aula com uma coisa deles verem de verdade acontecendo, que uma coisa é eu falar do processo de fermentação lá num *slide* e eu falar que dá para usar levedura para fazer pão, outra coisa eles fazerem o pão de verdade, né? Então eu acredito que são essas experiências que acabam marcando eles e conseguindo fazer essa ponte com o teórico (P11).

Então, realmente tudo que for relacionado ao aluno, ou ao pedagógico, isso vai trazer um engajamento do aluno, deixar a aula mais dinâmica, mais atrativa, né? Como eu falei, é uma coisa você vai lá falar sobre trocas de calor, né, cara? Vai falar: ‘Ah, vai pegar um líquido A, mistura com líquido B, temperatura tal, calor específico tal, ah, qual é a temperatura de equilíbrio?’ Cara, isso se você não é da área, cara, é muito chato, cara. É muito chato. Mas agora você pega isso e você coloca, ó, tão vendo? Eu tenho esse líquido aqui, é água. Esse aqui é um outro líquido, uma outra mistura. [...] ele vai ter uma noção do que está acontecendo, né? [...] Ou seja, é basicamente o que eu percebo que no ensino tradicional é só reproduzir números, porque às vezes o aluno vai falar, beleza, conseguiu fazer o cálculo, a resposta é 30. Aí quando você faz uma pergunta mais teórica sobre aquilo, ele já não faz a conexão do cálculo com a prática. [...] Quando você trabalha com aprendizagem significativa, tem que dar o significado, o real motivo, aplicação para aquilo. E é nisso que eu acho que entra o nosso espaço *maker* aí, né? Ele dá essa possibilidade de fazer essas conexões aqui (P23).

Esses relatos indicam que a aproximação entre teoria e prática se consolida por meio da experimentação e da aplicação concreta dos conceitos científicos, aspecto essencial para o desenvolvimento da compreensão e da investigação. A possibilidade de observar fenômenos, testar hipóteses e aplicar conhecimentos utilizando-se de tecnologias, favoreceria a apropriação de conhecimentos e reduziria a distância entre o abstrato e o empírico.

Ambas as categorias se associam à ideia de reconectar o ensino com o mundo real, promovendo aprendizagens contextualizadas, nas quais a teoria ganha vida por meio da prática e a prática se fundamenta no conhecimento teórico.

Pode-se entender as características apresentadas nas subcategorias 1.1 e 1.2 por meio de dois enfoques: por um lado, a teoria construcionista desenvolvida por Papert na qual criar algo público, tangível e significativo é um apoio mental para entender o que acontece “na cabeça”. A construção de um artefato, seja um robô, um foguete ou um experimento, é uma forma de externalizar o pensamento, transformando ideias abstratas em objetos concretos que podem ser vistos, testados e compartilhados, o que facilitaria a aprendizagem. Por outro lado, a visão histórico-cultural elaborada por Vygotski, para quem o aprendizado ocorre por meio da mediação de instrumentos e signos culturais que transformam a relação do sujeito com o mundo. As tecnologias e práticas *maker* assumiriam o papel de ferramentas mediadoras que possibilitam a aplicação de conceitos em meios concretos, promovendo a construção de

sentidos, em que os estudantes, ao manipular, testar e construir reelaboram os conceitos, atribuindo novos sentidos em contextos socialmente compartilhados (Valente; Blikstein, 2019).

5.6.2 Categoria 2 – Promoção do interesse

A categoria está associada à indicação de que práticas e tecnologias vinculadas ao movimento *maker* contribuem para transformar positivamente as dinâmicas de ensino e aprendizagem, contribuindo para ampliar o interesse dos estudantes. Ao integrarem o fazer e o pensar, despertariam a curiosidade dos estudantes, possibilitando que eles se envolvessem de modo mais ativo nas atividades.

Eu penso que dentro do ensino, quando a gente traz uma parte mais lúdica, mais prática, fica mais fácil para eles aprenderem, né? É claro que, por exemplo, eu dou aula pro ensino médio, então eles têm um poder de abstração muito maior, né? Eles têm um ótimo poder de abstração, mas eu percebo que quando a gente faz a parte mais prática ou traz de uma de uma forma mais lúdica para eles, eles se interessam mais, eles se engajam mais, né? E eles acabam aprendendo, não só aprendendo, mas aprendendo o conhecimento, entende?, assimilando de verdade esse conhecimento (P11).

Tipo assim, que eu percebi que deu um resultado melhor quando o aluno faz toda a construção. Então se o aluno realmente faz a construção começando lá do início do experimento, botando a mão na massa, parece que ele dá mais valor aquilo. Se você chega com algo pronto, beleza, ele faz. Só que ele não tem tanto zelo por aquilo. Realmente eu percebi, sabe, uma coisa de você dar um valor àquilo com a construção do aluno (P23).

As falas dos professores sugerem que o interesse dos estudantes está diretamente relacionado à oportunidade de participar da exploração de conceitos de maneira prática. Desse modo, os estudantes se sentiriam responsáveis pelo próprio aprendizado, atribuindo valor ao que constroem e reconhecendo o sentido do conteúdo estudado. Essa valorização do processo evidencia que o envolvimento com o fazer não seria apenas instrumental, mas formativo: o estudante se interessa porque também percebe que a atividade tem propósito, autoria e resultado concreto.

A dimensão lúdica e prática das atividades despertaria o interesse e favoreceria a apropriação do conhecimento ligadas à relação afetiva e cognitiva com a experiência, rompendo com o modelo passivo de transmissão de conteúdos e transformando o estudante em autor.

5.6.3 Categoria 3 – Habilidades e competências múltiplas

Esta categoria está associada à ideia de que as abordagens *maker* desenvolvem múltiplas habilidades e competências, evidenciando o caráter multifacetado da aprendizagem nesses contextos, nos quais a experimentação e o trabalho por projetos favorecem o desenvolvimento simultâneo de habilidades cognitivas, técnicas, sociais e emocionais. Ao integrar aspectos de engenharia, design, pensamento lógico e colaboração, essas práticas ampliariam as oportunidades de aprendizagem, possibilitando que os estudantes transitem entre diferentes campos de conhecimento e habilidades.

[...] ‘minha dupla não trouxe o material que tinha que trazer e agora o que que eu faço?’ Vou lá meter a boca nele ou não, né? Vamos resolver de uma outra forma. Então tem toda essa parte socioemocional por trás de estar trabalhando num projeto que é sério, né? (P44).

[...] eu acho que é mais assim a questão de lógica, a questão das medidas, né? A questão da rotação, né? A questão de observar as coisas, pensar no objeto 3D, entendeu? Mesmo que a gente tá falando, não tô falando só do 3D, mas tipo lá no Corte a Laser, quando eu vou montar as pecinhas, começar a pensar nessa parte mais de engenharia, sabe? Tipo essa parte mais lógica da coisa, sabe? Se vai funcionar ou não vai funcionar. Eu vejo muito isso, sabe? (P28).

Então, a minha opinião como professor, trabalhando em duas instituições, né, eu acho que esses recursos eles te dão mais situações para a vida, para o cotidiano, né?! Porque, em algum momento ele vai se deparar com aquilo. E já tem outras instituições que o objetivo é bem claro, é vestibular, né? Ele não está preocupado se o aluno realmente aprender aquilo, não. Tá preocupado com o aluno passe na prova. Eu acho, eu acho que tem essa diferença, as propostas, né? [...] Tirou a parte da prova do vestibular, cara, sobra pouca coisa, sobra realmente pouco, né? (P23).

As falas dos professores sugerem que o fazer, no contexto do desenvolvimento de projetos, envolveria muito mais do que o domínio de ferramentas e tecnologias, ele desenvolveria habilidades que permeiam a resolução de problemas, a colaboração, resolução de conflitos e autonomia individual e do grupo.

Essas experiências convergem para a ideia de que o ambiente *maker* constitui um contexto de ensino e aprendizagem integrado, em que o conhecimento emerge da ação, da colaboração e da reflexão sobre o processo. Nesse sentido, as práticas contribuiriam para uma formação mais ampla e significativa, voltada não apenas ao estudo de conteúdos, mas também, ao desenvolvimento de competências para a resolução de problemas reais e colaboração.

Blikstein (2013), por exemplo, sustenta que ambientes de fabricação digital podem favorecer o desenvolvimento de competências relacionadas à resolução de problemas complexos, pensamento crítico, criatividade e autonomia intelectual, ao possibilitar que os estudantes se envolvam em processos de projeto, prototipagem e investigação prática. Sheridan *et al.* (2014), ao analisarem práticas de aprendizagem em diferentes *makerspaces*, identificam

oportunidades para o desenvolvimento de colaboração, persistência, comunicação e raciocínio técnico, destacando que tais ambientes ampliam as formas de engajamento dos estudantes com o conhecimento ao integrarem dimensões conceituais e procedimentais da aprendizagem. De maneira complementar, Martinez e Stager (2013) argumentam que práticas baseadas no movimento *maker* promovem aprendizagens interdisciplinares e contribuem para o desenvolvimento de habilidades como pensamento computacional, planejamento de projetos e metacognição, ao situarem os estudantes em contextos autênticos de criação e experimentação.

Assim, o desenvolvimento de múltiplas habilidades e competências não se limitaria ao domínio técnico, mas refletiria um processo formativo mais amplo, em que o estudante aprenderia a pensar, a criar e a conviver, transformando as atividades desenvolvidas nesses contextos de ensino e aprendizagem em agentes de formação integral.

5.6.4 Categoria 4 – Pensamento científico

Esta categoria evidencia como as práticas *maker* podem aproximar os estudantes do fazer científico, estimulando a formulação de hipóteses, a experimentação, a análise de dados e a reflexão sobre resultados. Nessas perspectivas, os estudantes assumem papel ativo no processo investigativo, trabalhando habilidades que se aproximam do pensamento científico ao observar fenômenos, testar variáveis, errar, reformular e reconstruir seu entendimento sobre os fenômenos e conceitos aplicados.

P25: ‘Aí percebe que não é o suficiente ainda, daí tem que colocar um contrapeso para dar mais tração e assim vai. É mais de método científico mesmo ali de tentativa e erro. [...] meu objetivo maior ali é que eles experimentem, né? Que eles consigam fazer um carrinho que tem um bom deslocamento num tempo legal, tal’.

P23: ‘[...] como eu trabalho robótica e física, para mim eu acho mais fácil a física. Eu acho que tudo aquilo tá mais voltado para a parte da física. Se bem que quando você aborda ciências, ciências da natureza, ela é uma ciência movida a testes, hipóteses, experimentos. Então você tem todo aquele material, você consegue acho formular a sua aula com base nisso, com base em hipóteses, testes e resultados, né? Então, realmente eu acho que pra área de ciência da natureza, tem um potencial muito grande, né?’

As falas dos professores revelam a centralidade da experimentação e do processo de tentativa e erro. Em algumas situações, o propósito das atividades *maker* não se resume na criação de um produto/protótipo funcional, mas apresenta o potencial de estimular o raciocínio investigativo. Dessa forma, o uso de tecnologias e abordagens *maker* potencializam o pensamento científico, tornando o processo de investigação mais tangível.

Assim, o caráter experimental das práticas *maker* não se limita à execução de atividades práticas, mas contribui para a formação científica, em que os estudantes se envolvem em situações que promovem habilidades como observar, questionar, formular hipóteses e verificar ideias a partir da experiência. Ao articular prática, reflexão e colaboração, essas práticas consolidam-se como espaço privilegiado para o desenvolvimento de habilidades investigativas e epistemológicas que promovem a alfabetização científica e tecnológica na educação básica.

5.6.5 Categoria 5 – Aprendizagem colaborativa

A categoria expressa como tecnologias e abordagens *maker* se configuram como contextos de construção coletiva do conhecimento, no qual os estudantes aprendem não apenas com o professor, mas também por meio da interação e cooperação entre pares. Nessas práticas, a troca de saberes, a comunicação e o trabalho em grupo assumem papel central no processo educativo, favorecendo o desenvolvimento de competências sociais, cognitivas e emocionais.

E aí a eu peço até para que um grupo converse com o outro, comparando os resultados e comparando o que que eles usaram, quais foram os materiais, como é que eles fizeram, justamente para que eles percebam que alguns materiais são mais aplicáveis do que outros na hora de fazer o experimento (P25).

Então, eu acredito que no laboratório novo que a gente vai ter mais espaço, nós vamos poder ter duas, três até quatro turmas lá dentro trabalhando ao mesmo tempo. E acredito que até o fato deles trabalharem juntos agrega valor pro que eles estão estudando, sabe? Muitas vezes a gente vai ter lá uma turma de terceiro ano e uma turma de segundo ano. E se alguém do segundo ano tá com alguma dificuldade, eu sei que alguém do terceiro ano se enxergar vai poder ajudar. Então eles vão também poder ter uma troca, sabe? E eu acredito que essa troca entre eles também é bem válida pro aprendizado, porque quem tá ensinando vai tá aprendendo de novo, né? Vai estar exercitando aquele conhecimento (P11).

As falas dos professores indicaram que o fazer colaborativo amplia as possibilidades de ensino e aprendizagem, uma vez que o compartilhamento de experiências entre os estudantes permite que eles conheçam diferentes perspectivas, resultados e possam aprender com a criação dos outros. Nesse sentido, as trocas transformariam o espaço *maker* em um laboratório de experimentação e reflexão compartilhado, em que os estudantes aprendem a partir da diversidade de abordagens e soluções.

Inclusive, as conversas entre estudantes de diferentes níveis/séries potencializam as aprendizagens, sintetizando o princípio vygotskiano da construção social de conhecimentos, em que ensinar é também uma forma de consolidar o próprio conhecimento. Dessa forma, essa

categoria pode ser entendida a partir da abordagem histórico-cultural de Vygotsky, para quem o aprendizado ocorre por meio da interação social e da mediação de instrumentos culturais. O trabalho colaborativo nos projetos criaria zonas de desenvolvimento proximal, em que estudantes com diferentes níveis de domínio se apoiam mutuamente, mediando a compreensão de conceitos e mesmo procedimentos mais técnicos-operacionais.

Dessa maneira, as situações de ensino e aprendizagem realizadas em práticas colaborativas, promoveriam a criação de comunidades de prática, favorecendo experiências de ensino situadas (Lave, 1988; Lave; Wenger, 1991) e potencialização de processos cognitivos distribuídos (Hutchins, 1995). Assim, a aprendizagem colaborativa em ambientes *maker* ultrapassa a aspectos técnicos/conceituais. O saber “como funciona” e o “como faz” são interconectados. As situações de ensino se constituem em práticas sociais e reflexivas, nas quais o conhecimento é construído em comunidade, a autonomia se desenvolve junto à empatia, e o aprender com o outro se torna parte do aprender sobre algo (Lave, 2015; Samagaia; Delizoicov, 2015).

5.6.6 Categoria 6 – Inclusão de diferentes perfis de aprendizagem

A categoria aborda como as práticas *maker* podem contribuir para uma educação mais aderente à diversidade dos perfis de aprendizagem dos estudantes. As atividades práticas, ao combinarem o pensar e o fazer e vice-versa, ampliam as possibilidades de engajamento, permitindo que alunos com diferentes estilos, ritmos e preferências encontrem caminhos mais próprios para compreender e se expressar no processo de ensino e aprendizagem.

Abre um espaço para todo mundo fazer um pouco daquilo que gosta mais... o cara que gosta mais da parte teórica [...] vai ter esse espaço [...]. O cara que não gosta [...] vai ter o espaço dele de poder colocar a mão na massa (P32).

Então, se eu tivesse que escolher só teoria, eu acredito que nem todos os estudantes da sala seriam contemplados com aprendizado, sabe? Eu tenho um estudante que é maravilhoso na teoria, que se você só der teoria, ele vai aprender tranquilamente, mas eu tenho um estudante que não vai aprender nada (P11).

Os relatos docentes indicam que o contexto dos projetos desenvolvidos acolhe desde estudantes mais inclinados ao raciocínio teórico até aqueles que aprendem melhor pela ação concreta. Eles evidenciam que as práticas, ao promoverem experiências multidimensionais, colaborativas e contextualizadas, reduzem barreiras ao processo de ensino e aprendizagem e tornam o conhecimento mais acessível a diferentes perfis de aprendizagem. Ao integrar

múltiplas possibilidades de linguagens para investigação de fenômenos e/ou realização de projetos, as atividades desenvolvidas nesses ambientes favorecem a expressão e a compreensão de cada estudante segundo suas potencialidades, reconhecendo a pluralidade de modos de aprender.

Dessa forma, a oportunização de diferentes abordagens pedagógicas potencializa que perfis de aprendizagem sejam atendidos nas atividades. Nesse sentido, há uma reconfiguração do ambiente de ensino, em que a diversidade é reconhecida como potencial formativo, e cada estudante é convidado a explorar formas mais próprias de compreender o mundo.

6 CONCLUSÕES

Iniciei essa jornada de pesquisa com a intenção de **compreender como professores de Ciências da Natureza do Ensino Médio, atuantes em uma rede de escolas de Santa Catarina, se apropriam de características do movimento *maker* e articulam os conhecimentos de conteúdo, pedagogia e tecnologia (TPACK) em suas práticas curriculares.** Com o objetivo de investigar a questão, delineei um percurso teórico-metodológico que foi se constituindo durante o processo de compreensão da temática, da exploração de instrumentos de coleta e análise de dados, além das possibilidades da pesquisa em função do contexto e perfil de dados disponíveis.

Ao fazer um resgate da literatura sobre o movimento *maker*, em particular nos desdobramentos educacionais, entendo que suas origens contemporâneas, ao menos no campo acadêmico e educacional, remetem ao início do deste século. Verifiquei que o movimento ganha estrutura com o surgimento e acesso a tecnologias de fabricação digital, inspirado na filosofia dos ambientes Fab Lab, vista, por alguns, como a nova revolução industrial (Anderson, 2012), para outros como uma possibilidade de potencializar processos educacionais por meio de tecnologias de fabricação (Blikstein, 2013, 2018) e desenvolver novas habilidades conectadas às demandas do século XXI (Bevan, 2019).

Nesse contexto, pesquisas que buscaram compreender as inserções desse movimento em contextos educacionais indicaram desafios associados à forma com que princípios e tecnologias vinculadas ao *making* pudessem potencializar e transformar as práticas em contextos de educação (Blikstein; Valente; Moura, 2020; Mannrich; Pinheiro; Brick, 2024). Dentre eles, o papel dos contextos e dos professores (Valente; Blikstein, 2019) e do desafio de desenvolvimento de novas competências demandadas aos docentes para atuar em contextos de educação *maker* (Moura, 2019).

Essa pesquisa foi direcionada a investigar a forma como essas apropriações foram realizadas na rede Sesi/SC. A construção de conclusões e reflexões sobre todo o percurso investigativo, baseado nas evidências emergentes do contexto aplicado da pesquisa, não pretende fornecer elementos prescritivos ou conclusivos sem margem para novos questionamentos e reflexões. Contudo, posso tirar lições relevantes para avaliar o passado, agir no presente e planejar o futuro.

6.1 TECENDO RESPOSTAS

A primeira pergunta da pesquisa foi: **como se configuram os conhecimentos docentes (TPACK) de professores de Ciências da Natureza que integram elementos do movimento *maker* em suas práticas?** A investigação revelou similaridades e diferenças no perfil de conhecimentos docentes em função da natureza das unidades curriculares que eles atuaram. Tanto em unidades curriculares tradicionais quanto “*maker*”, o TPACK evidenciou estágios intermediários no que diz respeito à Conhecimento Pedagógico de Conteúdo (PCK), predominando situações em que buscaram o engajamento ativo-construtivo dos estudantes nas suas abordagens pedagógicas.

O nível de integração tecnológica vinculada ao Conhecimento Tecnológico de Conteúdo (TCK) apresentou diferenças de perfil entre unidades tradicionais e “*maker*”. Nas tradicionais prevaleceu o eixo substituição-ampliação, enquanto em unidades “*maker*”, prevaleceu o eixo ampliação-modificação. Isso significa que as tecnologias, por um lado, foram inseridas de forma a reproduzir práticas já estabelecidas em unidades curriculares tradicionais, por outro, novas abordagens foram construídas em unidades *maker*. Essa diferença pode evidenciar que a incorporação de tecnologias para transformar práticas com foco no ensino de conteúdos tradicionais das áreas não é simples, demanda processos formativos e organizações curriculares que proporcionem a maior integração entre tecnologia e conteúdo. A investigação mostrou ainda que, quanto maior a presença de novas tecnologias nas aulas, menor foi a presença de conteúdos das áreas.

O perfil de atuação dos docentes nas unidades curriculares tradicionais pode ser caracterizado como: foco em conteúdos disciplinares tradicionais; orientadas a avaliações tradicionais (internas e externas); práticas docentes mais cristalizadas com forte influência da tradição curricular; forte influência da formação docente inicial; tecnologia como ferramentas para ensinar conteúdos sem grandes transformações nas práticas; e pouca reflexão sobre a tecnologia.

Já o perfil de atuação em unidades curriculares “*maker*” se caracteriza como: baixa presença de conteúdos das áreas; foco em habilidades múltiplas e incorporação tecnológica; não orientada a avaliações padronizadas ou tradicionais; formação docente em construção; baixa influência da tradição curricular; tecnologias como ferramentas para ensinar processos e/ou para desenvolver projetos; e pouca reflexão sobre a tecnologia.

As práticas observadas revelam diversidade de estratégias de manifestação do TPACK, como a experimentação, investigação e autoria de projetos, que promovem o

engajamento cognitivo dos estudantes (níveis ativo e construtivo, segundo o ICAP). O movimento *maker* surge, portanto, como um possível catalisador do pensamento investigativo e da aprendizagem pelo fazer, especialmente nas práticas dos docentes que favorecem a autonomia e a resolução de problemas concretos, ainda que não incorporados de forma integrada em todas as unidades curriculares.

Assim, posso inferir que o TPACK dos participantes reflete transições dinâmicas entre estágios de aceitação, reconhecimento e adaptação, com predominância do nível aceitação (quatro docentes) para unidades curriculares tradicionais. Já em unidades *maker* observo um movimento ligeiramente mais avançado: três docentes situam-se no nível aceitando e outros três no nível adaptando, com apenas um professor alcançando o nível explorando.

A segunda pergunta da pesquisa foi: **Qual a influência de diferentes elementos contextuais na construção de práticas docentes vinculadas ao movimento *maker*?** A influência dos elementos contextuais são decisivas para o desenvolvimento das práticas. A disponibilidade de espaços *maker*, a oferta de formações continuadas, o apoio das equipes gestoras e as próprias características curriculares emergem como fatores importantes para o desenvolvimento de novas práticas. Quando esses elementos se articulam, observam-se experiências pedagógicas mais integradas, colaborativas e interdisciplinares, nas quais o docente explora novas situações de ensino por meio de tecnologias.

Já a falta de infraestrutura adequada, o tempo reduzido para planejamento e a rigidez curricular ainda constituem barreiras significativas à experimentação e efetivação de propostas mais disruptivas. Esses resultados corroboram a ideia de que o desenvolvimento do TPACK não ocorre de forma isolada, mas está intrinsecamente vinculado à disponibilidade de recursos, a condições curriculares, organizacionais e culturais que sustentam o trabalho docente.

A terceira pergunta da pesquisa foi: **Quais os potenciais e limites da utilização de princípios do movimento e de ferramentas associadas a espaços *maker* no ensino formal e na modificação da atuação docente?** Os resultados das falas dos docentes indicam que os recursos e tecnologias vinculados ao movimento *maker* favorecem o surgimento de práticas diferentes, com enfoque em tecnologias estimulando habilidades múltiplas, colaborativas e contextualizadas. Os docentes reconhecem que práticas associadas ao movimento *maker* tem potenciais como o de promover o interesse, a curiosidade científica, o desenvolvimento de habilidades socioemocionais e a ampliação da autonomia dos estudantes.

Tais práticas também impulsionam os docentes a ressignificarem sua atuação, fazendo com que experimentem diferentes estratégias para abordar conhecimentos das áreas e de incorporar as tecnologias, mesmo que, em muitos casos, essa integração ocorra de forma

tangencial e com maior intensidade nas unidades curriculares de caráter explicitamente “*maker*”.

O estudo evidencia que esses potenciais ainda convivem com limitações estruturais e culturais. Fatores como a tendência mais reprodutiva, vinculada aos indicadores de substituição e ampliação, para o uso das tecnologias digitais, a ausência de tempo para experimentação e a persistência de culturas avaliativas, quase que exclusivamente tradicionais, limitam o alcance transformador da cultura *maker* nas escolas. Além disso, a articulação entre conteúdo e novas práticas, por meio das tecnologias representa um grande desafio, ficando evidente a dicotomia entre ensinar conteúdos e incorporar tecnologias *maker* nas aulas.

Muitos dos resultados associados aos limites e potencialidades do movimento *maker* à educação formal são similares com a pesquisa de Heilala *et al.* (2020) que se associa ao potencial de promoção da agência do estudante²⁹ e desvantagens como falta de tempo e recursos, grande carga de trabalho, lacunas de competência, desafios em conduzir os trabalhos em função de dificuldades dos estudantes em desenvolver atividades criativas ou trabalhar de forma independente.

Em síntese, os resultados desta investigação revelam que o desenvolvimento do TPACK associado ao movimento *maker* é um processo gradual, contextual e colaborativo. Os docentes demonstram predisposição à inovação e reconhecem o valor pedagógico da experimentação e da criação, mas ainda carecem de condições e suporte institucional para atingir níveis mais elevados de integração tecnológica transformadora.

O movimento *maker*, nesse sentido, configura-se como um possível vetor de desenvolvimento profissional, que desafia as práticas tradicionais e impulsiona a construção de uma cultura escolar mais investigativa e interdisciplinar. Contudo, para avançar em perceptivas formativas que fomentem uma educação crítica, lacuna indicada por Soster (2018) no contexto de uma educação *maker*, torna-se importante considerar abordagens críticas no contexto de formação docente. Nessa perspectiva, esse processo precisa integrar reflexão e ação, ancorada em bases epistemológicas sólidas, para avançar na qualidade de processos de ensino voltados à emancipação intelectual e social dos estudantes.

²⁹O conceito, conforme a OECD, “está enraizado no princípio de que os alunos têm a capacidade e a vontade de influenciar positivamente suas próprias vidas e o mundo ao seu redor. A agência do estudante (*Student agency*) é assim definido como a capacidade de definir uma meta, refletir e agir de forma responsável para efetuar a mudança. Trata-se de agir em vez de receber a ação; moldar em vez de ser moldado; e tomar decisões e escolhas responsáveis ao invés de aceitar aquelas determinadas por outros” (OECD, 2019, p. 2, tradução nossa).

6.2 OITO PRINCÍPIOS FORMATIVOS

Nesta seção, ousou propor princípios e referências para organizar processos formativos que considerem os desafios identificados e discutidos na tese a partir do *framework* TPACK. Entendo que a proposta é uma dentre tantas formas possíveis, tanto no que diz respeito à estrutura, quanto ao conteúdo e referências teóricas. O objetivo é oferecer um referencial aplicável a políticas e programas de formação continuada que desejem promover níveis mais avançados de integração tecnológica no ensino de Ciências.

Princípio 1 – Orientar a formação para o desenvolvimento integrado do TPACK

As formações precisam superar a fragmentação entre dimensões tecnológicas, pedagógicas e de conteúdo, evitando cursos centrados apenas em ferramentas, por exemplo. Dentre as características posso listar: trabalhar a tecnologia a partir dos problemas reais de ensino (e não de forma descontextualizada) ou a partir de objetivos curriculares estratégicos (formação integral); desenvolver o TPACK de forma situada e contextualizada, partindo de desafios curriculares concretos das áreas de conhecimento e seus componentes; e criar percursos formativos que alternem teoria e prática, promovendo momentos de experimentação, reflexão e reconstrução das práticas.

Possibilidade formativa: organizar momentos formativos, nos quais professores planejem, executem e analisem projetos com tecnologias vinculadas ao movimento *maker* alinhados a conteúdos de Física, Química e Biologia, com acompanhamento reflexivo sobre o uso da tecnologia.

Princípio 2 – Formar o professor como autor das práticas

Compreender os docentes como autores de experiências educativas, não apenas como aplicadores de metodologias. Dentre as características posso listar: promover o desenvolvimento da autonomia docente para desenhar sequências didáticas que integrem tecnologia de forma crítica; estimular a pesquisa-ação e a reflexão sistemática sobre a prática, em diálogo com pares e com apoio de formadores; e valorizar a documentação e a socialização das práticas (portfólios, repositórios, eventos de compartilhamento). Essa abordagem reforça o movimento *maker* como um espaço de investigação colaborativa, em que o professor também aprende, em um processo de ação-reflexão.

Princípio 3 – Articular formação e contexto institucional

Os resultados da pesquisa mostram que a integração tecnológica é sensível ao contexto: tempo disponível, infraestrutura, cultura escolar e políticas curriculares. Dentre as características posso listar: criar formações que envolvam gestores, coordenadores e equipes pedagógicas, e não apenas professores individualmente; planejar formações alinhadas aos projetos institucionais e às condições reais de trabalho, considerando carga horária, acesso a equipamentos e apoio técnico; e promover redes de colaboração interescolas e comunidades de prática que compartilhem recursos, soluções e experiências *maker*.

Princípio 4 – Desenvolver uma concepção crítica de tecnologia

A pesquisa revelou certa tendência a uma visão instrumentalista da tecnologia, voltada a substituir ou ampliar práticas tradicionais. Dentre as características posso listar: adotar uma abordagem crítica da tecnologia, inspirada em Andrew Feenberg e Neil Selwyn, por exemplo, que reconheça as dimensões sociais, políticas e éticas do uso tecnológico: explorar a tecnologia como objeto de estudo e mediação cultural, não apenas como ferramenta para “entregar” conteúdos curriculares ou organizar processos pedagógicos; e favorecer a reflexão sobre como e por que determinadas tecnologias são utilizadas e quais valores orientam essas escolhas.

Princípio 5 – Garantir tempo e suporte institucional para inovação

A ausência de tempo para planejar e experimentar é um dos principais obstáculos relatados pelos docentes. Dentre as características posso listar: incluir tempo institucional destinado ao planejamento, à reflexão e à prática colaborativa; criar espaços permanentes de apoio técnico e pedagógico, com mentoria e acompanhamento entre pares; e valorizar a experimentação, o erro e a iteração como parte legítima do processo formativo e inovador.

Princípio 6 – Fomentar a progressão nos níveis de integração tecnológica (SAMR + ICAP)

A formação deve ajudar o docente a transitar conscientemente entre os níveis de integração tecnológica, do uso instrumental à transformação pedagógica. Dentre as características posso listar: mapear práticas e identificar níveis de integração (ICAP: Substituição → Ampliação → Modificação → Redefinição); planejar atividades formativas que desenvolva gradualmente os professores para níveis de maior engajamento cognitivo e autoria (ICAP: Passivo → Ativo → Construtivo → Interativo); e oferecer modelos de progressão

formativa, em que cada projeto ou prática gere reflexão sobre o próximo passo na incorporação tecnológica.

Princípio 7 – Alinhar formação e currículo sem engessar a criatividade docente

É necessário articular o movimento *maker* e as tecnologias ao currículo, sem que o currículo se torne um obstáculo ao desenvolvimento de práticas vinculadas ao pensamento científico, crítico e criativo. Dentre as características posso listar: incorporar em habilidades e competências da BNCC conteúdos adequados aos objetivos curriculares que contribuam para a compreensão do “porque fazer”, “como funciona”, e não apenas o “como fazer”; favorecer interpretações flexíveis e autorais do currículo, permitindo que os docentes contextualizem as práticas sem perder vínculo com os objetivos da área; e incentivar que as tecnologias e práticas *maker* sejam vistas também como conteúdo formativo, e não apenas como meios para ensinar outros conteúdos.

Princípio 8 – Construir uma cultura institucional de ação-reflexão contínua

Por fim, a formação continuada deve se converter em um ecossistema permanente de desenvolvimento profissional docente. Dentre as características posso listar: estruturar condições para que o professor aprimore suas práticas de forma constante, junto à ideia de que eles podem aprender, experimentar e criar também em conjunto com os estudantes; e estabelecer mecanismos de acompanhamento do desenvolvimento profissional (portfólios de desenvolvimento do TPACK, diários reflexivos, comunidades virtuais).

A partir dos resultados da pesquisa, entendo que processos formativos que promovam o avanço no nível de integração tecnológica devem ser situados na realidade do docente, promover reflexões críticas, a experimentação e a colaboração, promovendo o equilíbrio entre conteúdo, pedagogia e tecnologia. Cabe reforçar que a noção de conteúdo vai muito além do de conceitos associados à área, mas envolve também valores, atitudes e reflexões sobre a própria visão de mundo subjacente a uma área/disciplina. O desenvolvimento do TPACK não é linear, mas um processo em espiral de reconstrução da prática, que requer condições institucionais favoráveis, apoio contínuo e uma filosofia de tecnologia voltada à emancipação, não apenas à reprodução.

Esses oito princípios podem ser articulados às três dimensões do TPACK, Conhecimento Tecnológico (TK), Pedagógico (PK) e do Conteúdo (CK), e suas intersecções (TPK, TCK, PCK e TPACK) para um *framework* contextualizado aos desafios apresentados (Quadro 62). É importante, considerar ainda, o Conhecimento Contextual (XK), para que a

atuação docente faça sentido no seu contexto de atuação, tornando os limites e potenciais de sua prática mais claros e coerentes.

Portanto, a formação continuada, e mesmo inicial, de professores, para a integração efetiva de tecnologias e práticas *maker* implica promover percursos que promovam a convergência entre conhecimentos técnicos e epistemológicos da tríade conteúdo, pedagogia e tecnologia. Mais do que ensinar ferramentas, trata-se de cultivar modos de pensar em que a tecnologia carrega também uma visão de sociedade, uma forma de agir e moldar o mundo, isto é, compreender como as tecnologias modelam o conhecimento, a prática e a cultura da escola e da sociedade.

Com este fim, as formações docentes, especialmente as continuadas, devem ser ancoradas em processos colaborativos, com análise crítica e contextualizada, concebidas como um processo permanente de reconstrução da prática docente e da identidade profissional. O desenvolvimento do TPACK, portanto, não se encerra em níveis fixos, mas converge em espirais de integração, ressaltando a importância dos conteúdos científicos para o desenvolvimento do potencial humano, acompanhando a evolução das tecnologias, das práticas e dos próprios professores que, como aprendizes permanentes, constroem sua docência no encontro entre teoria, prática e reflexão em um mundo em que a tecnologia assume, cada vez mais, dominância.

Em termos de perspectivas futuras de pesquisa, identifico oportunidades na investigação de processos formativos fundamentados nos princípios anteriormente discutidos e ancorados no modelo de integração TPACK. Além disso, vislumbro a possibilidade de aprofundar a reflexão e o delineamento de propostas formativas associadas a esse modelo, orientadas por perspectivas crítico-transformadoras.

Quadro 64 – Oito princípios para formação continuada de professores à luz do TPACK

Constructo TPACK	Descrição	Questões-chave	Princípio
Conhecimento Tecnológico (TK)	O desenvolvimento do TK requer oportunidades de exploração, erro e reflexão crítica sobre as tecnologias. As formações devem ir além da formação técnica, promovendo compreensão crítica de como e por que as tecnologias são utilizadas buscando a superação de visões instrumentalistas (Feenberg, 2003)	Como a tecnologia funciona (dimensão operacional)? Quais valores (ou visão de mundo) ela promove?	4 e 5
Conhecimento Pedagógico (PK):	O PK se fortalece quando o docente é convidado a repensar suas práticas, planejar coletivamente e refletir sobre os impactos das escolhas pedagógicas. Essa dimensão dialoga com abordagens reflexivas e éticas sobre o ser docente.	A prática favorece a autonomia, investigação, pensamento crítico e/ou emancipação intelectual do estudante/grupo? Ela promove a construção e exploração de conceitos a partir de algum tipo de materialização das ideias do estudante/grupo?	4 e 5
Conhecimento de Conteúdo (CK):	O CK sustenta a compreensão dos conteúdos, valores e atitudes vinculadas a determinada área de conhecimento. A formação deve incentivar o reconhecimento de conhecimentos relevantes para o tema/fenômeno a ser estudado.	Quais são os conteúdos centrais para o entendimento do tema/fenômeno a ser abordado? Quais devem ser priorizados? Quais podem ser ignorados?	1 e 7
Conhecimento Tecnológico-Pedagógico (TPK)	O TPK diz respeito à compreensão de como as tecnologias podem alterar as estratégias de ensino e aprendizagem. Essa dimensão envolve a capacidade de redesenhar práticas tradicionais e transitar entre os níveis de integração do modelo SAMR, por exemplo.	Como determinada tecnologia contribui para modificar a atividade? Qual o ganho pedagógico trazido pela tecnologia?	5 e 7
Conhecimento Tecnológico do Conteúdo (TCK)	O TCK emerge quando o professor reconhece que as tecnologias não apenas entregam, mas também transformam a interação dos estudantes com o conteúdo. No ensino de Ciências, por exemplo, a introdução de sensores, simulações e laboratórios virtuais altera as formas de observar, investigar e explicar fenômenos.	A tecnologia permite alguma interação com o conteúdo que seria difícil realizar de outra maneira? Qual o ganho na exploração conceitual ou na habilidade a ser desenvolvida pelo estudante trazido pela tecnologia?	1 e 4
Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK)	O PCK se manifesta quando o professor define estratégias mais adequadas para abordar determinados conteúdos ou desenvolver determinadas habilidades, considerando o contexto, os estudantes e as metodologias. Ela permite considerar níveis de engajamento cognitivo baseados no modelo ICAP, por exemplo.	A estratégia adotada está adequada ao ensino do conteúdo ou desenvolvimento da habilidade trabalhada? Qual(is) é(são) os ganhos que a(s) estratégia(s) escolhida(s) traz para abordado o conteúdo/habilidade? Qual é o tipo de interação desejada ou promovida entre os estudantes com o conteúdo?	3 e 5

Conhecimen to Tecnológico Pedagógico do Conteúdo (TPACK):	O TPACK representa a integração dos conhecimentos entre conteúdo, pedagogia e tecnologia e é manifestado na prática docente. O seu desenvolvimento não é linear, envolve momentos de avanço ou mesmo regressão, numa espécie de “dança” dinâmica integradora em espiral (Niess <i>et al.</i> , 2009), exigindo suporte institucional, tempo e reflexão contínua.	A estratégia pedagógica aliada a incorporação de uma tecnologia específica potencializa o ensino de determinado conteúdo ou habilidade? Por quê?	Todos
Princípio 1 – Orientar a formação para o desenvolvimento integrado do TPACK, superando a fragmentação entre conhecimento de conteúdo, pedagogia e tecnologia (Koehler; Mishra, 2009). Princípio 2 – Formar o professor como autor da prática, reconhecendo-o como protagonista e não simples executor de metodologias (Freire, 1996; Mannrich; Pinheiro; Brick, 2024). Princípio 3 – Articular formação e contexto institucional, envolvendo gestão e equipes pedagógicas no processo de mudança. Princípio 4 – Desenvolver uma concepção crítica da tecnologia, com base na filosofia de Feenberg (2003) e Selwyn (2015), que compreende a tecnologia como fenômeno cultural e político. Princípio 5 – Garantir tempo e suporte institucional para a inovação, reconhecendo a importância do tempo de planejamento e reflexão docente. Princípio 6 – Fomentar a progressão nos níveis de integração tecnológica, conforme os modelos SAMR (Puentedura, 2010, 2013, 2016a, 2016b) e ICAP (Chi; Wylie, 2014). Princípio 7 – Alinhar formação e currículo sem engessar a criatividade docente, explorando a flexibilidade das competências da BNCC e outros documentos oficiais (Brasil, 2017; Mannrich; Neves Jr, 2021). Princípio 8 – Construir uma cultura institucional de aprendizagem contínua, na qual o desenvolvimento profissional seja permanente, colaborativo e reflexivo.			

Fonte: elaborado pelo autor.

6.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Em primeiro lugar, destaco a amostra reduzida de docentes, ainda que tenham sido observados determinados padrões de comportamento no contexto específico da rede de escolas analisada. Essa característica impõe cautela quanto à extrapolação dos resultados para outros contextos educacionais, sobretudo considerando a diversidade de condições institucionais, curriculares e formativas existentes em diferentes redes de ensino.

Outro limite refere-se à dependência de instrumentos de autoavaliação para mensuração do TPACK docente, como questionários adaptados do TMTSI. Ainda que amplamente utilizados na literatura, tais instrumentos captam predominantemente a percepção que o professor tem de seus próprios conhecimentos, podendo não refletir com precisão o modo como esses saberes se manifestam na prática pedagógica. Essa limitação torna-se particularmente relevante quando se observam discrepâncias entre níveis elevados de autoconfiança tecnológica e integrações tecnológicas classificadas em níveis instrumentais nas rubricas analisadas, como SAMR e ICAP.

Adicionalmente, a aplicação dessas rubricas apresenta limitações decorrentes da natureza indireta das observações realizadas. As classificações atribuídas às práticas pedagógicas basearam-se majoritariamente em relatos e anotações produzidas pelos próprios docentes, e não em observações diretas das aulas. Tal condição pode influenciar a análise dos níveis de integração tecnológica, uma vez que a disponibilidade e a qualidade das informações fornecidas tendem a impactar a classificação das atividades, podendo conduzir a avaliações em níveis mais altos ou mais baixos do que aqueles que efetivamente ocorreram na prática. Por exemplo, a natureza dos dados não permitiu termos segurança para classificar aulas no nível interativo do ICAP, o que demandaria compreender detalhes a respeito da forma como ocorreram as discussões/interações entre os estudantes.

Cabe também considerar a subjetividade inerente ao processo de aplicação das rubricas analíticas, que depende, em alguma medida, da experiência e da interpretação do pesquisador, além de inferências a partir de evidências indiretas (planejamentos, falas, atividades). É possível que diferentes avaliadores atribuam pontuações distintas a uma mesma prática pedagógica. No entanto, espera-se que tais variações ocorram entre níveis adjacentes das rubricas, e não em extremos opostos, o que preservaria a coerência geral das análises realizadas.

A pesquisa também evidencia a forte dependência do contexto institucional e curricular. As práticas docentes observadas são atravessadas por fatores como carga horária,

rigidez curricular, cultura escolar, disponibilidade de infraestrutura e políticas de avaliação externa. Tais elementos influenciam diretamente as possibilidades de integração tecnológica e tornam difícil generalizar os resultados para outros sistemas de ensino ou redes escolares com características distintas, exigindo que as análises e conclusões sejam interpretadas com cautela.

Adicionalmente, há uma assimetria entre a presença de tecnologias e sua integração pedagógica efetiva. A simples disponibilidade de espaços *maker*, kits de robótica ou ferramentas digitais não garante sua articulação com os conteúdos das Ciências da Natureza, o que implica que o desenvolvimento do TPACK não depende, exclusivamente, de condições materiais, mas também de processos formativos e intencionalidade pedagógica, dimensões que nem sempre puderam ser controladas ou isoladas no desenho da pesquisa.

Em conjunto, tais limitações não invalidam os resultados e conclusões do estudo, mas indicam a necessidade de interpretações cautelosas e mostram caminhos para investigações futuras que considerem outras abordagens e maior aprofundamento na dimensão contextual do TPACK docente no ensino de Ciências.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos aspectos mais recorrentes nas análises têm relação com a abertura curricular. A pouca abertura tende a restringir a autonomia docente e dificultar a integração de práticas reflexivas, investigativas e interdisciplinares, especialmente em unidades curriculares tradicionais. O caráter prescritivo das matrizes curriculares, aliado à centralidade das avaliações padronizadas, impõe um ritmo e uma lógica de ensino que, muitas vezes, conflitam com a natureza exploratória e criativa do movimento *maker*. No entanto, ainda que contextos mais flexíveis revelem maior capacidade de reinvenção pedagógica, a liberdade, por si só, não assegura a incorporação significativa de conteúdos das áreas de conhecimento nem a incorporação crítica das tecnologias. Assim, a autonomia docente se mostra condição necessária, porém, não suficiente para a consolidação de práticas transformadoras.

Nesse contexto, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) desempenha um papel ambíguo. De um lado, suas competências gerais atribuem centralidade ao uso de tecnologias, conferindo-lhes um caráter formativo e transversal como destacam Machado e Amaral (2024). De outro lado, ao organizar o currículo em um conjunto extenso e prescritivo de habilidades, como argumentam Rodrigues e Mohr (2021), a BNCC tende a reduzir o espaço dos conhecimentos historicamente sistematizados e a reforçar processos de padronização. Esse movimento, conforme indicam as autoras, pode limitar a emergência de práticas pedagógicas

problematizadoras, criativas e contextualizadas, ao orientar o trabalho docente por parâmetros estreitamente definidos, alinhados a agendas externas e a modelos de sociedade descompromissados com o desenvolvimento humano emancipatório.

Com base em Machado e Amaral (2024) entendo que essas contradições curriculares repercutem na prática docente, e podem promover visões instrumentalistas da tecnologia, uma vez que o desenvolvimento de habilidades amplas podem dominar os esforços de atuação dos docentes e das redes, fazendo com que recursos tecnológicos sejam reduzidos ao carácter operacional, ao invés de, também, promover a problematização epistemológica e o potencial criativo e investigativo. Sob essa ótica, a filosofia crítica de Andrew Feenberg (2017, 2019) oferece uma lente interpretativa relevante, ao indicar que a emancipação tecnológica depende de reconhecer a tecnologia não apenas como meio, mas como expressão cultural e política do fazer humano que define o “como” e o “por que” fazer.

A falta de tempo, seja para planejamento, formação e execução de projetos com tecnologias, também aparece como um obstáculo estrutural recorrente ao desenvolvimento de novas práticas. Essa dimensão, contudo, revela algo mais profundo: a ausência de uma cultura institucional que valorize o tempo da experimentação, do erro e da reflexão, elementos indispensáveis à cultura *maker* e ao desenvolvimento do TPACK. A superação dessa limitação depende de políticas formativas mais robustas, que promovam o desenvolvimento de habilidades docentes para planejar, testar e avaliar o uso pedagógico das tecnologias, de modo intencional e contextualizado.

Ainda que muitas escolas disponham de infraestrutura tecnológica, a falta de intencionalidade pedagógica no uso desses recursos é uma barreira significativa. A tecnologia, isoladamente, não transforma a prática docente, como enfatiza Selwyn (2015), a simples introdução de ferramentas digitais tende a reproduzir práticas tradicionais com aparência de inovação. O alinhamento entre conteúdo, pedagogia e tecnologia, conforme propõe o modelo TPACK, é o elemento determinante para que as tecnologias assumam papel transformador e não meramente superficial e desalinhados a valores emancipatórios. Quando essa tríade não está integrada de forma plena e orientada por meio de processos críticos-transformadores, às práticas mediadas por tecnologias podem se tornar superficiais e distantes de uma integração autêntica e transformadora do ensino, aspecto discutido por Mannrich, Pinheiro e Brick (2024).

Os resultados também indicam para um dilema pedagógico recorrente: quanto mais as tecnologias são enfatizadas, mais os conteúdos disciplinares tendem a se diluir, e vice-versa. Em alguns casos, o foco recai sobre o desenvolvimento de habilidades técnicas ou competências do século XXI, enquanto os conceitos científicos e epistemológicos das áreas

perdem centralidade. Em outros, o ensino retorna a abordagens de reprodução de conteúdos, marginalizando a experimentação e a criatividade. Esse movimento dicotômico reflete uma integração parcial do TPACK, na qual um dos eixos, tecnológico, pedagógico ou de conteúdo, sobrepõe-se aos demais, comprometendo a construção de uma prática equilibrada e significativa e, em ambos os casos, carentes de reflexões crítico.

Por fim, os resultados deste trabalho evidenciam que a transformação pedagógica não é uniforme nem ilimitada. Os próprios conteúdos científicos, com suas especificidades epistemológicas, podem restringir certas formas de experimentação e mesmo limitar o fazer, assim como o modelo educacional vigente tende a favorecer a estabilidade e a previsibilidade em detrimento da problematização, da reflexão, da invenção e da tomada de risco para abordagens mais transformadoras. Assim, a integração tecnológica deve ser compreendida não como sinônimo de inovação, mas como um processo reflexivo, situado e dialógico, que depende de condições institucionais, epistemológicas e culturais.

Em síntese, a pesquisa permite concluir que a incorporação de tecnologias e princípios *maker* no ensino formal constitui um processo gradual, complexo e profundamente contextual. Embora os professores demonstrem disposição para inovar e reconheçam o valor pedagógico da experimentação e da criação, persistem barreiras estruturais e epistemológicas que limitam a consolidação do TPACK. A superação desses desafios requer uma formação docente crítica, uma autonomia curricular orientada e ampliada, além de projetos institucionais comprometidos com uma filosofia emancipadora da tecnologia, como propõe Feenberg (2017, 2019), em contraposição às abordagens tecnocráticas e reprodutivistas.

O desenvolvimento do TPACK associado ao movimento *maker* permite compreender a prática docente como interseção dinâmica entre tecnologia, pedagogia e conteúdo, atravessada por condições contextuais que tanto habilitam quanto limitam o surgimento de novas abordagens na sala de aula. Os resultados desta pesquisa sugerem que a integração tecnológica não se reduz ao uso instrumental dos dispositivos, mas requer a reconstrução da escola como espaço de reflexão, criação e investigação coletiva, em que a tecnologia é entendida como linguagem, cultura e prática social.

Nesse horizonte, o movimento *maker* pode contribuir para romper com a lógica predominantemente consumidora das tecnologias educacionais e favorecer experiências em que o fazer-pensar e o pensar-fazer se constituem mutuamente, ampliando as possibilidades de conectar o conhecimento científico e tecnológico à vida dos estudantes. Ao evidenciar tais potencialidades, bem como os limites estruturais e formativos que ainda restringem sua incorporação, esta tese reforça que práticas baseadas no *making* pode ser tornar mais integradas

ao ensino e relevantes à educação escolar, quando articuladas a uma visão crítica da tecnologia, a processos colaborativos de construção de conhecimento e à consolidação progressiva do TPACK docente.

REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, Edith. Piaget's constructivism, Papert's constructionism: what's the difference? **Future of Learning Group Publication**, 2001. Disponível em: http://learning.media.mit.edu/content/publications/EA.Piaget%20_%20Papert.pdf. Acesso em: 11 jan. 2019.
- ALVES, Rubem. **A alegria de ensinar**. 3. ed. São Paulo: ARS Poética Editora, 1994.
- ANDERSON, Cris. **Makers A nova revolução industrial**. São Paulo: Elsevier Editora, 2012.
- BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BARBOSA E SILVA, Rodrigo. **Para além do movimento maker**: Um contraste de diferentes tendências em espaços de construção digital na Educação. 2017. 240 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Sociedade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.
- BARBOSA, Liliane Cecília de Miranda; VIEIRA, Livia Fraga. Avaliações externas estaduais: possíveis implicações para o trabalho docente. **e-Curriculum**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 1–19, 2013.
- BATTÚ E GONÇALO, Fernanda. **O Desenvolvimento do TPACK de Futuros Professores de Física nas Disciplinas de Prática de Ensino do Curso de Licenciatura em Física da UFSC**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2024.
- BENDER, Willian. N. **Aprendizagem Baseada em Projetos**: Educação Diferenciada Para o Século XXI. Porto Alegre: Penso, 2014.
- BEVAN, Bevan. The promise and the promises of Making in science education. **Studies in Science Education**. v. 53, n. 1, p. 75-103, 2017. Disponível em: https://www.ecsite.eu/sites/default/files/bevan_making_sse-min.pdf. Acesso em: 5 maio 2022.
- BLIKSTEIN, Paulo; VALENTE, José; MOURA, Éliton Meireles de. Educação Maker: Onde Está O Currículo? **Revista e-Curriculum**, v. 18, n. 2, p. 523-544, jun. 2020. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/curriculum/article/view/48127/32229>. Acesso em: 14 ago. 2020.
- BLIKSTEIN, Paulo; WORSLEY, Marcelo A. B. Children Are Not Hackers: Building a Culture of Powerful Ideas, Deep Learning, and Equity in the Maker Movement. *In*: PEPLER, K.; HALVERSON, E.; KAFAL, I. B. (eds.). **Makeology**. 1st. ed., v. 1. Routledge. 2016.
- BLIKSTEIN. Paulo. Cheesemaking emancipation: The critical theory of cultural making. *In*: HOLBERT, N.; BERLAND, M.; KAFAL, Y. (eds.) **Designing Constructionist Futures: The Art, Theory, and Practice of Learning Designs**, pp. 115-126. Cambridge, MA: MIT Press,

2020a. Disponível em: <https://tltlab.org/wp-content/uploads/2020/10/2020.Blikstein.Constructionist-Futures.Cheesemaking-Emancipation.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2023.

BLIKSTEIN, Paulo. Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention. In: WALTER-HERRMANN, J.; BÜCHING, C. (eds.). **FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors**. Bielefeld: Transcript Publishers, 2013.

BLIKSTEIN, Paulo. The History and Prospects of the Maker Movement in Education. In: VRIES, M. (ed.). **Handbook of Technology Education**. Springer International Handbooks of Education. Springer, Cham, 2018.

BOGERS, Loes; CHIAPPINI, Letizia. (orgs.). **The Critical Makers Reader**. (Un)learning Technology. Amsterdam: Institute of Network Cultures (INC Readers 12), 2019. Disponível em: <https://networkcultures.org/wp-content/uploads/2019/11/CriticalMakersReader.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.

BOZZATO, Carla Vargas; UHMANN, Rosângela Inês Matos Avaliações externas: implicações no trabalho pedagógico no ensino de Ciências. **Thema**, Pelotas, v. 22, n. 1, 2025.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 11 jan. 2020.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional Lei número 9394, 20 de dezembro de 1996**.

BRASIL. Portaria nº 1.432, de 28 de dezembro de 2018. Estabelece os referenciais para elaboração dos itinerários formativos conforme preveem as Diretrizes Nacionais do Ensino Médio. Brasília: **Diário Oficial da União**, 05/04/2019, Edição 66, Seção 1, 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/70268199. Acesso em: 19 fev. 2023.

BROCKVELD, Marcos Vinícius Vanderlinde; TEIXEIRA, Clarissa. SStefani; SILVA, Mônica Renneberg da. A Cultura Maker em prol da inovação: boas práticas voltadas a sistemas educacionais. **Anais da Conferência ANPROTEC**. 2017. Disponível em: <https://via.ufsc.br/wp-content/uploads/2017/11/maker.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2022.

BUENO, Rafael Winícius da Silva, LIEBAN, Diego; BALLEJO, Clarissa Coragem. Mathematics teachers' TPACK development based on an online course with GeoGebra. **Open Education Studies**, v. 3, p. 110–119, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1515/edu-2020-0143>.

BUENO, Rafael; NIESS, Margaret L.; ALDEMIR ENGIN, Ruhsen; BALLEJO, Clarisa Coragem; LIEBAN, Diego. Technological pedagogical content knowledge: Exploring new perspectives. **Australasian Journal of Educational Technology**, v. 39, n. 1, p. 88–105, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14742/ajet.7970>.

BYBEE, Roger W. The case for STEM education: Challenges and opportunities. **National Science Teachers Association Press**. Arlington, Virginia, 2013.

CAVALCANTI, Gui. Is it a Hackerspace, Makerspace, TechShop, or FabLab? **Makezine**, 2013. Disponível em: <http://makezine.com/2013/05/22/the-difference-between-hackerspaces-makerspaces-techshops-and-fablabs/>. Acesso em: 13 mar. 2022.

CHAI, Ching Sing; RAHMAWATI, Yuli; JONG, Morris Siu-Yung. Indonesian Science, Mathematics, and Engineering Preservice Teachers' Experiences in STEM-TPACK Design-Based Learning. **Sustainability**, v. 12, p. 9050, 2020.

CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 7. ed. Ijuí: Unijuí, 2017.

CHI, Michelene T. H.; WYLIE, Ruth. The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes. **Educational Psychologist**, v. 49, n. 4, p. 219–243, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.96582>.

COHEN, Jonathan D. Maker Principles and Technologies in Teacher Education: A National Survey. **Journal of Technology and Teacher Education**, v. 25, n. 1, p. 5-30, 2017. Disponível em: <http://www.learntechlib.org/p/172304/>. Acesso em: 7 jun. 2020.

COHEN, Jonathan; JONES, Wonty; SMITH, Shaunna; CALANDRA, Brendan. Makification: Towards a Framework for Leveraging the Maker Movement in Formal Education. **Journal of Educational Multimedia and Hypermedia**, v. 26, n. 3, p. 217-229, 2017. Waynesville, NC USA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). Disponível em: <http://www.learntechlib.org/p/174191/>. Acesso em: 19 fev. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Educação STEAM: insumos para a construção de uma agenda para o Brasil**. Brasília: CNI, 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/50/78/5078a52e-c7f9-4bdb-815f-7282862670ff/educacao_steam.pdf. Acesso em: 15 maio 2023.

CORDOVA, Tânia; VARGAS, Ingo. Educação Maker SESI-SC: inspirações e concepção. In: **1ª Conferência FabLearn Brasil**. 2016. Disponível em: http://fablearn.org/wp-content/uploads/2016/09/FLBrazil_2016_paper_108.pdf. Acesso em: 20 fev. 2022.

COX, Susan. **A conceptual analysis of technological pedagogical content knowledge**. Doctoral Dissertation, Brigham Young University, Provo, UT. 2008.

COX, Suzy; GRAHAM, Charles R. Diagramming TPCK in Practice: Using and elaborated model of the TPCK framework to analyze and depict teacher knowledge. **TechTrends**, v. 53, n. 5, p. 60-69, 2009.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta. Maria. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

DOUGHERTY, Dale. The maker mindset. In: HONEY, M.; KANTER, D. E. (eds.). **Design. Make. Play**. Growing the next generation of STEM innovators (pp. 7–16). New York, NY: Routledge, 2013.

DUSSEL, Enrique. Hacia la liberación científica y tecnológica. **America Latina en Movimiento**, Ano XXXVIII, época II, n. 493, mar. 2014. Disponível em: https://enriquedussel.com/txt/Textos_Articulos/447.2014_espa.pdf. Acesso em: 2 abr. 2023.

EYCHENNE, Fabien; NEVES, Heloisa. **Fab Lab: A Vanguarda da Nova Revolução Industrial**. São Paulo: Editorial Fab Lab Brasil, 2013.

FARIAS SILVA, Maria Juliana; CORRÊA DE PAULA, Marlúbia. Perspectivas da inteligência artificial como ferramenta de apoio para análise textual discursiva. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 12, n. 30, p. 01–26, 2024.

FEENBERG, Andrew. **Entre a razão e a experiência: ensaios sobre tecnologia e modernidade**. Portugal: MIT Press, 2017.

FEENBERG, Andrew. **O que é a Filosofia da Tecnologia?** Palestra proferida na Universidade de Komaga em junho de 2003. Disponível em: <http://www.sfu.ca/~andrewf/oquee.htm>. Acesso em: 11 dez. 2019.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FUTURE OF EDUCATION AND SKILLS 2030: Conceptual learning framework - Student Agency For 2030. OCDE, 2019. Disponível em: https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/student-agency/Student_Agency_for_2030_concept_note.pdf. Acesso em: 27 mar. 2023.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019. Disponível em: <https://revista.ibict.br/fiinf/article/view/4835>. Acesso em: 15 maio 2022.

GARCIA, Paulo Sérgio; BIZZO, Nelio; ROSA, Sanny Silva da. Políticas de avaliação e o desenvolvimento profissional do professor de ciências. **Educação**, v. 44, p. e46/1–24, 2019.

GERSHENFELD, Neil. How to Make Almost Anything: The Digital Fabrication Revolution. **Foreign Affairs**, v. 91, nov./dez. 2012.

GOHN, Maria da Glória. Educação não-formal, participação da sociedade civil e estruturas colegiadas nas escolas. **Ensaio: avaliação e políticas públicas em Educação**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 50, p. 27-38, jan./mar. 2006.

GONDIM, Raquel de Sousa; SILVA, Daniela de Moraes; VASCONCELOS, Francisco Herbert Lima; SANTANA, José Rogério; BLIKSTEIN, P. A implementação de laboratório Fablearn no município de Sobral: um estudo de caso sobre o uso da cultura maker no ensino de ciências no ensino fundamental. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – Encitec**, v. 13, n. 1, p. 138-151, 28 abr. 2023.

GREENO, J. G. & the Middle School Mathematics through Applications Project Group. The situativity of knowing, learning, and research. **American Psychologists**, v. 53, p. 5-26. 1998. Disponível em: http://methodenpool.uni-koeln.de/situierteslernen/Greeno_1998.pdf. Acesso em: 17 jun. 2021.

HALVERSON, Erica Rosenfeld; SHERIDAN Kimberly. The Maker Movement in Education. **Harvard Educational Review**, v. 84, n. 4, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Erica_Halverson/publication/277928106_The_Maker_Movement_in_Education/links/5689dc6b08ac051f9af7899d.pdf. Acesso em: 20 jun. 2020.

HATCH, Mark. **The maker movement manifesto**. New York: McGraw-Hill, 2014. Disponível em: <https://raumschiff.org/wp-content/uploads/2017/08/0071821139-Maker-Movement-Manifesto-Sample-Chapter.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2019.

HEILALA, Ville; SAARELA, Mirka; REPONEN, Sanna; KÄRKKÄINEN, Tommi. Let Me Hack It: Teachers' Perceptions About 'Making' in Education. In: EL MOUSSATI, A.; KPALMA, K.; GHOUTH BELKASMI, M.; SABER, M.; GUÉGAN, S. (eds.). **Advances in Smart Technologies Applications and Case Studies**. SmartICT, 2019. Lecture Notes in Electrical Engineering, v. 684. Springer, Cham, 2020.

HERTZ, Garnet. Interview with Matt Ratto. In: HERTZ, G. (ed.). **Critical Making: Conversations**. Critical Making. Hollywood. California USA: Telharmonium Press, 2012, p. 1-10.

HESSEN, Johannes. **Teoria do conhecimento**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

HUANG, Biyun; JONG, Morris Siu-Yung; TU, Yung-Fang; HWANG, Gwo-Jen; CHAI, Ching Sing; JIANG, Michael Yi-Chao. Trends and exemplary practices of STEM teacher professional development programs in K-12 contexts: A systematic review of empirical studies, **Computers & Education**, v. 189, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131522001488>. Acesso em: 17 jun. 2023.

HUTCHINS, E. **Cognition in the wild** Cambridge. MIT press, 1995.

KAMKWABA, William. **William Kamkwaba construindo um moinho de vento**. Youtube, 1 ago. 2007. Disponível em: <https://youtube.com/watch?v=G8yKFVPOD6o&si=EnSikaIECMiOmarE>. Acesso em: 8 fev. 2023.

KOEHLER, Matthew J.; MISHRA, Punya. What is technological pedagogical content knowledge? **Contemporary Issues in Technology and Teacher Education**, v. 9, n. 1, 2009. Disponível em: <http://goo.gl/zXfvrr>. Acesso em: 2 jun. 2019.

KU, Chih-Jung; LOH, Wei-Leong; LIN, Kuen-Yi; WILLIAMS, P. John. Development of an instrument for exploring preservice technology teachers' maker-based technological pedagogical content knowledge. **British Journal of Educational Technology**, v. 52, n. 2, p. 552-568, 2020.

LANDRAIN, Thomas; MEYER Morgan; PEREZ, Ariel Martin; SUSSAN, Remi. Do-it-yourself biology: challenges and promises for an open science and technology movement. **Systems and Synthetic Biology**, v. 7, Issue 3, p. 115-126, 2013.

LAVE, J.; WENGER, E. **Situated learning**: legitimate peripheral participation. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.

LAVE, Jean. Aprendizagem como/na prática. **Horizontes Antropológicos**, Porto Alegre, v. 21, n. 44, p. 37–47, jul./dez. 2015.

MACHADO, Aline Alvares; AMARAL, Marília Abrahão. Diálogos entre as competências cultura digital e pensamento científico, crítico e criativo na Base Nacional Comum Curricular. **Revista Brasileira de Educação**, v. 29, e290006, 2024.

MAGALHÃES JUNIOR, Carlos Alberto de Iliveira.; BATISTA, Michel Corci (orgs.). **Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências**. 2. ed. Ponta Grossa, PR: Atena, 2023.

MANNRICH, João Paulo. Caçando Monstros Microscópicos com uma Webcam Hackeada: possibilidades para o Ensino de Física e Ciências. **A Física na Escola** (Online), v. 20, n. 1, 2022. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol20-Num1/FNE-20-1-210204.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2022.

MANNRICH, João Paulo; NEVES JR, Othon da Rocha. Proposta de estação meteorológica baseada em internet das coisas de código aberto e baixo custo como ferramenta para articulação entre novas tecnologias digitais da informação e comunicação no ensino de ciências/física na educação básica. **RENOTE**, v. 19, n. 2, p. 323–334, 2021.

MANNRICH, João Paulo; CORDOVA, Tânia; MOTERLE, André Luiz. Educação Maker: relato de uma parceria entre SESI/SC e o município catarinense de Lindóia do Sul. In: Fablearn Latin America 2016. **Anais...**. In: Fablearn Latin America 2019, Sinergia Design, Montevideo, Uruguay, 2019. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1Vb9h4MO35GWRuOtDXD8BxJlBYkjm6jOd/view>. Acesso em 7 jun. 2020.

MANNRICH, João Paulo; FARIAS, Tiago; VIEIRA-JUNIOR, Osvaldo. Baú de Ciências: um relato de que faz divulgação científica no Brasil. In **Anais** do II Colóquio Internacional Tendências Contemporâneas da Comunicação Científica, Florianópolis, dezembro de 2014. Disponível em: https://www.coloquiocomcientifica.ufsc.br/ComunicacoesOrais/FARIAS_Thiago.pdf. Acesso em: 23 mar. 2025.

MANNRICH, João Paulo; NEVES JUNIOR, Othon da Rocha. Centrífuga com HD controlada pelo Arduino para explorar física e eletrônica. **A Física na Escola**, v. 22, n. 1, p. 230160, 2024. DOI: <https://doi.org/10.59727/fne.v22i1.160>. Disponível em: <https://fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/160>. Acesso em: 15 nov. 2025.

MANNRICH, João Paulo; PINHEIRO Eduarda Boing; BRICK, Elizandro Maurício. Movimento *maker* na educação escolar: reflexões sobre uma formação docente na

perspectiva ético-crítica no contexto do projeto Educamaker. **Revista e-Curriculum**, São Paulo, v. 22, p. 1-29, 2024.

MARTIN, Lee. The Promise of the Maker Movement for Education. **Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)**, v. 5, n. 1, Article 4, 2015.

MARTINEZ, Sylvia Libow; STAGER, Gary. **Invent to Learn: Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom**. Torrance: Constructing Modern Knowledge Press, 2013.

MATTOS, Erica Azevedo Costa; SILVA, Diego Fagundes; KÓS, José Ripper. Hackerspaces: espaços colaborativos de criação e aprendizagem. **V!RUS**, São Carlos, n. 10, 2014. [online] Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus10/?sec=4&item=6&lang=pt>. Acesso em: 28 mar. 2022.

MISHRA, P.; KOEHLER, M. J. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. **Teachers College Record**, v. 108, n. 6, p. 1017–1054, 2006.

MISHRA, Punya. Considering contextual knowledge: The TPACK diagram gets an upgrade. **Journal of Digital Learning in Teacher Education**, v. 35, n. 2, p. 76–78, 2019.

MORAES, Roque. Uma Tempestade de Luz: a Compreensão Possibilitada pela Análise Textual Discursiva. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, out. 2003.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do Carmo. **Análise Textual Discursiva**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2007.

MOURA, Éliton Meireles de. **Formação Docente e Educação Maker: O desafio do desenvolvimento das competências**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

MOURA, Éliton Meireles de; BUENO, Belmira de Oliveira. Maker Education and the Fab Lab Livre SP: Experiences in social and environmental challenges. In **Proceedings of FabLearn 2019**. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, p. 176–179, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3311890.3311920>. Acesso em: 17 jun. 2023.

NAKASHIMA, Rosária; PICONIZ, Stela. Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): Modelo explicativo da ação docente. **Revista Eletrônica de Educação**, v. 10, p. 231-250, 2016.

NISS, Margaret L.; RONA, Robert N.; SHAFER, Kathryn G.; DRISKELL, Shannon O.; HARPER, Suzanne R.; JOHNSTON, Christopher; BROWNING, Christine; ÖZGÜN-KOCA, S. Asli; KERSAINT, Gladis. Mathematics teacher TPACK standards and development model. **Contemporary Issues in Technology and Teacher Education**, v. 9, n. 1, p. 4-24, 2009.

OLIVEIRA, Mapira Marques. **Conhecimento Pedagógico e Tecnológico do Conteúdo na Formação de Professores na Educação Científica E Tecnológica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação Científica Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina,

Centro de Ciências da Educação, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/186140>. Acesso em 23 jul. 2020.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Future of Education and Skills 2030: Conceptual learning framework - Student Agency For 2030. OCDE, 2019. Disponível em: https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/student-agency/Student_Agency_for_2030_concept_note.pdf. Acesso em: 27 mar. 2023.

PAPERT, Seymour. **A máquina das crianças**: repensando a escola na era da informática. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

PEREIRA, Ana Paula; ARTHUR, Thalita. Cultura Maker e Ensino de Ciências: um mapeamento sistemático. **Anais do CIET: EnPED:2020 - (Congresso Internacional de Educação e Tecnologias | Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância)**, São Carlos, ago. 2020. Disponível em: <https://cietenped.ufscar.br/submissao/index.php/2020/article/view/1096>. Acesso em: 13 dez. 2021.

PRETTO, Nelson Hackear a educação: como a cultura hacker pode servir de inspiração para um novo, e necessário, modelo de ensino. **Facta #3**, 2015. Disponível em: <http://www.facta.art.br/hackear-a-educacao/>. Acesso em: 5 dez. 2021.

PUNTEDURA, Ruben. **How to Apply the SAMR Model with Ruben Puentedura**. YouTube, 12 de julho de 2016a. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZQTx2UQQvbU&t=3s>. Acesso em: 5 dez. 2021.

PUNTEDURA, Ruben. **SAMR and TPCK: Intro to Advanced Practice**, 2010. Disponível em: http://hippasus.com/resources/sweden2010/SAMR_TPCK_IntroToAdvancedPractice.pdf. Acesso em: 5 dez. 2021.

PUNTEDURA, Ruben. **Technology In Education: A Brief Introduction**. YouTube, 7 de janeiro de 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rMazGEAiZ9c>. Acesso em: 5 dez. 2021.

PUNTEDURA, Ruben. **The Impact of the SAMR Model with Ruben Puentedura**. YouTube, 12 de julho de 2016b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZQTx2UQQvbU&t=3s>. Acesso em: 5 dez. 2021.

RAABE, André; GOMES, Eduardo Borges. Makers: uma nova abordagem para tecnologia na educação. **Revista Tecnologias na Educação**, Brasil, v. 10, p. 8, set. 2018.

RESNICK, Mitchel. **Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play**. The MIT Press: Cambridge, MA, 2017.

RIALES, J. W. **An Examination Of Secondary Mathematics Teachers' TPACK Development Through Participation in A Technology-Based Lesson Study**. 250 p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de Mississippi, Oxford, 2011.

RODRIGUES, Larissa Zancan; MOHR, Adriana. “Tudo deve mudar para que tudo fique como está”: análise das implicações da Base Nacional Comum Curricular para a Educação em Ciências. **Revista e-Curriculum**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 1483-1512, out./dez. 2021. Disponível em: <http://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum>. Acesso em: 5 dez. 2021.

SAMAGAIA, Rafaela R. **Comunicação, divulgação e educação científicas**. 2016. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, UFSC, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/169089>. Acesso em: 19 fev. 2023.

SAMAGAIA, Rafaela; DELIZOICOV, Demétrio. Educação científica informal no movimento “Maker”. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC Águas de Lindóia**, SP – 24 a 27 de Novembro de 2015. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0211-1.PDF>. Acesso em: 15 mar. 2020.

SANGUESA, Ramon. La tecnocultura y su democratizacion: ruido, limites y oportunidades de los Labs. (DOSSIER). **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnologia y Sociedad**, v. 23, n. 8, p. 259, 2013.

SANTANA, André; RAABE, André; SANTANA, Luís; VIEIRA, Marli; RAMOS, Gustavo; SANTOS, Aldo. Lite Maker: Um Fab Lab móvel para aplicação de atividades mão na massa com estudantes do ensino básico. **Anais do Workshop de Informática na Escola**, p. 211, nov. 2016. Disponível em: <https://www.br-ie.org/pub/index.php/wie/article/view/6639>. Acesso em: 7 jul. 2020.

SANTOS, Milton. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. 17. ed. Rio de Janeiro: Record, 2008.

SCHAEFFER, André Gustavo. **Educação científica e educação tecnológica: a identificação de relações a partir de atividades pedagógicas com robótica educativa**. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2018.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SELL, Norbert M. **Encyclopedia of the Sciences of Learning**. Springer New York, NY, 2012.

SELWYN, Neil. Minding our language: why education and technology is full of bullshit ... and what might be done about it. **Learning, Media and Technology**, v. 41, n. 3, p. 437–443, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/17439884.2015.1012523>. Acesso em: 5 dez. 2021.

SESI/SC. **Itinerário STEAM Ensino Médio: referencial metodológico**. 2. ed. Florianópolis: Expressão, 2023.

SHERIDAN, Kimberly; HALVERSON, Erica Rosenfeld; LITTS, Breanne; BRAHMS, Lisa; JACOBS-PRIEBE, Lynette; OWENS, Trevor. Learning in the making: A comparative case study of three makerspaces. **Harvard Educational Review**, v. 84, n. 4, p. 505–531, 2014.

SHULMAN, Lee S. Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**. v. 15, p. 4-14, 1986.

SILVA, Juarez Bento; NARDI SILVA, Isabela; BILESSIMO, Simone. Technological structure for technology integration in the classroom, inspired by the maker culture. **Journal of Information Technology Education: Research**, v. 19, 167-204. 2020.

SOSTER, Tatiana Sansone; ALMEIDA, Fernando José de; SILVA, Maria da Graça Moreira. Educação maker e compromisso ético na sociedade da cultura digital. **Revista e-Curriculum**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 715-738, abr./jun. 2020.

SOSTER, Tatiana Sansone. **Revelando as essências da Educação Maker**: percepções das teorias e das práticas. 2018. 176 f. Tese (Doutorado em Educação: Currículo) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC-SP, 2018.

STINKEN-RÖSNER, Lisa; HOFER, Elisabeth; RODENHAUSER, Annika; ABELS, Simone. Technology Implementation in Pre-Service Science Teacher Education Based on the Transformative View of TPACK: Effects on Pre-Service Teachers' TPACK, Behavioral Orientations and Actions in Practice. **Educ. Sci.**, v. 13, p. 732, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci13070732>. Acesso em: 5 dez. 2024.

TABER, Keith S. O Uso do Alfa de Cronbach no Desenvolvimento e Relato de Instrumentos de Pesquisa em Educação Científica. **Res Sci Educ** 48, p. 1273–1296, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>. Acesso em: 5 dez. 2024.

TATAR, E.; ALDEMIR, R.; NIESS, M. Teaching geometry in the 21st century: investigating teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge levels. **Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching**, v. 37, n. 2, p. 111-129, 2018.

TAYLOR-IVY, J. **Secondary Mathematics Teachers' Perceptions Of Their Integration Of Instructional Technologies**. Dissertação (Mestrado em Educação) –Universidade de Mississippi. Oxford, 2011.

TECHSHOP. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. 2017. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/TechShop>. Acesso em: 14 fev. 2019.

TURERE, Richard. **Richard Turere**: Minha invenção que fez as pazes com os leões. Youtube, 27 mar. 2013. Disponível em: <https://youtube.com/watch?v=RAoo--SeUIk&si=EnSikaIECMiOmarE>. Acesso em: 8 fev. 2023.

VALENTE, Ann Berger; BURD, Leo. Creative Learning Challenge Brazil: A Constructionism approach to educational leadership development. **Tecnologias, Sociedade e conhecimento**, v. 6, n. 2, p. 9-29, dez. 2019.

VALENTE, José Armando; BLIKSTEIN, Paulo. Maker Education: Where Is the Knowledge Construction? **Constructivist Foundations**, v. 14, n. 3, p. 252-262, 2019.

VOOGT, Joke; FISSER, Petra; TONDEUR, Jo; VAN BRAAK, Johan. Using Theoretical Perspectives in Developing Understanding of TPACK. In: HERRING, M. C.; KOEHLER,

M. J.; MISHRA, P. (eds.). **Handbook of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) for Educators**. 2nd ed. New York: Routledge, 2016.

YAMANA, Daniella Naomi. **O movimento maker e o sentido de lugar no "fazer": o alcance da rede pública Fab Lab Livre SP na cidade de São Paulo**. 2024. Dissertação (Mestrado em Projeto, Espaço e Cultura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, University of São Paulo, São Paulo, 2024. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.16.2024.tde-20052024-094914>. Acesso em: 16 nov. 2025.

APÊNDICE A – EXEMPLO DE DESENVOLVIDA PARA O ITINERÁRIO STEAM

HORTA INTELIGENTE

Unidade Curricular: *BIOHACKERIA II*

Nº de Aula: Encontro 4 (3h/a)

Título: Aprimorando as Ideias do Projeto Horta Inteligente.

Introdução:

O conhecimento é nossa arma mais forte frente às adversidades que a vida impõe, ele mata a fome do saber e nutre o corpo, ele cura, salva e acalenta a alma, ele é a luz que ilumina a obscuridade da ignorância.

Mas afinal o que é o conhecimento?

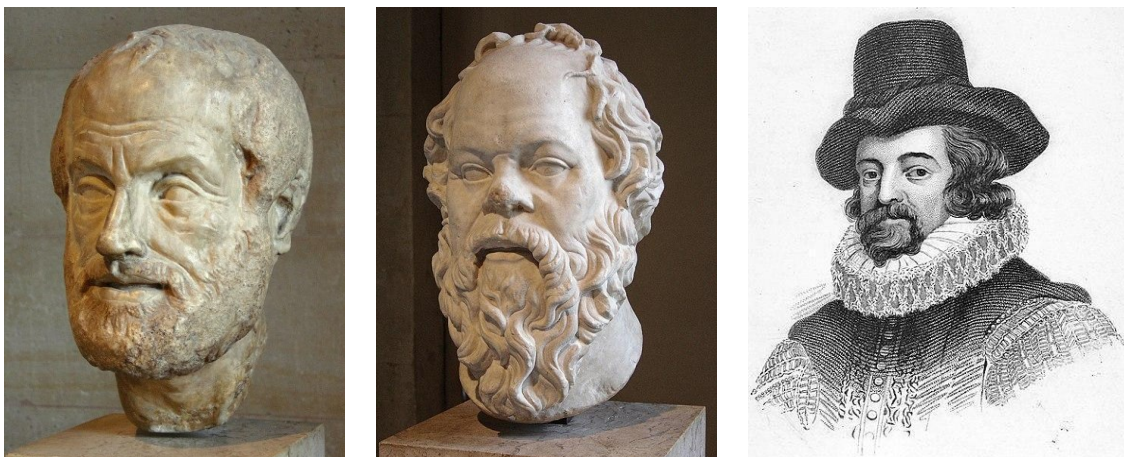
Segundo o google:

1. ato ou efeito de conhecer.
2. ato de perceber ou compreender por meio da razão e/ou da experiência.

Bom, sabemos que ele é um pouco mais que isso, afinal ele é o conjunto de cada experiência que temos ao longo da vida. Mas existem outras definições que são mais filosóficas...

Aristóteles dizia que “*Conhecimento é o ato de entender a vida*”, Sócrates disse que “*Só é útil o conhecimento que nos torna melhores*” e Francis Bacon afirmou que “*Conhecimento é poder*”.

Imagem 1. Aristóteles (Esquerda), Sócrates (Centro), Francis Bacon (Direita).



Mas se tratamos o conhecimento com tanta pompa e respeito, deve haver certamente uma maneira formal e normatizada de passá-lo adiante, dada a sua extrema importância para a história e a evolução humana. Fato é que, não é assim tão simples e ao mesmo tempo não é tão difícil.

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção”.

Paulo Freire.

Como vimos, o conhecimento é muito importante e por si só ele não é nada se não puder ser compartilhado, a partir disto cremos que o incentivo a divulgação científica deve ser uma constante nas práticas realizadas em *Biohackeria II*.

Foi-se o tempo em que a divulgação científica era feita somente por meio de livros e revistas especializadas, com a difusão cada vez maior de internet, a divulgação científica encontra diferentes meios de transmitir os conhecimentos, seja através de vídeos e *podcast's* em *sites* ou serviços de *streaming*, ou simplesmente pelas redes sociais ou discussões no discord. Hoje o conhecimento flui como um rio de saber e chega a quase todos os lugares do mundo instantaneamente. Queremos fazer parte deste movimento e hoje vamos explorar um pouco disto.

Tarefa:

- Apresentar os projetos, receber *feedbacks* dos colegas e discutir alternativas frente a potenciais problemas na construção da sua Horta Inteligente.

Processos:

Neste encontro o objetivo principal de seu grupo deve ser a construção de uma apresentação que seja atraente e empolgante, a missão de vocês é apresentar ao público suas ideias e as potencialidades sobre o projeto para uma horta inteligente e quais os benefícios que este projeto trará nas suas vidas. Utilizem suas máximas capacidades, este é o momento de vocês mostrarem todos os conhecimentos adquiridos ao longo dos últimos anos na Escola S.

- **Atividade 1: Preparo de Apresentação do Projeto.**

Para a construção da apresentação, cada grupo deve se focar em 3 eixos principais.

- Construção da Horta (escolha de materiais, nível de automação, projeto, dimensionamento e construção);
- Escolha das Culturas (respeitando a sazonalidade, apresentando a classificação dos grupos de plantas e compreensão de seus ciclos de vida);
- Plantio e Colheita (técnicas de plantio, cuidados com as culturas, estudo fisiológico das culturas no decorrer do projeto).

A apresentação deve ser rica em imagens, apresentar os conhecimentos técnicos necessários ao projeto, não ser excessivamente carregada com textos, de compreensão clara e objetiva. Os tempos sugeridos para as apresentações são de entre 10 e 15 minutos.

Algumas dicas valiosas para que vocês possam construir apresentações envolventes, ou dicas de como falar em público, podem ser encontradas nos vídeos abaixo.

- Apresentação on-line: 10 DICAS para fazer uma incrível no POWERPOINT.

(2 vídeos disponíveis em:

www.youtube.com/watch?v=maabf2QDOCM (17 minutos)

www.youtube.com/watch?v=TNVe7wp9q5g (13 minutos)

A apresentação de sua equipe será filmada e depois será anexada ao seu diário de bordo virtual, então caprichem.

O tempo ideal para esta atividade é de aproximadamente 60 minutos.

- **Atividade 2: Apresentação e Discussão do Projeto.**

Após a construção das apresentações, é chegado o momento de apresentar as ideias ao público, então respire fundo, pegue sua água e vamos lá, não se preocupe muito com a organização pois o professor irá delimitar o seu tempo.

Inevitavelmente alguém fará algum questionamento, geralmente o professor, fique atento aos questionamentos e busque responder da forma mais clara possível. Não se esqueça que o projeto foi proposto, estudado, pensado e desenhado pela sua equipe, logo vocês são os que mais sabem sobre ele, não fiquem nervosos que tudo dará certo.

O tempo ideal para as apresentações e indagações de todos os grupos é de aproximadamente 60 minutos.

- **Atividade 3: Registros no Diário de Bordo Virtual.**

Alimente seu diário de bordo virtual com as conquistas de seu dia, todas as informações que você buscou para construir uma boa apresentação, elencando as fontes e os conhecimentos que estudou.

O tempo ideal para esta atividade é de aproximadamente 30 minutos.

Recursos:

- Acesso a internet;
- Computadores ou *chromebooks*;
- Projetor ou lousa;

Avaliação:

As avaliações deste encontro compreendem o seu engajamento durante as atividades realizadas ao longo de nossos últimos quatro encontros:

- Encontro 1: Primeiros Passos;
- Encontro 2: Vamos falar sobre isso;
- Encontro 3: Projetando a Horta Inteligente;
- Encontro 4: Aprimorando as Ideias do Projeto Horta Inteligente.

Estas avaliações são realizadas com base em suas entregas e na atualização de seu diário de bordo virtual.

RUBRICAS				
Hab.	Descritivo	Conceitos		
		A	B	C
H1	Entende a importância e busca assimilar os processos de transformação e conservação com os aspectos da sustentabilidade em processos produtivos na agricultura, priorizando o uso racional de recursos naturais. (Encontros 1 e 2)	Interrelaciona a importância dos processos produtivos na agricultura com a sustentabilidade. Compreende como o uso de tecnologias pode ser usado para racionalizar os recursos naturais em processos produtivos.	Interrelaciona a importância dos processos produtivos na agricultura com a sustentabilidade. Não compreende como o uso de tecnologias pode ser usado para racionalizar os recursos naturais em processos produtivos.	Não interrelaciona a importância dos processos produtivos na agricultura com a sustentabilidade. Não compreende como o uso de tecnologias pode ser usado para racionalizar os recursos naturais em processos produtivos.
H5	Interpretar formas de manifestação da vida, considerando seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas. (Encontros 3 e 4)	Compreende e pratica a diversidade na escolha das culturas para a implementação do projeto. Busca os conhecimentos a respeito dos ciclos de vida das culturas, visando as mais adequadas ao tempo e condições do projeto.	Compreende e pratica a diversidade na escolha das culturas para a implementação do projeto. Não busca os conhecimentos a respeito dos ciclos de vida das culturas, visando as mais adequadas ao tempo e condições do projeto.	Não compreende e pratica a diversidade na escolha das culturas para a implementação do projeto. Não busca os conhecimentos a respeito dos ciclos de vida das culturas, visando as mais adequadas ao tempo e condições do projeto.

Conclusão:

Neste quarto encontro, você e sua equipe apresentaram o seu projeto e tiveram a oportunidade de discutir sobre ele, bem como trocar ideias para potenciais situações problema encontradas.

Discussões a respeito das apresentações são excelentes oportunidades para problematizar e instigar os alunos a resolver problemas complexos, que poderão fazer parte do

cotidiano na execução dos projetos. Assim, torna-se fundamental a aprimoração continuada dos alunos, buscando conhecimentos sobre as angiospermas através de uma ampla revisão de conhecimentos já apresentados nas ciências da natureza.

Mantenha o de seu diário de bordo virtual constantemente atualizado durante nossa UC, descrevendo nele suas visões científico tecnológicas a respeito dos conteúdos desenvolvidos.

Para nosso próximo encontro traga de casa materiais sustentáveis para a construção da horta como caixas de isopor por exemplo e outros materiais reutilizáveis.

Créditos:

ARISTÓTELES. *In*: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. **Wikimedia**. 2021. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arist%C3%B3teles>. Acesso em: 16 jul. 2021.

BONETTO, Leonardo. Apresentação on-line: 10 dicas para fazer uma incrível no PowerPoint. **Canal Slide Mestre**. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TNVe7wp9q5g>. Acesso em: 16 jul. 2021.

BOUSADA, Clara. Apresentação on-line: 10 dicas para fazer uma incrível no PowerPoint. **Canal Clara Bousada**. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=maabf2QDOCM>. Acesso em: 16 jul. 2021.

CATANI, André *et al.* **Ser Protagonista - Biologia 2º Ano**. 3. ed. São Paulo: Editora SM, 2016.

FRANCIS BACON. *In*: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. **Wikimedia**. 2021. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Francis_Bacon. Acesso em: 16 jul. 2021.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia - saberes necessários à prática educativa**. 56. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2003.

SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA. **Itinerário STEAM Ensino Médio: referencial metodológico**. Florianópolis: Sesi/SC, 2021.

SÓCRATES. *In*: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. **Wikimedia**. 2021. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%B3crates>. Acesso em: 16 jul. 2021.

APÊNDICE B – EXEMPLO DE *WEBQUEST* UTILIZADA NO ITINERÁRIO STEAM**ESTUDOS DO CLIMA****Unidade Curricular:** *BIOHACKERIA II***Nº de Aulas:** Encontros 14, 15, 16 e 17 (12h/a)**Título:** Construindo, programando e usando a Estação Meteorológica Remota.

Iniciamos os estudos a respeito de instrumentos meteorológicos e a construção do protótipo da estação meteorológica remota no encontro anterior. Neste e nos próximos três encontros ficaremos focados para finalizá-la.

Tarefas (para os quatro encontros):

- Manutenção da horta;
- Separar os materiais e montar o protótipo da estação para variáveis de temperatura e umidade relativa do ar (módulo A da estação);
- Selecionar uma nova variável climatológica para criar um novo módulo para a estação (luminosidade, pressão, velocidade do vento, precipitação etc.)
- Projetar ou replicar um modelo de suporte para os módulos da estação.
- Efetivar a programação da estação e coleta de dados remotos.
- Criar gráficos para os dados coletados e analisá-los.

Processos:

Iremos finalizar a montagem da estação remota iniciada no encontro anterior, testá-la e construir dispositivos suportes mecânicos que estruturam a estação. Para isso podemos usar materiais diversos como recicláveis (canos, garrafas pet, madeiras) ou projetar e utilizar ferramentas de fabricação digital como impressoras 3D e cortadoras a laser.

- Use todos os equipamentos de proteção individual (E.P.I.) necessários durante os processos de construção;

Imagem 1 – Simbologias de EPIs, óculos de proteção (Esquerda), protetor auricular (Centro), luvas de proteção (Direita)



- Antes de colocar as mão na massa, valide o seu projeto com o professor.

Atividade 1 – Acompanhamento das Culturas

Verifique a evolução horta. Não esqueça de continuar fotografando os pequenos insetos que visitam rotineiramente suas plantas, identifique minuciosamente cada um, e verifique se ele é apenas um visitante inofensivo ou uma praga em potencial. Neste caso, elimine-o da maneira mais indicada, como você estudou no encontro 9. Mais a frente iremos buscar novas técnicas para nos livrar destes visitantes indesejáveis.

O tempo ideal para esta atividade é de no máximo 20 minutos por encontro.

Atividade 2. Preparação da Equipe.

Inicie organizando sua equipe em duas frentes de trabalho, com a primeira responsável pela captação de imagem e som, bem como a roteirização ao longo deste encontro e com a segunda responsável pelas atividades de construção, escolha de materiais e obtenção de protocolos de corte e impressão 3D. A construção da estação deverá culminar em um minidocumentário a ser confeccionado lá no encontro 18.

Faça o rodízio das frentes de trabalho no decorrer dos encontros que virão, de forma a oportunizar que todos os membros possam desenvolver as habilidades e competências neste processo.

O tempo ideal para esta atividade é de no máximo 10 minutos por encontro.

Importante: organize-se para utilizar este e os próximos 3 encontros para trabalhar no desenvolvimento da estação realizando os passos apresentados na Atividade 3.

Atividade 3. Desenvolvimento do protótipo de estação (em 4 passos)

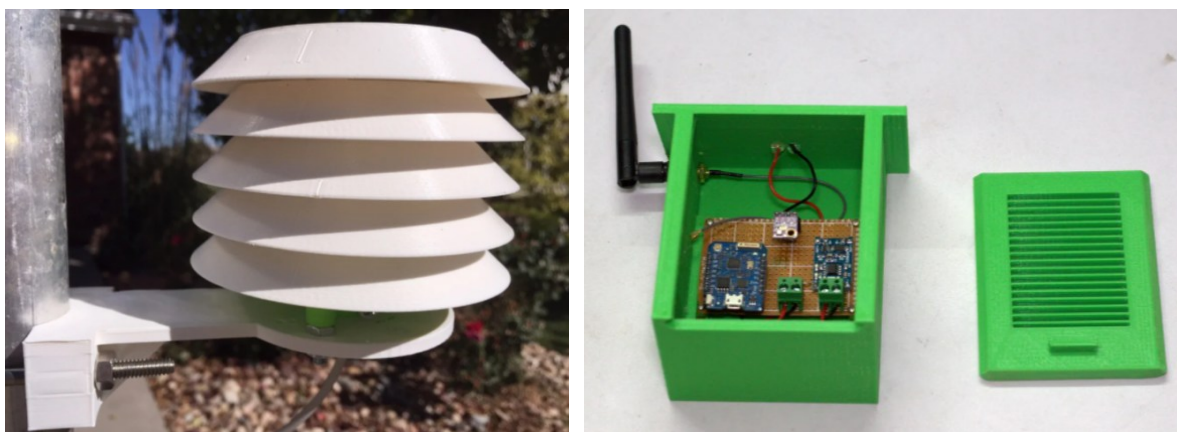
- PASSO A - Montagem e programação
 - PASSO B - Construção da estrutura física da turma (Módulo A)
 - PASSO C - Outras variáveis meteorológicas (novo módulo)
 - PASSO D - Registros de dados, construção de gráficos e interpretações
-

PASSO A - Montagem e programação

- Resgate os itens separados no encontro anterior e finalize a montagem da eletrônica da estação indicada lá (*Webquest* 13). Para isso você pode consultar o seguinte material:
 - [Como montar e programar uma estação meteorológica \(temperatura e umidade - DHT11\) no NodeMCU ESP8266](#)
 - [Programa base da estação no NodeMCU ESP8266](#)

PASSO B - Construção da estrutura física da turma (Módulo A)

- Nesta parte a TURMA deve pesquisar e prototipar UMA estrutura física que possa alojar UM dos protótipos desenvolvidos para ser instalado na escola como o módulo oficial de coleta de dados de temperatura e umidade. Você pode utilizar diferentes materiais, inclusive as ferramentas de fabricação digital. Veja as possibilidades a seguir:



Fonte: [Imagem da esquerda](#) (thingiverse.com). [Imagem da direita](#) (thingiverse.com).

- Não esqueça de justificar fisicamente (analisando os conceitos científicos estudantes e as variáveis meteorológicas usadas - temperatura e umidade) o formato e o local da estrutura da estação (por exemplo, porque a estrutura da imagem à esquerda é em camadas? Onde deve ficar o sensor DHT11 (ou 22) neste caso? Por qual motivo?)

PASSO C - Outras variáveis meteorológicas (novo módulo)

- Pesquise a respeito de outras variáveis de interesse meteorológico ou significativas para sua equipe e desenvolva um novo módulo de modo a ampliar a estação que ficará na escola, tais como anemômetro, pluviômetro, luminosidade, entre outros.



Fonte: [Imagem da esquerda](#) (Anemômetro). [Imagem da direita](#) (Pluviômetro).

O tempo recomendado é de 1h40 por encontro.

PASSO D - Registros de dados, construção de gráficos e interpretações

- Na *Webquest* 13 estão indicados aplicativos para celular que permitem coletar dados. Organizem-se com as demais equipes de modo que vocês consigam registrar as leituras de umidade e temperatura (ou outros módulos que seu grupo criou) a CADA HORA ao LONGO DE UMA SEMANA COMPLETA em um DETERMINADO LOCAL escolhido pelo grupo. Anote os dados em uma tabela junto com o dia e a hora da leitura. Esses dados devem ser usados para construção de gráficos que permitirão compreender o comportamento do clima naquela semana (ou período selecionado). Isso também será importante para validar o funcionamento das leituras de temperatura e umidade do protótipo.

Realizem comparações dos dados da sua estação com *sites* especializados que emitem boletins diários de previsão do clima, como os referenciados a seguir:

- [Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos \(INPE\)](#)
- [Instituto Nacional de Meteorologia \(Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento\)](#)
- **Atividade 4: Registros no Diário de Bordo Virtual.**

Agora alimente seu diário de bordo virtual com o material informativo que seu grupo produziu no encontro de hoje, as pesquisas adicionais, as fotos, realizadas ao longo do dia na subpágina Estudos do Clima, e as imagens coletadas dos insetos que visitam a horta, bem como as imagens que registram o crescimento das culturas na subpágina Horta Inteligente.

O tempo ideal para esta atividade é de no máximo 20 minutos.

Recursos (possíveis):

- Acesso a internet;
- Arduino WIFI;
- Barras de pinos;
- Bateria ou fontes 12v;
- Cabos Jumper (Macho/Macho, Macho/Fêmea e Fêmea/Fêmea);

- Canos de PVC 25 mm, cabos de Vassoura ou hastes de aço galvanizado entre 1,5 e 2 metros;
- Computadores ou *chromebooks*;
- Diodo Schottky 40v 1a 1n5819 Do-41;
- Interruptor Reed;
- Led branco e Led RGB;
- Módulo Micro Usb Carregador Bateria Lítio Tp4056;
- Painel solar 5V, 6V, 12V Mini sistema solar DIY;
- Placas PCB Universal;
- Protoboard;
- Raspberry Pi;
- Resistores diversos;
- Rolamentos de Esferas 608zz e 625zz;
- Sensor Fotorresistor LDR;
- Sensor Hall U18 ou Sensor Hall KY-003;
- Sensor de Pressão Atmosférica e Temperatura BMP 280;
- Sensor de Radiação Ultravioleta ML8511;
- Sensor de Temperatura e Umidade DHT11.

Sugestões extras

Escudos de Proteção Contra Radiação UV para Sensores:

- [Tela Stevenson para estação meteorológica.](#)
- [Tela Stevenson para sensor meteorológico sem fio.](#)
- [Proteção contra radiação / clima para sensor externo Netatmo](#)

Anemômetros:

- [Anemômetro](#)
- [Cata-vento para Arduino ou estação meteorológica Pi](#)
- [Alecto WS 4800 Estação Meteorológica Anemômetro Copos de Vento](#)

Estações com vários módulos

- [Estação meteorológica completa impressa em 3D](#)
- [Wireless Weather](#)

- [Solar Powered WiFi Weather Station](#)
- [Mini estação meteorológica MySensors](#)
- [Estação Meteorológica Wifi Com Alimentação Solar](#)

- **Sistemas IoT**
 - [Controle e Monitoramento IoT com NodeMCU e MQTT](#)
 - [Construção de uma Estação Meteorológica Modular com o uso da Plataforma Arduino e Protocolo de Comunicação MQTT](#)
 - [ESP32 e MQTT DASH: controle e monitoramento através de um dashboard MQTT para Android](#)
 - [Aplicação ESP8266 DHT11 MQTT Dash \(6 minutos\)](#)

Avaliação:

As avaliações praticadas neste encontro compreendem suas ações tomadas ao longo de nossos últimos 6 encontros, sendo seu engajamento no monitoramento das culturas, comprometimento durante os estudos, discussões e construção do Projeto Estação Meteorológica Remota, os pontos de verificação de acordo com as rubricas a seguir.

- Encontro 13: Projetando a Estação Meteorológica Remota;
- Encontros 14, 15 e 16: Construindo a Estação Meteorológica Remota;
- Encontro: 17: Instalando e Programando a Estação Meteorológica Remota;
- Encontro 18: Conclusão das análises e Edição dos Vídeo/Documentários do Projeto Estação Meteorológica Remota.

Estas avaliações são realizadas com base em suas entregas e na atualização de seu diário de bordo virtual.

RUBRICAS				
Hab.	Descritivo	Conceitos		
		A	B	C
H2	Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, com base na análise dos efeitos das variáveis termodinâmicas e da composição dos sistemas naturais e tecnológicos. (Encontros 13 a 18)	Explica a função de variáveis como temperatura, umidade, precipitação, pressão, luminosidade, velocidade e direção do vento em uma estação meteorológica. Coleta, constrói gráficos e analisa dados de temperatura e umidade relativa do ar de seu protótipo de estação comparando-os com outras estações.	Explica a função de pelo menos três variáveis meteorológicas e suas aplicações. Coleta dados com seu protótipo de estação e constrói gráficos, mas não analisa e/ou compara com outras estações.	Não explica a função de pelo menos três variáveis meteorológicas e suas aplicações. Não coleta dados com seu protótipo de estação e/ou não constrói gráficos a partir de dados próprios.
H7	Utilizar noções de probabilidade e incerteza para interpretar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, reconhecendo os limites explicativos das ciências. (Encontro 13 e 18)	Apresenta e explica ao menos 3 causas para variações nas medições e comparações realizadas, tanto com o protótipo de estação quanto no desenvolvimento da horta. Indica a(as) fonte(s) de erro(s) ou imprecisões em medidas realizadas. (Ex.: a precisão na leitura da temperatura do DHT11 é de 0,5°C)	Apresenta e explica ao menos 2 causas para variações nas medições e comparações realizadas, tanto com o protótipo de estação quanto no desenvolvimento da horta. Não indica a(as) fonte(s) de erro(s) ou imprecisão em medidas realizadas.	Não apresenta e explica ao menos 2 causas para variações nas medições e comparações realizadas, tanto com o protótipo de estação quanto no desenvolvimento da horta. Não indica a(as) fonte(s) de erro(s) ou imprecisão em medidas realizadas.

Conclusão:

Nas *webquests* 13, 14, 15, 16 e 17 você deve conectar vários conhecimentos das áreas de ciências da natureza e humanas (componente geografia) aplicada na estação meteorológica. Deve também ter compreendido melhor conceitos vinculados às variáveis climáticas atreladas à física (temperatura, umidade, densidade, pressão, entre outros) e a geografia (como tempo e clima) e como elas são importantes em diversos contextos como a agricultura, por exemplo.

Além disso, deve ter conhecido mais de perto características tecnológicas ao “programar a máquina” ao invés de ser programado por ela. Deve ainda ter percebido que práticas científicas muitas vezes envolvem construir equipamentos, coletar e analisar dados a fim de tirar conclusões/explicações para fenômenos de interesse.

Créditos:

ALECTO WS 4800 WEATHER STATION ANEMOMETER WIND CUPS. **Thingiverse**. 2018. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:3201370>. Acesso em: 20 ago. 2021.

ANEMOMETER. **Thingiverse**. 2016. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:1328281>. Acesso em: 20 ago. 2021.

BALBINO, Amanda. Estação meteorológica: como funciona e sua importância na agricultura. **Agro Smart**. 2016. Disponível em: agrosmart.com.br/blog/estacao-meteorologica-funciona-importancia-agricultura/. Acesso em: 18 ago. 2021.

BERTOLETI, Pedro. Controle e Monitoramento IoT com NodeMCU e MQTT. **FilipeFlop**. 2016. Disponível em: www.filipeflop.com/blog/controle-monitoramento-iot-nodemcu-e-mqtt/. Acesso em: 27 ago. 2021.

BERTOLETI, Pedro. ESP32 e MQTT DASH: controle e monitoramento através de um dashboard MQTT para Android. 2019. **FilipiFlop**. Disponível em: www.filipeflop.com/blog/esp32-e-mqtt-dashboard-android/. Acesso em: 27 ago. 2021.

DE AGUILAR, Dino *et al.* Construção de uma Estação Meteorológica Modular com o uso da Plataforma Arduino e Protocolo de Comunicação MQTT. **Brazilian Journal of Development**. v. 7, n. 4, 2021. Disponível em: www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/27878. Acesso em: 27 ago. 2021.

LTB Weather Station. **Thingiverse**. 2018. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:2849562>. Acesso em: 20 ago. 2021.

MANNRICH, J. P.; NEVES JUNIOR, O. R. Proposta de estação meteorológica baseada em internet das coisas de código aberto e baixo custo como ferramenta para articulação entre novas tecnologias digitais da informação e comunicação no ensino de ciências/física na educação básica. **Renote**, v. 19, n. 2, p. 323-334, 2021.

MYSENSORS MINI WEATHER STATION. **Thingiverse**. 2015. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:704715>. Acesso em: 20 ago. 2021.

RADIATION. Weather shield for Netatmo outdoor sensor. **Thingiverse**. 2015. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:804356>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SILVEIRA JUNIOR, Carlos R. Aplicação ESP8266 DHT11 MQTT Dash. **Canal Carlos Roberto de Silveira Junior**. 2020. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=QKAW_vxTfOo. Acesso em: 27 ago. 2021.

SOLAR POWERED WIFI WEATHER STATION. **Thingiverse**. 2017. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:2282869>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SOLAR POWERED WIFI WEATHER STATION. **Thingiverse**. 2018. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:3089981>. Acesso em: 20 ago. 2021.

STEVENSON SCREEN FOR WEATHER STATION. **Thingiverse**. 2013. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:158039>. Acesso em: 20 ago. 2021.

STEVENSON SCREEN FOR WIRELESS METEOROLOGICAL SENSOR. **Thingiverse**. 2013. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:83969>. Acesso em: 20 ago. 2021.

WEATHER STATION. **Thingiverse**. 2013. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:144665>. Acesso em: 20 ago. 2021.

WIND VANE FOR ARDUINO OR PI WEATHER STATION. **Thingiverse**. 2015. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:952978>. Acesso em: 20 ago. 2021.

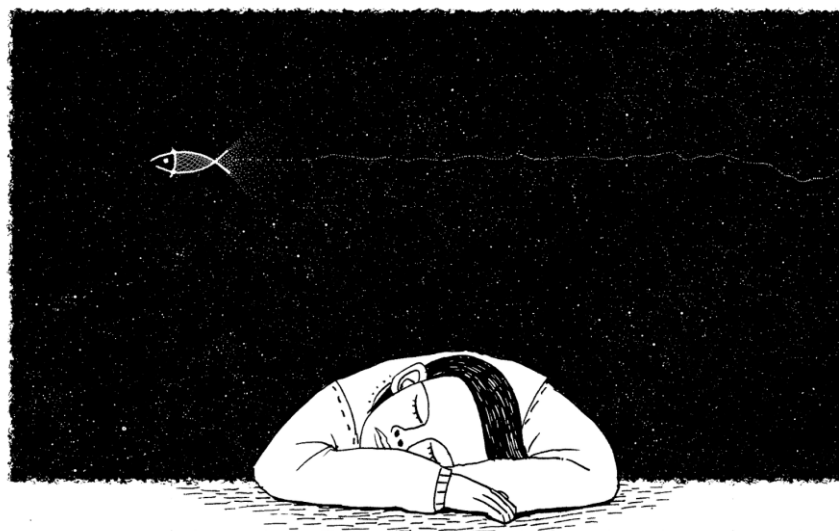
WIRELESS WEATHER. **Thingiverse**. 2019. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:3718078>. Acesso em: 20 ago. 2021.

APÊNDICE C – ROTEIRO DE FORMAÇÃO PRESENCIAL PARA O ITINERÁRIO STEAM

Bem-vindo à Formação STEAM EM

30, 31/01 e 01/02/2023

Desejamos a todos um excelente 2023!



ABERTURA ([Música](#) + Texto)

ELE DESEJA OS TECIDOS DO CÉU

(William Butler Yeats - Tradução)

Tivera eu tecidos bordados do céu,
Envoltos com ouro e luz prateada,
O azul, o turvo e os tecidos escuros
Da noite, da luz e da meia luz,
Eu espalharia os tecidos sob seus pés:
Mas eu, sendo pobre, tenho apenas meus
sonhos;
Eu espalhei meus sonhos sob seus pés;
Caminhe delicadamente, porque você
caminha sobre meus sonhos.

HE WISHES FOR THE CLOTHS OF

HEAVEN (William Butler Yeats)

Had I the heavens' embroidered cloths,
Enwrought with golden and silver light,
The blue and the dim and the dark cloths
Of night and light and the half-light,
I would spread the cloths under your feet:
But I, being poor, have only my dreams;
I have spread my dreams under your feet;
Tread softly because you tread on my
dreams.

"Todos os dias, em todos os lugares,
nossos alunos espalham seus sonhos sob nossos pés.
Devemos caminhar delicadamente!"

(Ken Robinson)

Núcleo de Referência Docente - NRD - SESI/GERED

#tamojunto

Bem-vindo à Formação STEAM EM
Uma organização GERED (NRD) / Apoio CPQ
30, 31/01 e 01/02 de 2023

Esperamos que neste momento formativo possamos aprimorar a proposta do Itinerário STEAM do Ensino Médio, alinhando aspectos teórico-metodológicos que definem o seu propósito, bem como vivenciar e discutir ferramentas que permitem desenvolver habilidades e competências previstas desde o planejamento, o uso de tecnologias e avaliações.

Cronograma resumido

Dia 1 - 30/01		
Horário	Tópicos	Tempo
13h30 - 15h30	Abertura, cronograma e combinados [Apresentação] Mão na massa - Daniel Pennac [Atividade 1] Princípios do Novo EM, concepção STEAM e DNA Escola S [Apresentação] Discussão	20min 60min 20min 20min
15h30 - 15h50	Intervalo	20min
15h50 - 17h50	Mão na massa - Objetivos Itinerário STEAM [Atividade 2] Mão na massa - Mini projeto [Atividade 3] Fechamento	30min 50min 10min
Dia 2 - 31/01		
8h - 10h	Acolhimento e retomada do encontro anterior Planejamento STEAM: algumas possibilidades [Apresentação] Planejamento <i>webquests</i> - Apresentação da Atividade 4 Planejamento <i>webquests</i> - Mão na massa [Atividade 4 Parte A]	20min 30min 20min 50min
10h - 10h20	Intervalo	
10h20 - 12h	Planejando <i>webquests</i> - Mão na massa [Atividade 4 Parte A]	100min
ALMOÇO		
13h30 - 15h30	Planejando <i>webquests</i> - Mão na massa [Atividade 4 Parte B] Planejando <i>webquests</i> - Mão na massa [Atividade 4 Parte C] Fechamento	40min 60min 20min

15h30 - 15h50	Intervalo	
15h50 - 17h50	Planejando Projetos - Mão na massa [Atividade 5]	100min
Dia 3 - 1/02		
8h - 10h	Acolhimento e retomada do encontro anterior Apresentação Mini Projeto [Atividade 3] “Revoluções” na educação e o Itinerário STEAM/Escola S [Atividade 6]	20min 50min 60min
10h10 - 10h30	Intervalo	20min
10h30 - 12h	Roda de conversa - Dúvidas, reflexões...[Atividade 7] Autoavaliação - Dos encontros e de suas “aprendizagens” Fechamento [Video - Alike]	50min 15min 15min

Resultados de aprendizagem esperados

- H1 - Justificar características basilares do Itinerário STEAM compreendendo seus potenciais
- H2 - Reconhecer experiências docentes inspiradoras alinhadas à proposta da Escola S
- H3 - Identificar e incorporar potencialidades das humanidades nas atividades de cada unidade curricular e nos projetos STEAM em suas práticas
- H4 - Planejar atividades e/ou projetos STEAM de forma interdisciplinar (ou transdisciplinar) alinhando a matriz de habilidades, avaliação por rubricas/conceitos e ENEM

Rubricas para autorreflexão			
	A	B	C
H1	Consigo apontar 4 características (ou mais) que diferenciam o Itinerário STEAM de outra propostas educacionais	Consigo ao menos 2 características que diferenciam o Itinerário STEAM de outra propostas educacionais	Consigo apontar menos de duas características que diferenciam o Itinerário STEAM de outras propostas educacionais
H2	Conheci ao menos 5 experiências inspiradoras na minha área/UC vinculada ao Itinerário STEAM	Conheci ao menos 3 ou 4 experiências inspiradoras na minha área/UC vinculada ao Itinerário STEAM	Conheci menos do que 3 experiências inspiradoras na minha área/UC vinculada ao Itinerário STEAM

H3	Consigo argumentar 3 (ou mais) exemplos de aplicação das humanidades na minha área/UC Sinto-me capaz de desenvolver de conduzir discussões das humanidades em minha área/UC	Consigo argumentar 3 exemplos de aplicação das humanidades na minha área/UC	Consigo argumentar 2 (ou menos) exemplos de aplicação das humanidades na minha área/UC
H4	Compreendi todos os elementos de construção de uma <i>webquest</i> E sinto-me capaz de desenvolvê-las	Não compreendi todos os elementos da construção de uma <i>webquest</i> OU não sinto confiança para desenvolvê-las	Não compreendi todos os elementos da construção de uma <i>webquest</i> E não sinto confiança para desenvolvê-las
H4	Compreendi todos os elementos de construção de um projeto E sinto-me capaz de desenvolvê-las	Não compreendi todos os elementos da construção de um projeto OU não sinto confiança para desenvolvê-lo	Não compreendi todos os elementos da construção de uma projeto E não sinto confiança para desenvolvê-las
H4	Consigo planejar uma <i>webquest</i> e/ou um projeto alinhando a matriz de habilidades, com a elaboração de avaliações por conceitos e o ENEM	Consigo planejar uma <i>webquest</i> e/ou um projeto mas tenho dificuldade em alinhar a matriz de habilidades, a avaliação por conceitos e o ENEM	Não sinto confiança para planejar uma <i>webquest</i> e/ou um projeto OU para alinhar a matriz de habilidades, a avaliação por conceitos e o ENEM

TABELA KWL (responder considerando o Itinerário STEAM) (disponibilizar em A4 na sala da formação para preencherem)		
O que sei?	O que quero saber?	O que aprendi?
Minhas sugestões...		

Atividade 1



Assista ao vídeo do romancista e professor de literatura [Daniel Pennac](#), escritor do premiado “[Mágoas da Escola](#)”, em que ele reflete a respeito de suas próprias experiências educacionais e fornece um olhar particular para o sistema educacional.

A partir do vídeo, **reflita por 5 minutos**: eu fui um mau aluno? Quais experiências educacionais foram marcantes na minha própria experiência como estudante?

Em grupos com 8 integrantes, discuta as experiências e construa uma história com o título “Por que eu fui um mau aluno?”, que representa as narrativas individuais do grupo.

Essa construção deve ser apresentada na forma de um áudio contendo entre 1 e 3 minutos e compartilhada no grupo de whatsapp.

Duração estimada: 40 minutos

Selecionaremos dois áudios para compartilhar com o grupo na formação.

Fechamento da atividade

Duração estimada: 20 minutos

//FECHAMENTO: espera-se que os professores se reconheçam nas experiências dos colegas e façam emergir um sentimento em relação ao propósito mais nobre/amplos da educação: aprender/ensinar para ser feliz (seja para viver melhor, errar ou sofrer menos na vida, por realização pessoal, para realizar boas escolas do âmbito pessoal e profissional, para obter boas oportunidades profissionais, entre outras).

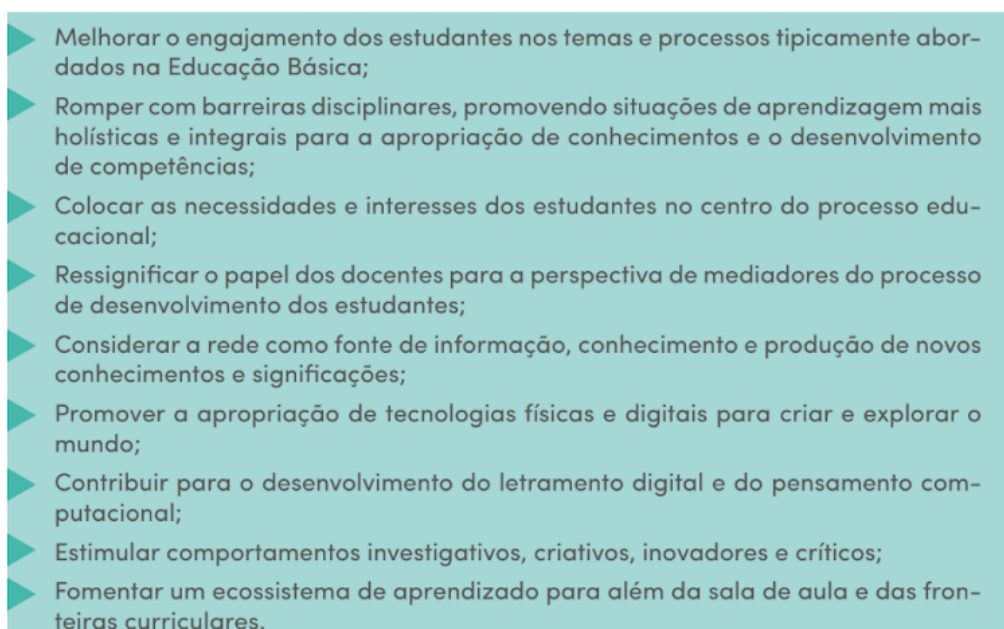
Atividade 2

Discuta as perguntas a seguir com os seus colegas:

- Quais experiências inspiradoras realizamos para atingir os objetivos do Itinerário STEAM indicados?
- Há outras ideias que você acrescentaria na lista como potencial do itinerário STEAM?

Registre uma síntese da discussão em um documento de texto na [pasta da atividade 2](#).

Objetivos do Itinerário STEAM



Fonte: Referencial teórico-metodológico do Itinerário STEAM

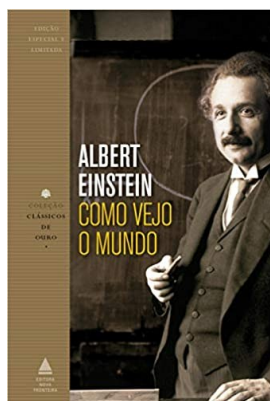
Duração estimada: 30 minutos

//FECHAMENTO: espera-se que os professores reconheçam a proposta do itinerário STEAM como uma alternativa para aumentar o engajamento dos estudantes para o desenvolvimento do hábito da curiosidade, de fazer perguntas e na promoção da autonomia para construir respostas individuais e coletivas utilizando diferentes fonte de conhecimento no processo. Além disso, é possível conectar os elementos listados com o DNA SESI SENAI de Educação.

Atividade 3 - Mini Projeto

EDUCAÇÃO EM VISTA DE UM PENSAMENTO LIVRE

Albert Einstein



Não basta ensinar ao homem uma especialidade. Porque se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto. A não ser assim, ele se assemelhará, com seus conhecimentos profissionais, mais a um cão ensinado do que a uma criatura harmoniosamente desenvolvida. Deve aprender a compreender as motivações dos homens, suas quimeras e suas angústias para determinar com exatidão seu lugar exato em relação a seus próximos e à comunidade.

Estas reflexões essenciais, comunicadas à jovem geração graças aos contactos vivos com os professores, de forma alguma se encontram escritas nos manuais. É assim que se expressa e se forma de início toda a cultura. Quando aconselho com ardor “As Humanidades”, quero recomendar esta cultura viva, e não um saber fossilizado, sobretudo em história e filosofia.

Os excessos do sistema de competição e de especialização prematura, sob o falacioso pretexto de eficácia, assassinam o espírito, impossibilitam qualquer vida cultural e chegam a suprimir os progressos nas ciências do futuro. É preciso, enfim, tendo em vista a realização de uma educação perfeita, desenvolver o espírito crítico na inteligência do jovem. Ora, a sobrecarga do espírito pelo sistema de notas entrava e necessariamente transforma a pesquisa em superficialidade e falta de cultura. O ensino deveria ser assim: quem o receba o recolha como um dom inestimável, mas nunca como uma obrigação penosa.

Atividade 3 - Mini Projeto (continuação)

(Forme grupos com 4 integrantes de distintas unidades)

Para refletir: Albert Einstein defende uma visão de educação, já no seu tempo, que desenvolva o pensamento crítico. Utilize **10 minutos** para discutir a seguinte questão:

- Quais estratégias são possíveis para envolver “As Humanidades” nas atividades das unidades curriculares e/ou projetos do Itinerário STEAM na busca do desenvolvimento desse “pensamento livre”?

Com o tempo restante inicie o desenvolvimento de uma atividade STEAM que envolva uma prática e que possa ser demonstrada/testada para os demais professores em até 10 minutos. Ela será apresentada no último dia da formação.

Observações:

- A proposta deve utilizar alguns dos recursos/materiais disponibilizados durante a formação.
- Durante a demonstração é importante que os professores deixem claro como cada componente da abordagem STEAM foi pensada e se conecta com a atividade proposta.
- É importante que a apresentação dê destaque para o componente “ARTES - A” que se vincula às áreas de humanas e linguagens, explicitando como ela foi integrada à proposta.
- Registre uma síntese da discussão em um documento de texto na [pasta da atividade 3](#).

Duração estimada: 50 minutos

//FECHAMENTO: os professores devem perceber que em todas as disciplinas/áreas/unidades curriculares/ há possibilidades de inserção das humanidades para desenvolver o pensamento crítico, bem como a discussão sobre o próprio papel da tecnologias e as transformações (positivas e negativas) que elas podem acarretar na sociedade.

(Duração estimada: 10 minutos)

Atividade 4 - Produzindo uma *WebQuest*

([Clique aqui para saber mais](#))

(Forme uma dupla com alguém de uma unidade curricular/área diferente da sua)



Como o STEAM se conecta com o ENEM?

PARTE A: Utilize o modelo disponível [nesta pasta](#) para criar uma *webquest*. Na criação considere articular habilidades do itinerário STEAM, objetos de conhecimento da [matriz do INEP](#) e capítulos da plataforma Geekie. Considere a duração de um encontro/aula ou um projeto. A *webquest* deve ser criada num documento de texto [na pasta atividade 4](#).

Sugestões: Cite os objetos de conhecimento na “introdução” da *webquest* e link/cite os capítulos da Geekie nos “recursos”.

Duração estimada: 2h e 30min

PARTE B: Busque ao menos duas questões do ENEM que podem ser conectadas com a sua proposta anotando suas ideias ao final da *webquest*.

Duração estimada: 40min

PARTE C: Inspirados na dinâmica do *WordCafé*, reúna-se com outra dupla, discuta sua proposta de *webquest* (máximo de 10 minutos para cada participante), e anote sugestões realizadas. O foco de discussão, que não precisa ser exclusivo, deve ser nas rubricas avaliativas.

Duração estimada: 1h (duas rodadas de 30min)

//FECHAMENTO: os professores devem ter ampliados os olhares ao conhecerem propostas/experiências de outros; percebem que a construção de *webquests* é uma boa ferramenta que considera os princípios do itinerário STEAM bem como elementos do DNA da Escola S que preconiza maior autonomia dos estudantes. Que percebam também que é possível

alinhar metodologias mais “abertas” baseadas na autonomia dos estudantes e alinhar questões de habilidades, objetos de conhecimento e avaliações externas como o ENEM.

Duração estimada: 20min

Atividade 5 - Planejando um PROJETO

([Clique aqui para saber mais](#))

A unidade curricular atualmente chamada de “Projetos Livres” preconiza que os estudantes e professores elaborem projetos que possam estar alinhados às demais unidades curriculares, que atendam à matriz de habilidades, mas que dêem certa liberdade aos estudantes sobre temas e enfoques a serem trabalhados. No itinerário, utilizamos a Aprendizagem Baseada em Projetos como fundamento para organizar as propostas de aprendizagem. Nesta atividade iremos exercitar os principais conceitos da Aprendizagem Baseada em Projetos para podermos trocar experiências com os colegas e estarmos munidos de mais informações/ideias para nossas práticas.

PARTE A: Reúna-se com os demais colegas da sua escola para planejar um projeto. Registre suas ideias no modelo disponibilizado [na pasta da atividade 5](#) (faça uma cópia do documento para o seu grupo).

Duração estimada: 60min

PARTE B: Partilhe com os colegas da outra escola que estão na sua mesa, apresente em no máximo 5 minutos o seu projeto e receba *feedback* por outros 10 minutos. Não se esqueça de registrar as principais sugestões no seu documento.

Duração estimada: 30min

Considerações finais: 10 minutos.

//FECHAMENTO: espera-se que os professores possam ter mais conhecimento a respeito dos tópicos que auxiliam na estruturação de um projeto e que consistam compartilhar diferentes estratégias para desenvolver projetos significativos de forma estruturada levando em conta habilidades, objetivos de conhecimento, diferentes recursos/tecnologias e avaliação por conceitos.

Atividade 6 - Isso irá revolucionar a educação



PARTE 1 - Assista ao vídeo “[The Most Persistent Myth](#)” elaborado por Derek Muller, com base em sua [tese de doutorado](#), em que o autor fala a respeito de tecnologias na educação. Não se esqueça de configurar as legendas automáticas em português, se necessário. Após assistir ao vídeo, discuta com seus colegas e registre, de forma sintética, num documento de texto criado [nesta pasta](#), a respeito de argumentos dos quais você concorda e discorda do vídeo, se houverem.

Duração estimada: 20min

PARTE 2 - Em seguida, discuta com seus colegas e registre, de forma sintética, quais características do Itinerário STEAM (e a própria proposta da Escola S) têm potencial para desenvolver uma educação mais significativa aos estudantes. Utilize a lista apresentada na atividade 2 e outras informações/experiências que você possui.

Duração estimada: 20min

Pontos de atenção sobre o vídeo:

- O autor não faz distinção entre diferentes modalidades educacionais (nem áreas/disciplinas), que podem ser organizadas em três: formal, não formal e informal. Cada qual possui características específicas (que envolvem propósitos e metodologias distintas), o que irá afetar diretamente as escolhas, estratégias e recursos utilizados, tanto pelas instituições quanto pelos indivíduos. O autor parece se concentrar na educação formal escolar tradicional.
- O autor parece se tornar objeto da sua própria crítica ao enfatizar que os vídeos na internet, em particular na plataforma Youtube, teria o tom de “revolução na educação”, a qual critica. Assim como o autor menciona, é necessário criar determinados estados mentais (mas também sociais/econômicos/políticos) com potencial de favorecer o aprendizado (por exemplo, curiosidade, relevância pessoal/local, favorecimento social/econômico de determinadas formas de fazer/conhecer/explorar o mundo).
- O autor defende a ideia de que o que limita a aprendizagem dos estudantes é o que acontece na cabeça deles. Ressalta que os estudantes não seriam limitados às experiências “dadas” a eles. Entretanto, o ambiente educacional, cultural e as interações sociais às quais os estudantes estão expostos limitam (ou potencializam) as experiências de aprendizagem e que o que irá ocorrer nas mentes dos indivíduos.

//FECHAMENTO: espera-se que os professores possam desenvolver um olhar crítico a respeito do papel das tecnologias na educação, percebam que a utilização das tecnologias por si só não é sinônimo de inovação na educação se o seu uso não estiver a serviço dos objetivos

pedagógicos. Que sintam-se acolhidos na percepção de que os professores têm um papel fundamental na mediação das aprendizagens (e nós da Escola S têm plena consciência disso) utilizando-se das tecnologias, o que envolve um diálogo entre: planejar estratégias pedagógicas (estratégias de motivação, de organização, condução das atividades e avaliação), elementos curriculares a serem desenvolvidos (habilidades, conhecimentos, valores, atitudes, etc.) e o uso de tecnologias adequadas.

Atividade 7 - Roda de conversa

Neste momento vamos conversar a respeito de várias dúvidas que surgem continuamente a respeito do Itinerário bem como de outros pontos levantados pelo grupo durante a formação. Utilizar a tabela KWL para mapear dúvidas/demandas.

NRD + Convidados - Pontos/dúvidas já mapeados em 2022:

- No STEAM o estudante não reprova?!
- As atividades são muito soltas, não há como avaliar!
- “Todos se divertem” no STEAM, mas será que aprendem?! (Diversão pela diversão *versus* diversão dura)
- Por que não há um planejamento integrado?
- Sistema de avaliação por conceitos *versus* notas. Qual é melhor? (falsa dicotomia).
- Quantas vezes é preciso trabalhar uma habilidade? Só uma é suficiente?
- Como trabalhar com habilidades amplas?
- Como os projetos preparam para o ENEM?
- Precisamos comprar e repor materiais/equipamentos. Como fazer?
- Internet de qualidade nas salas?
- Posso “dar aulas” no STEAM? E nos projetos livres?

Duração estimada: 50min

Finalização



Apresentar o curta “[ALIKE](#)” que aborda uma visão pouco acolhedora/alegre/criativa do sistema educacional, em particular da escola formal.

//FECHAMENTO: Pode-se concluir o vídeo e a formação indicando a citação de Rubem Alves retirada do texto completo “Escola e Sofrimento” disponível mais a frente:

“Vai aqui este pedido aos professores, pedido de alguém que sofre ao ver o rosto aflito das crianças, dos adolescentes: lembrem-se de que vocês são pastores da alegria, e que a sua responsabilidade primeira é definida por um rosto que lhes faz um pedido: “Por favor, me ajude a ser feliz...” (Rubem Alves - A Alegria de Ensinar)

APÊNDICE D – CÓDIGO NA LINGUAGEM R UTILIZADO PARA ANÁLISES

```
#AJUSTE DOS DADOS
analise_geral[ , 4:35] <- lapply(analise_geral[ , 4:35], function(x){ factor(x,
                                levels = c("1", "2", "3", "4", "5"),
                                labels = c("Discordo fortemente", "Discordo", "Nem
discordo nem concordo", "Concordo", "Concordo fortemente"))})

names(analise_geral)[4:35] <- paste(names(analise_geral)[4:35], itens$texto, sep="_")

#install.packages("likert")
library(likert)
lik <- likert(as.data.frame(analise_geral[ , 4:35]))

# Opcao 1
plot(lik, wrap = 60, text.size=4) + theme(axis.text.y = element_text(size="8"))

# Opcao 2
plot(lik, type = "heat", wrap = 60, text.size=3) + theme(axis.text.y = element_text( size="5"))

#SEPARAR POR CATEGORIA
lik2 <- likert(as.data.frame(analise_geral[ , 4:35]), grouping = analise_geral$categ)
plot(lik2, wrap = 60, text.size=3) + theme(axis.text.y = element_text(size="6"))

summary(analise_geral)
colSums(is.na(analise_geral))

install.packages("tidyverse")
library(tidyverse)
library(magrittr)
install.packages("dplyr")
library(dplyr)
library(psych)
install.packages("GPArotation")
library(GPArotation)

CK <- analise_geral %>% select(4:6)
PK <- analise_geral %>% select(7:10)
TK <- analise_geral %>% select(11:20)
PCK <- analise_geral %>% select(21:24)
TCK <- analise_geral %>% select(25:28)
TPK <- analise_geral %>% select(29:31)
TPACK <- analise_geral %>% select(32:35)
Media <- analise_geral %>% select(4:35)

Media %>% psych::alpha()

CK %>% psych::alpha()
```

```
CK %>% omega()
```

```
PK %>% psych::alpha()
```

```
PK %>% omega()
```

```
TK %>% psych::alpha()
```

```
TK %>% omega()
```

```
PCK %>% psych::alpha()
```

```
PCK %>% omega()
```

```
TCK %>% psych::alpha()
```

```
TCK %>% omega()
```

```
TPK %>% psych::alpha()
```

```
TPK %>% omega()
```

```
TPACK %>% psych::alpha()
```

```
TPACK %>% omega()
```

```
#Assimetria e curtosis
```

```
install.packages("e1071")
```

```
library(e1071)
```

```
require(e1071)
```

```
skewness(skewness$CK)
```

```
kurtosis(skewness$CK)
```

```
skewness(skewness$PK)
```

```
kurtosis(skewness$PK)
```

```
skewness(skewness$TK)
```

```
kurtosis(skewness$TK)
```

```
skewness(skewness$PCK)
```

```
kurtosis(skewness$PCK)
```

```
skewness(skewness$TCK)
```

```
kurtosis(skewness$TCK)
```

```
skewness(skewness$TPK)
```

```
kurtosis(skewness$TPK)
```

```
skewness(skewness$TPACK)
```

```
kurtosis(skewness$TPACK)
```

```
skewness(skewness$Media)
```

```
kurtosis(skewness$Media)
```

ANEXO A – ITENS DO INSTRUMENTO DE PESQUISA TPACK BASEADO EM PROFESSORES *MAKER* ADAPTADO AO CONTEXTO DO ENSINO DE CIÊNCIAS – TMTSI

Tradução e adaptação: João Paulo Mannrich e Paulo José Sena dos Santos

Observações iniciais

- Considere “espaços *maker*” como sinônimos de “laboratórios *maker*”, “espaços STEAM” ou “laboratórios STEAM”
- Considere ferramentas de **fabricação digital** na categoria de equipamentos como impressoras 3D, cortadoras a laser, fresadoras CNC, Scanncut, entre outras.
- Considere ferramentas de **prototipagem física** na categoria de ferramentas como Arduino, NodeMCU ESP8266, Raspberry Pi; MicroBit, MIT App Inventor, Scratch, entre outras.

1. Conhecimento do conteúdo (CK)

CK1 Tenho conhecimento suficiente na minha área de formação.

CK2 Sou capaz de discutir conceitos da minha área de formação como se fosse um especialista.

CK3 Eu sou capaz de me aprofundar na exploração e compreensão de conteúdos vinculados a minha área de formação.

2. Conhecimento pedagógico (PK)

PK1 Sou capaz de desenvolver tarefas desafiadoras para ensinar os estudantes a pensarem com profundidade.

PK2 Sou capaz de ensinar meus estudantes a adotarem estratégias de estudo adequadas.

PK3 Sou capaz de ajudar meus estudantes a administrar seus estudos.

PK4 Sou capaz de ajudar meus estudantes a refletirem sobre suas estratégias de estudo.

3. Conhecimento tecnológico (TK)

TK1 Sou capaz de usar ferramentas de fabricação digital com eficiência.

TK1a Sou capaz de usar ferramentas de prototipagem física com eficiência.

TK2 Posso facilmente aprender a usar diferentes ferramentas de fabricação digital.

TK2a Posso facilmente aprender a usar diferentes ferramentas prototipagem física.

TK3 Ao usar ferramentas de fabricação digital sei como tratar as questões técnicas relevantes.

TK3a Ao usar ferramentas de prototipagem física sei como tratar as questões técnicas relevantes.

TK4 Consigo entender as informações mais recentes relacionadas às ferramentas de fabricação digital.

TK4a Consigo entender as informações mais recentes relacionadas às ferramentas de prototipagem física.

TK5 Sou capaz de usar softwares que operam ferramentas de fabricação digital (incluindo softwares de desenho computacional) relevantes.

TK5a Sou capaz de usar softwares que operam ferramentas de prototipagem física relevantes.

4. Conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK)

PCK1 Consigo planejar atividades *maker* para ensinar conteúdos de minha área de formação com estudantes organizados em grupos.

PCK2 Sou capaz de ensinar meus estudantes a desenvolverem discussões eficientes durante as atividades *maker* em grupo.

PCK3 Mesmo sem usar as tecnologias associadas ao espaço *maker* (ou STEAM), consigo lidar com os mitos dos estudantes sobre estudar conteúdos da minha área de formação.

PCK4 Mesmo sem usar as tecnologias associadas ao espaço *maker* (ou STEAM), posso usar diferentes métodos para auxiliar os estudantes na aquisição de conhecimento de conteúdo (CK) da minha área de formação.

5. Conhecimento de conteúdo tecnológico (TCK)

TCK1 Sou capaz de usar tecnologias disponíveis no espaço *maker* (ou STEAM) para apresentar situações do mundo real aos meus estudantes.

TCK2 Sou capaz de possibilitar que meus estudantes usem tecnologias disponíveis nos espaços *maker* (ou STEAM) para materializar suas tarefas através de protótipos físicos e/ou digitais.

TCK3 Consigo possibilitar que meus estudantes usem tecnologias disponíveis no espaço *maker* (ou STEAM) para testar e ajustar seus protótipos.

TCK4 Consigo possibilitar que meus estudantes usem tecnologias disponíveis no espaço *maker* (ou STEAM) para apresentar seus conhecimentos de diferentes formas.

6. Conhecimento pedagógico tecnológico (TPK)

TPK1 Sou capaz de possibilitar que meus estudantes usem tecnologias disponíveis no espaço *maker* (ou STEAM) para colaborar com seus colegas.

TPK2 Eu sei escolher tecnologias disponíveis no espaço *maker* para planejar atividades baseadas no fazer (*making*) e ensinar conteúdos da minha área de formação.

TPK3 Sou capaz de selecionar tecnologias apropriadas disponíveis nos espaços *maker* (ou STEAM) para ensinar conteúdos da minha área de formação.

7. Conhecimento do conteúdo pedagógico tecnológico (TPACK)

TPACK1 Sou capaz de integrar adequadamente as tecnologias disponíveis no espaço *maker* (ou STEAM), estratégias pedagógicas no ensino de conteúdos da minha área de formação.

TPACK2 Sou capaz de selecionar as tecnologias disponíveis no espaço *maker* (ou STEAM) adequadas para potencializar minhas estratégias didáticas no ensino de conteúdos em minha área de formação.

TPACK3 Sou capaz de utilizar diferentes estratégias para integrar adequadamente os conteúdos da minha área de formação, as tecnologias disponíveis no espaço *maker* (ou STEAM) e metodologias de ensino com base em minhas observações durante as aulas que ministro.

TPACK4 Sou capaz de ajudar outros professores da minha escola a integrar os conteúdos da minha área de formação, as tecnologias disponíveis no espaço *maker* (ou STEAM) e estratégias de ensino.

ANEXO B - QUESTIONÁRIO DE PERFIL PROFISSIONAL

Nome:

Idade (em anos):

entre 20 e 25;
entre 26 e 30;
entre 31 e 35,
entre 36 e 40,
entre 41 e 45,
entre 46 e 50,
Outro (especifique)

Gênero:

masculino,
feminino,
outro (especifique),
prefiro não responder

Graduação(ões)

Matemática Licenciatura
Matemática Bacharelado
Física Licenciatura
Física Bacharelado
Química Licenciatura
Química Bacharelado
Biologia Licenciatura
Biologia Bacharelado
Ciências Licenciatura com habilitação em química
Ciências Licenciatura com habilitação em física
Ciências Licenciatura com habilitação em biologia
Outras (especifique)

Qual(is) o(s) ano(s) de conclusão de cada uma das graduações? Escreva na mesma ordem em que aparecem as respostas.

Possui pós-graduação(ões)? Em caso afirmativo, indique o nome de todas as suas pós-graduações completas, incluindo o ano de conclusão.

Perfil de escolas que atua:

Atuo no SESI/SC

Atuo em outra(s) escola(s) privada(s)

Atua em escola(s) pública(s)

Outro (especifique)

Em qual(is) modalidade(s) de ensino você atua no SESI SC?

Ensino fundamental - Anos Finais

Extracurricular

Ensino médio

Educação de Jovens e Adultos

Educação Continuada

Outro (especifique)

Quanto tempo atua como professor (em anos):

até 1 ano

até 2 anos

até 3 anos

até 4 anos

até 5 anos

mais de 5 anos

Outro (especifique)

Se é professor do Ensino Fundamental - Anos Iniciais, há quanto tempo nesta etapa no SESI/SC:

até 1 ano

até 2 anos

até 3 anos

até 4 anos

até 5 anos

Outro (especifique)

Não se aplica

Se é professor do Ensino Fundamental - Anos Finais, há quanto tempo nesta etapa no SESI/SC:

até 1 ano

até 2 anos

até 3 anos

até 4 anos

até 5 anos
 Outro (especifique)
 Não se aplica

Se é professor do Ensino Médio, há quanto tempo nesta etapa no SESI/SC:

até 1 ano
 até 2 anos
 até 3 anos
 até 4 anos
 até 5 anos
 Outro (especifique)
 Não se aplica

Disciplinas e/ou unidades curriculares que leciona no SESI/SC (selecione mais de uma caso necessário):

Ciências (Ensino Fundamental)
 Matemática (Ensino Fundamental)
 Física (Ensino Médio)
 Química (Ensino Médio)
 Biologia (Ensino Médio)
 Matemática (Ensino Médio)
Biohackeria
 Design Thinking e Empreendedorismo
 Fabricação Digital e Modelamento Geométrico
 Games e Apps
 Mídias Digitais
 Robótica
 Projetos Livres
 Mundo do Trabalho
 Educação Tecnológica
 Não se aplica
 Outra (especifique)

Com que frequência você costuma utilizar recursos disponíveis no Espaço *Maker* da sua escola nas suas aulas?

Sempre
 Quase sempre

Frequentemente
Raramente
Nunca

ANEXO C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

TERMO DE CONSENTIMENTO

Estimado(a) professor(a)

Você está sendo convidado(a) a participar de um projeto de pesquisa a ser desenvolvido intitulado **“Movimento *Maker* e Educação Científica: investigando a prática de professores do Ensino Médio”** associado ao Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Neste estudo pretendemos caracterizar e analisar os conhecimentos desenvolvidos por professores de ciências da natureza (física, química e biologia) que atuam no ensino médio do Sesi/SC a respeito da utilização de tecnologias no ensino, com base em um referencial chamado “Conhecimento Tecnológico Pedagógico do Conteúdo - TPACK”. Nosso objetivo é compreender elementos que constituem o desenvolvimento de perfis docentes para produzir subsídios que possam embasar abordagens na formação inicial e continuada de professores.

Os resultados da pesquisa podem indicar caminhos formativos para instituições de ensino na oferta de cursos de formação inicial e continuada no desenvolvimento do Conhecimento Tecnológico Pedagógico de Conteúdo TPACK de professores, ou mesmo para que os próprios professores busquem estratégias para desenvolverem o seu TPACK com base em princípios e ferramenta inspiradas no movimento *maker*.

Os responsáveis por este trabalho são: João Paulo Mannrich, aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, que poderá ser contatado pelo endereço: Rod. Admar Gonzaga, 2765 Florianópolis/SC - 88034-001 e por meio dos telefones: (48) 996234085 ou e-mail: joao.mannrich@sesisc.org.br. Seu orientador Paulo José Sena dos Santos, professor do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, poderá ser contatado pelo endereço: Sala 121, Departamento de Física do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas (CFM), Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, CEP: 88040-900 Florianópolis/SC e por meio do telefone: (48) 3721-3708 ou e-mail: paulo.sena@ufsc.br.

A coleta de informações se dará por meio dos seguintes instrumentos:

- Registros escritos dos estudantes (planos de aula e outras anotações);
- Questionários, entrevistas e observações de práticas docentes a serem registradas pelo pesquisador por meio escrito ou audiovisual.

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resoluções N^{os} 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através do trabalho de conclusão de curso, artigos científicos e comunicações em congressos, sempre envolvendo o anonimato dos participantes.

Para participar deste projeto, você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Ressalta-se que não é previsto nenhum risco ou desconforto além dos quais você naturalmente participaria no contexto natural de suas atividades docentes ou em diálogos éticos com o pesquisador. Você poderá ficar cansado ou aborrecido ao responder

questionários ou sentir algum desconforto durante as entrevistas. **Você terá total liberdade para desistir e retirar sua participação em qualquer momento do processo.**

Existe também o risco de quebra de sigilo involuntária e não intencional caso porventura houver furto ou extravio de computador ou dispositivos com arquivos armazenados. Por isso, os professores/pesquisadores comprometem-se a tomar todas as precauções para evitar ou minimizar quaisquer riscos. Salienta-se que ao participar do projeto, você estará contribuindo para a melhoria do ensino de ciência no país.

Esta pesquisa será realizada dentro do ambiente institucional do SESI/SC ou em algum outro local combinado. Caso venha a sofrer algum acidente ou mal-estar durante sua realização, você será encaminhado aos setores ou órgãos de assistência da instituição aos quais normalmente seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar durante qualquer outra atividade educacional ou mesmo terá apoio do pesquisador no direcionamento de atendimento especializado quando possível. Caso você tenha alguma despesa adicional ou venha a sentir-se lesado fisicamente ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação no projeto, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e/ou indenização pelos danos sofridos.

Caso você perceba a necessidade de descontinuar a sua participação no projeto, informamos que esta solicitação poderá ser feita a qualquer momento através do contato anteriormente disponibilizado. Você será esclarecido(a) sobre o projeto em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. Sua participação é voluntária e a recusa em participar do projeto não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que você é atendido(a) pelo professor/pesquisando.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pelas resoluções 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais os professores/pesquisadores estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento livre e esclarecido, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC). O CEPSH é um órgão colegiado interdisciplinar, deliberativo, consultivo e educativo, vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina, mas independente na tomada de decisões, criado para defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. O órgão pode ser contatado pessoalmente na Rua Desembargador Vitor Lima 222, Prédio Reitoria II, 7º andar, sala 701, Florianópolis, SC, pelo telefone (48) 3721-6094 e pelo e-mail cep.propesq@contato.ufsc.br. O aceite ao TCLE será realizado em formato digital por meio do formulário disponível no link: <https://forms.gle/7934vxkJEVyHoLfS9>

Pretende-se que este trabalho tenha como benefícios: contribuir com o aprimoramento do Conhecimento Tecnológico Pedagógico de conteúdo (TPACK) de professores de ciências da natureza ao fornecer insumos sobre o seu desenvolvimento, tanto âmbito pessoal, quanto em cursos de formação inicial e continuada de professores.

Colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o projeto.

Email (do participante):

Nome completo (do participante):

Diante das informações apresentadas, você acredita estar suficientemente informado sobre o projeto “Movimento *Maker* e Educação Científica: investigando a prática de professores do Ensino Médio” e CONCORDA em participar da pesquisa? Marque um X na opção escolhida. () SIM () NÃO

ANEXO D – ROTEIRO DA ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA

Pergunta de pesquisa: Quais os potenciais e limites da utilização de princípios do movimento e de ferramentas associadas a espaços *maker* no ensino formal e na modificação da atuação docente?

Perguntas para coleta de dados:

1. Você acredita que PODERIA ou DEVERIA (potencial não explorado) explorar mais recursos da sala *Maker* em suas aulas? Por quê?
 - a. Se sim, o que deveria acontecer para facilitar essa exploração?
2. Você acredita que PODERIA OU DEVERIA realizar atividades com mais tecnologias nas suas aulas? Por quê?
 - a. Se sim, o que deveria acontecer para facilitar essa exploração?
3. Quais são as principais potencialidades, se houver, ao utilizar os recursos do Espaço *Maker* em suas aulas de biologia, física ou química?
4. Quais são as principais dificuldades, se houverem, ao utilizar os recursos do Espaço *Maker* em suas aulas de biologia, física ou química?

Pergunta da pesquisa: Qual a influência de diferentes elementos contextuais na construção de práticas docentes vinculadas ao movimento *maker*?

Perguntadas para coleta de dados:

1. Descreva qualquer informação contextual (por exemplo, acesso a um laboratório de informática, materiais e recursos disponíveis; iniciativas departamentais/em toda a escola) que apoiaram ou dificultaram a concepção ou implementação da aula/projeto.
2. Você participou de cursos/formações que abordaram usos de recursos disponíveis nos laboratórios *maker*? Poderia contar como foi, se esses cursos ajudaram ou não no seu desenvolvimento para utilizá-los em sala?
3. Você acredita que desenvolveu habilidades e conhecimentos para utilizar recursos *maker* nas suas práticas?
 - a. Se sim, quais elementos contribuíram para este processo?
4. Durante o planejamento ou execução das práticas houve colaboração com outros professores ou pessoas? Como isso acontece de forma geral?