UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO
DEPARTAMENTO DE DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

SADI DA SILVA SEABRA FILHO

ECONOMIA CIRCULAR NOS ESPAÇOS MAKER EDUCACIONAIS: repensando um design sustentável através da Materialização Digital

Recife
2025

SADI DA SILVA SEABRA FILHO

ECONOMIA CIRCULAR NOS ESPAÇOS MAKER EDUCACIONAIS: repensando um design sustentável através da Materialização Digital

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação de Design da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Design. Linha de pesquisa: Planejamento e materialização de artefatos digitais.

Orientador: Prof. Dr. Ney Brito Dantas

Coorientador: Prof. Dr. Walter Franklin Marques Correia

Recife

2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Seabra Filho, Sadi da Silva.
Economia circular nos espaços maker educacionais: repensando um design sustentável através da materialização digital / Sadi da Silva Seabra Filho. - Recife, 2025.
226f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação, Programa de Pós-Graduação em Design, 2025.
Orientação: Ney Brito Dantas.
Coorientação: Walter Franklin Marques Correia.
Inclui referências e apêndices.

1. Economia circular; 2. Espaços maker; 3. Materialização digital; 4. Sustentabilidade; 5. Design circular. I. Dantas, Ney Brito. II. Correia, Walter Franklin Marques. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

SADI DA SILVA SEABRA FILHO

“ECONOMIA CIRCULAR NOS ESPAÇOS MAKER EDUCACIONAIS: REPENSANDO UM DESIGN SUSTENTÁVEL ATRAVÉS DA MATERIALIZAÇÃO DIGITAL.”

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco, na área de concentração Planejamento e Contextualização de Artefatos, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Design.

Aprovada em: 15/04/2025.

BANCA EXAMINADORA

_____
Profª. Drª. Auta Luciana Laurentino (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profª. Drª. Leticia Teixeira Mendes (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. João Marcelo Xavier Natário Teixeira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. José Edeson de Melo Siqueira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profª. Drª. Andiara Valentina de Freitas e Lopes (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esta tese a todos aqueles que criam um mundo mais circular e justo, pensando em todo ser que nele habita, na esperança de que cada atitude será somada a um bem maior e coletivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo.

À Universidade Federal de Pernambuco, ao programa de Pós-graduação em Design e ao Departamento de Design por todo suporte fornecido, a todos os professores e técnicos administrativos.

Ao meu coorientador professor Walter Franklin, que acompanha minha trajetória desde a graduação em Caruaru e é uma referência para minha vida profissional, por todo incentivo, atenção e entusiasmo contagiante.

Ao meu orientador Professor Ney Dantas pela paciência, compreensão e ensinamentos que vão além da academia.

À banca pela disponibilidade de avaliar este projeto.

Aos colegas de turma do doutorado em especial Antônio, Flávio, Sarah e Alan por todo aprendizado coletivo.

Aos amigos do Jiu-Jitsu por recarregarem minha energia em especial ao sensei Guga por mostrar que um corpo que se movimenta faz a mente expandir com mais facilidade.

Aos meus amigos da vida, por todo o incentivo, compreensão, carinho e amor. Em especial aos meus melhores amigos do CEFET, vítimas da COVID-19, que foram para mim exemplos de bondade e amor Marcello Victor (in memoriam) e Pomy kim (in memoriam) e ao meu amigo arquiteto e incentivador desde sempre Pedro Jessen.

A Marina Ramires que tem me estimulado a escrever essa tese, com sua maneira singular de ser!

A Daniela Eugênia, que de maneira meiga, educada e com bastante paciência me ajudou nessa pesquisa de maneira cirúrgica.

Ao Departamento de Expressão Gráfica e aos amigos professores que sempre me estimularam a crescer dentro da minha profissão de professor universitário, em especial a professora Andiara por me mostrar os bons caminhos.

Ao professor, Edeson que me ensinou muito sobre a boa política necessária ao ambiente universitário para que tenhamos sempre uma UFPE pública, gratuita e de qualidade.

Ao Laboratório GREA3D, por me acolher, me ensinar e por me fazer mais feliz no trabalho. Em especial aos professores Auta, Letícia e Pedro por toda paciência, ensinamentos e projetos.

Agradeço a FACEPE, por ter financiado o curso desenvolvido nesta tese e a todos os professores e estudantes da rede pública estadual de Pernambuco pela colaboração e aprendizado coletivo.

Agradeço ainda as importantes mulheres que me ajudaram a ter foco e a superar os desafios de toda essa caminhada: a Dra. Thereza, Elisa e Katerine. Muito obrigado!

À minha Família, pois sempre estiveram comigo, torcendo e vibrando com as vitórias e apoiando nas derrotas. Em especial, a queridíssima tia Dora (*in memoriam*), Voinha (*in memoriam*), Irmã Alice (*in memoriam*), minhas madrinhas tia Lourdinha e tia Suelly, meus tios Salim (*in memoriam*) e João pelo exemplo de professores universitários comprometidos.

Agradeço também ao meu Pai Sadi Seabra (*in memoriam*) por toda a educação e incentivo, as minhas irmãs Amanda Seabra, Ana Gabriela e Alexandra que eu tanto amo e ao meu irmão/compadre/cunhado Fellipe Marques, e ainda a pessoa mais especial e exemplo da minha vida, a pessoa que mais admiro por toda sua força, inteligência e beleza, minha Mãe Maria Solange Lins Seabra.

Aos meus sobrinhos Pablo, Chico, Bernardo, João, Artur, Olívia, Maia e Maitê pela alegria, amor e brincadeiras.

À minha filha maravilhosa Clarice por ser a luz da minha vida, por ter me ensinado o que é o amor maior e por ela, na sua inocência, não ter dúvidas que tudo vai dar certo e será divertido.

Agradeço especialmente, a mulher que tem me inspirado a prosperar em todos os aspectos da minha vida, a minha companheira e esposa que todos os dias transborda amor e alegria com todos ao seu redor e que eu tenho o privilégio de conviver nessa vida. Obrigado, Maria! Te amo imensamente. Sem você a conclusão desse trabalho não seria possível.

“Que ninguém se engane: só se consegue a simplicidade através de muito trabalho”.

Clarice Lispector

RESUMO

Esta tese investiga a aplicação dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais, com ênfase na materialização digital e suas contribuições para o desenvolvimento sustentável no design. A pesquisa parte do problema central: *como os princípios da Economia Circular podem ser incorporados nos Espaços Maker Educacionais para fomentar projetos circulares, com ênfase na materialização digital?* Para responder a essa questão, a pesquisa teve como objetivo geral analisar a inserção desses princípios na estrutura e nas práticas desses espaços, considerando a inovação em design, a otimização de recursos e a transformação de práticas de produção e consumo. Os objetivos específicos incluíram: (i) identificar como a Economia Circular é aplicada em Espaços *Maker*; (ii) propor um curso de formação para professores da rede pública estadual de Pernambuco voltado para a implementação da Economia Circular nesses ambientes; (iii) avaliar o impacto desse curso no desenvolvimento de projetos sustentáveis; e (iv) elaborar diretrizes de design alinhadas à Economia Circular, adaptadas às especificidades dos Espaços *Maker* Educacionais. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e exploratória, utilizando o Mapeamento Sistemático da Literatura para reunir e analisar estudos sobre a relação entre Economia Circular, Materialização Digital e Espaços Maker. Além disso, foi desenvolvido e implementado um curso de formação para professores da rede pública estadual de Pernambuco, vinculado ao programa INOV.EDU, no qual foram aplicadas estratégias de ensino para capacitação em práticas circulares dentro desses espaços. A análise dos dados coletados foi realizada por meio de observação de vídeos, registros em diário de bordo e avaliação de exercícios e questionários aplicados aos participantes do curso. Os resultados indicam que os Espaços *Maker* desempenham um papel significativo na transição para modelos produtivos sustentáveis, uma vez que permitem a experimentação com novas tecnologias e materiais, incentivam a cocriação e promovem a conscientização sobre a importância da reutilização e do design regenerativo. Contudo, desafios como a falta de infraestrutura adequada, a necessidade de capacitação continuada e a ausência de políticas públicas e regulamentações específicas ainda dificultam a adoção plena dos princípios da Economia Circular nesses ambientes. A pesquisa conclui que a implementação desses princípios nos Espaços *Maker* Educacionais pode ser potencializada por meio do fortalecimento de políticas educacionais, do incentivo a iniciativas interdisciplinares e da promoção de práticas sustentáveis que integrem fabricação digital, inovação e responsabilidade ambiental.

Palavras-chave: economia circular; espaços maker; materialização digital; sustentabilidade; design circular.

ABSTRACT

This thesis investigates the application of Circular Economy principles in Educational Maker Spaces, with an emphasis on digital materialization and its contributions to sustainable development in design and digital manufacturing. The research is based on the central problem: *how can Circular Economy principles be incorporated into Educational Maker Spaces to foster the development of circular projects, with an emphasis on digital materialization?* To address this question, the general objective was to analyze the integration of these principles into the structure and practices of these spaces, considering design innovation, resource optimization, and the transformation of production and consumption practices. The specific objectives included: (i) identifying how the Circular Economy is applied in Maker Spaces worldwide; (ii) proposing a training course for teachers in the public education system of Pernambuco, aimed at implementing the Circular Economy in these environments; (iii) evaluating the impact of this course on the development of sustainable projects; and (iv) developing design guidelines aligned with Circular Economy principles, adapted to the specificities of Educational Maker Spaces. The research adopted a qualitative and exploratory approach, using Systematic Mapping of Literature to gather and analyze studies on the relationship between Circular Economy, Digital Materialization, and Maker Spaces. Additionally, a training course was developed and implemented for teachers in the public education system of Pernambuco, linked to the INOV.EDU program, in which teaching strategies were applied to build capacity for circular practices within these spaces. Data analysis was conducted through video observations, diary records, and assessments of exercises and questionnaires completed by course participants. The results indicate that Maker Spaces play a significant role in transitioning to sustainable production models, as they enable experimentation with new technologies and materials, encourage co-creation, and promote awareness of the importance of reuse and regenerative design. However, challenges such as lack of adequate infrastructure, the need for continuous training, and the absence of public policies and specific regulations still hinder the full adoption of Circular Economy principles in these environments. The research concludes that implementing these principles in Educational Maker Spaces can be enhanced through the strengthening of educational policies, encouragement of interdisciplinary initiatives, and promotion of sustainable practices that integrate digital manufacturing, innovation, and environmental responsibility.

Keywords: circular economy; maker spaces; digital materialization; sustainability; circular design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do conjunto de eixos envolvidos na tese 25
Figura 2 – Esquema do modelo econômico linear 29
Figura 3 – Exemplo do princípio 1: Resíduos = Alimentos 31
Figura 4 – Exemplo do princípio 2: Construa a resiliência por meio da diversidade 31
Figura 5 – Exemplo do princípio 3: Use energia renovável 32
Figura 6 – Exemplo do princípio 4: Pense em sistemas 32
Figura 7 – Ciclos do C2C 34
Figura 8 – Ciclo Biológico – Ciclo técnico 34
Figura 9 – *Cradle to Cradle Certified*® 35
Figura 10 – Diagrama borboleta 37
Figura 11 – Tipos de Loops 38
Figura 12 – Framework "cadeia de design e suprimentos" 39
Figura 13 – Esboço do Mapeamento Sistemático 61
Figura 14 – Nuvem de palavras com todas as publicações 76
Figura 15 – Nuvem de palavras apenas com os artigos selecionados 77
Figura 16 – Cinco passos da análise do curso 115
Figura 17 – Resultado final para professor formador do edital FACEPE nº 20/2021 117
Figura 18 – ODA 01: Economia Circular 118
Figura 19 – ODA 02: Economia Circular 119
Figura 20 – ODA 11: Design Circular 119
Figura 21 – Contra capa dos Fascículos 1 a 3 127
Figura 22 – Fragmento do curso no Classroom 131
Figura 23 – Fragmento da aba Atividades no Classroom 132
Figura 24 – Fragmento dos encontros síncronos no Classroom 133
Figura 25 – Último exercício proposto aos estudantes para a modelagem tridimensional 174
Figura 26 – Fragmento do Projeto Sistema de Irrigação Automática e Sensor de umidade do solo com Arduino 183

Figura 27 – Fragmento do Projeto Desenvolvimento de Aplicativos Mobile Inteligentes e Economia Circular 184
Figura 28 – Fragmento do Projeto Desplug Programme 185
Figura 29 – Fragmento do Projeto Desenvolvimento de Apps Voltados para a Agenda 2030 – Ecolog 186

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição das pesquisas por bases de dados 64
Gráfico 2 – Etapa de seleção 66
Gráfico 3 – Etapa de extração 67
Gráfico 4 – Publicações por ano 79
Gráfico 5 – Distribuição geográfica das publicações dos artigos selecionados 80
Gráfico 6 – Distribuição geográfica das publicações dos artigos selecionados em barras 81
Gráfico 7 – Métodos de pesquisa adotados 82
Gráfico 8 – Tipos de pesquisa 83
Gráfico 9 – Contagem de instituições de Ensino de Pernambuco por cidade 175
Gráfico 10 – Tempo de experiência como professor 176
Gráfico 11 – Experiência prévia com Espaços Maker 177
Gráfico 12 – Conhecimento sobre Economia Circular 177
Gráfico 13 – Motivação para participar do curso 178
Gráfico 14 – Qualidade do conteúdo teórico 178
Gráfico 15 – Confiança para aplicar conceitos 179
Gráfico 16 – Desafios encontrados 179
Gráfico 17 – Desenvolvimento de competências 180
Gráfico 18 – Impacto geral do curso 181

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Distribuição das pesquisas por bases de dados 58
Quadro 2 – Etapa de seleção 63
Quadro 3 – Etapa de extração 65
Quadro 4 – Publicações por ano 67
Quadro 5 – Diretrizes de design alinhadas com os princípios da Economia Circular para os Espaços *Maker* 188

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	*Acrilonitrila Butadieno Estireno*
AM	*Additive Manufacturing*/Manufatura Aditiva
AVEA	Ambiente Virtual de Ensino e Aprendizagem
BCT	Bolsa de Cooperação Técnica
BDCT	Bolsa de Difusão Científica e Tecnológica
C2C	*Cradle to Cradle*
CAD	*Computer-Aided Design*
CAM	*Computer-Aided Manufacturing*
CBA	*Center For Bits and Atmos*
CNC	*Computer Numeric Control*/Controle Numérico Computadorizado
Dimat	Divisão de Metrologia de Materiais
DIY	*Do It Yourself*
DLP	*Digital Light Processing*/Impressão de Resina
EC	Economia Circular
EL	Economia Linear
EM	Espaços *Maker*
EMF	*Ellen MacArthur Foundation*
EPIs	Equipamentos de Proteção Individual
EREMs	Escolas de Referência em Ensino Médio
ETEs	Escolas Técnicas Estaduais
Fab Lab	*Fabrication Laboratory*
FACEPE	Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco
FDM	*Fused Deposition Modeling*/Modelagem por Fusão e Deposição
GEEs	Gases de Efeito Estufa
GREA3D	Grupo de Experimentação em Artefatos 3D
INOVE.EDU	Programa de Inovação Educacional
LaPES	Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software
LCA	Avaliação do Ciclo de Vida
LM	Laboratório *Maker*
LOM	Fabricação de Objetos Laminados
MA	Manufatura Aditiva

MD	Materialização Digital
MIT	*Massachusetts Institute of Technology*
MS	Mapeamento Sistemático
ODAs	Objetos Digitais de Aprendizado
ONU	Organização das Nações Unidas
PETG	Tereftalato de Polietileno Glicol-Modificado
PLA	Ácido Polilático
PR	Prototipagem Rápida
RRD	Redes de Reciclagem Distribuídas
RS	Revisão Sistemática
SECTI	Secretaria de Ciência e Tecnologia de Pernambuco
SLA	Estereolitografia
SLS	Sinterização Seletiva a Laser
START	*State of the Art Through Sytematic Review*
STEM	Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática
STEM+C	Ciências, Tecnologia, Engenharia, Matemática e Criatividade
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**20**
1.1	**Justificativa**	**25**
1.2	**Estrutura da pesquisa**	**27**
2	**REFERENCIAL TEÓRICO**	**28**
2.1	**Economia Linear**	**28**
2.2	**Economia Circular**	**30**
2.2.1	Antecessores da Economia Circular	32
2.3	**Cadeia de Design e Suprimentos**	**36**
2.4	**Espaços Maker Educacionais e o Movimento Maker**	**43**
2.5	**Materialização Digital**	**48**
2.6	**Tecnologias de Fabricação Digital**	**49**
2.6.1	Manufatura Aditiva	51
2.6.2	Manufatura Subtrativa	53
2.6.3	Manufatura Conformativa	55
3	**TRAJETÓRIA METODOLÓGICA**	**57**
3.1	**Caracterização da pesquisa**	**59**
3.2	**Mapeamento Sistemático**	**60**
3.2.1	Planejamento	62
3.2.2	Condução	64
3.3	**Construção do Curso de Economia Circular em Espaços Maker Educacionais**	**71**
3.4	**Metodologia de Análise Integrada: observação de vídeos, diário de bordo e análise de exercícios**	**73**
4	**RESULTADOS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO**	**76**
4.1	**Publicações coletadas do mapeamento sistemático**	**84**
4.1.1	Economia Circular em Espaços Maker	84
4.1.1.1	*Lacunas e desafios para a implementação da Economia Circular em Espaços Maker*	*89*
4.1.1.2	*Oportunidades na aplicação da Economia Circular em Espaços Maker*	*91*
4.1.1.3	*Contribuição para o Design de Produto na aplicação da Economia Circular em Espaços Maker*	*94*

4.1.1.4 Papel dos Espaços Maker no Conhecimento do Design e da Economia Circular 98
4.1.1.5 Aplicação da Economia Circular em Espaços Maker 101
4.1.1.6 O Propósito e os Benefícios da Economia Circular em Espaços Maker 104
4.1.1.7 Principais Problemas de Pesquisa na Implementação da Economia Circular em Espaços Maker 107
4.1.1.8 Enfoques nos Espaços Maker, Design e Economia Circular 108
4.1.1.8.1 Espaços Maker 109
4.1.1.8.2 Design 111
4.1.1.8.3 Economia Circular 112
5 CAPACITAÇÃO DE PROFESSORES EXECUTORES DA REDE PÚBLICA ESTADUAL EM ECONOMIA CIRCULAR NOS ESPAÇOS 4.0: REPENSANDO UM DESIGN SUSTENTÁVEL COM AS TECNOLOGIAS DE FABRICAÇÃO DIGITAL 114
5.1 Contextualização do programa INOV.EDU 114
5.2 Planejamento 117
5.3 Objetivos 121
5.4 Resumo do cronograma de execução 122
5.5 Material didático e sala de aula virtual 123
5.5.1 Fascículos 124
5.5.2 Videoaulas 129
5.5.3 Google Classroom 131
5.5.4 Encontros síncronos 134
5.5.4.1 Videoaula 1 134
5.5.4.2 Videoaula 2 140
5.5.4.3 Videoaula 3 144
5.5.4.4 Videoaula 4 148
5.5.4.5 Videoaula 5 152
5.6 Atividades 156
5.6.1 Atividade 1 157
5.6.2 Atividade 2 159
5.6.3 Atividade 3 161
5.6.4 Atividade 4 163

5.6.5 Atividade 5 166
5.6.6 Atividade 6 169
5.6.7 Atividade 7 171
5.7 Questionário 175
5.8 Projetos 182
5.8.1 Sistema de Irrigação Automática e Sensor de umidade do solo com Arduino: EREM Professora Edite Matos, de Santa Maria da Boa Vista 183
5.8.2 Desenvolvimento de Aplicativos Mobile Inteligentes e Economia Circular: ETE Aderico Alves de Vasconcelos 183
5.8.3 Desplug Programme - Construindo Blocos de Programação Desplugada com Materiais Recicláveis: ETE Ariano Vilar Suassuna 184
5.8.4 Desenvolvimento de Apps Voltados para a Agenda 2030 - Ecolog: ETE Prof. Francisco Jonas Feitosa Costa 185
5.9 Perspectivas gerais a respeito do curso elaborado 186
5.10 Diretrizes 187
6 CONCLUSÕES 194
6.1 Sobre a trajetória metodológica 197
6.2 Sobre os resultados 198
6.3 Sobre as diretrizes 201
6.4 Limitações da pesquisa 203
6.5 Contribuições futuras da pesquisa 204
REFERÊNCIAS 208
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 220
APÊNDICE B – FASCÍCULOS 224

1 INTRODUÇÃO

O design é uma atividade que envolve criatividade, invenção e inovação técnica, sendo amplamente reconhecido por sua capacidade de integrar processos criativos e analíticos. Entretanto, a configuração do produto não se dá em um espaço vazio, o objeto de design se dá através de um processo de desenvolvimento determinado por questões socioeconômicas, tecnológicas e culturais. Além disso, os fatores históricos, ergonômicos, ecológicos, condições técnicas de produção, interesses políticos e exigências artístico-experimentais também são fundamentais. Sendo assim, lidar com design significa se debruçar sobre as situações em que ele foi desenvolvido, reconhecendo a mudança do mundo, em um caminho árduo que precisamos percorrer sabendo que ele não tem fim (Bürdek, 2006).

Neste sentido, aplicar os conceitos e princípios da Economia Circular no design faz parte do conhecimento processual necessário para implementar um novo projeto e/ou processo de redesign (Roux-Marchand *et al*., 2020). O projeto orientado pela teoria da Economia Circular em determinado contexto propõe evitar erros grosseiros de concepção e facilita as tomadas de decisão dos designers gerando uma maior assertividade e velocidade no desenvolvimento do produto, além de criar projetos e processos alinhados à necessidade de um mundo sustentável e circular como ele foi concebido.

Somando as questões acima apresentadas, a mudança climática que acontece no planeta tem causado diversos desequilíbrios e para muitos pesquisadores a ocorrência futura de novas pandemias e crises ambientais é considerada inevitável, sendo incerta apenas a época em que ocorrerão. Considerando que a humanidade vem enfrentando esses problemas, tais como: a pandemia da COVID-19 e outras doenças mortais nos últimos anos, além de, desastres ambientais com relativo sucesso. Isto se deve ao reflexo dos avanços da ciência, que forneceram ferramentas para lidar com novas ameaças e situações extremas. Entretanto, a relativa vitória anterior não é garantia para o sucesso futuro e o melhor seguro contra essas ameaças é o investimento contínuo na ciência (Casadevall, 2020).

Diante deste contexto e através das experiências vividas pela crise ambiental e pandemias, o design precisa estar preparado para o processo de atuação dos laboratórios *maker* visualizando os benefícios propostos pela Economia Circular para projetar e pensar um mundo sustentável e próspero.

Neste trabalho é apresentada uma discussão em torno da Materialização Digital (MD) dos Laboratórios *Maker* (LM) no contexto da Economia Circular (EC) em um período de urgência, em que o esgotamento dos recursos naturais, o acúmulo crescente de resíduos e a

intensificação das mudanças climáticas evidenciam que os modelos lineares de produção e consumo atingiram um limite insustentável.

Além das questões ambientais e diante da limitação dos recursos naturais existentes no planeta, o modelo de economia denominado de circular ganha destaque uma vez que pretende romper com o velho e insustentável modelo econômico linear que é amplamente utilizado pelo mundo neste momento. Este padrão linear segue a sequência baseada em extrair, transformar, produzir, utilizar e descartar – e, às vezes, reciclar ou incinerar (Ellen MacArthur Foundation, 2013, v. 1; Fiskel, 2009; McDonough; Braungart, 2003).

Embora a Economia Circular seja uma nomenclatura bastante difundida na última década, ela se baseia em abordagens anteriores que detalham a sustentabilidade e a necessidade de ações comprometidas com a sociedade, indústria e meio ambiente (Motta, 2018). Segundo a *Ellen MacArthur Foundation* (2013, v. 1), a Economia Circular imita o ciclo de vida natural, onde todos os elementos são conectados para manter um equilíbrio ecológico. Este modelo é inseparável da inovação e do design de produtos e sistemas, necessitando de um "ciclo de vida fechado" que reduz o consumo de matérias-primas, energia e água.

Desta maneira, o principal objetivo da Economia Circular é repensar o design, principalmente o de produtos, de modo que os bens possam ser utilizados por muito tempo, mantendo seu valor intrínseco. Além disso, deve-se tentar romper com o padrão de consumo atual, onde muitas vezes são consumidos artefatos totalmente desnecessários e que prejudicam a economia a longo prazo. É fundamental ainda que, nesta nova visão, sejam aumentadas a qualidade e durabilidade dos produtos e que estes sejam passíveis de remanufatura (House of Commons, 2014).

Investimentos públicos e privados em pesquisas e projetos referentes a estes temas têm evidenciado os benefícios provenientes da Economia Circular, tendo em vista as previsões que se tem a respeito dos recursos do Planeta (Mota; Loyes, 2017). Paralelo a isso, observa-se também o aumento das tecnologias digitais presentes em nossas vidas e que, atreladas ao pensamento da Economia Circular, podem contribuir para sua otimização, implementação e desenvolvimento, entretanto, sua adoção exige a superação de desafios técnicos, sociais e econômicos.

Essas Tecnologias digitais, por exemplo, estão bastante presentes nos espaços *maker*. A temática desses espaços vem se popularizando nos últimos 15 anos e, consequentemente, ainda pouco explorada pelas pesquisas científicas. Dessa maneira, a pesquisa que será apresentada está baseada no importante papel e nas mudanças que as tecnologias digitais, guiadas pelo princípio da transdisciplinaridade, compartilhamento de aprendizagem e práticas inovadoras,

constituem para a inovação em design e desenvolvimento de projetos, produtos ou serviços (Cunha, 2019).

Segundo Bakker *et al*. (2014), nos trabalhos do professor e pesquisador, Marcel den Hollander, foi verificado que as tecnologias de fabricação digital são ferramentas fundamentais para a EC, principalmente para o reparo de produtos, gerando benefícios diretos para o consumidor e para a economia em geral. Um exemplo disso seria uma indústria que, em vez de produzir uma quantidade de peças absurdas para reparo, pode disponibilizar ou vender um arquivo digital desta peça para que o cliente e/ou assistência técnica possa imprimir e realizar o reparo. Especificamente, em relação as tecnologias de fabricação digital, a Manufatura Aditiva[1] (MA) também apresenta vantagens com a economia de transporte, fabricação de moldes, armazenamento e matéria prima de peças em estoque (Delftx, c2024).

Os Espaços *Maker* reúnem ferramentas, tecnologias digitais e habilidades para projetar e criar, reduzindo barreiras e incentivando atividades socialmente inovadoras. Mais do que locais de fabricação, eles exploram os benefícios da tecnologia para a inovação social, o debate sobre design e economia sustentável, tornando-se exemplos de democracia de inovação e ação (Smith, 2017). Além disso, esses espaços ampliam os estudos sobre produção material e possuem potencial para se tornarem centros de pesquisa e inovação colaborativa no desenvolvimento de artefatos e técnicas contemporâneas (Cunha, 2019). Compreender os processos envolvidos em sua concepção e utilização é essencial para que a criatividade, aliada à materialização digital, impulsione a evolução do conhecimento em design.

Um dos fundamentos dos *makerspaces*[2] é o desenvolvimento e produção de soluções com cunho tecnológico para problemas locais e específicos, colaborando para a redução da desigualdade digital que existe entre os países ricos e pobres (Gershenfeld, 2005).

Em uma pesquisa realizada em 2017, foram contabilizados aproximadamente 58 *fablabs*[3], *makerspaces* e laboratórios de fabricação digital em operação no Brasil, espalhados por 24 cidades (Costa; Pelegrini, 2017). No entanto, esse número aumentou consideravelmente nos anos seguintes. Durante a pandemia de COVID-19, houve uma demanda crescente por equipamentos desses espaços, o que se refletiu em um acréscimo significativo na compra de

[1] Manufatura Aditiva também conhecida como impressão 3D, é um processo de fabricação onde materiais são depositados, juntados ou solidificados, camada por camada, para criar um objeto a partir de um modelo digital tridimensional (Gibson; Rosen; Stucker, 2015).

[2] Termo utilizado em inglês para os espaços *maker*.

[3] *Fablabs* - O termo "*FabLab*" (abreviação de "*Fabrication Laboratory*") surgiu no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) em 2001. A iniciativa foi liderada por Neil Gershenfeld, professor e diretor do CBA. O conceito de *FabLab* refere-se a um laboratório de fabricação digital onde as pessoas podem projetar, prototipar e criar objetos físicos utilizando uma variedade de ferramentas de fabricação, como impressoras 3D, cortadoras a laser, fresadoras CNC, entre outras (Gershenfeld, 2005).

tais recursos. Essa tendência indica que o número de ambientes de fabricação digital expandiu substancialmente.

Nesse cenário de fabricação digital, entre 2018 e 2020, o valor total empenhado pelo governo para a aquisição de "impressoras 3D" foi de R$ 10.433.201,68, sendo que mais de 60% desse montante foi destinado a compras realizadas em 2020, principalmente por instituições vinculadas ao Ministério da Educação (Brasil, 2020). Esse aumento no investimento está fortemente relacionado ao uso de impressoras 3D para a fabricação de dispositivos médicos, como *face shields* e respiradores, que foram essenciais no combate à pandemia. A expansão desses espaços *maker* sublinha a importância de pesquisas focadas nesses ambientes, especialmente no que se refere ao desenvolvimento de diretrizes que orientem tanto o planejamento quanto a organização dos processos de fabricação digital.

Atualmente, as aplicações das tecnologias digitais estão em várias áreas, seja na saúde, na construção civil, na indústria, no design, entre outras. Nesse contexto, Moreira (2018), representando a agenda do Ministério da Indústria Comércio e Serviços do Brasil, fala que a quarta revolução industrial está atrelada às novas tecnologias que permitirão a fusão do mundo físico, digital e biológico. Entre as principais tecnologias que irão permitir essa fusão está a manufatura aditiva, esta que vem modificar a produção em série da indústria atual, que tem pouca ou quase nenhuma individualização do produto com o usuário, visto que a MA é capaz de produzir peças únicas, personalizadas e adaptadas a cada indivíduo.

Além das tecnologias de manufatura aditiva, nos Espaços *Maker*, estão inseridos outras tecnologias e dispositivos de Fabricação Digital e Manual. A integração destas tecnologias e indivíduos, nesses ambientes, permite a criação de soluções inovadoras e personalizadas que prometem reduzir o desperdício otimizando o uso de materiais. Em sua essência, estes espaços oferecem uma perspectiva promissora para a mitigação das catástrofes ambientais decorrentes do modelo econômico linear.

Este estudo parte da **hipótese** de que a implementação dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* educacionais pode acelerar o desenvolvimento de projetos circulares, reduzindo o impacto ambiental e promovendo uma mudança no paradigma de produção e consumo, especialmente por meio da integração de tecnologias de materialização digital.

A educação em design orientada pela EC pode transformar a sociedade e o consumo, incentivando a criação de projetos comprometidos com a sustentabilidade. No Brasil, o crescimento desses espaços reforça a esperança no investimento em práticas sustentáveis,

impulsionado pela necessidade urgente de preservar o meio ambiente e inovar economicamente.

Essa hipótese propõe que a aplicação dos conceitos de Economia Circular em espaços *Maker* não apenas facilita a criação de projetos mais sustentáveis, mas também influencia de maneira positiva a transformação das práticas tradicionais de produção e consumo.

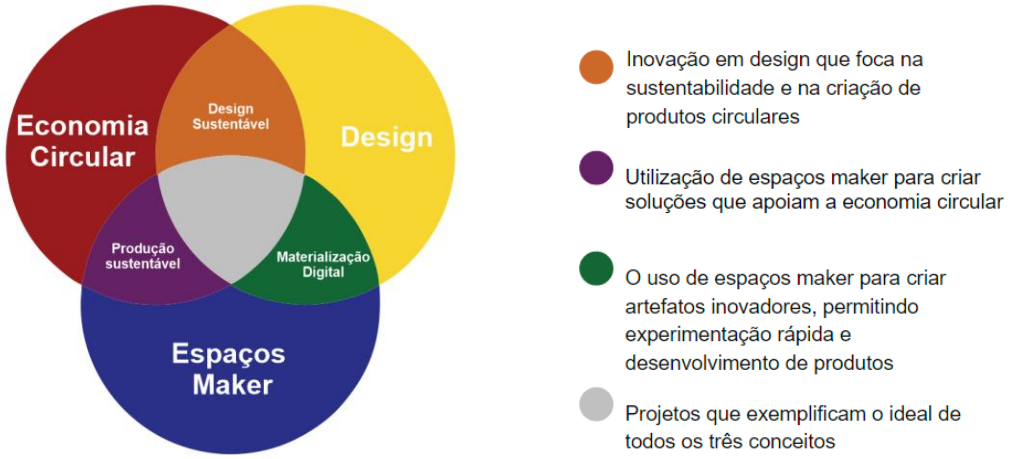
Nesse escopo, o **problema de pesquisa** se configura na seguinte pergunta: como os princípios da Economia Circular podem ser incorporados nos Espaços *Maker* Educacionais para fomentar o desenvolvimento de projetos circulares, com ênfase na materialização digital?

O **objetivo geral** firmou-se em investigar a inserção dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais sobre o desenvolvimento de projetos circulares, com ênfase na materialização digital. Os **objetivos específicos** consistem em:

a) Identificar como os princípios da Economia Circular são atualmente aplicados em projetos desenvolvidos nos Espaços *Maker* Educacionais;
b) Propor um curso de formação em Economia Circular em Espaços *Maker* para professores formadores da rede pública de ensino básico do estado de Pernambuco;
c) Avaliar o impacto do curso no desenvolvimento de projetos dentro desses espaços;
d) Desenvolver diretrizes de design alinhadas com os princípios da Economia Circular, adaptadas às particularidades dos Espaços *Maker* Educacionais.

Vale ressaltar que esta tese explora três eixos e suas interseções que são apresentados no Diagrama de Venn na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Representação do conjunto de eixos envolvidos nessa tese



Fonte: O autor (2025)

Com base nisso, as seções 1.1 e 1.2 elencam a justificativa e a estrutura da pesquisa, respectivamente.

1.1 Justificativa

A origem desta investigação remonta a 2016, com a criação do Grupo de Experimentação em Artefatos 3D (GREA3D) na Universidade Federal de Pernambuco. A experiência acumulada nesse espaço revelou não apenas o potencial pedagógico e social dos laboratórios *maker*, mas também a complexidade de sua gestão e a urgência de discutir sua sustentabilidade. Nesse contexto, emergiram inquietações que configuraram o ponto de partida para a presente pesquisa.

A vivência no GREA3D evidenciou que os Espaços *Maker*, ao democratizarem o acesso às tecnologias de fabricação digital, ampliam o repertório criativo de estudantes e professores, promovendo práticas colaborativas e inovadoras. Contudo, a ausência de metodologias consistentes e de parâmetros claros para orientar o uso sustentável desses ambientes expõe fragilidades que comprometem sua eficácia a longo prazo.

Com a progressiva redução dos custos de equipamentos como impressoras 3D, fresadoras CNC e cortadoras a laser, tais ambientes passaram a se multiplicar em instituições de ensino e comunidades. Essa expansão, embora positiva, trouxe consigo desafios relacionados ao aumento do consumo energético, à geração de resíduos e à ausência de políticas de manutenção e reaproveitamento de insumos. Assim, os mesmos espaços que poderiam

impulsionar a inovação correm o risco de reproduzir os padrões lineares de produção e consumo.

Neste cenário, a Economia Circular emerge como uma alternativa paradigmática. Todavia, observa-se que a maioria das pesquisas no campo ainda se concentra em cadeias industriais e sistemas produtivos em larga escala, negligenciando a aplicação desses princípios em ambientes educacionais e de pequena escala, como os laboratórios *maker*. Essa lacuna evidencia a necessidade de estudos que articulem circularidade, educação e fabricação digital.

A pertinência desse debate é intensificada pela crise climática e pela pressão crescente sobre os recursos naturais. Os espaços educacionais não podem permanecer alheios a esse contexto. Pelo contrário, devem ser agentes de transformação cultural e tecnológica, formando indivíduos capazes de conceber soluções alinhadas a modelos regenerativos de produção e consumo.

Entretanto, a ausência de diretrizes sistematizadas para o uso sustentável das tecnologias de fabricação digital cria um vazio que limita a contribuição desses ambientes. Sem parâmetros de circularidade, há o risco de que a inovação tecnológica se reduza a práticas fragmentadas, desvinculadas de uma visão de longo prazo para a sustentabilidade.

Esta pesquisa justifica-se, portanto, pela necessidade de preencher esse vazio, investigando a incorporação dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais. Ao propor diretrizes de design específicas, pretende-se não apenas reduzir impactos ambientais, mas também potencializar a relevância pedagógica e social desses espaços, promovendo um ecossistema de inovação comprometido com a sustentabilidade.

Outro aspecto de relevância é a articulação com a formação docente. A proposição de um curso voltado à rede pública estadual busca ampliar a disseminação do conhecimento, permitindo que professores se tornem multiplicadores de práticas circulares. Essa dimensão formativa contribui para enraizar os princípios da circularidade na educação básica, ampliando o alcance e a legitimidade da pesquisa.

Assim, a presente investigação transcende a mera análise teórica, pois envolve experimentação prática, avaliação de resultados e proposição de orientações replicáveis em diferentes contextos educacionais. Tal abordagem reforça o caráter aplicado da pesquisa, ao mesmo tempo em que dialoga com a necessidade de soluções concretas para os desafios socioambientais contemporâneos.

Por fim, a relevância científica e social desta tese reside na defesa de que os Espaços Maker, quando orientados pelos princípios da Economia Circular e apoiados na materialização digital, podem assumir um papel central na transição para um design regenerativo. Essa

contribuição consolida o potencial desses ambientes como laboratórios de inovação pedagógica, social e tecnológica, oferecendo ao campo do Design uma referência teórico-prática alinhada às urgências do nosso tempo.

1.2 Estrutura da pesquisa

A tese foi dividida em mais cinco seções, a saber: a) seção 2, explora o referencial teórico, subdivido na Economia Linear, Economia Circular, Cadeia de Design e Suprimentos, Espaços *Maker* Educacionais, Materialização Digital e Tecnologias de Fabricação Digital; b) seção 3, a trajetória metodológica; c) seção 4, os resultados do mapeamento sistemático; d) seção 5, as análises do curso "Capacitação de professores executores da rede pública estadual em Economia Circular nos Espaços 4.0: repensando um design sustentável com as tecnologias de fabricação digital", do questionário, dos projetos, das perspectivas gerais a respeito do curso elaborado e das diretrizes; e e) seção 6, as conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico desta tese foi elaborado para proporcionar uma base sólida para as discussões e análises subsequentes. Nas seções seguintes, serão abordados temas como Economia Linear, Economia Circular, Espaços *Maker* Educacionais, Materialização Digital e Tecnologias de Fabricação Digital, que oferece uma compreensão abrangente dos conceitos e práticas que permeiam a investigação em questão. Através da exploração destes tópicos, busca-se contextualizar e fundamentar as discussões que envolvem os temas base.

2.1 Economia Linear

Para se compreender o conceito de Economia Circular devemos inicialmente nos apropriar do entendimento do que é a Economia Linear, pois uma surge em contraposição à outra. A Economia Linear surge com a revolução industrial que se iniciou nos anos 1700 centrada em têxteis, ferro e carvão, e transporte de água e mais tarde evoluiu para a energia a vapor, o motor a combustão interna e a energia elétrica. Já mais recentemente, no século XIX, é impactada pelas máquinas de comunicação rápida capazes de conectar continentes de maneira instantânea. A união das novas tecnologias atreladas às inovações energéticas têm o poder de gerar mudanças profundas na economia (Motta, 2018).

A sociedade obteve muitos benefícios provenientes das diversas máquinas que foram criadas para facilitar as nossas vidas e nos dar mais conforto. A produção em série fez surgir cidades voltadas para as indústrias que junto ao trabalho em turnos fez surgir novos consumidores e "consumíveis" tornando o crescimento cada vez mais acelerado. A indústria ficou mais eficiente e os produtos mais baratos e acessíveis a população. A busca por "inovação" através da otimização dos processos e métodos de produção criaram mais e novos postos de trabalho e demanda de mercados.

Entretanto, a Revolução Industrial estava focada em resolver os problemas "aparentes" e, por muitas vezes, se valendo da vantagem imediata em relação aos lucros e oportunidades de negócio. Criando assim um sistema de produção predatório, que tem gerado danos ambientais e até mesmo trabalhistas. A princípio, as consequências desta economia não eram tão nítidas, muito embora os primeiros críticos já tenham surgido na década de 60.

Este modelo, acima descrito, é conhecido como Economia Linear por gerar um fluxo em linha reta. A EL é baseada exclusivamente no princípio de EXTRAIR -> FABRICAR / TRANSFORMAR -> COMSUMIR / UTILIZAR -> DESCARTAR. De maneira desfavorável,

esse modelo assume que os recursos naturais são abundantes, fáceis de serem obtidos e que o descarte não gera custos. Na Figura 2, pode ser vista uma ilustração esquemática deste modelo.

Figura 2 - Esquema do modelo econômico linear

Fonte: Costa, Monteiro e Ribeiro (2013)

Com o crescimento da população, o número de "consumidores" aumentou exponencialmente e consequentemente os impactos tornaram-se cada vez maiores. Estima-se que em 1960 a população do mundo era de 3 bilhões de pessoas e nos anos 2000 esse número duplicou, bastaram apenas 40 anos para isto, e a previsão da ONU (2019) é que mesmo com a queda da fertilidade em 2050 chegaremos a 9,7 bilhões de pessoas. Confrontando esses dados com o modelo da EL, torna-se claro que são necessários muitos recursos naturais para garantir condições de vida para esse número exorbitante de habitantes e que se continuarmos persistindo neste ideal estaremos fadados ao fracasso (Weetman, 2019).

McDonough e Braungart (2002), em seu livro "*Cradle to Cradle*", ilustram de maneira irônica alguns dos impactos negativos e resultados drásticos causados pela economia linear desde o início da Revolução Industrial. Esses impactos incluem o descarte anual de toneladas de materiais tóxicos no ar, na água e no solo, bem como a produção de materiais perigosos que exigirão das gerações futuras vigilância constante. Além disso, a Economia Linear gera quantidades absurdamente grandes de resíduos, com materiais valiosos sendo enterrados em aterros ao redor do planeta. Além disso, o atual sistema produtivo prioriza a produtividade em detrimento dos recursos humanos, resultando em maior exploração e más condições de trabalho.

Dados esses impactos, há a necessidade de adotar uma abordagem mais sustentável e responsável para a economia. Desta maneira, surge a Economia Circular, que oferece benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a economia, promovendo o desenvolvimento sustentável e equitativo. Com esta limitação dos recursos naturais existentes no planeta, o modelo de economia denominado de circular ganha destaque uma vez que pretende romper

com o velho e insustentável modelo econômico linear que é utilizado pelo mundo (Ellen MacArthur Foundation, 2013, v. 1; Fiskel, 2009; McDonough; Braungart, 2003).

2.2 Economia Circular

A Economia Circular surge com essa nomenclatura atual, mas é baseada em abordagens anteriores, como o "*Cradle to Cradle*", que tem como objetivo detalhar a sustentabilidade e a necessidade de adotarmos ações que sejam comprometidas e conscientes com a sociedade, com a indústria e principalmente com o meio ambiente (Motta, 2018).

A *Ellen MacArthur Foundation* (EMF), uma instituição filantrópica, tem como objetivo acelerar a transição para a Economia Circular (EC) em parceria com empresas, governos e organizações educacionais. Para muitos autores, a EC é sinônimo da EMF. A instituição reflete sobre a definição de Economia Circular como um sistema industrial intencional e projetado para ser restaurativo e regenerativo. Esse sistema substitui o conceito de "fim de vida" por restauração, utiliza energia renovável, elimina produtos químicos tóxicos que impedem a reutilização e busca eliminar resíduos por meio do design superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócios (Ellen MacArthur Foundation, 2013, v. 1).

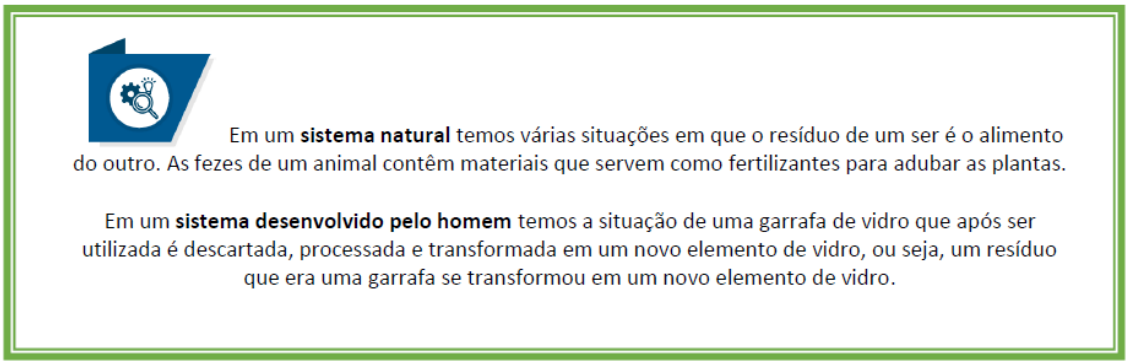
De acordo com Ellen MacArthur Foundation (2013, v. 1), o modelo de Economia Circular é baseado no ciclo de vida presente na natureza, onde todos os elementos são conectados e utilizados com um propósito de manter um equilíbrio ecológico. Este modelo se torna inseparável da inovação, design de produtos e sistemas, sendo necessário criar um modelo sustentável, com um “ciclo de vida fechado”, reduzindo o consumo de matérias primas, energia e água.

O principal objetivo da Economia Circular é repensar o design de produtos de modo que os bens possam ser utilizados por muito tempo, mantendo seu valor intrínseco. Além disso, deve-se tentar romper com o padrão de consumo atual, onde muitas vezes são consumidos artefatos totalmente desnecessários. É fundamental ainda que, nesta nova visão, sejam aumentadas a qualidade e durabilidade dos produtos e que estes sejam passíveis de remanufatura (House of Commons, 2014).

A proposta deste sistema é conceber empresas, produtos e serviços que visem combater a escassez de recursos, estimulando a criação de novas oportunidades de negócios e alternativas inovadoras para o consumo, com maior eficiência. Isso implica economizar energia e evitar danos irreversíveis ao planeta. A EMF apresenta quatro princípios da EC que ajudam a atingir esses objetivos. São eles:

1) Resíduos = Alimentos: este princípio se baseia nos ciclos naturais em que os resíduos gerados por um organismo servem como alimento para outro, propondo o redesenho de produtos que possam ser reutilizados ou desmontados no "fim da vida", mantendo os materiais em um patamar de valor. Na Figura 3 ilustra um exemplo de como este princípio pode ser aplicado.

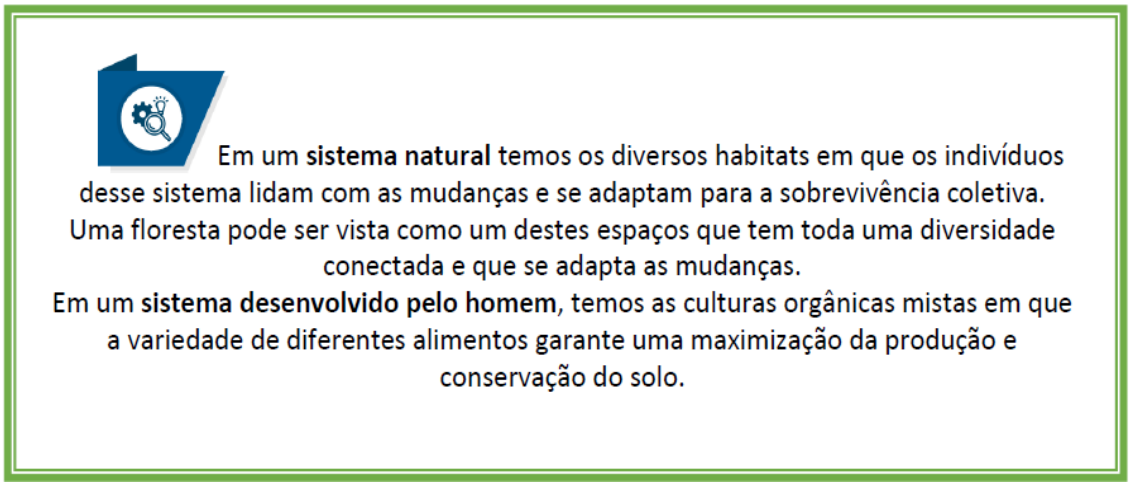
Figura 3 - Exemplo do princípio 1: Resíduos = Alimentos



Fonte: Seabra Filho (2022)

2) Construa a resiliência por meio da diversidade: inspirada na natureza, a ideia é promover a diversidade para desenvolver a resiliência e recursos nos sistemas econômicos. Na Figura 4, uma descrição deste exemplo.

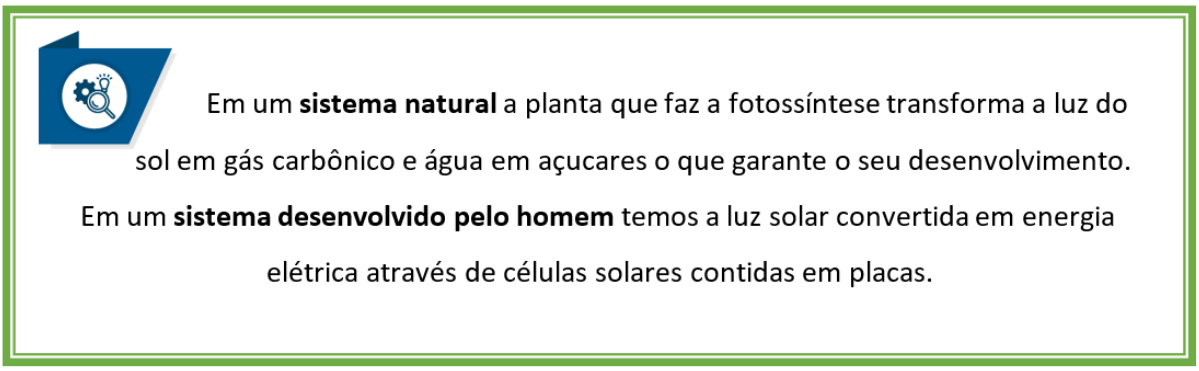
Figura 4 - Exemplo do princípio 2: Construa a resiliência por meio da diversidade



Fonte: Seabra Filho (2022)

3) Use energia renovável: através de atores que coletivamente geram fluxos eficazes de materiais e informação, impulsionados por energia renovável (Figura 5).

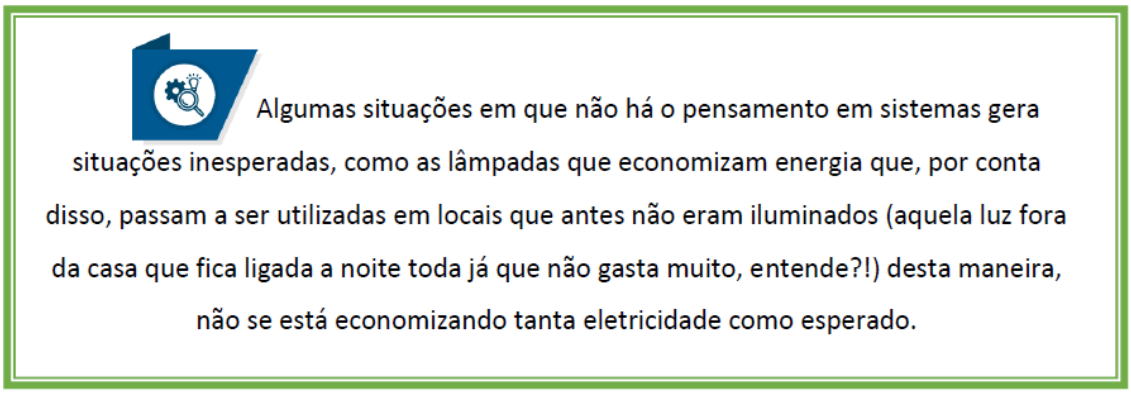
Figura 5 - Exemplo do princípio 3: Use energia renovável



Fonte: Seabra Filho (2022)

4) Pense em Sistemas: compreendendo as conexões entre as ideias, pessoas e lugares, visando a criação de oportunidades para as pessoas, negócios e o planeta. Perceber como as partes do sistema se relacionam é fundamental para identificar oportunidades de gerar valor (Figura 6).

Figura 6 - Exemplo do princípio 4: Pense em sistemas



Fonte: Seabra Filho (2022)

2.2.1 Antecessores da Economia Circular

A Economia Circular não surgiu sem antecessores, diante do grande aumento da população e do aumento do consumo de recursos naturais surgiram diversos pensamentos e pesquisas científicas que abordam a questão da sustentabilidade. Para a pesquisadora Carolina Motta (2018), três dessas escolas são consideradas mais importantes para a EC, que são Ecologia Industrial, Biomimética e "*Cradle to Cradle*".

A **Ecologia Industrial** se destaca por incorporar a preservação de materiais e energia no desenvolvimento de produtos, buscando transformar processos industriais lineares em

ecossistemas industriais. Esse conceito promove a ideia de que o resíduo de um processo pode servir como matéria-prima para outro, reduzindo desperdícios e otimizando o uso de recursos. De acordo com a Fundação Ellen MacArthur (2013, v. 1), a principal diferença entre a EC e a Ecologia Industrial reside no foco da EC em negócios e economia, enquanto a Ecologia Industrial está mais ligada à academia.

Os problemas analisados pelos ecologistas industriais abordam diversos ângulos e perspectivas, por este motivo a Ecologia Industrial é um campo multidisciplinar estudado por lentes da economia, engenharia, sociologia, tecnologia e questões ambientais.

A **Biomimética** propõe que o design se inspire nos processos e sistemas naturais para criar produtos mais eficientes e com menor impacto ambiental. Essa abordagem multidisciplinar envolve a colaboração de diversos profissionais, como designers, engenheiros e arquitetos, que buscam soluções inovadoras a partir da observação da natureza. Conforme apontado pelo Biomimicry Institute (2024), a Biomimética visa desenvolver soluções sustentáveis para problemas humanos baseando-se em padrões e estratégias observados na natureza.

Cradle to Cradle (C2C) foi uma expressão utilizada como título de um livro publicado em 2002 pelos autores William McDonough (arquiteto americano) e Michael Braungart (engenheiro alemão), este termo significa “do berço ao berço”. O pensamento originou-se em oposição ao modelo linear pois, o produto iria ao fim da vida para a cova “c*radle to grave*”.

O conceito C2C, por sua vez, desafia o modelo linear tradicional, propondo um ciclo contínuo de criação e reutilização de materiais, onde o "lixo" é visto como um design obsoleto. Nesse modelo, os recursos são tratados como nutrientes que devem ser reaproveitados em ciclos seguros e saudáveis, seja no ambiente natural (biosfera) ou na indústria (tecnosfera). Segundo McDonough e Braungart (2002), o design deve ser orientado para fazer "mais bem" ao invés de "menos mal", promovendo um ciclo virtuoso de reaproveitamento de materiais sem perda de qualidade. Na Figura 7, são apresentados dois quadros que apontam uma explicação sobre os ciclos propostos pela C2C.

Figura 7 - Ciclos do C2C

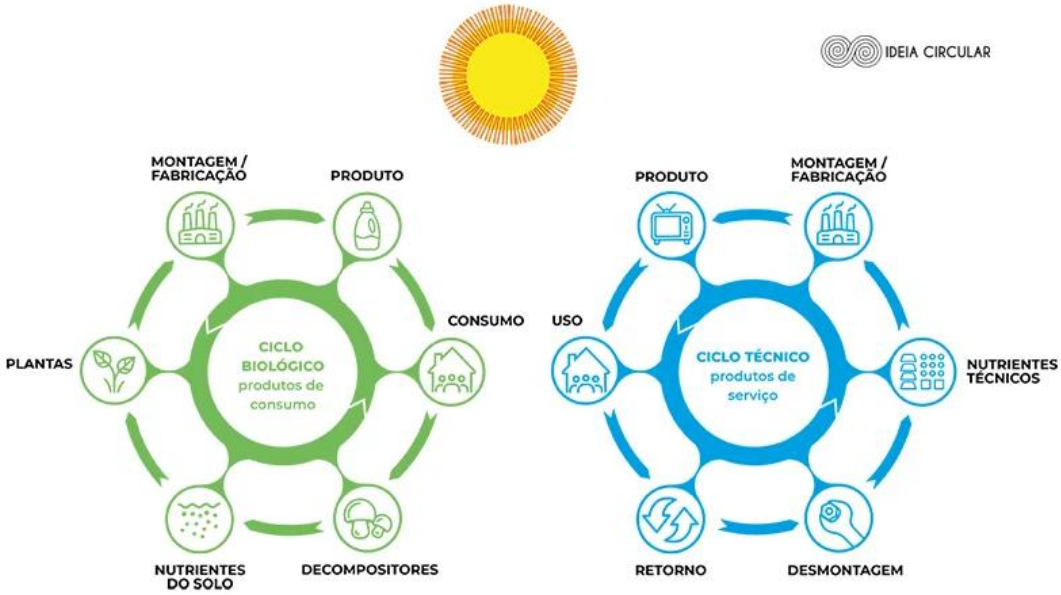
Ciclos biológicos, ou biosfera: São os ciclos da natureza. O material ou produto é transformado para retornar e se degradar no ambiente. É consumido pelo solo, micro-organismos e demais seres vivos.

Ciclos Técnicos, ou tecnosfera: São os ciclos das indústrias. Tem origem de fontes não renováveis, desta maneira não são produzidos continuamente pela natureza. Por exemplo os metais. Esses recursos devem ser projetados para retornar ao ciclo técnico.

Fonte: Seabra Filho (2022)

A *Cradle to Cradle* propôs um sistema destes ciclos que não devem se cruzar para que o fluxo possa ser saudável e contínuo. Na Figura 8, pode-se acompanhar os ciclos dos recursos.

Figura 8 - Ciclo Biológico – Ciclo técnico



Fonte: Ciclo Cradle [...] (2021)

Ao observar a Figura 8, percebe-se que os ciclos não se cruzam. No ciclo biológico, os materiais produzidos são naturalmente absorvidos pelos organismos decompositores, transformando-se novamente em nutrientes que alimentam as plantas. Esses nutrientes são então processados pelas indústrias, resultando em novos produtos destinados ao consumo. Tudo isto gera um fluxo saudável e contínuo. Já no processo do ciclo técnico, o produto é caracterizado como um Serviço que ao invés de ser encaminhado para um aterro sanitário, as indústrias transformadoras se preocupam em recuperar este produto e separar os seus

componentes para que eles sejam novos nutrientes e se tornem novos produtos, garantindo um fluxo contínuo e evitando a extração de matéria-prima (Seabra Filho, 2022).

Em 2010, Michael Braungart e William McDonough, percebendo a necessidade de ampliar a ação do C2C, criaram uma certificação para produtos que seguissem os princípios *Cradle to Cradle Products Innovation Institute*[4]. Na Figura 9, pode ser visto a marca desta certificação, que é o padrão global para produtos seguros, circulares e feitos com responsabilidade.

Figura 9 - *Cradle to Cradle Certified®*

Fonte: Cradle [...] (2021)

No site da C2C[5], encontramos os princípios desse modelo para se conseguir a certificação, são eles:

a) **saúde dos materiais:** valorizar os materiais como nutrientes para ciclos seguros e contínuos, tanto para os seres humanos quanto para o meio ambiente. Conhecer os componentes químicos dos materiais em um produto, identificar quais os nutrientes biológicos e os técnicos compreendendo os riscos químicos possíveis;
b) **reutilização de materiais:** manter fluxos ininterruptos de nutrientes biológicos e técnicos, permitindo uma circularidade de produtos regenerativos. Desenvolver produtos com materiais que retornem com segurança ou para a natureza ou para a indústria através do ciclo. Maximizando o uso de materiais rapidamente renováveis. Uma das estratégias para isso é criando um “bom” design;

[4] Instituto sem fins lucrativos que administra o padrão de produtos *Cradle to Cradle Certified* ™.
[5] Site oficial disponível em: https://c2cservices.com.br/. Acesso em: 4 fev. 2025.

c) **energia renovável:** impulsionar todas as operações com energia 100% renovável. Proteger o ar limpo e reduzindo emissões nocivas numa perspectiva que no futuro toda a fabricação seja alimentada por energia renovável e limpa;
d) **manejo da água e do solo:** tratar a água como um recurso precioso mantendo-a limpa e garantindo solos saudáveis, ou seja, avaliar os impactos relacionados a cada instalação e consumo de água na indústria, para que nenhum produto químico contamine as águas e o solo;
e) **justiça social:** celebrar todos os sistemas pessoais e naturais. respeitando os direitos humanos e contribuindo para uma sociedade mais justa e equitativa. Honrar todas as pessoas e sistemas naturais envolvidos no processo de vida do produto, fazendo uma diferença positiva na vida de todos os envolvidos desde a produção até as comunidades locais.

Compreendendo os movimentos que surgiram antes da definição de EC como se conhece hoje, podemos nos aprofundar em parte do trabalho da pesquisadora Catherine Weetman (2019), que desenvolveu um framework da "cadeia de design e suprimentos" com o objetivo de pensar em estratégias para criar um design de produto e um design de processo com fluxos circulares.

2.3 Cadeia de Design e Suprimentos

Com todos esses conceitos anteriores e os novos pensamentos sobre EC, a *Open Source* Circular *Economy* pode apresentar a definição construída através de contribuições coletivas.

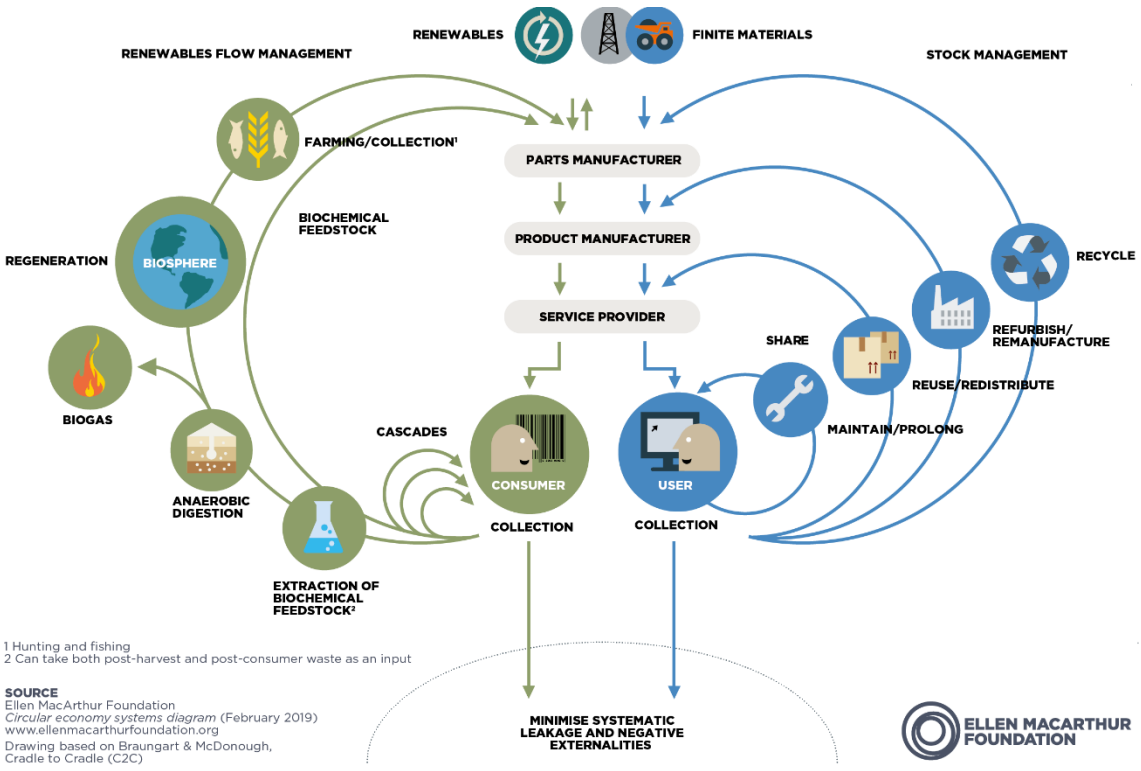
> A **Economia Circular** é o conceito de uma economia verdadeiramente sustentável que funciona sem desperdício, economiza recursos e está em sinergia com a biosfera. Ao invés de ver as emissões, subprodutos ou bens danificados e indesejados como 'resíduos', na economia circular eles se tornam matéria-prima, nutrientes para um novo ciclo produtivo (OSCE Days, [20--], tradução própria, grifo próprio).

Partindo deste conceito, a Autora Catherine Weetman (2019), criou o *framework* "Cadeia de Design e Suprimentos". Entretanto, é sugerido, pela própria autora, que sejam alinhados a definição de alguns termos para que seja possível compreender melhor e mais profundamente o *framework* que está alinhado aos princípios da Economia Circular. Os termos são:

a) **nutrientes:** são definidos como materiais que irão “nutrir” o processo ou o produto. Eles podem ser classificados de duas maneiras: a primeira como “Nutrientes Biológicos”, que são materiais da biosfera, por exemplo, materiais naturais como fibras de plantas, algodão, madeira, couro, entre outros. São geralmente seguros e não tóxicos, retornando e se decompondo ao solo no fim do uso; A segunda classificação são os “Nutrientes técnicos”, que são minerados ou extraídos da crosta terrestre, por exemplo, combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás, petroquímicos e derivados, além desses, os metais e minerais também são considerados como nutrientes técnicos. Embora parte destes nutrientes tenham sidos criados de maneira natural, sua formação levou milhares e até milhões de anos, o que não os torna renováveis de maneira prática;

b) **loops:** os *Loops* utilizados aqui são exemplificados no modelo de economia circular de Ellen MacArthur Foundation, conhecido também como “diagrama borboleta”. Este modelo é dividido em dois, o lado técnico e o lado biológico. Na Figura 10, podemos ver esse modelo esquematizado.

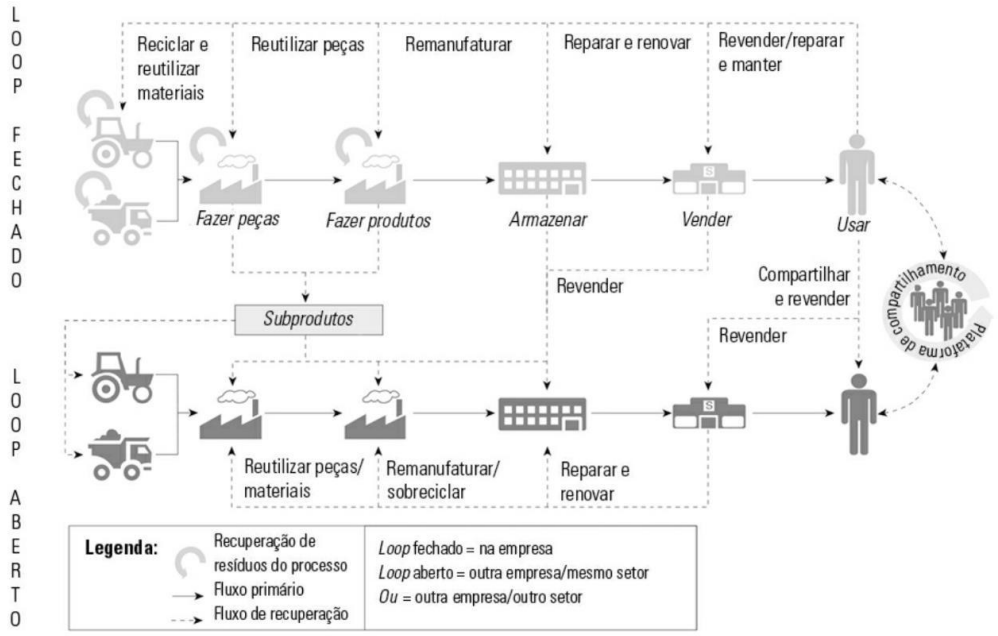
Figura 10 - Diagrama borboleta



Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2019)

Para fechar o entendimento sobre os *loops*, pode-se classificá-los de duas formas: loop fechado, quando acontece dentro de uma mesma empresa e loop aberto quando ele transita entre empresas e outros setores. Para ilustrar este entendimento podemos observar a Figura 11, que mostra um fluxo dos loops fechado e aberto e como eles podem se conectar.

Figura 11 - Tipos de Loops



Fonte: Weetman (2015)

c) **materiais:** são os nutrientes primários (biológicos ou técnicos). Estes nutrientes podem ser colhidos, minerados, extraídos e até mesmos refinados. Por exemplo, ferro, carvão, granito, areia, madeira, animais, frutas, fibras de plantas, leite, gorduras;

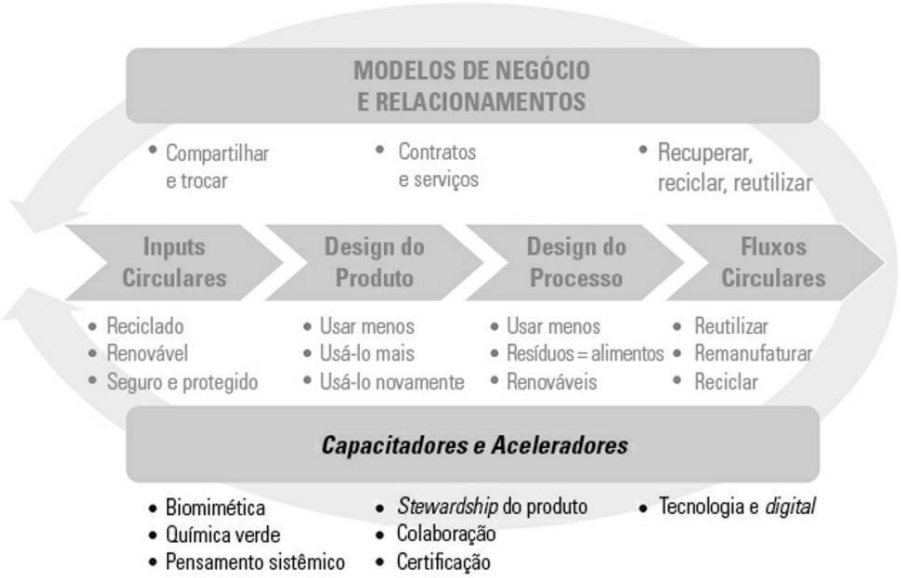
d) **inputs de processos:** são os itens usados na cadeia de suprimentos ou no processo de fabricação que não fazem parte do produto final, tais como: a energia, a água, materiais de limpeza, produtos químicos utilizados no processo de fabricação, embalagens para transporte, entre outros;

e) **compostos:** são a mistura de ingredientes ou elementos que são unidos em partes pré-determinadas de maneira química. Por vezes são necessários processos adicionais que envolvem calor e/ou água e/ou algum agente químico para que a reação aconteça. Uma liga metálica ou uma simples mistura de sucos de fruta para produzir uma bebida são exemplos de compostos;

f) **componentes:** são as partes de um conjunto ou subconjunto que forma o produto final. Normalmente são partes que podem ser retiradas, como por exemplo, um motor de um eletrodoméstico ou uma memória de um laptop;
g) **produtos:** são o objetivo final do processo, é o resultado esperado. Pode ser formado por um único material ou por vários, ter componentes e compostos. É o artefato consumido pelo usuário final.

Com este alinhamento dos termos, a seguir, na Figura 12, é apresentado o *framework* "Cadeia de Design e Suprimentos" desenvolvido por Catherine Weetman em 2015.

Figura 12 - Framework "cadeia de design e suprimentos"



Fonte: Weetman (2015)

No *framework* são apresentados quatro blocos principais: os *Inputs* Circulares, Design do Produto, Design do Processo e Fluxos Circulares. Em cada um dos blocos são dadas diretrizes de circularidade. Além desses, há dois grandes quadros onde são apresentados os modelos de negócios e os capacitores e aceleradores da Economia Circular. A seguir, descreve-se cada um dos quadros para melhor compreensão da lente utilizada:

a) ***inputs* circulares**: compreende os materiais usados na cadeia de suprimentos que fazem parte do produto final. As diretrizes são de utilizar materiais que sejam reciclados, renováveis, seguros e protegidos;

— reciclados: a ideia é substituir os materiais virgens por materiais reciclados que cumpram com o mesmo papel, uma boa maneira de se conseguir é através de empresas que fornecem materiais reciclados para que se possa criar um produto;

— renováveis: é possível pensar em um projeto que os materiais são renováveis em vez de materiais finitos? Qual a rapidez de renovação desse sejam *inputs*? Muitas vezes podemos encontrar inputs em materiais residuais de plantações de alimentos, o que é preferível do que criar uma própria plantação exclusiva para este *input*;

— seguro e protegido: o uso dos inputs não deve gerar risco a nossa saúde (seres humanos) e a outros seres vivos. O uso destes materiais, extração ou fabricação não deve gerar toxinas ou outros perigos para nós. Além disso, é importante considerar a "segurança do recurso", verificando se ele pode ficar escasso devido a conflitos geopolíticos, desastres naturais ou se ele é restrito a apenas uma região. É importante sempre ter um plano alternativo que possa substituir este material, desta forma, o projeto não será inviabilizado;

b) **design do produto**: o projeto deve ser positivo em todo o ciclo de vida e no seu pós-consumo gerando um "bom design" e se distanciando da falácia de um "design menos ruim". As diretrizes são de usar menos; usá-lo mais; e usá-lo novamente;

— usar menos: projetar de modo a eliminar o desperdício de materiais ou inputs em todas as etapas de desenvolvimento. Utilizar materiais reciclados e reduzir o uso de materiais virgens;

— usá-lo mais: desenvolver um produto que seja durável com alta qualidade. Que tenha possibilidade de ser consertado, reparado e até atualizado, possuindo componentes que sejam reutilizados, remanufaturados ou reciclados. Planejar a forma de uso para que ele possa, se possível, ser compartilhado ou alugado de maneira a estender sua utilidade e intensidade de uso;

— usá-lo novamente: pensar na forma de tornar o produto, ao fim de suas possibilidades de uso, de ser desmontado e separado em nutrientes técnicos e biológicos gerando novos inputs. Como criar um "bom design" que gere menos trabalho de separação dos nutrientes e inputs do

processo? Uma maneira é projetar produtos com menos complexidade e menos compostos, evitando também a mistura de nutrientes biológicos e técnicos. Isto pode, além de facilitar a separação dos nutrientes ao fim da vida, reduzir os custos de produção;

c) **design do processo**: a atenção deve ser voltada para as etapas de produção, concebendo um projeto de produção que utilize menos água, energia e outros materiais que necessitem ser utilizados. As diretrizes são novamente de usar menos; resíduos=alimentos; e renováveis;
    - — usar menos: é aplicar eficiência dos recursos ao processo de produção. Tentar eliminar inputs e utilizar menos outros;
    - — resíduos = alimentos: nesta etapa a proposta é realizar a reciclagem (através de loops fechados), recuperar inputs técnicos para reutilizar e aproveitar ao máximo os inputs biológicos;
    - — renováveis: utilizar os inputs renováveis e evitar os inputs finitos. Devemos pensar em utilizar inputs de processos biológicos em substituição aos inputs de compostos químicos, principalmente os compostos que podem ser perigosos aos seres humanos e seres vivos; "Criar loops fechados" de água e energia e "loops abertos" com outras empresas para os subprodutos gerados que não são interessantes para o processo;
d) **fluxos circulares**: o foco é dar prioridade para loops internos, pensando em como manter mais tempo o produto em uso e as possibilidades de realizar manutenções e atualizações nele. Os objetivos desta etapa são: Reutilizar, remanufaturar e reciclar;
    - — reutilizar: devemos utilizar materiais para que os produtos tenham mais durabilidade. Pensar em sistemas para fazer a manutenção dos produtos de preferência sem a necessidade de custos logísticos. Além disso, desenvolver maneiras que os próprios usuários possam fazer essa manutenção e/ou atualizações, através de vídeos, orientações e manuais fáceis de compreender. Caso o produto seja muito complexo e exija equipamentos e pessoas especializadas, é necessário que a empresa ofereça trabalho de manutenção em campo. Outra solução é criar designs modulares desta forma, os usuários são encorajados a trocar apenas partes do equipamento;

— remanufaturar: é uma das opções para aumentar o valor. Renovar o produto através de melhorias estéticas e funcionais garante que ainda ocorra uma relação econômica e que os materiais permaneçam em uso por mais tempo;

— reciclar: devemos nos preocupar em criar um produto que, ao fim do seu ciclo de uso - que deve ser o máximo possível -, possa ser recuperado em todos os seus materiais, para garantir que este produto não seja descartado de maneira indevida. A ideia é tentar criar algo que seja, ao final do seu uso, benéfico de alguma maneira e não algo ruim para o mundo;

e) **modelos de negócio**: são as formas como as instituições se organizam e planejam para promover seus empreendimentos a um estágio de rentabilidade. Há vários motivos para tentar implementar modelos que favoreçam a economia circular quando se observa que atualmente há uma tendência de se afastar da ideia de propriedade tradicional e dos sistemas de transacionais, em que o produto é vendido para o cliente, e uma aproximação dos modelos voltados para o consumo colaborativo e sistemas produto-serviço, onde o resultado é a parte mais importante;

f) **capacitadores e aceleradores**: os capacitadores são os agentes internos ao processo que podem ser as tecnologias e o pensamento criativo/disruptivo do modo tradicional de gerar rentabilidade. Os aceleradores são os agentes externos, que podem ser: a colaboração e compartilhamento entre instituições (empresas, projetos, indústrias); as certificações que ajudam a estabelecer padrões; e a responsabilidade estendida ao produtor sobre o produto criado que pode ser através de legislações ou incentivos.

A "Cadeia de Design e Suprimentos Circular" é mais complexa do que a tradicional "Cadeia de Design e Suprimentos Linear", pois visa compreender desde a origem dos materiais até o pós-uso do produto, além disso, se preocupa com os métodos e processos dos seus parceiros e fornecedores para que também estejam alinhados ao pensamento circular. A "Cadeia de Design e Suprimentos Circular" visa a um sucesso para o futuro que pretende: a) reduzir custos operacionais; b) diminuir os riscos dos recursos; c) oferecer bens e serviços mais seguros e saudáveis; d) contribuir para a restauração do ecossistema; e) fabricar produtos desejáveis, bem desenhados e duráveis; e e) por fim, desenvolver um bom design que seja durável, desejado e comprometido com a economia e a sociedade (Weetman, 2019).

Dentro da perspectiva das tecnologias e o pensamento sistêmico serem considerados capacitores da EC, podemos incluir os Espaços *Maker* educacionais e o Movimento *Maker* como potenciais agregadores para a conversão da EL para EC. A seguir, serão apresentados esses conceitos e desdobramentos.

2.4 Espaços Maker Educacionais e o Movimento Maker

Os Espaços *Maker* Educacionais emergem como uma ferramenta pedagógica significativa, proporcionando ambientes que estimulam a criatividade, a inovação e o aprendizado prático. Estes espaços são locais onde estudantes podem experimentar, criar e colaborar em projetos, utilizando diversas tecnologias e materiais.

Hoje muito é falado que estamos diante da Terceira Revolução Industrial. As tecnologias e ferramentas de fabricação digital estão sendo disseminadas em diversos locais, coisa que, anteriormente, eram restritas as indústrias especializadas, tais como a aeroespacial e a automotiva. Entretanto, tais tecnologias estão presentes agora em diversas instituições de ensino e pesquisa nas áreas de design e arquitetura (Lopes, 2019). O *Makerspace* pode conter máquinas de costura, impressoras 3D, equipamentos de marcenaria, corte a laser, fresadoras Controle Numérico Computadorizado (CNC), computadores entre outras tecnologias e ferramentas que estão atreladas ao Movimento *Maker* (Roslund; Rodgers, 2013).

Para compreender o surgimento do "Movimento *Maker*" é necessário lembrar de alguns movimentos como o movimento *Do It Yourself* (DIY), ou seja, "Faça-Você-Mesmo", que surge como uma contracultura dos anos 60, contrariando o mercado e o consumismo neoliberal, entretanto, como quase tudo, foi absorvido posteriormente por ele. Além deste, também surgiram os *hackerspaces*, que eram uma versão eletrônica que uniam jovens, em espaços de compartilhamento, com computadores pessoais em contraponto as grandes empresas de informática (Lopes, 2019).

Os Espaços *Maker*, também conhecidos como *Fab Labs* ou *hackerspaces*, têm suas raízes no movimento DIY e na cultura *hacker* dos anos 1990. No contexto educacional, esses espaços começaram a ganhar destaque no início dos anos 2000, impulsionados pela necessidade de reformar a educação através da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM) e pela popularização das tecnologias de fabricação digital.

O DIY se distanciou dos seus ideais iniciais de contraponto ao mercado e os projetos dos *Fab Labs*, que são considerados ambientes despolitizados, pois desenvolvem uma cultura majoritariamente tecnicista e sem conexão com as demandas sociais, diferente do que é

declarado pelos seus principais autores. Entretanto, é inegável sua importância para a disseminação e ascensão do "Movimento *Maker*" para a sociedade (Lopes, 2019).

Uma referência dos *makerspaces* ou Espaços *Maker* são os *Fab Labs*, criados, a partir, dos resultados da pesquisa do professor Neil Gershenfeld sobre como utilizar a fabricação digital para fabricar (quase) qualquer coisa. A ideia era transformar *Bits* em átomos. Através desta pesquisa, em 2001 foi criado o *Center For Bits and Atmos* (CBA) um centro de pesquisa dentro do *Media LAB* no MIT. Desta maneira, em 2002 surge o primeiro *Fab Lab*, o S*outh End Technology Center*, com um inventário baseado no CBA, com insumos e máquinas de fabricação digital (Abiko *et al.*, 2019).

A criação do primeiro F*ab Lab* no MIT é frequentemente citada como um marco na história dos Espaços *Maker*. Desde então, a ideia se espalhou globalmente, influenciando instituições educacionais a adotarem e adaptarem esses espaços para atender às necessidades de seus estudantes (Gershenfeld, 2005).

O *Fab Lab* surgiu da ideia de que se uma máquina de baixo custo tiver um funcionamento similar a uma de altíssimo custo, o aprendizado entre elas será parecido. Com isto foi possível popularizar entre jovens de baixa renda a fabricação digital, ajudando na formação técnica. Esta experiencia deu certo e hoje já são cerca de 1650 *Fab Labs* pelo mundo. Desta forma, a fabricação personalizada e em comunidade mostrou que problemas locais podem ser resolvidos com ajuda desses espaços e replicados em outros locais (Abiko *et al.*, 2019).

Espaços *Maker* educacionais são, portanto, ambientes de aprendizado colaborativo equipados com ferramentas e tecnologias diversas, incluindo impressoras 3D, cortadoras a laser, kits de robótica, eletrônica e materiais de construção. A finalidade principal desses espaços é facilitar a aprendizagem prática e interdisciplinar, permitindo que os estudantes transformem ideias em protótipos tangíveis.

Esses espaços incentivam o aprendizado ativo, onde os estudantes são desafiados a resolver problemas reais através da experimentação e do design. Eles promovem habilidades como pensamento crítico, resolução de problemas, colaboração e inovação, preparando os estudantes para os desafios do século XXI (Martinez; Stager, 2013).

O Movimento *Maker* vem ganhando muita força em diversas instituições, em especial nas voltadas para o ensino. Esta força vem muitas vezes através da "moda" ou "onda" de implementação dos Espaços *Maker.* Alguns autores defendem que a mão na massa proporcionada por estes espaços muda a forma de ensinar e aprender. O ensino linear do processo de ensino tradicional dá espaço para o aprender fazendo através da superação de desafios didáticos (Rossi; Gonçalves; Moon, 2019).

Diante disso, o Movimento *Maker* foi desenvolvido sobre o fundamento do construcionismo, que é a filosofia do aprendizado através da construção prática das coisas. O construcionismo baseia-se nos princípios de aprendizagem construtivistas, ou seja, o aprendiz deve iniciar o seu processo de aprendizagem de maneira pessoal, o professor atua como guia, baseando suas abordagens na investigação e desenvolvimento do conhecimento nos processos de pensamento (Kurti; Kurti; Flemng, 2014).

Acompanhar e entender os avanços da comunidade *maker* tem sido bastante estudado nos últimos anos, entretanto, muita coisa acontece longe dos muros da academia. Muitos dos conhecimentos são discutidos em fóruns *on-line* e em grupos de aplicativos de mensagens por pessoas interessadas em tecnologias. A criação de artefatos e produtos acontece em uma velocidade muito rápida e de maneira compartilhada.

Diante deste cenário, surge a necessidade de um design em tempo real. O designer muda o processo de desenvolvimento do produto ele passa a desenhar o tempo e não mais só o espaço. O surgimento do Artesão Digital, que cria conhecimentos novos e os compartilha, tece o tempo nas redes. Cria-se assim, uma nova camada para a atuação do designer (Rossi; Gonçalves; Moon, 2019). Estas novas formas de abertura, a inclusão e o ativismo digital, que orquestram o codesign e embasam as práticas do Movimento *Maker*.

Uma das perguntas que a academia deve se fazer é: como vamos ensinar design diante deste cenário que se desenha? O professor Dr. Dorival Rossi levanta este questionamento e fala da transdisciplinaridade como método em que as partes se juntam para formar um terceiro ainda desconhecido e alavancado pela tecnologia. Para o docente, o processo é o produto e o projeto é um processo contínuo que encontra espaço nas tecnologias digitais emergentes para se materializar, numa conexão entre corpo, mente e máquina. Antes os movimentos eram de separar, categorizar, estratificar as partes e hoje o esforço é voltado para reunir, agrupar, agregar e juntar. Não da maneira convencional de formar uma unidade ou um inteiro, mas sim nas estratégias de como reconectar as partes para formar um "mundo novo", um artefato complexo e emergente sintonizado a nova realidade. (Rossi; Gonçalves; Moon, 2019)

Ainda para Dorival Rossi, o homem anteriormente se distanciou do processo de fazer o artefato ele mesmo. O DIY aproxima o pensar e fazer juntos, fazer enquanto pensa e pensar enquanto faz e, sair do processo linear para um pensamento mais criativo através de mapas rizomáticos. Boa parte dos teóricos que estudam nessa linha temática concordam que se aprende muito mais vivenciando, experimentando e criando, pois este processo envolve o corpo, a mente e, agora, as máquinas dos Espaços *Maker*.

No artigo dos professores Gonçalves e Rossi (2019) intitulado “Se a Filosofia é Maker a Metodologia é Hacker”, abordam-se alguns pontos de quando a metodologia *hacker* está integrada com a filosofia *maker*, são eles:

> Trabalhar de forma horizontal, coletiva, não remunerada e em aprendizado por pares: aprender é o que motiva e leva a desenvolver e integrar uma comunidade hacker; - Estar disposto ao enfrentamento de novos projetos: “não saber fazer” não é um pretexto para desistir. O “eu sei” oscila com o “não sei” a cada mudança de atividade dentro de um mesmo projeto, e isso leva a uma maior cooperação entre hackers, à inversão sobre o conceito de “propriedade” e aos makers adotarem o selo de “creative commons”, ou seja, obras criativas que permitem a cópia e o compartilhamento com menos restrições; - Lidar com mudanças em tempo real: como lidar com desafios constantes? Uma hora mais técnico, e outra hora criativo. Uma hora mais integrado com o conhecimento e outras horas descobrir outros espaços de integração, fazendo o que está ao alcance; - Importante alteração do termo “propriedade”, pela troca e mudança de valor, para o termo “compartilhamento”: O compartilhamento provoca a transformação, desde o “eu sei”, como do “eu quero”, e consequentemente, do “eu tenho”. Este exercício contribui essencialmente à quebra de paradigmas.

Assim, o *maker* é considerar e compreender a situação ontológica para não se deixar cair exclusivamente ao raciocínio técnico e reducionista. É compreender que o mundo pode ser transformado incorporando o apoio, o compartilhamento, a doação, o fazer, a mudança e a participação. O homem agora colabora, cria e fabrica em qualquer lugar, apoiado pela fabricação digital e tecnologias. O produto *maker* é compartilhado instantaneamente *on-line*. Diante desta grande quantidade de conhecimento produzida em tempo real que é compartilhado nas redes estamos diante do Design *Now* ou “Design do Agora” (Rossi; Gonçalves; Moon, 2019).

> [...] Fab Lab pode ser visto como um conceito que visa extrapolar o universo do conhecimento pelo viés da sua aplicação voltada ao bem comum e ao conhecimento em rede a fim de gerar bens e serviços não suportados pela indústria local e impulsionados pelo design através da inovação, fruto de estudos sobre processos direcionados a esse objetivo. As tecnologias em um laboratório acadêmico de fabricação digital nessa concepção devem ingressar numa dimensão maior do que a instrumentalidade técnica, uma distopia comumente compartilhada à ideia de função e à própria imersão irrefletida no cotidiano de uso na era digital (Cunha, 2019).

Espaços *Maker* Educacionais devem estar comprometidos com a real e primordial característica do “Fazedor”, que é o compromisso com as causas sociais, a educação, o compartilhamento de conhecimento, a participação social, a criatividade e o desenvolvimento

econômico sustentável. Desta forma, estará alinhado e contribuindo com os avanços desta revolução que está diante dos nossos olhos e garantindo que ela seja voltada para o benefício de todos respeitando as suas diferenças.

O propósito dos Espaços *Maker* Educacionais vai além da simples aquisição de conhecimentos técnicos. Esses espaços visam desenvolver uma mentalidade *maker* nos estudantes, caracterizada por uma abordagem proativa e curiosa em relação ao aprendizado e à resolução de problemas. Os principais propósitos incluem:

a) fomentar a criatividade e a inovação: proporcionar um ambiente onde os estudantes podem explorar novas ideias e tecnologias, incentivando a inovação (Davies, 2017);
b) desenvolver habilidades técnicas e digitais: ensinar aos estudantes como usar ferramentas e tecnologias modernas, preparando-os para carreiras futuras em STEM (Bevins; Deyoe, 2016);
c) promover a aprendizagem colaborativa: facilitar a colaboração entre estudantes de diferentes disciplinas, permitindo a troca de conhecimentos e o desenvolvimento de projetos interdisciplinares (Prendeville *et al*., 2017);
d) incentivar a resolução de problemas: desenvolver nos estudantes a capacidade de identificar e resolver problemas de maneira criativa e eficaz (Kohtala, 2016);
e) promover a sustentabilidade: incentivar práticas de reutilização e reciclagem de materiais, bem como o desenvolvimento de soluções sustentáveis (Unterfrauner *et al*., 2019).

Além disso, os Espaços *Maker* Educacionais são fundamentados em vários pilares essenciais que orientam suas práticas e objetivos:

a) aprendizagem ativa: estimular os estudantes a aprenderem fazendo, através da experimentação e da construção de projetos reais (Beltagui; Kunz; Gold, 2020);
b) interdisciplinaridade: integrar diversas áreas do conhecimento, promovendo uma abordagem holística e integrada ao aprendizado (Beltagui *et al*., 2021);
c) colaboração e comunidade: fomentar a cooperação entre estudantes, professores e a comunidade, criando uma rede de suporte e compartilhamento de conhecimento (Spekkink *et al*., 2022);

d) sustentabilidade: encorajar práticas sustentáveis, como a reutilização de materiais e a consideração dos impactos ambientais na criação de projetos (Unterfrauner *et al*., 2019).

Estes ambientes representam uma evolução significativa no campo da educação, oferecendo um ambiente que promove a criatividade, a inovação e a aprendizagem prática. De acordo com suas características, as práticas sustentáveis devem estar intrínsecas a esses espaços, preparando os estudantes para enfrentar os desafios do futuro de maneira colaborativa e interdisciplinar, formando uma nova geração de inovadores e solucionadores de problemas.

Os Espaços *Maker* apresentam aplicações da Materialização Digital, pois os seus elementos geralmente são um conjunto de equipamentos flexíveis que são controlados por computador e que podem produzir diferentes tipos de artefatos com escalas e materiais diferentes. Sendo assim, abordaremos o conceito de Materialização digital na seção a seguir.

2.5 Materialização Digital

A Materialidade Digital caracteriza-se pela precisão, ou seja, é um processo de concepção e desenvolvimento que tem em todos os seus detalhes um controle computacional. Esse processo está ligado a possibilidade de criar objetos, processos e/ou projetos que expressem materialidade através de dados dentro do ambiente virtual, apresentando propriedades que anteriormente só poderiam ser investigadas através do objeto físico real. Desta forma, a abordagem da Materialização Digital engloba todo o processo de Materialidade Digital, Prototipagem Rápida e Fabricação Digital, sendo a ideia do Digital ao material totalmente controlada por sistemas digitais (Cunha, 2019; Medeiros; Braviano, 2017).

A Prototipagem Rápida é um termo utilizado para os processos geralmente relacionados à manufatura aditiva que são aplicados para a produção de artefatos tanto na fase de protótipos quanto para produtos finais. A Fabricação Digital engloba os processos de impressão 3D, corte a laser e usinagem que se destinam a elaboração de protótipos e/ou peças finais, variado com o tipo de material, acabamento e escala (Medeiros; Braviano, 2017).

Nos últimos anos as tecnologias de Fabricação Digital e o estudo de novos materiais para serem utilizados como insumos se tornaram crescentes e presentes no processo de materialização e produção em design. Criar e produzir artefatos na atualidade está ligado, principalmente, ao planejamento de representações virtuais, que são os desenhos e modelos do projeto e que serão materializados com o uso de sistemas *Computer-Aided Design* (Projeto

Assistido por Computador)/*Computer-Aided Manufactoring* (Fabricação Assistida por Computador), conhecido por (CAD/CAM), como afirma Cunha (2019):

> À medida que máquinas computacionais disponíveis fornecem novas oportunidades para os designers trabalharem com materiais reais, em escala real, a distinção entre projeto e fabricação, por esse prisma, deve ser reconsiderada em ambientes digitais que se tornam mediadores entre os processos de concepção, representação e materialização [...].

Esse processo de Materialização Digital se difere dos antigos métodos de produção em massa, justamente pelo fato da produção baseada em modelos tridimensionais digitais que é executada com tecnologias de fabricação digital não ser destinada a fazer apenas cópias idênticas de um mesmo artefato. Esta produção pode ser realizada com sistemas adaptáveis para produzir um leque de formas diferentes. Este novo processo é chamado de "*mass customization*" ou customização em massa (Pupo, 2008).

A Materialização Digital está aproximando os designers aos processos de manufatura digital, o criador – o processo – e a criação dando ao designer a responsabilidade em todas as etapas do planejamento, da boa execução e das funções do produto garantindo a ele um controle total e ao mesmo tempo uma nova forma de operar o projeto (Orciuoli, 2012).

Com as tecnologias de Fabricação Digital presentes nos Espaços *Maker*, como as impressoras 3D, cortadoras a laser e fresadoras CNC que contribuem para a materialização customizada em massa, projeta-se que essa agilidade na produção e antecipação do produto final resulte em novos conceitos de produtos e também em novas formas de se conceber, tendo em vista que os problemas referentes a forma e a construção dos artefatos poderão ser solucionados de maneira antecipada (Cunha, 2019).

Entende-se que geralmente estes espaços não produzem em larga escala de maneira que possa competir com a indústria tradicional, mas apresentam potencial para criar soluções locais e comprometidas com a individualidade dos usuários (Orciuoli, 2012).

Compreendendo que o conceito de Materialização Digital está interligado às tecnologias de Fabricação Digital, iremos abordar na próxima seção a definição destes conceitos e formas de manufatura.

2.6 Tecnologias de Fabricação Digital

As tecnologias de Fabricação Digital revolucionaram a maneira como produtos são projetados, prototipados e fabricados. Entre essas tecnologias, destacam-se a manufatura

aditiva, a manufatura subtrativa e a manufatura conformativa. Cada uma dessas abordagens possui características únicas que as tornam adequadas para diferentes aplicações e setores. Esta seção explora essas tecnologias, suas aplicações e seus impactos.

As tecnologias de Fabricação Digital desempenham um papel vital na modernização da produção industrial. Cada tecnologia possui suas vantagens específicas e áreas de aplicação, contribuindo para a eficiência, sustentabilidade e inovação na manufatura. As tecnologias utilizadas nos Espaços *Maker* Educacionais são diversas e frequentemente atualizadas para acompanhar os avanços tecnológicos. As principais incluem: a) impressoras 3D, essenciais para a prototipagem rápida, permitem a criação de objetos tridimensionais a partir de modelos digitais (Beltagui; Kunz; Gold, 2020); b) cortadoras a laser, utilizadas para cortar e gravar materiais como madeira, acrílico e metal com alta precisão; c) kits de robótica, facilitam o aprendizado de programação e engenharia, permitindo que os estudantes construam e programem seus próprios robôs; e d) kits de eletrônica, inclui componentes como *Arduino* e *Raspberry Pi*, que são utilizados para criar projetos eletrônicos interativos (Unterfrauner *et al*., 2019).

Pupo (2009) afirma ser muito clara a revolução que a era digital vem provocando no processo de concepção e produção de um projeto. Essas mudanças puderam ser percebidas a partir da introdução dos sistemas CAD/CAM na arquitetura, por exemplo, e mais recentemente a sua aplicação para a fabricação digital, que a partir da utilização de códigos permite a produção de um modelo impresso, até a construção de um projeto em sua etapa final em três dimensões.

A autora apresenta a Fabricação Digital como qualquer tecnologia que desenvolve objetos físicos a partir de modelo digital tridimensional em CAD que são executados sem a necessidade de nenhum tipo de assistência humana e que seu propósito seja o produto final (Pupo, 2009).

As tecnologias de Fabricação Digital são consideradas ferramentas com grande potencial, pois permitem a redução dos custos da produção e do tempo, aumentando a qualidade do produto final. Uma das características na aplicação dessas tecnologias é permitir a produção de peças em pequena escala com a possibilidade de customização, ou seja, ter uma produção restrita à real necessidade colabora com esta ideia ao esclarecer que tais tecnologias permitem a confecção de peças distintas, especializadas, capazes de atender a necessidades muito específicas, independente da produção industrial (Seabra *et al.*, 2021).

Dentre estas tecnologias há basicamente três classificações: 1) os sistemas subtrativos, tais como, as cortadoras a laser e as máquinas de CNC, que trabalham através da retirada de

material por meio de desbaste ou corte; 2) o sistema formativo, de maneira geral, o artefato é feito através de um molde no qual o material se ajusta e conforma; e 3) o sistema aditivo que tem como princípio a sobreposição de camadas até a formação de um objeto tridimensional. Este sistema pode ser subdivido de acordo com o material e se popularizou no que conhecemos como impressão 3D (Pupo, 2008). Nas seções 2.6.1 a 2.6.3 são aprofundados os conceitos descritos.

2.6.1 Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva, envolve a construção de objetos camada por camada a partir de um modelo digital. Essa tecnologia permite a criação de geometrias complexas que seriam difíceis ou impossíveis de obter por métodos tradicionais. Alguns termos são utilizados para definir esse princípio, tais como: Prototipagem Rápida; Manufatura por Camada; Manufatura Rápida; Manufatura de Bancada; Fabricação de Forma Livre; Manufatura Instantânea; Manufatura Digital Direta; Manufatura Acrescentando Material.

Entretanto, segundo Volpato (2007), o termo mais aceito pela comunidade científica e parte da indústria tem sido Manufatura Aditiva (AM)[6] e/ou simplesmente Impressão 3D como é popularmente conhecida.

Nos estudos de Mineiro (2016), com base nos trabalhos de Gershenfeld (2005), Hopkinson, Hague e Dickens (2006), Gibson, Rosen e Stucker (2010), Lipson e Kurman (2013), foi elaborado uma lista de características da impressão 3D, estas seguem descritas a seguir:

a) complexidade de forma livre, que permite a configuração de peças com geometrias complexas, sem que ocorra diferenças relevantes no custo e tempo de produção;
b) produção de diferentes artefatos em um mesmo ciclo de produção sem prejudicar os custos e viabilizando a customização em massa;
c) não utiliza ferramental, ajustes e configurações complexas e praticamente não possui trabalho de pós-produção;
d) algumas tecnologias apresentam impressão de conjuntos montados em um único ciclo de produção, apenas com a remoção de excesso de material de suporte;
e) construção de peças, que em processos de fabricação convencionais precisam ser montadas por peças separadas, são construídas em uma única geometria;

[6] No inglês, *Additive Manufacturing*.

f) produção multimaterial. Em algumas impressoras são utilizados mais de um material em um mesmo ciclo de produção. Desta maneira, desenvolvem um produto que pode ter diferentes características físicas, mecânicas, ópticas e elétricas. Permitindo que a manufatura aditiva faça parte do processo de customização de produtos em larga escala.

Nos estudos sobre as Tecnologias de Prototipagem (PR) rápida, do projeto Plástico Precioso do laboratório GREA3D, que contribuem para a redução de uso de matéria prima na produção, o uso dessas tecnologias permite o desenvolvimento de testes e protótipos em menor escala. Entretanto, foi observado neste mesmo estudo que as atividades do laboratório Grea3D geram uma quantidade significativa de resíduos decorrentes das sobras e suportes oriundos do uso das impressoras 3D e cortadora a laser (Manrique *et al.*, 2019).

De acordo com Pupo (2008), a manufatura aditiva pode ser subdividida de acordo com o tipo de material utilizado: a) sólidos, como a Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e a Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)[7]; b) líquidos, como a Estereolitografia (SLA) e a *Digital Light Processing* (DLP); ou em c) lâminas, como a Fabricação de Objetos Laminados (LOM). Cada uma dessas técnicas oferece diferentes resoluções e acabamentos, adaptando-se a uma variedade de aplicações, desde protótipos funcionais até peças finais em construção. Entretanto as mais popularizadas e utilizadas nos Espaços *Maker* são a FDM e a Impressão de Resina (DLP)[8]:

a) FDM: é a tecnologia de impressão 3D mais comum, utilizando filamentos de termoplástico que são derretidos e extrudados camada por camada. É amplamente utilizada devido ao seu custo relativamente baixo e simplicidade;
b) DLP: utiliza um projetor digital para curar cada camada de resina de uma só vez. O projetor projeta a imagem da camada inteira em um único flash de luz, solidificando toda a área da camada simultaneamente.

Para Volpato (2007), o DLP possui alta resolução e qualidade de detalhes, e oferece uma maior velocidade de impressão. No entanto, a impressão DLP requer cuidados especiais no manuseio das resinas e processos de pós-cura.

Por outro lado, a tecnologia FDM é a forma mais popular de manufatura aditiva, especialmente em ambientes educacionais e de pequeno porte. Nessa técnica, um filamento de

[7] No inglês, *Fused Deposition Modeling.*
[8] No inglês, *Digital Light Processing*.

termoplástico é aquecido até o ponto de fusão e extrudado através de um bico, que deposita o material camada por camada para formar o objeto desejado.

Os materiais mais comuns para impressão 3D FDM incluem Ácido Polilático (PLA), Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e Tereftalato de Polietileno Glicol-Modificado (PETG). Esses materiais são escolhidos devido às suas propriedades mecânicas, térmicas e ambientais. PLA é conhecido por ser biodegradável e de fácil utilização, enquanto ABS oferece maior resistência e durabilidade.

A impressão 3D FDM é amplamente utilizada em prototipagem rápida, permitindo que designers e engenheiros criem e testem modelos físicos rapidamente. Além disso, é utilizada na fabricação de peças personalizadas, pequenas séries de produção e ferramentas funcionais.

Segundo Beltagui, Kunz e Gold (2020), a manufatura aditiva possibilita a utilização de materiais reciclados, contribuindo para a sustentabilidade e a Economia Circular. A manufatura aditiva é amplamente utilizada em diversas indústrias, como a automotiva, aeroespacial, médica e de consumo. Entre suas principais aplicações estão a prototipagem rápida, fabricação de componentes personalizados e produção de pequenas séries de produtos. Esta tecnologia permite a produção sob demanda, reduzindo a necessidade de estoques e minimizando o desperdício de materiais.

Unterfrauner *et al*. (2019) destacam que a impressão 3D tem um impacto significativo na redução de desperdícios e no aumento da eficiência de materiais, alinhando-se com os princípios da Economia Circular. A possibilidade de reciclar e reutilizar materiais na impressão 3D também contribui para a sustentabilidade ambiental.

Nos laboratórios *maker* educacionais, a escolha da tecnologia de impressão 3D depende das necessidades específicas do projeto, do orçamento disponível e do nível de complexidade desejado. O FDM é amplamente utilizado por sua simplicidade e acessibilidade, enquanto o SLA e o DLP são preferidos para trabalhos que requerem alta precisão e detalhes finos.

2.6.2 Manufatura Subtrativa

A manufatura subtrativa, como o próprio nome sugere, é um processo de fabricação que envolve a remoção de material de um bloco sólido para obter a forma desejada. Esse método é amplamente utilizado em laboratórios *maker* educacionais devido à sua capacidade de criar peças com alta precisão e acabamento, sendo ideal para aplicações que exigem componentes funcionais e detalhados. A seguir, são descritos os principais tipos de manufatura subtrativa encontrados nesses ambientes.

a) **corte a laser**: é uma das tecnologias subtrativas mais populares em laboratórios *maker*. Este processo utiliza um feixe de laser altamente concentrado para cortar e gravar materiais como madeira, acrílico, MDF, papelão, entre outros. A principal vantagem do corte a laser é sua precisão e a capacidade de cortar formas complexas com bordas limpas, o que é especialmente útil na fabricação de modelos arquitetônicos, componentes eletrônicos e peças personalizadas.

   Segundo Lima (2016), o corte a laser ganhou destaque na era da Terceira Revolução Industrial, tornando-se uma ferramenta essencial em ambientes *maker*, permitindo a criação de produtos complexos de maneira rápida e eficiente. A popularidade dessa tecnologia em laboratórios educacionais deve-se ao seu fácil manuseio e à versatilidade de materiais que podem ser utilizados;

b) **máquinas (*router* e fresadora) de CNC**: é outro equipamento presente nos laboratórios *maker*. Ela opera removendo material de um bloco ou chapa por meio de ferramentas rotativas, seguindo um caminho determinado por um programa de computador. Este processo permite a criação de peças com alta precisão e complexidade, sendo amplamente utilizado na fabricação de moldes, peças mecânicas e estruturas de madeira. De acordo com Pupo (2008), as máquinas de CNC são fundamentais na prototipagem rápida, especialmente quando se busca precisão e repetibilidade em projetos educacionais. A fresadora CNC permite o trabalho com uma variedade de materiais, incluindo madeira, MDF, plástico e metais, o que amplia significativamente as possibilidades de criação dentro dos laboratórios *maker*.

A usinagem CNC é utilizada para criar peças que exigem alta precisão e consistência, como moldes de injeção, componentes de motores e instrumentos médicos. Unterfrauner *et al*. (2019) destacam que a usinagem CNC é crucial para a produção de componentes de alta qualidade e precisão, contribuindo para a eficiência e sustentabilidade da manufatura.

A manufatura subtrativa é fundamental na indústria manufatureira devido à sua precisão e capacidade de produzir peças de alta qualidade. Spekkink *et al*. (2022) destacam que essas tecnologias são essenciais para a produção de componentes que exigem alta precisão e acabamento superficial refinado, contribuindo para a fabricação eficiente e sustentável.

A capacidade de cortar e moldar materiais com precisão permite a produção de componentes complexos com tolerâncias rigorosas, essenciais para indústrias como a

automotiva, aeroespacial e de equipamentos médicos. É ideal para criar peças detalhadas com bordas limpas e precisas.

2.6.3 Manufatura Conformativa

A manufatura conformativa, também conhecida como conformação, é um processo que molda materiais em formas desejadas sem a adição ou remoção de material. Este método é particularmente valioso em laboratórios maker educacionais, onde a experimentação com formas e materiais é incentivada. Será descrito apenas o processo de termoformagem que é o principal encontrado nos Espaços *Maker*.

Segundo Pupo (2008), a termoformagem é uma das tecnologias formativas mais acessíveis e é comumente encontrada em Espaços *Maker* devido à sua simplicidade e eficácia na produção de peças moldadas. A capacidade de utilizar diferentes tipos de plásticos, como ABS, PETG e PVC, faz desta técnica uma escolha versátil para a educação em design e fabricação.

A Termoformagem (*Vacuum Forming*) é uma técnica amplamente utilizada em laboratórios *maker*, onde uma folha de plástico é aquecida até que se torne maleável e, em seguida, moldada sobre um molde por meio de sucção a vácuo. Esse processo é simples, econômico e ideal para a criação de protótipos, embalagens e componentes de baixo custo.

De acordo com Pupo (2008), a termoformagem é particularmente popular em espaços educacionais devido à facilidade com que pode ser integrada em atividades de aprendizado prático. A simplicidade do processo permite que estudantes de diversas áreas, como design, engenharia e arquitetura, compreendam e utilizem a técnica rapidamente.

Ainda segundo as mesmas autoras, a capacidade de trabalhar com diferentes tipos de plásticos amplia as possibilidades de criação e experimentação em laboratórios *maker*. Isso faz da termoformagem uma ferramenta essencial para o aprendizado, pois os estudantes podem explorar como diferentes materiais se comportam durante o processo de conformação, adquirindo assim um entendimento mais profundo sobre as propriedades dos materiais.

A termoformagem é a principal tecnologia de manufatura conformativa utilizada em laboratórios *maker* educacionais devido à sua simplicidade, versatilidade e baixo custo. Sua capacidade de moldar uma variedade de materiais plásticos de maneira eficiente e econômica a torna uma ferramenta importante para o aprendizado prático e experimental. Como uma tecnologia acessível e eficaz, a termoformagem permite que os estudantes desenvolvam uma

compreensão profunda dos processos de fabricação, preparando-os para enfrentar desafios técnicos e criativos em seus futuros projetos profissionais.

O referencial teórico apresentado oferece uma visão das definições e desdobramentos da Economia Circular, dos Espaços *Maker* Educacionais e das Tecnologias de Fabricação Digital, evidenciando a necessidade de um novo paradigma econômico e educativo que valorize a sustentabilidade e a inovação. Ao entender como esses conceitos se articulam, é possível vislumbrar o potencial transformador dessas abordagens na formação de uma nova geração de criadores conscientes e na promoção de práticas sustentáveis.

3 TRAJETÓRIA METODOLÓGICA

Para garantir a robustez metodológica da pesquisa, a seleção dos dados seguiu critérios bem definidos e alinhados aos objetivos do estudo. Primeiramente, adotou-se uma abordagem combinada entre métodos qualitativos e quantitativos, visando ampliar a compreensão dos impactos da Economia Circular em Espaços *Maker* Educacionais. O processo de análise de dados envolveu três eixos principais: 1) observação sistemática de atividades educacionais e práticas *maker*, registradas em diários de bordo e vídeos, permitindo identificar padrões de comportamento e aplicação dos conceitos; 2) análise de conteúdo de respostas fornecidas em questionários, organizadas segundo critérios de criatividade, sustentabilidade e aplicabilidade, conforme sistematizado por Franco (2018); e 3) triangulação metodológica, conforme proposto por Minayo (2014), correlacionando dados de diferentes fontes para aumentar a validade das conclusões.

Os critérios de seleção dos estudos para a Revisão Sistemática também foram definidos para garantir a relevância e qualidade da fundamentação teórica. O protocolo de pesquisa seguiu as diretrizes de Kitchenham e Charters (2007), utilizando critérios de inclusão e exclusão baseados em palavras-chave, relevância temática e acessibilidade dos materiais. Foram priorizados artigos que apresentassem discussões sobre "Economia Circular", "Espaços *Maker*" e "Design Circular" em seu título, resumo ou palavras-chave, garantindo alinhamento com o foco do estudo. Além disso, trabalhos sem resumo, duplicados, de baixa relevância ou sem acesso público foram excluídos. Esse processo metodológico permitiu estruturar a pesquisa com base em evidências sólidas e garantir que as análises e discussões fossem embasadas em estudos científicos consistentes.

Esta seção descreve a metodologia adotada para explorar, compreender e avaliar a Economia Circular em Espaços *Maker*, concentrando-se em atender o objetivo geral e objetivos específicos desta tese. A trajetória metodológica escolhida almeja uma investigação aprofundada das práticas atuais e pretende fornecer *insights* sobre a eficácia das intervenções neste sentido.

A pesquisa propõe um estudo que parte de um(a): a) Mapeamento Sistemático (MS) da bibliografia; b) elaboração de um curso para professores formadores; c) avaliação do impacto deste curso no desenvolvimento de projetos dentro dos Espaços *Maker* Educacionais; e d) proposição de diretrizes de design alinhadas aos princípios da Economia Circular para estes espaços.

A investigação parte de observações e experiências empíricas, por meio de um estudo de interações com fenômenos sociais. Para estruturar este documento fez-se necessário um planejamento metodológico baseado em uma: a) pesquisa exploratória e descritiva segundo os objetivos; b) de natureza qualitativa; c) utilizando o MS; d) a pesquisa bibliográfica; e) o estudo de caso; f) o questionário como instrumento de coleta de dados; e g) a análise de conteúdo, em que o autor participou do processo de execução e interatuou com os indivíduos e instituições envolvidos.

Com base nisso, foram delineadas as estratégias de pesquisa e as técnicas de coleta e análise de dados para este estudo de acordo com o Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 – Resumo do percurso metodológico

<table>
<tr><th>PROBLEMA DE PESQUISA</th><th>OBJETIVO GERAL</th><th>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</th><th>ESTRATÉGIAS DA PESQUISA</th></tr>
<tr><td rowspan="11">Como os princípios da Economia Circular podem ser incorporados nos Espaços Maker educacionais para fomentar o desenvolvimento de projetos circulares, com ênfase na materialização digital?</td><td rowspan="11">Investigar a inserção dos princípios da Economia Circular nos Espaços Maker educacionais sobre o desenvolvimento de projetos circulares, com ênfase na materialização digital</td><td>Identificar como os princípios da Economia Circular são atualmente aplicados em projetos desenvolvidos nos Espaços Maker educacionais</td><td>Mapeamento Sistemático</td></tr>
<tr><td>Propor um curso de formação em Economia Circular em Espaços Maker para professores formadores da rede pública de ensino básico do estado de Pernambuco</td><td>Diretrizes do Edital FACEPE</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Avaliar o impacto do curso no desenvolvimento de projetos dentro desses espaços</td><td>Estudo de Caso</td></tr>
<tr><td>Observação das vídeo aulas (síncronas e assíncronas)</td></tr>
<tr><td>Diário de Bordo</td></tr>
<tr><td>Questionário de avaliação</td></tr>
<tr><td>Avaliação das atividades e projetos</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Desenvolver diretrizes de design alinhadas com os princípios da Economia Circular, adaptadas às particularidades dos Espaços Maker Educacionais</td><td>Resultados das Análises</td></tr>
<tr><td>Lições apreendidas</td></tr>
</table>

Fonte: O autor (2024)

Desta forma, neste trabalho são apresentados teorias, discussões, experimentos e estudos que envolvem a aplicação da Economia Circular em Espaços *Maker* Educacionais, com o uso de tecnologias digitais, para sugerir a atuação dos usuários desses espaços como orquestradores no processo de desenvolvimento de projetos circulares.

3.1 Caracterização da pesquisa

A pesquisa tem uma natureza **qualitativa**, visto que apresenta um caráter subjetivo a ser utilizado no desenvolvimento das análises, com foco nos temas de estudo, "[...] que faz referência mais a seus fundamentos epistemológicos do que propriamente a especificidades metodológicas" (Severino, 2013). Esse caráter é pertinente ao indivíduo ou para alguns grupos explorarem, a partir de problemáticas visualizadas em áreas como social, político, cultural, ambiental, entre outras, com a finalidade de promover sugestões e soluções. Vale ressaltar que essa natureza qualitativa não impede o uso de dados quantitativos, que possam agregar valor e contribuir para tomada de decisões ao longo do desenvolvimento da pesquisa

O estudo, de acordo com seus objetivos, é considerado **exploratório** (Severino, 2013), sendo conduzido por meio do mapeamento sistemático da literatura sobre a tríade de "Design – Espaço *Maker* – Economia Circular". Esse método busca apresentar ideias e discussões em cima dessas relações com o propósito extrair e responder o problema de pesquisa, de modo que seus resultados possam ser utilizados por designers, *makers*, professores, estudantes e usuários dos Espaços *Maker*.

O **estudo de caso** se caracteriza pelo aprofundado e exaustivo estudo sobre determinado assunto, delimitado por tempo e lugar, buscando sua generalização (Assis, 2007). No presente caso, a pesquisa aborda o projeto desenvolvido em parceria com a Secretaria de Ciência e Tecnologia de Pernambuco para o desenvolvido de laboratórios nas escolas do estado. Por meio das fontes de informações, como observação, registros, questionários e material audiovisual, buscou-se compreender, em profundidade, os limites e as possibilidades desses espaços na aplicação do conhecimento adquirido no curso.

Na elaboração desta pesquisa, realizou-se o **Mapeamento Sistemático** e partes dos procedimentos de **Revisão Sistemática** com o objetivo de identificar, classificar e sintetizar a literatura existente sobre Economia Circular em Espaços *Maker*. O MS é uma abordagem metodologicamente bem definida, amplamente utilizada para revisar estudos primários, proporcionando uma visão geral de uma área de pesquisa específica e auxiliando na

identificação de lacunas na literatura (Kitchenham; Budgen; Brereton, 2011; Kitchenham; Charters, 2007; Petersen *et al*., 2008; Petersen; Vakkalanka; Kuzniarz, 2015).

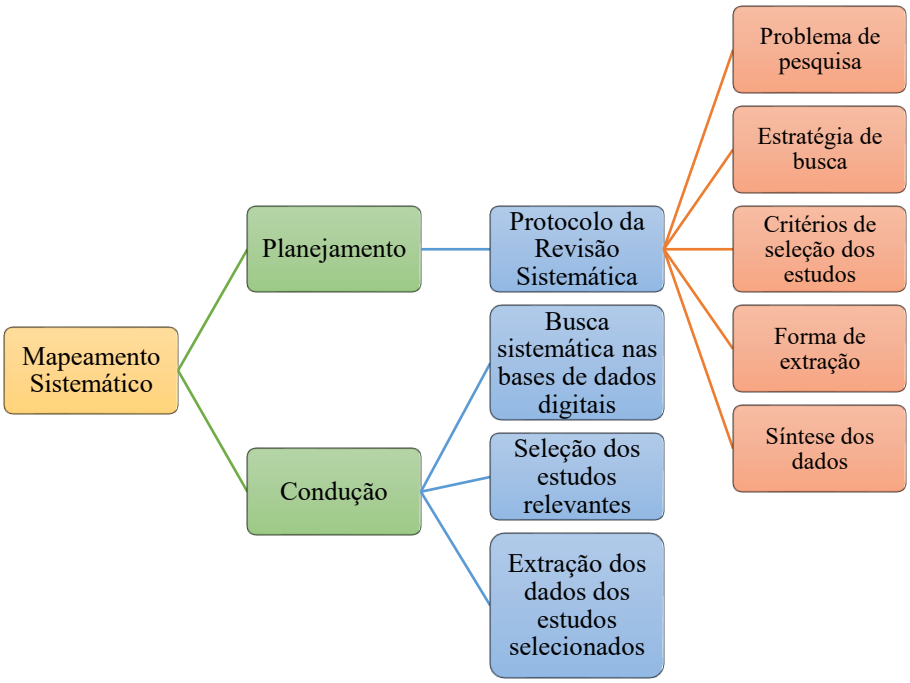
Após a coleta dos materiais, foram realizadas as etapas da pré-análise e exploração do material da **Análise de Conteúdo** conforme proposto por Bardin (2008) e Franco (2018), com o objetivo de identificar temas, padrões e lacunas na literatura existente. Esta análise ajudou a refinar o foco da pesquisa e a formular questões de pesquisa mais direcionadas. É válido acrescentar que Franco (2018) foi utilizado para avaliar o impacto do curso sob três critérios, a saber: criatividade, sustentabilidade e aplicabilidade. A análise de Bardin (2008) concentrou-se na parte da revisão sistemática.

3.2 Mapeamento Sistemático

A escolha do Mapeamento Sistemático como método para construção do referencial teórico deve-se à sua capacidade de fornecer uma estrutura abrangente e não tendenciosa dos estudos existentes, o que é fundamental para garantir a qualidade e a validade dos resultados obtidos (Budgen *et al*., 2008; Kitchenham *et al*., 2010; Wohlin *et al*., 2013). O MS permite não apenas a identificação de clusters de pesquisa, que podem ser apropriados para estudos mais detalhados por meio de RS, mas também a descoberta de subtópicos que necessitam de maior investigação (Kitchenham; Brereton; Budgen, 2012).

O processo de MS envolveu três fases principais: 1) Planejamento da Revisão; 2) Condução da Revisão; e 3) Publicação dos Resultados (Kitchenham; Charters, 2007). Durante a fase de planejamento (seção 3.2.1), definiu-se o protocolo da revisão, especificando o problema de pesquisa, a estratégia de busca, os critérios de seleção dos estudos e a forma de extração e síntese dos dados. A fase de condução (seção 3.2.2) incluiu a busca sistemática em bases de dados digitais, a seleção dos estudos relevantes mediante critérios rigorosos e a extração dos dados dos estudos selecionados (Figura 13). Finalmente, os resultados foram organizados e apresentados em forma de tabelas e gráficos, permitindo uma visão clara e detalhada das tendências e lacunas existentes na pesquisa sobre Economia Circular em Espaços *Maker*.

Figura 13 – Esboço do Mapeamento Sistemático



Fonte: O autor (2024)

Para o prosseguimento do Mapeamento foi utilizada uma parte do protocolo da Revisão Sistemática (RS), conforme descrita por Kitchenham e Charters (2007), a qual foi fundamental para identificar, classificar e sintetizar a literatura existente sobre Economia Circular em Espaços *Maker*, proporcionando uma visão abrangente e estruturada do estado da arte neste campo de estudo.

O uso de parte do protocolo da RS permitiu uma análise detalhada das publicações científicas, investigando a consistência ou contradição dos resultados e sintetizando as evidências disponíveis. Através de um protocolo de busca e seleção de estudos primários, foram considerados critérios de inclusão e exclusão que garantiram a relevância e a qualidade das pesquisas incorporadas ao referencial teórico. Além disso, essa metodologia possibilitou a utilização de dados provenientes da *Scopus* e *ScienceDirect*, assegurando uma cobertura abrangente e uma base sólida para as análises subsequentes.

Assim, o uso da RS não só estruturou a base teórica deste trabalho, mas também garantiu que as pesquisas utilizadas fossem pertinentes e atualizadas, contribuindo para a robustez e a credibilidade das conclusões apresentadas. Estes estudos forneceram as diretrizes metodológicas e os critérios necessários para a execução de uma revisão sistemática e detalhada, assegurando a integridade e a validade dos resultados apresentados neste referencial teórico.

Esta revisão teve como objetivo fazer um levantamento do que se está discutindo sobre Espaços *Maker*, Economia Circular e Design. O objetivo é entender as lacunas e direcionamentos apontados que irão contribuir para o desenvolvimento da pesquisa.

A RS mapeou, avaliou e revisou os principais estudos, utilizando o programa *State of the Art Through Sytematic Review* (START) produzido pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

3.2.1 Planejamento

Seguindo o protocolo da RS, realizou-se a primeira etapa que consiste no planejamento da revisão. Nesta fase, foram estabelecidas as questões de pesquisa, que buscam atingir os objetivos para entender como está o estado da arte envolvendo os temas desta tese. Procurou-se identificar:

a) os locais e datas de publicações;
b) quais aspectos eram enfocados do ponto de vista do design, da economia circular e dos Espaços *Maker;*
c) qual tipo de pesquisa foi realizado e quais métodos foram utilizados;
d) quais os principais problemas;
e) quais as principais lacunas e possibilidades de estudo futuro;
f) que tipos de tecnologias foram utilizadas;
g) quais principais resultados e conclusões foram obtidos.

Foi realizada uma pesquisa para visualizar como estão as publicações relacionadas ao tema desta tese. Para isto, foram selecionadas duas bases de dados, a saber: *Scopus* e *ScienceDirect*. Nessas bases, foram pesquisados termos específicos, por meio de uma sequência de palavras que deveriam ser encontradas no título, resumo ou palavras-chave das publicações.

Importante esclarecer que não foi utilizada a base de dados de teses da CAPES porque não foram encontrados trabalhos que se encaixassem nos critérios da pesquisa em desenvolvimento, o que reafirma o contexto inovador para o país de uma pesquisa neste foco. Também não foi utilizado o *Google Scholar*, pois foi verificado que esta base de dados apresenta uma dificuldade de reprodutibilidade e auditabilidade por outros pesquisadores e por oferecer resultados excessivamente abrangentes e sem um filtro refinado.

A sequência de termos inseridos na pesquisa foi estrategicamente definida para assegurar que os resultados fossem relevantes e compreendam as áreas centrais da investigação.

A sequência de termos inseridos na pesquisa é apresentada no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2 - Sequência de termos inseridos na pesquisa inicial

(“*circular economy*” OR “*circular design*”) AND (“*makerspace”* OR “*fablab”*) AND “design”

Fonte: O autor (2024)

"*circular economy*" OR "*circular design*" são termos fundamentais para garantir que a pesquisa aborde os conceitos centrais da Economia Circular e do Design Circular, os quais estão no cerne do trabalho. "*circular economy*" refere-se ao sistema econômico que promove a redução de desperdício e o uso contínuo de recursos e "Circular design" expande o conceito para o campo do design, explorando como os produtos e serviços podem ser concebidos para se alinhar aos princípios da circularidade.

“*makerspace*” OR “*fablab*” foram escolhidos para abranger as principais designações de espaços *maker*, garantindo que a busca contemple estudos relacionados a esses ambientes criativos e colaborativos. "*makerspace*" é o termo genérico, enquanto "*fablab*" (*Fabrication Laboratory*) é um tipo específico e globalmente reconhecido de Espaço *Maker*. Outros termos que se referem a espaços similares foram descartados, pois apresentavam resultados que não satisfaziam o objetivo da pesquisa.

E por fim, o termo “design” foi essencial para refinar os resultados, assegurando que os trabalhos identificados estivessem diretamente relacionados à prática de design. Isso é relevante porque a pesquisa foca na interseção entre Economia Circular e Design em Espaços *Maker*.

A escolha dessa sequência e dos termos buscou equilibrar abrangência e especificidade, permitindo que a revisão da literatura seja focada e relevante. Ou seja, isso garante que: a) o levantamento bibliográfico inclua trabalhos que tratam da aplicação da Economia Circular no contexto dos Espaços *Maker*; b) considera diferentes denominações e conceitos utilizados na literatura internacional e nacional, reduzindo o risco de exclusão de trabalhos importantes; e c) facilita a identificação de interseções específicas entre Design, Economia Circular e Espaços *Maker*.

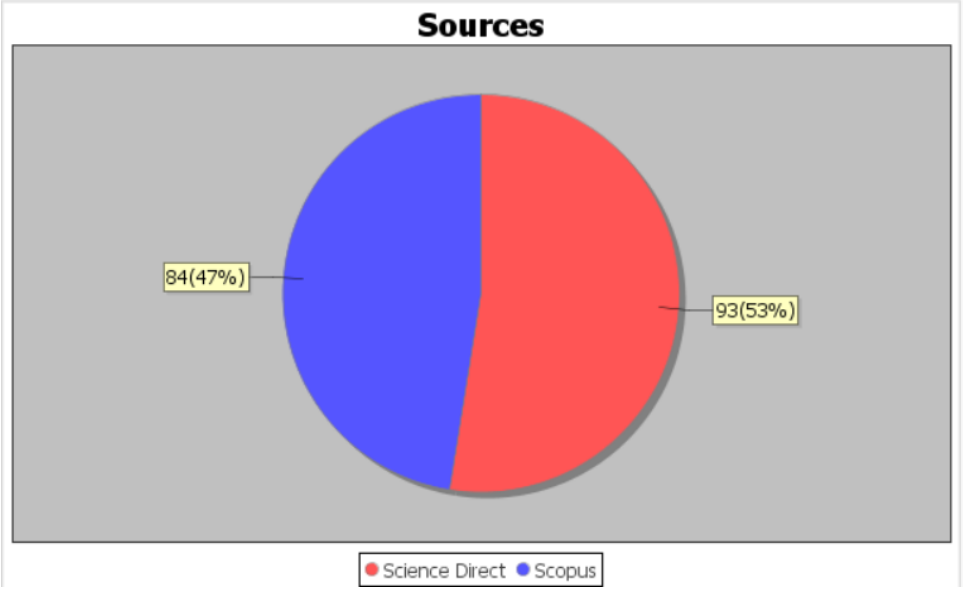
Dessa forma, atendendo ao objetivo e à necessidade de um mapeamento sistemático, buscou-se aumentar a qualidade e a relevância das informações coletadas sobre publicações que abordam os termos Espaço *Maker* ou Fablab, em relação aos termos Design e Economia Circular.

3.2.2 Condução

No MS foram encontradas 184 publicações, das quais 7 foram encontradas em ambas as bases de dados, resultando em um total de 177 publicações.

Das bases selecionadas, a *Science Direct* obteve 53% dos artigos, totalizando 93 publicações, e a *Scopus* obteve 47%, totalizando 84 publicações. Conforme pode ser visto no Gráfico 1 a seguir:

Gráfico 1 – Distribuição das pesquisas por base de dados



Fonte: O autor com base no programa *StArt* (2024)

Dentre esses artigos, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão. O processo seguiu duas etapas, conforme proposto pelo programa START: seleção e extração. Na etapa de seleção, dos 177 artigos inicialmente identificados, 74 foram selecionados com base na análise do título, palavras-chave e resumo de cada publicação.

A seguir, o Quadro 3 apresenta os critérios de inclusão e exclusão utilizados.

Quadro 3 - Critérios de inclusão e exclusão

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	
Termos no título, resumo e palavras-chave	Artigos que apresentam palavras-chave no título, resumo e palavras-chave
Resultados relevantes	O estudo apresenta resultados que impactam nos temas referentes às palavras-chave
CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	
Ausência de resumo	O estudo não apresenta resumo
Estudo duplicado	Estudo duplicado
Versão antiga	O estudo é uma versão mais antiga de outro estudo já considerado
Acesso ao estudo	Não foi possível ter acesso ao estudo
Idioma	Artigo não está escrito em inglês
Relevância ao tema	O estudo não corresponde à Economia Circular sendo aplicada e/ou apoiada pelos Espaços *Maker*
Publicação apenas como resumo	O estudo é publicado apenas como resumo

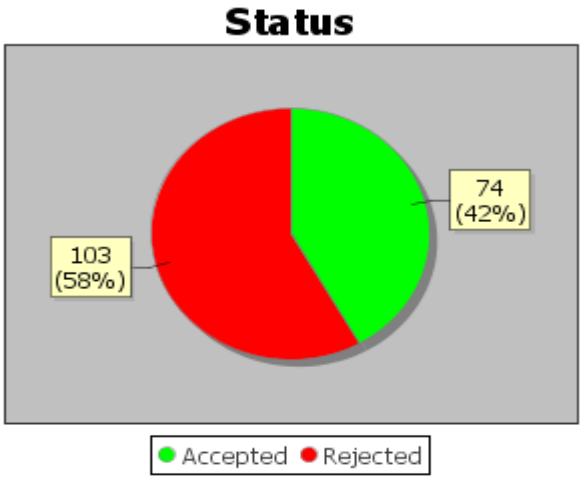
Fonte: O autor com base no programa *StArt* (2024)

Os critérios de inclusão e exclusão foram elaborados para garantir a relevância, qualidade e coerência dos estudos selecionados na revisão sistemática, alinhando-se com os objetivos da pesquisa sobre a aplicação dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais. Os critérios de inclusão priorizam artigos que apresentaram os termos "*circular economy*", "circular design", "*makerspace*" e "*fablab*" no título, resumo ou palavras-chave, assegurando que os trabalhos estejam diretamente relacionados aos temas centrais da tese. Ademais, a inclusão de resultados relevantes foi necessária para focar em estudos que apresentem contribuições significativas e aplicáveis, fornecendo a base empírica essencial para as análises e proposições da pesquisa.

Por outro lado, os critérios de exclusão foram estabelecidos para evitar redundâncias e estudos de baixa qualidade. Foram excluídos artigos sem resumo, versões duplicadas ou antigas, bem como publicações em idiomas distintos do inglês e aquelas com acesso restrito. A escolha de artigos publicados exclusivamente em inglês deve-se ao fato de que esta é a língua predominante na produção acadêmica internacional, garantindo maior abrangência e visibilidade das pesquisas selecionadas. Trabalhos publicados apenas como resumos também foram descartados por não apresentarem informações metodológicas suficientes. Além disso, estudos não alinhados ao tema central – a aplicação da EC nos Espaços *Maker* – foram excluídos para garantir o foco e a coerência do levantamento. A revisão adotou que caso o artigo tivesse algum critério de exclusão, não seria selecionado. Para que o artigo fosse selecionado, deveria ter ao menos um dos critérios de inclusão.

O Gráfico 2 mostra na etapa de seleção as 74 publicações que foram analisadas mais detalhadamente na fase de extração, seguindo o método da Revisão Sistemática da Literatura.

Gráfico 2 - Etapa de seleção

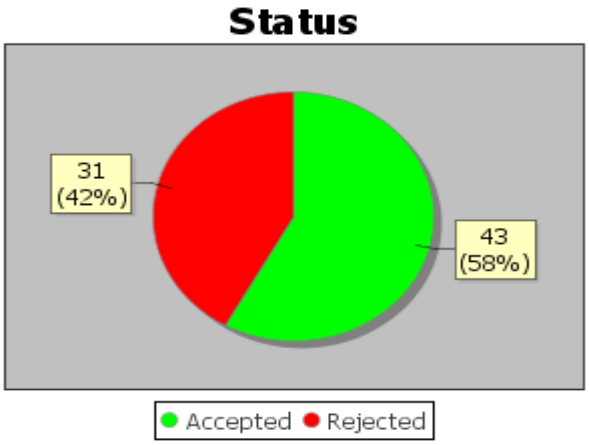


Fonte: O autor com base no programa *StArt* (2024)

Posteriormente, foi realizada a etapa de extração dos dados, na qual os 74 artigos selecionados foram analisados de forma mais criteriosa. Inicialmente, foram lidos todos os resumos para identificar a aderência dos estudos aos três temas centrais desta tese: Economia Circular, Espaços *Maker* e Materialização Digital. Em casos específicos, quando o resumo não era suficiente para confirmar a relevância do estudo, o texto completo do artigo foi explorado com maior profundidade, a fim de verificar se apresentava contribuições significativas e impacto real sobre os temas abordados.

O objetivo dessa etapa foi assegurar que apenas artigos com conteúdos alinhados aos critérios e objetivos da pesquisa fossem selecionados para análise final. Como resultado dessa avaliação detalhada, 43 publicações foram extraídas e consideradas pertinentes, conforme apresentado no Gráfico 3 a seguir.

Gráfico 3- Etapa de extração



Fonte: O autor através do programa *StArt* (2024)

Foram selecionados 18 trabalhos da base *ScienceDirect* e 25 da base *Scopus*, totalizando 43 publicações. O Quadro 4 apresenta a lista dos trabalhos selecionados.

Quadro 4 – Publicações coletadas do Mapeamento Sistemático

TÍTULO	AUTORES	ANO
Hybrid Makerspaces and Networks for the Circular City: a case study of Leuven, Belgium	SCHRODER, Ingrid ELWAKIL, Reham STEEMERS, Koen	2024
Hangprinter for large scale additive manufacturing using fused particle fabrication with recycled plastic and continuous feeding	RATTAN, Ravneet S. NAUTA, Nathan ROMANI, Alessia PEARCE, Joshua M.	2023
Impact of Maker Movement on the Urban Resilience Development: Assessment Methodology and Analysis of EU Research and Innovation Projects	MONACO, Lina HERCE, Carlos	2023
Innovation management of three-dimensional printing (3DP) technology: disclosing insights from existing literature and determining future research streams	MARIĆ, Josip OPAZO-BASÁEZ, Marco VLAČIĆ, Božidar DABIĆ, Marina	2023
Life cycle assessment of filament production in distributed plastic recycling via additive manufacturing	CACERES-MENDOZA, Cristian SANTANDER-TAPIA, Pavlo CRUZ SANCHEZ, Fabio A. TROUSSIER, Nadège CAMARGO, Mauricio BOUDAOUD, Hakim	2023
Making sustainability transitions in collaborative spaces of making: exploring opportunities and limitations in Turin	BRANDELLERO, Amanda NIUTTA, Anna	2023
Open source as an enabler for circularity: a systematic literature review	BEHNERT, Anna-Kristin ARLINGHAUS, Julia	2023

Putting 3D printing to good use - Additive Manufacturing and the Sustainable Development Goals	MUTH, Jonathan KLUNKER, Andre VÖLLMECKE, Christina	2023
Towards Circular Design and Manufacturing - Lessons Learned from University-Based Makerspaces	HONKALA, Tanja HÖLTTÄ-OTTO, Katja KÄHKÖNEN, Elina	2023
Circular Makerspaces as entrepreneurship platforms for smart and sustainable cities	PREMYANOV, Nikolay METTA, Julie ANGELIDOU, Margarita TSONIOTIS, Nikolaos POLITIS, Christos ATHANASIADOU, Elli Roma TSOLAKIS, Apostolos C.	2022
Creating a Circular Design Workspace: lessons learned from setting up a “Bio-Makerspace”	VUYLSTEKE, Bert DUMON, Louise DETAND, Jan OSTUZZI, Francesca	2022
Large-scale robotic extrusion-based additive manufacturing with living mycelium materials	ELSACKER, Elise PEETERS, Eveline DE LAET, Lars	2022
Make it a circular city: experiences and challenges from European cities striving for sustainability through promoting circular making	COSKUN, Aykut METTA, Julie BAKIRLIOĞLU, Yekta ÇAY, Damla BACHUS, Kris	2022
Organic waste bio-based materials for 3D extrusion: eggshells, shells sand and coffee grains with sodium alginate	DELGADO, Carolina Vasco Costa BREUER, Rebecca Louise FORMAN, Gabriela Santos	2022
Repair Cafés and Precious Plastic as translocal networks for the circular economy	SPEKKINK, Wouter RÖDL, Malte CHARTER, Martin	2022
Sustainable in Action: from Intention to Environmentally Friendly Practices in Makerspaces Based on the Theory of Reasoned Action	KLEMICHEN, Antje PETERS, Ina STARK, Rainer	2022
Tracing sustainable production from a degrowth and localisation perspective: a case of 3D printers	PRIAVOLOU, Christina TROULLAKI, Katerina TSIOURIS, Nikiforos GIOTITSAS, Chris KOSTAKIS, Vasilis	2022
A bricolage perspective on democratising innovation: the case of 3D printing in makerspaces	BELTAGUI, Ahmad SESIS, Achilleas STYLOS, Nikolaos	2021
Co-learning for sustainable design: the case of a circular design collaborative project in Ireland	BAKIRLIOĞLU, Yekta MCMAHON, Muireann	2021
Collaborative innovation for sustainability in Nordic cities	LEMINEN, Seppo RAJAHONKA, Mervi WESTERLUND, Mika HOSSAIN, Mokter	2021
Maker networks fighting Covid-19: design guidelines for redistributed manufacturing (RDM) models	CAMPOS, David CIPOLLA, Carla	2021

Sustainable design and prototyping using digital fabrication tools for education	SOOMRO, Sohail Ahmed CASAKIN, Hernan GEORGIEV, Georgi V.	2021
Closed loop supply chain network for local and distributed plastic recycling for 3D printing: a MILP-based optimization approach	SANTANDER, Pavlo CRUZ SANCHEZ, Fabio A. BOUDAOUD, Hakim CAMARGO, Mauricio	2020
Connecting the strategic intent of innovation labs and projects: The case of the Green Fablab	ROUX-MARCHAND, Thibaut CRUZ, Fabio DUPONT, Laurent CAMARGO, Mauricio OSORIO, Ferney	2020
Dismantling the products of global flows: a model for a children's global (un)makerspace	VELICU, Anca GIANNIS, Greg	2020
Plastic recycling in additive manufacturing: a systematic literature review and opportunities for the circular economy	CRUZ SANCHEZ, Fabio A. BOUDAOUD, Hakim CAMARGO, Mauricio PEARCE, Joshua M.	2020
The business model of Do-It-Yourself (DIY) laboratories: a triple-layered perspective	YOU, Weimu CHEN, Weifeng AGYAPONG, Michael MORDI, Chima	2020
The impact of 4ir digital technologies and circular thinking on the united nations sustainable development goals	HOOSAIN, Mohamed Sameer PAUL, Babu Sena RAMAKRISHNA, Seeram	2020
The role of 3D printing and open design on adoption of socially sustainable supply chain innovation	BELTAGUI, Ahmad KUNZ, Nathan GOLD, Stefan	2020
A barrier analysis for distributed recycling of 3D printing waste: taking the maker movement perspective	PEETERS, Bob KIRATLI, Nadine SEMEIJN, Janjaap	2019
Do makerspaces represent scalable production models of community-based redistributed manufacturing?	HENNELLY, Patrick A SRAI, Jagjit Singh GRAHAM, Gary MERITON, Royston KUMAR, Mukesh	2019
Green fab lab applications of large-area waste polymer-based additive manufacturing	BYARD, Dennis J. WOERN, Aubrey L. OAKLEY, Robert B. FIEDLER, Matthew J. SNABES, Samantha L. PEARCE, Joshua M.	2019
The environmental value and impact of the Maker movement: insights from a cross-case analysis of European maker initiatives	UNTERFRAUNER, Elisabeth SHAO, Jing HOFER, Margit FABIAN, Claudia M.	2019
3D-printing 'Ocean plastic'–Fostering childrens' engagement with sustainability	VONES, Katharina ALLAN, Denise LAMBERT, Ian VETTESE, Samantha	2018
RepRapable Recyclebot: open source 3-D printable extruder for converting plastic to 3-D printing filament	WOERN, Aubrey L. MCCASLIN, Joseph R. PRINGLE, Adam M.	2018

	PEARCE, Joshua M.	
The Maker Movement and the Disruption of the Producer-Consumer Relation	UNTERFRAUNER, Elisabeth VOIGT, Christian SCHRAMMEL, Maria MENICHINELLI, Massimo	2018
Tightening the loop on the circular economy: coupled distributed recycling and manufacturing with recyclebot and RepRap 3-D printing	ZHONG, Shan PEARCE, Joshua M.	2018
Circular Makerspaces: the founder's view	PRENDEVILLE, Sharon HARTUNG, Grit BRASS, Clare PURVIS, Erica HALL, Ashley	2017
Providing a conducive environment to integrate design and production: assessing the potentials of university-based fablabs (Ub-Fablabs)	BOTLENG, Vomaranda BRUNEL, Stéphane GIRARD, Philippe	2017
Unlocking value for a circular economy through 3D printing: a research agenda	DESPEISSE, Mélanie BAUMERS, Martin BROWN, Phil CHARNLEY, Fiona FORD, Simon J. GARMULEWICZ, Alysia KNOWLES, Scott MINSHALL, Tim H.W. MORTARA, Letizia REED-TSOCHAS, Felix P. ROWLEY, Jonathan	2017
Maker Cultures and the Prospects for Technological Action	NASCIMENTO, Susana PÓLVORA, Alexandre	2016
Making "Making" Critical: how sustainability is constituted in Fab Lab ideology	KOHTALA, Cindy	2016
Anticipated environmental sustainability of personal fabrication	KOHTALA, Cindy HYYSALO, Sampsa	2015

Fonte: O autor (2024)

O uso do Mapeamento Sistemático garantiu o melhor entendimento do referencial deste trabalho de modo que fosse construído com base em uma revisão extensa e criteriosa da literatura, permitindo a incorporação de pesquisas relevantes e atualizadas. Este processo não apenas fortaleceu a fundamentação teórica do estudo, mas também apontou direções promissoras para o trabalho e para futuras pesquisas na área, contribuindo significativamente para o avanço do conhecimento sobre a integração de práticas de Economia Circular em Espaços *Maker*.

Vale ressaltar que para fins de análise desse MS, contamos com as duas etapas da análise de conteúdo, a saber: pré-análise (leitura flutuante, escolha dos documentos e preparação do

material) e exploração do material (recorte e enumeração), conforme Bardin (2008). Todas essas etapas foram descritas na seção 3.2. Ademais, para a análise de conteúdo, cada fonte selecionada foi sistematicamente fichada. Esses fichamentos incluíram resumos detalhados, citações relevantes e uma avaliação crítica da contribuição de cada trabalho para o campo da Economia Circular.

3.3 Construção do Curso de Economia Circular em Espaços Maker Educacionais

O projeto do curso intitulado "Capacitação de professores executores da rede pública estadual em Economia Circular nos Espaços 4.0: repensando um design sustentável com as tecnologias de Fabricação Digital" foi desenvolvido em resposta ao Edital FACEPE[9] nº 20/2021, Programa de Inovação Educacional – Capacitação Tecnológica para Educadores – INOV.EDU[10].

O edital destacou a necessidade de preparar os educadores para o uso de tecnologias emergentes, como as dos Espaços 4.0, integrando conceitos inovadores que pudessem impactar positivamente a formação dos estudantes e a comunidade escolar. Sendo assim, os Espaços 4.0 são ambientes de aprendizado inovadores que integram tecnologias emergentes e metodologia *maker* para formar estudantes e professores no uso de ferramentas digitais, como impressoras 3D, cortadoras a laser e dispositivos de eletrônica.

Essa iniciativa surgiu como uma estratégia do Governo do Estado de Pernambuco para modernizar a educação técnica e fortalecer a formação profissional, alinhando-se às demandas da Indústria 4.0 e à necessidade de preparação de jovens para os desafios tecnológicos e sustentáveis do futuro. Implantados em 44 escolas estaduais, os Espaços 4.0 se tornaram um pilar importante para a educação pública pernambucana, oferecendo recursos e infraestrutura para o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis.

O curso foi elaborado na plataforma do *Google Classroom* para atender às diretrizes do edital, promovendo a integração entre teoria e prática por meio de eixos temáticos que abordam conceitos de Economia Circular e Design, alinhados à utilização de tecnologias de Fabricação

[9] A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) é uma instituição que tem como objetivo fomentar a pesquisa, a inovação e o desenvolvimento científico e tecnológico no estado de Pernambuco, por meio de editais que oferecem apoio financeiro a projetos inovadores em diversas áreas do conhecimento.

[10] O Edital – INOV.EDU teve como objetivo fortalecer a formação de educadores da rede estadual de ensino em tecnologias habilitadoras associadas aos Espaços 4.0. Este edital disponibilizou vagas exclusivamente para professores formadores, com a finalidade de promover capacitações tecnológicas que potencializassem a inovação educacional no Estado de Pernambuco.

Digital, como impressoras 3D e cortadoras a laser. Esses temas foram escolhidos por sua relevância na transição para um modelo econômico mais sustentável e inovador, que promove a conservação de recursos e a geração de valor a partir de princípios sustentáveis.

O planejamento foi a etapa inicial do projeto, realizada durante os quatro primeiros meses. Reuniões com a equipe multidisciplinar, composta por professores formadores, especialistas em tecnologias digitais e representantes da Secretaria de Educação, permitiram o alinhamento de expectativas e objetivos. Segundo Moran (2015), a organização inicial é crucial para garantir a coerência entre os objetivos do projeto e sua execução prática.

Na sequência, foi realizada uma Intervenção Pedagógica por meio do planejamento e implementação de um curso de formação para professores da rede pública do estado de Pernambuco, baseado nos princípios da Economia Circular. A formação ocorreu em um formato híbrido, combinando atividades teóricas e práticas em modalidades síncronas e assíncronas. A intervenção teve como objetivo formar os participantes e fomentar a aplicação de projetos circulares.

Durante os meses seguintes, foram construídos e elaborados os fascículos e videoaulas que contaram, além do autor desta tese, com especialistas em design instrucional, editores, revisores, especialistas em EAD e produção de vídeos. A metodologia para a elaboração seguiu princípios de design instrucional baseados em Moran (2015), que enfatiza a necessidade de integrar teoria e prática no material didático.

O conteúdo do curso foi baseado nas teorias e práticas identificadas na revisão bibliográfica. Esse processo incluiu a elaboração de módulos que abordaram tanto os aspectos teóricos quanto práticos da Economia Circular. O material do curso foi submetido a uma análise de conteúdo para assegurar que abrangia adequadamente os temas essenciais identificados na fase de revisão bibliográfica.

As atividades foram desenvolvidas durante a vigência do projeto realizado no período de 1 de fevereiro de 2022 a 31 de janeiro de 2023. De acordo com o que foi apresentado no plano de trabalho inicial, o projeto pretendeu promover e desenvolver uma formação para professores executores da rede pública estadual (ETEs, EREMs) em Economia Circular voltada para tecnologias dentro dos Espaços 4.0. Garantindo um curso qualificado e fomentando a pesquisa e inovação dentro do Estado de Pernambuco.

Durante a implementação inicial do curso, realizou-se uma observação direta para avaliar a receptividade do conteúdo pelos formadores e sua aplicabilidade prática. As observações foram documentadas em diários de campo. O impacto do curso sobre os formadores e nos projetos desenvolvidos em Espaços *Maker* foi avaliado.

Foram realizadas observações das sessões de curso e dos projetos subsequentes desenvolvidos pelos formadores. Além disso, um questionário de avaliação do impacto do curso de Economia Circular em Espaços *Maker* Educacionais (Apêndice A) foi aplicado para coletar dados sobre a percepção dos participantes quanto à utilidade e aplicabilidade do conhecimento adquirido. O questionário foi elaborado com base nas diretrizes de Oppenheim (1992) para garantir a validade e a confiabilidade das respostas, sendo aplicado em julho de 2024. Com base nisso, o instrumento de coleta de dados contou com um total de 21 perguntas, organizadas em sete eixos temáticos, a saber:

1) informações gerais: cinco perguntas (três abertas e duas fechadas);
2) conhecimento prévio e motivação: duas perguntas (uma de múltipla escolha e uma de caixa de seleção);
3) conteúdo do curso: duas perguntas (múltipla escolha);
4) aplicação do conhecimento: quatro perguntas (duas de múltipla escolha, uma aberta e outra de caixa de seleção);
5) impacto no ensino e aprendizagem: três perguntas (uma de múltipla escolha, uma aberta e outra de caixa de seleção);
6) avaliação geral e sugestões: duas perguntas (abertas);
7) dados qualitativos adicionais: duas perguntas (abertas).

Os dados coletados através de questionários e observações foram analisados utilizando métodos qualitativos e quantitativos. A análise qualitativa incluiu codificação temática e análise de discurso, enquanto a quantitativa incluiu análises estatísticas de frequência e correlação, conforme sugerido por Creswell (2014).

Todas as fases da pesquisa respeitaram as diretrizes éticas para a pesquisa com seres humanos, incluindo a obtenção de consentimento informado e a garantia de confidencialidade e anonimato dos participantes.

3.4 Metodologia de Análise Integrada: observação de vídeos, diário de bordo e análise de exercícios

A presente pesquisa adota uma abordagem metodológica integrada que combina três estratégias analíticas complementares: observação de vídeos, registro sistemático em diário de bordo e análise das respostas dos exercícios realizados pelos cursistas. Essa metodologia foi

escolhida por sua capacidade de oferecer uma análise ampla e aprofundada das interações educacionais e dos resultados alcançados, permitindo explorar as dinâmicas e os impactos da integração dos princípios da Economia Circular em Espaços *Maker* Educacionais.

A escolha dessa abordagem fundamenta-se na orientação de Minayo (2014), que destaca a triangulação metodológica como um recurso fundamental para ampliar a compreensão de fenômenos complexos e assegurar maior validade aos achados de pesquisas qualitativas.

A observação de vídeos constitui um elemento central na coleta e análise de dados desta pesquisa. Conforme Chizzotti (2014), a observação sistemática é essencial para identificar padrões e dinâmicas nas interações sociais e educacionais. A análise qualitativa das gravações das videoaulas foi estruturada em ciclos, com foco nos seguintes aspectos:

a) momentos de maior engajamento dos cursistas durante as atividades;
b) tipos de interações promovidas pelo professor e sua eficácia no estímulo ao aprendizado;
c) evidências de aplicação dos princípios da Economia Circular no discurso e nas práticas pedagógicas.

Além disso, a análise considerou elementos não verbais, como tom de voz e reações no decorrer do projeto. Como argumentam Lüdke e André (2013), a consideração desses elementos é imprescindível para compreender o contexto educacional em sua totalidade, revelando nuances que ultrapassam os registros verbais.

Também foi utilizada a técnica do diário de bordo, que foi empregado como um instrumento reflexivo e descritivo, proporcionando registros das observações e interpretações do pesquisador ao longo do processo investigativo. Em consonância com Lüdke e André (2013), o diário permite capturar percepções e insights sobre fenômenos observados, oferecendo uma visão contextualizada e aprofundada das práticas educacionais.
Os registros no diário de bordo incluíram:

a) reflexões acerca da participação e do engajamento dos cursistas;
b) observações sobre o impacto das ferramentas *maker* na construção do conhecimento;
c) análises preliminares de como os princípios da Economia Circular são compreendidos e aplicados pelos estudantes.

Para facilitar a organização e a análise, o diário será estruturado em categorias temáticas, como "Engajamento dos Cursistas", "Impacto das Ferramentas *Maker*" e "Desafios na Implementação da Economia Circular". Essa organização permitirá uma sistematização eficiente dos dados e contribuições para os objetivos da pesquisa.

Além dos vídeos gravados nas aulas síncronas, foi realizada a análise das respostas dos exercícios sugeridos no ambiente virtual, essa etapa foi conduzida utilizando a técnica de análise de conteúdo, conforme sistematizada por Franco (2018). Essa técnica possibilita a identificação de categorias, padrões e tendências nos dados, permitindo uma avaliação detalhada do impacto do ensino sobre os cursistas.

Foram utilizados os seguintes critérios analíticos:

a) **criatividade**: capacidade dos cursistas de propor soluções inovadoras e relevantes;
b) **sustentabilidade**: alinhamento das respostas aos princípios da Economia Circular;
c) **aplicabilidade**: viabilidade das propostas apresentadas em contextos reais.

O processo analítico foi realizado em etapas, incluindo a leitura flutuante, a categorização e a interpretação dos dados, conforme orientado por Franco (2018). Essa estrutura garante rigor metodológico e consistência nos resultados.

Ao final, foi realizada uma triangulação dos dados obtidos nas três estratégias metodológicas constituindo uma base para uma análise abrangente e confiável. Segundo Minayo (2014), a triangulação metodológica permite correlacionar diferentes dimensões do fenômeno investigado, assegurando maior profundidade interpretativa. Neste estudo, a integração ocorrerá de forma que:

a) as observações extraídas dos vídeos sejam confrontadas com as percepções documentadas no diário de bordo;
b) as respostas dos exercícios sejam avaliadas à luz das dinâmicas observadas nas videoaulas, identificando possíveis congruências e divergências entre o aprendizado teórico e sua aplicação prática.

Essa abordagem integrativa será fundamental para compreender como os princípios da Economia Circular são aplicados nos espaços maker educacionais e como impactam o desenvolvimento de projetos sustentáveis, atendendo aos objetivos centrais desta pesquisa.

4 RESULTADOS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO

Esta seção aborda os resultados do aprofundamento das publicações sobre a aplicação da Economia Circular nos Espaços *Maker*, evidenciando os impactos positivos mediados pelas tecnologias de fabricação digital. São discutidos os principais desafios e lacunas que dificultam a implementação da EC, bem como as oportunidades para aplicar seus princípios nesses espaços. Destaca-se a contribuição dos EM para o desenvolvimento do Design e da EC, com ênfase na promoção da educação, cocriação e inovação para enfrentar os desafios contemporâneos de sustentabilidade. Além disso, são examinados os problemas apontados nas pesquisas, como dificuldades técnicas, logísticas, socioeconômicas e de conscientização, que limitam a adaptação de práticas sustentáveis.

A primeira análise consistiu na avaliação das nuvens de palavras geradas a partir das 177 publicações encontradas, enquanto a segunda focou apenas nas 43 selecionadas para a pesquisa. A Figura 14 apresenta a primeira nuvem de palavras formada a partir dos 177 artigos.

Figura 14 - Nuvem de palavras com todas as publicações

Fonte: O autor com base no programa *StArt* (2024)

Analisando a nuvem de palavras (Figura 14), verifica-se a maior repetição com foco em "produção", "fabricação", "impressão", "3D", "economia", "sustentáveis", “inovação” e “estudo”. Isso indica que a produção e fabricação sustentáveis, especialmente através da impressão 3D, são temas centrais nos artigos levantados na primeira busca (Figura 15).

Figura 15 - Nuvem de palavras apenas com os artigos selecionados

Fonte: O autor com base no programa *StArt* (2024)

A Figura 15 demostra os principais temas: "produção", "circular", "sustentabilidade", "fabricação", "3D", e "economia 4.0", a ênfase em "produção" e "sustentabilidade" sugere uma forte preocupação com métodos de produção sustentáveis.

Palavras como "desenvolvimento" e "inovação" sugerem que os Espaços *Maker* são vistos como lugares para o desenvolvimento de novas ideias e práticas inovadoras, alinhados com os objetivos da economia circular. Diante disso, essa associação reflete a tendência de buscar métodos de produção que minimizem o impacto ambiental, e sugere que os Espaços *Maker* sejam vistos como laboratórios para experimentar e implementar essas tecnologias, destacando-se a impressão 3D.

De maneira comparativa, a primeira nuvem de palavras (Figura 14) foi gerada a partir de todas as publicações identificadas na primeira fase do mapeamento sistemático, apresentando um conjunto diversificado e disperso de termos. Palavras como “estudo”, “economia”, “3D”, “produção”, “*makerspaces*” e “tecnologias” surgem com destaque, refletindo uma busca mais ampla e exploratória, na qual diferentes tópicos relacionados à produção, fabricação digital e sistemas foram considerados. Observa-se também a presença de termos como “abordagem”, “desenvolvimento” e “reciclagem”, que indicam a variedade de estudos selecionados inicialmente, mas sem um foco claro nos conceitos de sustentabilidade e circularidade.

Na segunda nuvem de palavras (Figura 15), formada a partir das publicações aceitas após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, nota-se uma mudança significativa na frequência e relevância dos termos. Palavras como “circular”, “sustentabilidade”, “práticas”,

"ODS"[11] e "resíduos" aparecem em destaque, evidenciando um foco mais direcionado na Economia Circular e práticas sustentáveis. Os termos "produção", "fabricação" e "3D" permanecem relevantes, mas agora estão mais alinhados a temas de inovação, economia 4.0 e impactos positivos no uso de recursos, o que reforça a conexão entre fabricação digital e circularidade.

Comparando as duas nuvens, percebe-se que a primeira apresenta maior dispersão de palavras, incluindo termos genéricos como "digital", "abordagem", "desafios" e "transição", que indicam um escopo inicial mais amplo, com a inclusão de estudos não necessariamente alinhados aos objetivos centrais da pesquisa. Na segunda nuvem, mostra uma concentração temática mais clara, onde conceitos como "inovação", "economia circular", "práticas sustentáveis" e "materiais" dominam, demonstrando a eficácia do processo de refinamento na seleção das publicações mais relevantes.

Dessa forma, a analogia entre as duas etapas revela um processo de filtragem bem-sucedido, no qual os critérios aplicados na seleção permitiram eliminar estudos que não apresentavam contribuições diretas para o tema da pesquisa. A segunda nuvem reflete, portanto, um conjunto de publicações mais focadas, com ênfase na Economia Circular, práticas de sustentabilidade e produção inovadora, alinhando-se diretamente aos objetivos propostos no estudo.

Reforça-se, assim, a relevância dos conceitos de Economia Circular e que podem e devem ser implementados e iniciados dentro desses Espaços *Maker*, principalmente nos espaços educacionais que são base para a formação de futuros profissionais que ditarão as novas formas de produção que devem e precisam ser alinhadas as questões ambientais.

Das 43 publicações analisadas, verificou-se que a discussão desses temas de forma conjunta teve início em 2015, o que demonstra sua trajetória mais recente e a necessidade de aprofundamento por meio de novos estudos.

O Gráfico 4 apresenta a quantidade de publicações por ano.

[11] Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Gráfico 4 - Publicações por ano

Fonte: O autor com base no programa *StArt* (2024)

No Gráfico 4, observa-se uma tendência geral de crescimento no interesse e na produção acadêmica nesta área. Entre 2015 e 2023, observamos um aumento consistente no número de artigos, com alguns altos e baixos ao longo dos anos. Essa expansão reflete a conscientização sobre e a relevância dos Espaços *Maker* na promoção de práticas circulares. O pico de publicações em 2023, com 9 artigos, sugere que o tema ganhou destaque recentemente, possivelmente devido a avanços tecnológicos voltados para a sustentabilidade e um aumento no interesse por soluções inovadoras para problemas ambientais.

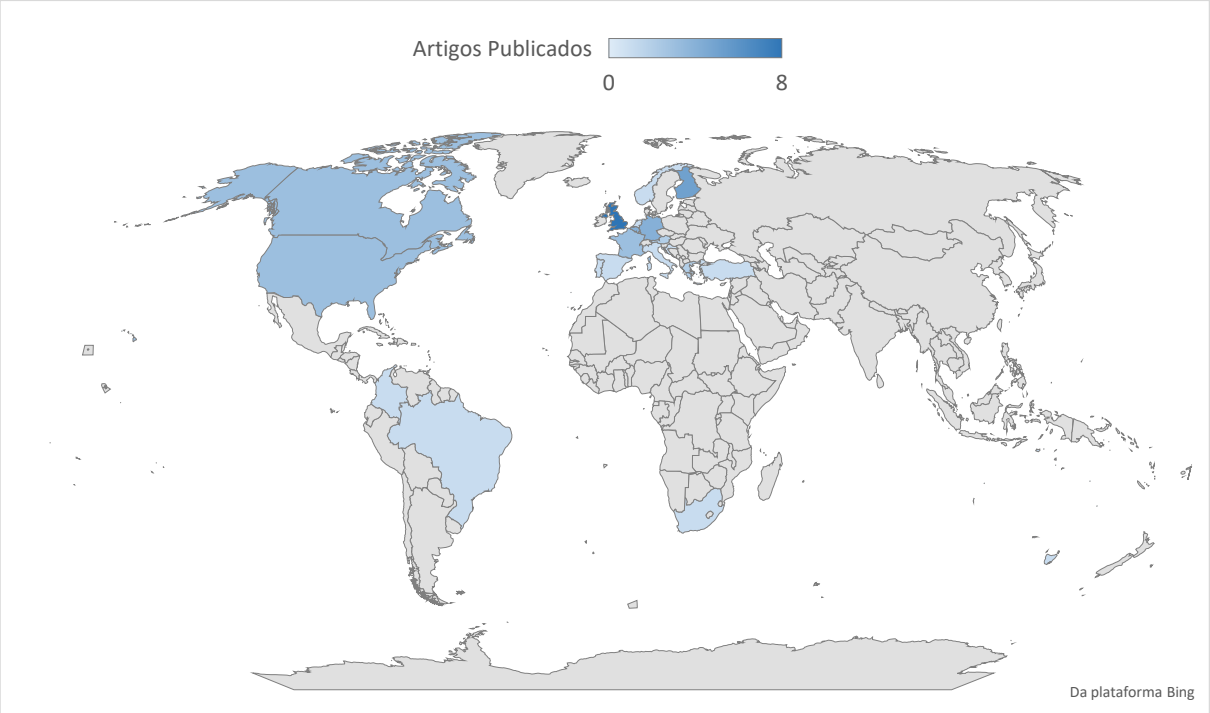
Esta crescente pode ter sido influenciada por vários fatores, incluindo a disseminação das tecnologias de fabricação digital, como a impressão 3D, e pelo foco maior em práticas de Economia Circular nas políticas públicas e empresariais. A estabilidade relativa no número de publicações entre 2018 e 2022, com uma média de 5 a 7 artigos por ano, indica um interesse contínuo. No entanto, o ano de 2021 apresentou uma queda em comparação com 2020, o que pode ser atribuído aos impactos da pandemia de COVID-19, que afetou a capacidade de pesquisa e publicação em diversas áreas acadêmicas.

A atenuada publicação em 2024, deve-se ao fato do ano ainda estar em curso, e pela revisão ter sido realizada em fevereiro de 2024, mas seguindo a curva de crescimento, espera-se que surjam ainda mais publicações no referido ano. As flutuações nos números de publicações ao longo dos anos podem estar associadas a uma variedade de fatores, incorporando eventos globais, mudanças nas prioridades de pesquisa e disponibilidade de financiamento. Entretanto, o Gráfico 4 demonstra que a tríade: Design, Economia Circular e Espaços *Maker* é

um campo de pesquisa emergente e dinâmico, com um interesse crescente ao longo dos últimos anos.

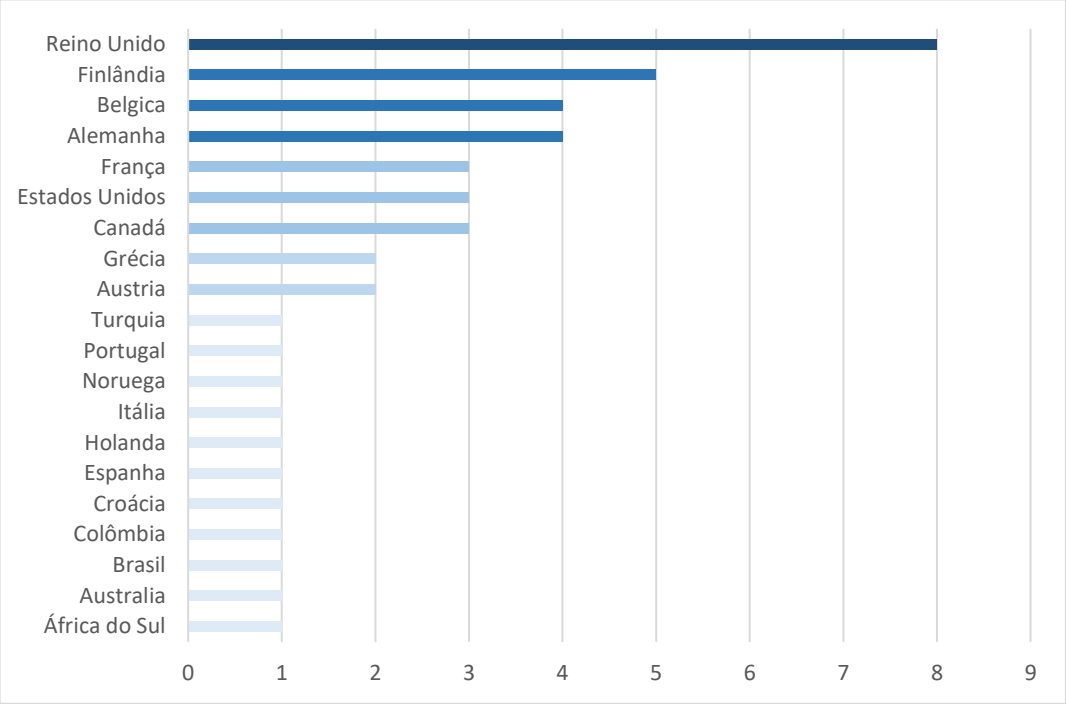
Verificou-se também a distribuição geográfica das publicações ao redor do mundo. Constatou-se que a maioria delas se concentra no continente Europeu, com o Reino Unido liderando as publicações que abrangem os três temas. O Gráfico 5 exibe a distribuição geográfica associado ao Gráfico 6, que representa os valores em números.

Gráfico 5 - Distribuição geográfica das publicações dos artigos selecionados



Fonte: O autor (2024)

Gráfico 6 - Distribuição geográfica das publicações dos artigos selecionados em barras



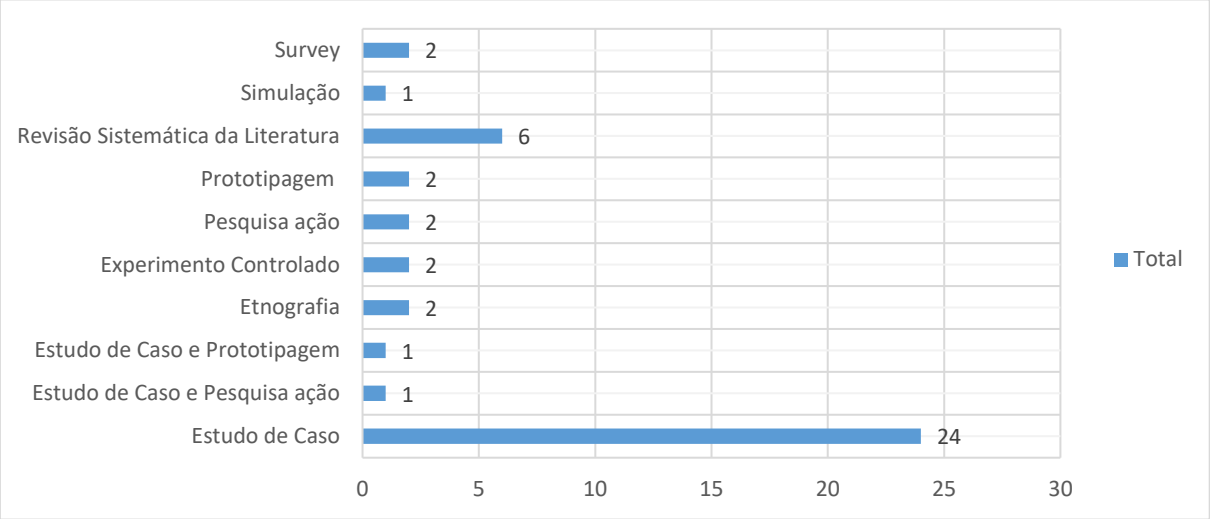
Fonte: O autor (2024)

A análise das publicações revela uma distribuição geográfica diversificada, com contribuições de várias partes do mundo, incluindo África do Sul, Austrália, Brasil, Colômbia, Croácia, entre outros. Esse panorama evidencia um interesse crescente e um envolvimento significativo sobre o tema. Ademais, essa diversidade geográfica sugere um engajamento global na troca de ideias e no desenvolvimento de soluções circulares neste campo.

A distribuição apresenta uma colaboração internacional e a concentração de centros nessa pesquisa, como o Reino Unido com 8 publicações. No entanto, a análise também destaca a possível desigualdade na produção de conhecimento, evidenciada pela ausência de publicações de certas regiões, principalmente no continente asiático e africano. Essa disparidade pode ser atribuída as diferenças nos recursos disponíveis para pesquisa, infraestrutura ou políticas educacionais, o que indica a necessidade de incentivar colaborações e investimentos em áreas menos representadas.

Foram também analisados os métodos de pesquisa explorados em todas as publicações selecionadas, conforme pode ser visto no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Métodos de pesquisa adotados



Fonte: O autor (2024)

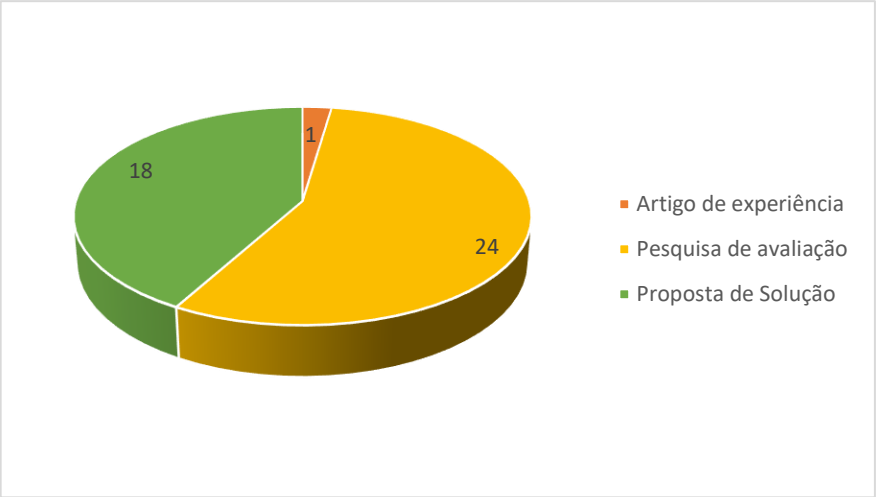
O Gráfico 7 sobre os métodos de pesquisa utilizados revela uma preferência por certos métodos. O método de "Estudo de Caso" é, de longe, o mais utilizado, com 24 publicações. Esse predomínio pode ser atribuído à natureza exploratória e detalhada dos estudos de caso, que permitem uma compreensão aprofundada de contextos específicos, práticas e desafios enfrentados na implementação de Economia Circular em Espaços *Maker*. Essa abordagem é especialmente útil para capturar a complexidade e a diversidade das práticas em diferentes cenários.

Além dos estudos de caso, a "Revisão Sistemática da Literatura" também se destaca, com 6 publicações. Esse método serve para consolidar e sintetizar o conhecimento existente, identificando tendências, lacunas na pesquisa e oferecendo uma base teórica para estudos futuros. A utilização de revisões sistemáticas reflete a maturidade crescente do campo, à medida que se busca construir sobre trabalhos anteriores e desenvolver uma compreensão mais abrangente do tema.

Outros métodos, como "*Survey*", "Prototipagem", "Pesquisa-Ação", "Experimento Controlado" e "Etnografia", são utilizados de forma mais equilibrada, cada um aparecendo em 2 ou 3 publicações. Esses métodos, embora menos frequentes, são importantes para abordar diferentes aspectos e perguntas de pesquisa. Por exemplo, "*Surveys*" e "Pesquisas-Ação" podem oferecer *insights* das percepções e práticas em uma escala maior, enquanto "Prototipagem" e "Experimentos Controlados" servem para testar novas tecnologias e abordagens de forma controlada e replicável. Os métodos utilizados indicam uma abordagem multifacetada para as pesquisas, combinando análises detalhadas de casos específicos com estudos que buscam

generalizar e validar resultados em contextos mais amplos. Além dos métodos de pesquisa, também foram avaliados os tipos de pesquisa, conforme pode ser visto no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Tipos de pesquisa



Fonte: O autor (2024)

O Gráfico 8 destaca uma predominância de "Pesquisas de Avaliação", compondo a maior parte dos estudos analisados, com 24 publicações. Esse tipo de pesquisa analisa e julga a eficácia, a eficiência e o impacto. A ênfase em pesquisas de avaliação sugere que a comunidade acadêmica se preocupa em validar empiricamente as abordagens e técnicas utilizadas nesses espaços, buscando compreender melhor seus resultados e benefícios (Seuring; Gold, 2013). Essa abordagem é crucial para fornecer evidências sólidas que possam guiar políticas e práticas futuras (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016).

Além das pesquisas de avaliação, há uma quantidade considerável de "Propostas de Solução", totalizando 18 publicações. Esse tipo de pesquisa é focado no desenvolvimento e apresentação de novas abordagens, ferramentas e metodologias para resolver problemas específicos dentro de um contexto (Lieder; Rashid, 2016). A presença de propostas de solução indica um campo de estudo dinâmico e inovador, onde os pesquisadores não apenas analisam práticas existentes, mas também contribuem ativamente com novas ideias e soluções. Isso reflete a natureza experimental e colaborativa dos Espaços *Maker*, que são frequentemente vistos como laboratórios para a inovação sustentável (Bocken *et al*., 2014).

O "Artigo de Experiência", com apenas uma publicação, consiste em relatos detalhados de experiências práticas, oferecendo *insights* sobre a implementação real de práticas de Economia Circular. A baixa representação desse tipo de pesquisa pode sugerir uma oportunidade para aumentar a documentação e o compartilhamento de experiências práticas no

campo (Yuan; Bi; Moriguichi, 2006). Diante disso, relatos detalhados de casos de sucesso e desafios enfrentados poderiam enriquecer a literatura existente, proporcionando uma compreensão mais profunda e prática das questões envolvidas para a implementação da EC em Espaços *Maker* (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017).

Esse cenário evidencia a importância dos Espaços *Maker* como plataformas experimentais para testar e aplicar práticas inovadoras, alinhadas aos desafios contemporâneos ambientais e sociais. Os resultados obtidos apontam para a necessidade contínua de pesquisas que investiguem os impactos desses espaços, tanto no desenvolvimento de novas tecnologias quanto na formação de profissionais conscientes e preparados para os desafios ambientais e econômicos atuais.

4.1 Publicações coletadas do mapeamento sistemático

A partir dos 43 artigos selecionados após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foi realizada uma leitura crítica e minuciosa que permitiu extrair respostas às principais questões formuladas no planejamento do mapeamento. Essas questões guiaram a construção dos subtítulos, organizando as informações em categorias temáticas que abordam os principais desafios, oportunidades e impactos da implementação da Economia Circular nos Espaços *Maker*, com ênfase em tecnologias de fabricação digital, inovação em design e sustentabilidade.

As respostas obtidas foram estruturadas de forma a sintetizar as contribuições dos autores selecionados, destacando tanto os aspectos técnicos quanto os sociais e educacionais relacionados aos Espaços *Maker*. Essa abordagem permitiu organizar o conhecimento de maneira coerente e sistemática, facilitando a compreensão dos temas abordados e oferecendo uma visão holística da interseção entre Economia Circular, Design e Espaços *Maker*.

A estrutura adotada busca responder às perguntas fundamentais do estudo, consolidando um referencial robusto que servirá de base para a implementação de projetos educacionais voltados para a capacitação em Economia Circular e para a criação de soluções inovadoras em Espaços *Maker* Educacionais.

4.1.1 Economia Circular em Espaços Maker

A Economia Circular é um conceito que visa redefinir o crescimento, concentrando-se em benefícios positivos para toda a sociedade. Envolve gradualmente dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos e eliminar resíduos do sistema. Sob este modelo, os

produtos são concebidos para serem reutilizados, reparados e reciclados, em vez de descartados após o uso. Na mesma linha, os Espaços *Maker*, equipados com tecnologias de fabricação digital como impressoras 3D, cortadoras a laser e fresadoras CNC, são vistos como ambientes ideais para implementar práticas de Economia Circular, promovendo a inovação sustentável e a participação comunitária.

Nesse bojo, a Economia Circular emerge como uma resposta às crescentes preocupações ambientais e ao esgotamento dos recursos naturais. Trata-se de um sistema econômico projetado para se regenerar intencionalmente, substituindo o conceito de fim de vida por restauração, promovendo o uso de energias renováveis e eliminando substâncias tóxicas que dificultam a reutilização. Além disso, busca a eliminação de resíduos por meio do design superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócios (Ellen Macarthur Foundation, 2013, v. 1).

Simultaneamente, os Espaços *Maker* são centros de inovação sustentável, onde novas ideias e tecnologias podem ser testadas e desenvolvidas em um ambiente colaborativo. A fabricação digital em Espaços *Maker* permite a produção de pequenos lotes e protótipos, facilitando a experimentação com novos materiais e designs sustentáveis (Honkala; Hölttä-Otto; Kähkönen 2023). Além disso, esses espaços promovem uma cultura de reparo e reutilização, onde produtos e componentes são mantidos em uso por mais tempo, reduzindo a necessidade de novos recursos (Botleng; Brunel; Girard, 2017).

Com base nisso, os Espaços *Maker* promovem a coaprendizagem e a inovação colaborativa, permitindo que os usuários compartilhem conhecimentos sobre reciclagem e reutilização de materiais (Beltagui *et al*., 2021). Esses ambientes incentivam a cultura de "faça você mesmo" (DIY), que promove a experimentação com materiais reciclados e o desenvolvimento de novas técnicas de produção sustentável. Campos e Cipolla (2021) demonstram que, durante a pandemia de COVID-19, Espaços *Maker* foram capazes de responder rapidamente a necessidades emergenciais, produzindo equipamentos médicos essenciais, ilustrando a resiliência e adaptabilidade dessas comunidades.

Cruz Sanchez *et al*. (2020) identificam desafios significativos na implementação de práticas de Economia Circular em Espaços *Maker*, como a variabilidade na qualidade dos materiais reciclados e a falta de padronização nos processos de fabricação digital. Spekkink *et al*. (2022) também destacam a necessidade de superar essas barreiras para facilitar a ampla adoção de práticas circulares. No entanto, iniciativas como a *Precious Plastic* demonstram que é possível criar sistemas de reciclagem eficientes e localizados que suportam a produção nesses espaços.

No contexto das tecnologias de fabricação digital, Priavolou *et al*. (2022) argumentam que a produção distribuída utilizando impressoras 3D possibilita o uso de materiais reciclados, redução de desperdício e produção sob demanda. A flexibilidade dessas tecnologias permite a customização e reparo de produtos, prolongando sua vida útil e reduzindo a necessidade de novos recursos. Cruz Sanchez *et al*. (2020) complementam esta visão ao afirmar que a reciclagem de plásticos na manufatura aditiva pode ser sistematizada para suportar a produção sustentável, destacando a importância de um ciclo fechado de produção.

Priavolou *et al*. (2022) e Honkala, Hölttä-Otto e Kähkönen (2023) analisam as impressoras 3D *open-source* como ferramentas essenciais para a Economia Circular. Priavolou *et al*. (2022) apontam as vantagens dessas impressoras em termos de educação e experimentação, enquanto Honkala, Hölttä-Otto e Kähkönen (2023) discutem como a fabricação digital em Espaços *Maker* permite a produção de pequenos lotes e protótipos, facilitando a experimentação com novos materiais e designs sustentáveis.

No âmbito de Redes de Reciclagem Distribuídas (RRD), a iniciativa *Precious Plastic*, descrita por Spekkink *et al*. (2022), é um exemplo de como redes de reciclagem distribuídas podem ser integradas em Espaços *Maker* para promover a Economia Circular. Essa rede permite que comunidades locais processem resíduos plásticos em novos produtos, utilizando equipamentos acessíveis e de baixo custo, promovendo a sustentabilidade local e empoderando as comunidades.

Sobre as contribuições tecnológicas e sociais, Honkala, Hölttä-Otto e Kähkönen (2023) discutem como a acessibilidade das tecnologias de fabricação digital democratiza a inovação, permitindo que comunidades locais participem ativamente da economia. A fabricação local pode reduzir a dependência de cadeias de suprimento globais, como evidenciado durante a pandemia de COVID-19, quando Espaços *Maker* produziram equipamentos médicos essenciais.

Estudos demonstram que a criação de ecossistemas híbridos de *makerspaces* pode ser altamente eficaz para promover a Economia Circular. Um exemplo destacado é o ecossistema de *Leuven*, na Bélgica, que mostrou resultados positivos em indicadores sociais e de desempenho circular. Este ecossistema serve como um importante precedente para o desenvolvimento de novos tipos de espaços de fabricação urbana que promovem a colaboração comunitária. Eles representam uma combinação de diferentes elementos, como atividades de fabricação tradicionais e digitais, colaboração entre diversos setores da sociedade, compartilhamento de recursos materiais e humanos, e integração com políticas locais, nacionais e internacionais (Schroder; Elwakil; Steemers, 2024).

Os EMs podem servir como plataformas de empreendedorismo sustentável, apoiando o movimento *maker* na transformação de ideias em empreendimentos viáveis. Premyanov *et al*. (2022) destacam a importância dos *makerspaces* em fornecer suporte necessário para o desenvolvimento de projetos com mentalidade circular. Klemichen, Peters e Stark (2021) discutem a importância de ativar esses grupos de *makers* como defensores da sustentabilidade. Eles sugerem o uso de ferramentas e métodos específicos para aumentar a conscientização e a ação sustentável dentro da comunidade *maker*.

Os fundadores destes espaços desempenham um papel fundamental na promoção de práticas circulares, criando uma cultura facilitadora e promovendo conhecimentos práticos. Prendeville *et al*. (2017) discutem a importância dos gestores na implementação de estratégias circulares dentro desses espaços.

A implementação de *bio-makerspaces* tem promovido a aprendizagem sobre materiais circulares, *bio-based* e biodegradáveis. Vuylsteke *et al*. (2022) demonstram como esses espaços podem incentivar práticas sustentáveis e educar a comunidade sobre a reutilização e reciclagem de materiais. O estudo de Elsacker, Peeters e Laet (2022) sobre a fabricação aditiva com materiais de micélio colabora no sentido da utilização de materiais biodegradáveis pode promover a sustentabilidade em larga escala. Essa abordagem reduz o desperdício e promove a reciclagem de produtos.

A abordagem de bricolagem[12] e o uso de tecnologias digitais, como a impressão 3D, são cruciais para promover a inovação e a colaboração em *makerspaces*. Beltagui, Sesis e Stylos (2021) ilustram como essas práticas podem contribuir para a reutilização de recursos e a redução de resíduos, alinhando-se com os princípios da Economia Circular.

Velicu e Giannis (2020) exploram a utilização de materiais descartados, como brinquedos e dispositivos eletrônicos, enfatizando o processo de desmontagem e reutilização desses materiais. Este estudo demonstra uma abordagem prática para fechar o ciclo de vida dos produtos e promover a sustentabilidade.

Kohtala (2016) destaca a importância de considerar a sustentabilidade ambiental e a gestão de resíduos como parte integrante das práticas e ideologias dos *Fab Labs*. Este estudo

[12] De acordo com Beltagui, Sesis e Stylos (2021), bricolagem é uma prática que envolve fazer o melhor com os recursos disponíveis, utilizando materiais, ferramentas e habilidades já acessíveis para resolver problemas ou criar soluções inovadoras. Essa abordagem destaca a criatividade e a improvisação na resolução de desafios, frequentemente encontrada em espaços *maker*, onde os participantes reutilizam materiais e adaptam tecnologias para criar novos produtos ou protótipos. A bricolagem, nesse contexto, está alinhada aos princípios da Economia Circular, pois promove a reutilização de recursos, a redução de desperdícios e incentiva uma mentalidade de inovação sustentável através do uso eficiente de materiais e ferramentas existentes.

reforça a necessidade de integrar a gestão de resíduos nos Espaços *Maker* para promover a Economia Circular.

You *et al*. (2020) discutem como os laboratórios DIY podem ser facilitadores de soluções ambientais, promovendo a lógica da economia compartilhada e incentivando o desenvolvimento de soluções localizadas aplicáveis em outros contextos. A abordagem de ciclo de vida é destacada como crucial para a Economia Circular.

Monaco e Herce (2023) examinam a relação entre a Economia Circular e a Indústria 4.0, destacando a importância da avaliação da sustentabilidade ambiental antecipada da fabricação pessoal. Este estudo ressalta a contribuição potencial do movimento *maker* para a sustentabilidade, alinhando-se com os princípios da Economia Circular.

A utilização de tecnologias digitais, como a impressão 3D, pode promover a inovação e a colaboração em Espaços *Maker*. Beltagui, Kunz e Gold (2020) demonstram como essas tecnologias podem ajudar a superar restrições de recursos e impulsionar a inovação em cadeias de suprimentos socialmente sustentáveis.

Kohtala e Hyysalo (2015) debatem os impactos ambientais da produção personalizada e localizada, destacando como a fabricação digital distribuída pode reduzir materiais, resíduos e energia, especialmente para pequenos lotes. Esta abordagem contribui significativamente para a Economia Circular ao mitigar impactos negativos relacionados às cadeias de suprimentos.

Sanchez *et al*. (2020) e Zhong e Pearce (2018) discutem a reciclagem distribuída de plástico e a fabricação aditiva, mostrando como essas práticas podem criar um ciclo fechado de produção, onde os resíduos são transformados em novos produtos. Esta abordagem promove a sustentabilidade e a redução do desperdício. Estudos como o de Santander *et al*. (2020) comentam que a reciclagem distribuída de plástico para tecnologias de impressão 3D de código aberto pode ser uma maneira inovadora de lidar com resíduos plásticos. A integração de redes de reciclagem local e distribuída pode promover a sustentabilidade e reduzir o desperdício em Espaços *Maker*.

Spekkink, Rödl e Charter (2022) e Nascimento e Pólvora (2018) destacam como a participação ativa da sociedade civil em espaços maker pode desempenhar um papel fundamental na transição para uma economia mais circular. Essas iniciativas promovem a conscientização sobre a importância da sustentabilidade e do consumo responsável, incentivando a reutilização e reciclagem de produtos.

O envolvimento de crianças em atividades de remanufatura de plástico oceânico em Espaços *Maker*, como discutido por Vones *et al*. (2018), demonstra a importância da educação

ambiental. Essas iniciativas promovem a conscientização sobre a sustentabilidade e incentivam a participação ativa na Economia Circular desde cedo.

O uso de ferramentas de fabricação digital para design e prototipagem sustentável, conforme explorado por Soomro, Casakin e Georgiev (2021), pode contribuir para a criação de produtos mais duráveis e recicláveis. Essa abordagem facilita a reutilização de materiais e a redução do consumo de recursos.

Peeters, Kiratli e Semeijn (2019) identificam barreiras que dificultam a reciclagem local de resíduos de impressão 3D. A superação dessas barreiras requer inovação e colaboração entre acadêmicos e profissionais para acelerar soluções sustentáveis. Spekkink, Rödl e Charter (2022) reforçam a importância das iniciativas de base, como os *Repair* Cafés e o projeto *Precious Plastic*, para promover a cultura de reparo, reutilização e reciclagem. Essas iniciativas são fundamentais para envolver a sociedade civil na Economia Circular.

A integração de práticas de Economia Circular em Espaços *Maker* junto às tecnologias de fabricação digital representa uma abordagem promissora para a sustentabilidade. Esses ambientes permitem a reutilização e reciclagem de materiais, promovem a inovação colaborativa e podem responder rapidamente a necessidades locais. Apesar dos desafios, as oportunidades para uma economia mais circular e resiliente são substanciais, como demonstrado por diversas iniciativas e estudos recentes. As tecnologias de fabricação digital, especialmente a impressão 3D, emergem como facilitadoras cruciais dessa transição, promovendo tanto a sustentabilidade ambiental quanto o desenvolvimento social.

Esta seção destacou os diversos impactos e aplicações da Economia Circular em Espaços *Maker* e através de tecnologias de fabricação digital. A análise das referências revela a importância de promover práticas sustentáveis, inovadoras e colaborativas para avançar em direção a um modelo econômico mais circular. A integração desses princípios em Espaços *Maker* é crucial para alcançar a sustentabilidade ambiental e social.

4.1.1.1 Lacunas e desafios para a implementação da Economia Circular em Espaços Maker

Diversos desafios e lacunas ainda precisam ser superados para garantir uma implementação eficaz da Economia Circular em Espaços *Maker*. Este subtópico revisa sistematicamente as principais lacunas e desafios identificados na literatura selecionada, agrupando-os em categorias temáticas para uma compreensão estruturada dos obstáculos enfrentados.

A dependência de materiais descartados e a falta de padronização e regulamentação para materiais reciclados são grandes desafios. A qualidade dos materiais reciclados pode variar consideravelmente, afetando a confiabilidade e a consistência dos produtos finais (Velicu; Giannis, 2020). A disponibilidade limitada de materiais reciclados de alta qualidade impede uma fabricação aditiva eficiente e sustentável (Cruz Sanchez *et al*., 2020; Rattan *et al*., 2023; Woern *et al*., 2018).

Além disso, nem todos os Espaços *Maker* possuem acesso a ferramentas e tecnologias necessárias para implementar práticas circulares. A falta de tecnologias de reciclagem de alta qualidade e a necessidade de equipamentos especializados são barreiras significativas (Muth; Klunker; Völlmecke, 2023; Velicu; Giannis, 2020). Integrar novas tecnologias em Espaços *Maker* requer investimentos substanciais em infraestrutura e capacitação dos usuários (Leminen *et al*., 2021).

Os Espaços *Maker* frequentemente enfrentam vulnerabilidades, especialmente aqueles localizados em áreas urbanas. A transitoriedade desses espaços dificulta sua integração em redes institucionais e o recebimento de apoio público (Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). A falta de infraestrutura adequada para a reciclagem e a gestão de resíduos também é um desafio significativo (Hennelly *et al*., 2019).

A ausência de conhecimento sobre os princípios da Economia Circular e a necessidade de treinamento em práticas sustentáveis são desafios constantes. A falta de educação sobre a EC impede a adoção de práticas circulares por parte dos usuários de Espaços *Maker* (Premyanov *et al*., 2022; Vuylsteke *et al*., 2022). Programas de treinamento em empreendedorismo e práticas sustentáveis são essenciais para capacitar os *makers* a adotar abordagens circulares em seus projetos (Soomro; Casakin; Georgiev, 2021).

A mudança de mentalidade torna-se crucial para a implementação da EC. Apesar dos valores de sustentabilidade serem amplamente difundidos, sua aplicação prática é limitada devido à falta de integração desses valores na identidade dos *makers* (Klemichen; Peters; Stark, 2021). Promover uma cultura de sustentabilidade requer esforços contínuos de educação e conscientização (Marić *et al*., 2023; Unterfrauner *et al*., 2018).

A gestão adequada de resíduos e a reciclagem eficiente são pilares da Economia Circular. No entanto, desafios como a formação de mofo em materiais *bio-based* e a falta de tecnologias de reciclagem de alta qualidade dificultam a implementação de práticas sustentáveis (Peeters *et al*., 2019; Vuylsteke *et al*., 2022). A necessidade de sistemas eficientes de logística reversa para coletar e reciclar resíduos é igualmente importante (Kohtala; Hyysalo, 2015). Além disso, a alta demanda por recursos e a abordagem de tentativa e erro comum em Espaços *Maker*

contribuem para o aumento do desperdício de materiais. Integrar práticas de prevenção de resíduos e consumo responsável é essencial para promover a EC (Beltagui; Sesis; Stylos, 2021; Kohtala, 2016).

Os modelos de negócios nos laboratórios DIY frequentemente priorizam análises econômicas em detrimento das questões ambientais e sociais. Há uma necessidade de desenvolver modelos de negócios que integrem valores econômicos, ambientais e sociais para promover a EC (Behnert; Arlinghaus, 2023; You *et al*., 2020). **A falta de reconhecimento oficial e regulamentações claras para práticas circulares impede o desenvolvimento sustentável dos Espaços *Maker*. Políticas de apoio e incentivos governamentais são necessários para facilitar a adoção da EC** (Coskun *et al*., 2022; Hoosain; Paul; Ramakrishna, 2020; Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). Junto a isso, a participação ativa da comunidade é vital para o sucesso das iniciativas de EC. No entanto, envolver a comunidade de maneira contínua e significativa é um desafio, especialmente em áreas urbanas (Monaco; Herce, 2023; Spekkink; Rödl; Charter, 2022).

Os processos de fabricação em Espaços *Maker* enfrentam desafios como a criação de biomateriais e a complexidade dos parâmetros de impressão. Melhorias nos processos de fabricação são necessárias para garantir a produção sustentável e de alta qualidade (Elsacker; Peeters; Laet, 2022; Vuylsteke *et al*., 2022). A falta de clareza na responsabilidade pela manutenção dos recursos compartilhados e a necessidade de melhores controles de qualidade são desafios significativos. Desta forma, estabelecer diretrizes claras para a manutenção e a reutilização de materiais é primordial para a implementação plena da EC nestes ambientes (Beltagui; Sesis; Stylos, 2021; Woern *et al*., 2018).

A falta de diversidade e representatividade nos *makerspaces* é uma barreira para a verdadeira democratização da inovação. Incluir grupos sub-representados e promover a inclusão social são desafios críticos que precisam ser abordados para alcançar os objetivos da EC (Beltagui; Sesis; Stylos, 2021; Coskun *et al*., 2022).

Apesar dos desafios enfrentados, os Espaços *Maker* oferecem um ambiente propício para a implementação dos princípios da Economia Circular, abrindo caminho para diversas oportunidades de inovação, colaboração e sustentabilidade.

4.1.1.2 Oportunidades na aplicação da Economia Circular em Espaços Maker

Os Espaços *Maker* proporcionam um ambiente propício para a inovação e experimentação no design de produto, permitindo a exploração de novas ideias e a colaboração

com outros membros da comunidade *maker* (Nascimento; Pólvora, 2018). A implementação de práticas de Economia Circular em currículos educacionais formais e informais, conforme discutido por Velicu e Giannis (2020), promove a conscientização ambiental e práticas sustentáveis desde a infância.

Nessas linhas, os *makerspaces* oferecem um ambiente propício para a troca de ideias, recursos e habilidades, promovendo a colaboração entre os membros e potencializando os resultados da inovação (Beltagui; Sesis; Stylos, 2021). A colaboração em Espaços *Maker* e o uso de tecnologias de fabricação digital podem promover a Economia Circular, permitindo a reutilização de materiais, a produção localizada e personalizada, e a redução do desperdício (Leminen *et al*., 2021). A promoção de práticas circulares pode gerar um impacto positivo nas comunidades locais, fortalecendo o desenvolvimento sustentável e a inclusão social (Leminen *et al*., 2021).

A participação em *makerspaces* e o uso de tecnologias como a impressão 3D podem ajudar indivíduos a desenvolver habilidades empreendedoras e a transformar ideias inovadoras em empreendimentos comerciais (Beltagui; Sesis; Stylos, 2021). A implementação de um programa de aceleração para *makers* circulares pode ajudar a desenvolver habilidades empreendedoras e promover a Economia Circular em espaços maker (Premyanov *et al*., 2022). Além disso, a capacidade dos DIY *laboratories* de atuarem como incubadoras de tecnologia e promoverem inovação científica e tecnológica em nível local é destacada por You *et al*. (2020).

Diante disso, a criação de um ecossistema híbrido de *makerspaces* em Leuven, Bélgica, serve como um modelo bem-sucedido para a aplicação da Economia Circular em Espaços *Maker* (Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). Essa implementação de práticas circulares nesses ambientes tem demonstrado ser essencial para o desenvolvimento urbano sustentável. A utilização de bioplásticos baseados em polímeros de alginato, como destacado por Delgado, Breuer e Forman (2022), e a reciclagem de plásticos para uso em impressão 3D, conforme apresentado por Cruz Sanchez *et al*. (2020), são exemplos de práticas que contribuem significativamente para a sustentabilidade ambiental. O estudo de Kohtala (2016) também ressaltou a importância de abordar questões socioambientais de forma integrada.

Nesse bojo, a criação de um "*bio-makerspace*" promove a aprendizagem e o desenvolvimento de habilidades circulares, conforme identificado por Vuylsteke *et al*. (2022). A implementação de práticas circulares nos Espaços *Maker*, como a reciclagem de plásticos e a reutilização de materiais, contribui para a formação de uma consciência ambiental e o desenvolvimento de competências circulares voltadas para a sustentabilidade (Nascimento;

Pólvora, 2018). A importância de considerar as implicações socioambientais em diferentes níveis de atuação é destacada por Kohtala (2016).

Por outro lado, a abordagem de *bricolagem* e o uso de tecnologias digitais, como a impressão 3D, podem impulsionar a inovação e a criatividade em *makerspaces* (Beltagui; Sesis; Stylos, 2021). A experimentação com fabricação digital e o Design Aberto promovem uma prática inovadora e a resolução criativa de problemas (Kohtala, 2016). A prática de desmontar e reutilizar materiais descartados proporciona oportunidades significativas de aprendizado e criatividade, especialmente para crianças envolvidas nesses espaços (Velicu; Giannis, 2020). Além disso, a utilização de tecnologias como a impressão 3D para produzir peças personalizadas e sob demanda, conforme discutido por Muth, Klunker e Völlmecke (2023), é um exemplo do potencial inovador desses espaços.

Os Espaços *Maker* têm o potencial de atuar como locais de engajamento cívico, promovendo práticas de reciclagem e *upcycling*[13] e incentivando a participação ativa na comunidade (Velicu; Giannis, 2020). A promoção de práticas circulares pode gerar um impacto social positivo nas comunidades locais, fortalecendo o desenvolvimento sustentável e a inclusão (Leminen *et al*., 2021). A utilização de Espaços *Maker* para promover a consciência social e ambiental entre os participantes, conforme destacado por Nascimento e Pólvora (2018), também é um benefício significativo.

A valorização de resíduos orgânicos para criar produtos biodegradáveis utilizando materiais de micélio[14], conforme estudado por Elsacker, Peeters e Laet (2022), é um exemplo de como os Espaços *Maker* podem contribuir para a sustentabilidade. A transformação de filamentos de PLA em cola e o uso de sobras oriundos das cortadoras a laser como espaçadores, conforme identificado por Honkala, Hölttä-Otto e Kähkönen (2023), são práticas que demonstram a capacidade de reutilização de materiais.

---

[13] De acordo com Velicu e Giannis (2020), *upcycling* é o processo de transformação de materiais descartados ou resíduos em novos produtos de maior valor agregado. Essa abordagem vai além da simples reutilização, pois promove a requalificação criativa dos materiais, conferindo-lhes novas funções, utilidades ou estéticas. O *upcycling* busca, assim, prolongar o ciclo de vida dos produtos e reduzir o desperdício, alinhando-se aos princípios da Economia Circular ao transformar resíduos em recursos valiosos e sustentáveis.

[14] De acordo com Elsacker, Peeters e Laet (2022), *micélio* é a estrutura filiforme de fungos que atua como uma rede de crescimento natural, funcionando como um agente de ligação biológico na fabricação de materiais sustentáveis. O micélio é amplamente explorado como um material *bio-based* e biodegradável devido à sua capacidade de se desenvolver a partir de substratos orgânicos, formando componentes leves, duráveis e de baixo impacto ambiental. Essa característica o torna uma alternativa promissora para a produção de materiais circulares em processos de fabricação, alinhando-se aos princípios da Economia Circular e promovendo a sustentabilidade em larga escala.

A identificação de oportunidades e desafios essenciais para promover a transição para a Economia Circular destaca a importância do compartilhamento de conhecimento, fechamento de *loops* de recursos e proximidade do produto como elementos-chave para alcançar a circularidade (Behnert; Arlinghaus, 2023; Hoosain; Paul; Ramakrishna, 2020).

Este panorama dos benefícios e descobertas destaca a importância dos Espaços *Maker* na promoção da Economia Circular e da sustentabilidade. A integração dessas práticas em diversos contextos urbanos e educacionais pode contribuir para o desenvolvimento sustentável e a inovação social.

4.1.1.3 Contribuição para o Design de Produto na aplicação da Economia Circular em Espaços Maker

Os estudos sobre Economia Circular e Espaços *Maker* apresentam diversas contribuições significativas para o design de produtos. As pesquisas selecionadas enfatizam a importância da sustentabilidade, da reutilização de materiais, da inovação e da colaboração na criação de produtos mais ecologicamente corretos e eficientes. Esta seção apresenta os resultados e conclusões dos autores contemplados no mapeamento sistemático, destacando como essas práticas podem transformar o design de produto.

Primeiramente, Schroder, Elwakil e Steemers (2024) sublinham a necessidade de desenvolver produtos otimizados para ciclos consecutivos de desmontagem e reutilização, promovendo a circularidade. Os autores identificam a importância de fechar os *loops* de material e produção em uma escala maior, utilizando resíduos como "nutrientes" para alimentar o sistema circular. A criação de um ecossistema híbrido de *makerspaces* em Leuven, Bélgica, demonstra como a colaboração entre *makers* pode promover a circularidade e a reutilização de materiais. A proximidade e a criação de redes entre *makers* são essenciais para facilitar a colaboração e o fechamento dos ciclos de materiais e produtos, aspectos fundamentais para a Economia Circular.

Outro aspecto importante abordado pelos autores é a sustentabilidade e o uso de materiais *bio-based*[15]. Delgado, Breuer e Forman (2022) discutem o desenvolvimento de bioplásticos baseados em polímero de alginato, utilizando resíduos orgânicos como enchimento

[15] De acordo com Delgado, Breuer e Forman (2022), o termo *bio-based* refere-se a materiais derivados de fontes biológicas renováveis, como plantas, resíduos agrícolas e outros organismos naturais. Esses materiais são uma alternativa sustentável aos materiais sintéticos tradicionais, pois promovem a redução da dependência de recursos fósseis e diminuem o impacto ambiental.

para evitar o encolhimento. A pesquisa demonstra a viabilidade da utilização de materiais *bio-based* em processos de fabricação digital, apresentando oportunidades para a substituição de plásticos sintéticos por materiais mais sustentáveis e ambientalmente amigáveis.

A reutilização de materiais também é destacada por Velicu e Giannis (2020), que reforçam a importância de reutilizar materiais descartados, como brinquedos e eletrônicos, no processo de criação e design de novos produtos. A abordagem "desfazer para fazer" mostrou-se eficaz para estimular a criatividade e a inovação no design de produtos, promovendo a consciência ambiental desde a infância e abrindo caminho para o desenvolvimento de modelos de negócios sustentáveis.

A educação e a capacitação em práticas sustentáveis são essenciais para preparar a próxima geração de designers e engenheiros. Vuylsteke *et al*. (2022) assinalam a importância dos "*bio-makerspaces*" para promover a aprendizagem e habilidades circulares entre os estudantes de design. Eles reconhecem a importância dos designers na busca por materiais mais sustentáveis e a implementação de "*bio-makerspaces*" como uma forma de educar designers preparados para lidar com materiais circulares, *bio-based* e biodegradáveis.

Klemichen, Peters e Stark (2021) detectaram o potencial dos *makerspaces* com a finalidade de contribuir para a sustentabilidade ambiental, exaltando a necessidade de integrar considerações ambientais na identidade dos *makers* e nas normas da comunidade. Os teóricos propõem um *framework* teórico para promover o desenvolvimento de produtos sustentáveis em *makerspaces*, combinando conhecimento de engenharia e sustentabilidade para aumentar a conscientização sobre a sustentabilidade ambiental.

A inovação é uma força motriz no design de produtos sustentáveis. Beltagui, Sesis e Stylos (2021) destacam a impressão 3D como uma ferramenta essencial para a inovação em *makerspaces*, permitindo a conexão entre componentes de produtos e preenchendo lacunas nos recursos disponíveis. Os autores enfatizam a importância da abordagem de *bricolagem*, que envolve fazer o melhor com os recursos disponíveis, e da criatividade e aprendizado no desenvolvimento de produtos inovadores.

Campos e Cipolla (2021) expõem a aplicação da Economia Circular em Espaços *Maker* como uma abordagem promissora para promover a sustentabilidade na produção de bens. As tecnologias de fabricação digital, como a impressão 3D, facilitam a produção personalizada e sob demanda, influenciando o design de produtos para atender às necessidades específicas dos usuários.

Consonante a isso, Muth, Klunker e Völlmecke (2023) reafirmam a importância da fabricação digital, como a impressão 3D, na promoção de designs mais sustentáveis e

personalizados, permitindo a produção localizada e sob demanda de produtos. Os teóricos ainda ressaltam o potencial da Economia Circular em Espaços *Maker* para incentivar a reutilização de materiais e a fabricação de peças de reposição, prolongando o ciclo de vida dos produtos e reduzindo o desperdício.

Diante disso, a colaboração é um elemento chave para a inovação no design de produtos. Prendeville *et al*. (2017) identificam os gestores e fundadores de *makerspaces* como elementos-chave na promoção de práticas circulares. Eles enfatizam a importância de criar uma cultura facilitadora, estabelecer conexões locais e estimular conhecimentos práticos para desenvolver capacidades individuais e comunitárias. A pesquisa destaca o potencial dos *makerspaces* em desempenhar um papel crítico em uma Economia Circular futura.

Nascimento e Pólvora (2018) discutem o empoderamento dos designers através do engajamento com tecnologias de fabricação digital nos Espaços *Maker*. As práticas de reparo e reutilização promovem a durabilidade dos produtos, enquanto a inovação e experimentação proporcionam um ambiente propício para soluções criativas no design de produto. A ênfase na consciência social e ambiental nos Espaços *Maker* incentiva práticas responsáveis e éticas no design de produto.

A sustentabilidade no design de produto é um tema recorrente nas pesquisas. Kohtala (2016) ressalta a importância de considerar a sustentabilidade em todas as etapas do processo de design, desde a escolha de materiais até a fabricação e descarte dos produtos. A pesquisa destaca a necessidade de envolver uma variedade de partes interessadas, incluindo especialistas técnicos e ambientais, para abordar questões problemáticas de forma colaborativa. Laboratórios exemplares com visões e programas voltados para a ecologia servem como modelos importantes para priorizar a sustentabilidade no design de produtos.

A integração de práticas de sustentabilidade no design de produto não apenas contribui para a preservação ambiental, mas também impulsiona a inovação, permitindo o desenvolvimento de soluções criativas e eficientes para desafios complexos (Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). Os *makerspaces*, com sua cultura colaborativa e experimental, são ambientes ideais para testar e implementar essas práticas, servindo como laboratórios vivos para a inovação sustentável (Beltagui; Sesis; Stylos, 2021).

A reutilização de materiais e a promoção da circularidade são aspectos cruciais para a criação de um ciclo fechado de produção, onde os resíduos são transformados em novos produtos. Essa abordagem não apenas reduz o impacto ambiental, mas também abre novas oportunidades de negócios e modelos de mercado baseados na Economia Circular (Delgado; Breuer; Forman, 2022; Velicu; Giannis, 2020).

A educação e a capacitação em práticas sustentáveis e circulares são fundamentais para preparar a próxima geração de designers e engenheiros para os desafios futuros. Programas de aceleração para *makers* circulares são exemplos de como a educação pode ser integrada ao desenvolvimento de competências e habilidades voltadas para a sustentabilidade (Klemichen; Peters; Stark, 2021; Prendeville *et al*., 2017).

A participação ativa dos consumidores no processo de criação do produto, como em *makerspaces* ou modelos de negócios de design aberto, fortalece a proximidade com o cliente e aumenta o valor percebido do produto (Beltagui; Kunz; Gold, 2020). A necessidade de desenvolver modelos de negócios apropriados para Espaços *Maker* e tecnologias de código aberto, considerando desafios como responsabilidade do produto, falta de padronização e dificuldades de escalabilidade, é essencial para a promoção da Economia Circular (Hennelly *et al*., 2019).

A identificação das barreiras significativas que dificultam a reciclagem local de resíduos de impressão 3D e a sugestão de soluções, como a implementação de sistemas de reciclagem autossuficientes em Espaços *Maker*, ressaltam a importância de uma abordagem integrada e colaborativa para a promoção da sustentabilidade (Peeters; Kiratli; Semeijn, 2019).

A reciclagem de plástico distribuída por meio da fabricação aditiva, resultando em uma redução significativa do impacto ambiental, destaca a importância da Economia Circular no design de produtos (Caceres-Mendoza *et al*., 2023; Zhong; Pearce, 2018). A reciclagem e fabricação distribuídas, fechando o ciclo de materiais plásticos e reduzindo significativamente o consumo de energia, mostram-se essenciais para o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis e eficientes (Despeisse *et al*., 2017).

A necessidade de redesign de produtos para promover a Economia Circular, considerando a interdependência entre design, processo e seleção de materiais, é crucial para a configuração de uma cadeia de valor sustentável (Kohtala; Hyysalo, 2015).

Portanto, os Espaços *Maker* proporcionam um ambiente propício para a inovação e experimentação no design de produto, permitindo a exploração de novas ideias e a colaboração com outros membros da comunidade *maker* (Nascimento; Pólvora, 2018). A implementação de práticas de Economia Circular em currículos educacionais formais e informais, conforme discutido por Velicu e Giannis (2020), promove a conscientização ambiental e práticas sustentáveis.

Destacam-se assim, as contribuições para o design de produto, mas também aponta para a necessidade de continuar a pesquisa em várias áreas. O desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem, a implementação de políticas de apoio à Economia Circular e a promoção de

uma cultura de processos em inovação sustentável são apenas algumas das direções futuras que podem ser exploradas (Campos; Cipolla, 2021; Kohtala, 2017).

Continuar a investigar e desenvolver práticas de Economia Circular em Espaços *Maker* contribuirá significativamente para o desenvolvimento sustentável e a inovação social para a criação de modelos de negócios alinhados aos princípios da EC e ao Design como um todo (Muth; Klunker; Völlmecke, 2023; Nascimento; Pólvora, 2018).

4.1.1.4 Papel dos Espaços Maker no Conhecimento do Design e da Economia Circular

Os Espaços *Maker*, também conhecidos como *Fab Labs* ou *makerspaces*, têm se consolidado como ambientes cruciais para a experimentação, inovação e implementação de práticas de design sustentáveis e de Economia Circular. Esta seção explora as principais tecnologias utilizadas nesses espaços e discute o papel fundamental que desempenham na disseminação do conhecimento sobre Design e Economia Circular.

As tecnologias de fabricação digital são o coração dos Espaços *Maker*, permitindo uma ampla gama de atividades de design e produção. As principais tecnologias encontradas incluem a impressão 3D, também conhecida como fabricação aditiva, que permite a criação de objetos tridimensionais a partir de modelos digitais. Essa tecnologia é fundamental para a prototipagem rápida e a produção sob demanda, facilitando a experimentação com materiais reciclados e sustentáveis (Byard *et al*., 2019; Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). A capacidade de utilizar plásticos reciclados na impressão 3D, como demonstrado por Zhong e Pearce (2018), exemplifica como essa tecnologia pode fechar o ciclo de materiais, promovendo a Economia Circular.

As cortadoras a laser e as máquinas CNC permitem o corte e a gravação precisos de materiais como madeira, acrílico e, em algumas vezes, a depender do equipamento, até metal. Essas tecnologias são essenciais para a criação de peças detalhadas e personalizadas, contribuindo para a redução de resíduos e a eficiência de materiais (Kohtala; Hyysalo, 2015; Rattan *et al*., 2023).

Tecnologias como o *Recyclebot*, que transforma resíduos plásticos em filamentos para impressão 3D, são exemplos de como os Espaços *Maker* podem integrar práticas de reciclagem no processo de fabricação (Woern *et al*., 2018). Esse enfoque na reciclagem distribuída não só promove a reutilização de materiais, mas também incentiva a produção local e a redução de impactos ambientais (Caceres-Mendoza *et al*., 2023).

A fabricação de materiais *bio-based*, como bioplásticos e bio-cerâmicas, utilizando extrusão 3D portátil e outros métodos, demonstra o potencial dos Espaços *Maker* para inovar com materiais sustentáveis (Delgado; Breuer; Forman, 2022). Essas tecnologias permitem a exploração de novas soluções de design que são tanto biodegradáveis quanto ambientalmente amigáveis.

Entretanto, os Espaços *Maker* são mais do que locais equipados com tecnologias avançadas, pois se configuram como ambientes de colaboração, aprendizagem e inovação. Seu papel na promoção do conhecimento do Design e da Economia Circular pode ser dividido em várias funções chave:

a) experimentação e prototipagem rápida: os Espaços *Maker* fornecem as ferramentas e o ambiente necessário para a prototipagem rápida, permitindo que designers e fabricantes testem e refinem suas ideias de maneira iterativa (Prendeville *et al*., 2017; Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). A capacidade de criar e testar protótipos rapidamente é essencial para a inovação, especialmente quando se trata de integrar novos materiais e métodos sustentáveis;
b) colaboração e co-criação: a natureza colaborativa dos Espaços *Maker* facilita a troca de conhecimento e habilidades entre os participantes, promovendo a cocriação de soluções inovadoras (Beltagui; Kunz; Gold, 2020; You *et al*., 2020). Essa colaboração interdisciplinar é vital para o avanço de práticas de design circular, pois permite que diferentes perspectivas e conhecimentos sejam combinados para criar produtos mais sustentáveis;
c) educação e capacitação: os Espaços *Maker* desempenham um papel crucial na educação sobre práticas sustentáveis e Economia Circular. Através de *workshops*, cursos e projetos práticos, os participantes podem aprender sobre design sustentável, reciclagem de materiais e fabricação digital (Klemichen; Peters; Stark, 2021; Vuylsteke *et al*., 2022). Essa educação prática é fundamental para preparar a próxima geração de designers e engenheiros para os desafios da sustentabilidade;
d) promoção da sustentabilidade e da circularidade: os Espaços *Maker* incentivam a adoção de práticas sustentáveis, como a reciclagem, reutilização de materiais e design consciente do ciclo de vida do produto. Ao oferecer recursos e suporte para a implementação de projetos sustentáveis, esses espaços desempenham um papel crucial na conscientização e na promoção da Economia Circular (Campos; Cipolla, 2021; Honkala; Hölttä-Otto; Kähkönen, 2023).

Para ilustrar o impacto dos Espaços *Maker* no conhecimento do Design e da Economia Circular, podemos considerar alguns exemplos práticos:

a) *bio-makerspaces*: como descrito por Vuylsteke *et al*. (2022), os *bio-makerspaces* equipados com tecnologias específicas, como impressoras 3D de cerâmica e autoclaves, permitem a experimentação com materiais *bio-based*. Esses espaços não só fornecem a infraestrutura necessária para a prototipagem de materiais sustentáveis, mas também educam os estudantes sobre a importância da circularidade e da biodegradabilidade no design de produtos;
b) reciclagem e fabricação distribuída: a pesquisa de Woern *et al*. (2018) sobre o *Recyclebot* e a reciclagem distribuída de plásticos demonstra como os Espaços *Maker* podem fechar o ciclo de materiais e promover a Economia Circular. A fabricação local de filamentos de plástico reciclado para impressão 3D não só reduz a dependência de recursos virgens, mas também cria um ciclo fechado de produção e consumo;
c) prototipagem e desenvolvimento de bioplásticos: Delgado, Breuer e Forman (2022) demonstram como a utilização de extrusão 3D portátil para desenvolver bioplásticos exibe o potencial dos Espaços *Maker* para inovar com materiais sustentáveis. A capacidade de criar e testar novos materiais *bio-based* em um ambiente colaborativo permite avanços significativos no design de produtos sustentáveis;
d) implementação de tecnologias de código aberto: a pesquisa de Priavolou *et al*. (2022) salientam as vantagens das tecnologias de código aberto, como impressoras 3D, em termos de educação, experimentação e manutenção. Os Espaços *Maker* que utilizam tecnologias de código aberto promovem a transparência, colaboração e personalização, contribuindo para práticas mais sustentáveis e adaptáveis.

Embora os Espaços *Maker* ofereçam inúmeras vantagens para a promoção da Economia Circular e do design sustentável, também enfrentam desafios que precisam ser abordados:

a) falta de recursos e infraestrutura: muitos Espaços *Maker* operam com recursos limitados, o que pode restringir sua capacidade de oferecer uma gama completa de tecnologias e suporte necessário para projetos sustentáveis (Peeters; Kiratli; Semeijn, 2019);
b) necessidade de educação e treinamento: embora os Espaços *Maker* ofereçam oportunidades educacionais, há uma necessidade contínua de desenvolvimento de

programas de treinamento que capacitem os participantes em práticas avançadas de design sustentável e Economia Circular (Vuylsteke *et al*., 2022);

c) desafios na escalabilidade: a transição de projetos experimentais para produção em larga escala pode ser desafiadora. Os espaços maker precisam desenvolver estratégias para escalar suas práticas sustentáveis sem comprometer a qualidade ou a sustentabilidade dos produtos (Hennelly *et al*., 2019);
d) integração de políticas de apoio: a implementação de políticas que apoiem a Economia Circular e incentivem a sustentabilidade nos espaços maker é crucial. Isso inclui incentivos fiscais, subsídios para projetos sustentáveis e regulamentações que promovam a reutilização de materiais (Schroder; Elwakil; Steemers, 2024).

Os Espaços *Maker* e as tecnologias de fabricação digital desempenham papéis importantes na promoção do conhecimento do Design e da Economia Circular. Ao fornecer um ambiente adequado para a experimentação, colaboração e educação, esses espaços facilitam a criação de produtos inovadores e sustentáveis.

No entanto, para maximizar seu impacto, é necessário abordar desafios relacionados a recursos, educação e escalabilidade, além de promover políticas que incentivem práticas sustentáveis. Continuar a investigar e desenvolver práticas de Economia Circular em Espaços *Maker* contribuirá significativamente para o desenvolvimento sustentável e a inovação social, promovendo a reutilização de materiais, a redução do desperdício e a criação de modelos de negócios mais sustentáveis.

4.1.1.5 Aplicação da Economia Circular em Espaços Maker

Nos últimos anos, os Espaços *Maker* têm emergido como ambientes propícios para a implementação prática dos princípios da economia circular. Equipados com tecnologias de fabricação digital, como impressoras 3D, cortadoras a laser e máquinas CNC, os *makerspaces* oferecem uma plataforma para a inovação, colaboração e educação sobre práticas sustentáveis.

Desse modo, sobre a Hibridização de *Makerspaces* - Schroder, Elwakil e Steemers (2024) destacam a importância de promover a hibridização dos *makerspaces*, combinando diferentes tipologias como reparo, fabricação e distribuição em um único espaço. Essa abordagem facilita a colaboração, o compartilhamento de recursos e a criação de sinergias entre os *makers*. A interconexão de diferentes atividades e habilidades em um ambiente híbrido

promove a circularidade dos recursos, permitindo a reutilização de materiais e a integração de práticas sustentáveis.

Além disso, estabelecer redes e parcerias entre *makerspaces*, instituições educacionais, empresas e autoridades locais é crucial para promover a troca de conhecimentos, habilidades e materiais (Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). Isso facilita a circularidade dos recursos dentro do ecossistema *maker*, incentivando a reutilização e a reciclagem de materiais. A colaboração entre diferentes *stakeholders*[16] é essencial para criar um ambiente de inovação contínua e desenvolvimento sustentável.

A promoção da literacia circular é fundamental para capacitar os *makers* a adotarem práticas de design e produção mais sustentáveis (Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). Iniciativas educacionais podem incluir *workshops*, palestras e atividades práticas que ensinem os princípios da Economia Circular, como o uso de materiais reciclados, a reparação de produtos e o prolongamento da vida útil dos objetos. Vuylsteke *et al*. (2022) ressaltam a importância de educar jovens designers sobre o uso significativo de materiais circulares, *bio-based* e biodegradáveis desde as fases iniciais de design, preparando-os para adotar práticas sustentáveis em seus projetos.

A conscientização ambiental pode ser promovida através de atividades que integrem a Economia Circular nos Espaços *Maker*, destacando a importância da reutilização, do *upcycling* e da redução do desperdício (Velicu; Giannis, 2020). Essa conscientização pode levar a mudanças de comportamento em relação ao consumo, descarte e reutilização de produtos, contribuindo para a construção de uma sociedade mais sustentável.

O design circular envolve a criação de produtos que sejam duráveis, reparáveis e reutilizáveis, considerando o ciclo de vida completo do produto desde a seleção de materiais até o descarte responsável (Klemichen; Peters; Stark, 2021). Os *makerspaces* podem incentivar a adoção de práticas de design sustentável, como a escolha de materiais de origem sustentável e de baixo impacto ambiental, a utilização de materiais reciclados e biodegradáveis, e a implementação de processos de fabricação que minimizem o desperdício de materiais e energia.

A criação de produtos circulares nos *makerspaces* pode ser estimulada através do design para desmontagem, reparo e reutilização de componentes (Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). Isso não apenas economiza recursos, mas também reduz a quantidade de resíduos gerados. Beltagui, Sesis e Stylos (2021) sugerem a implementação de sistemas de reciclagem de

[16] No contexto de Economia Circular e Espaços *Maker*, os stakeholders incluem *makers*, designers, educadores, gestores, instituições governamentais e privadas, entre outros, que colaboram ou são impactados pelas práticas e iniciativas desenvolvidas nesses ambientes.

resíduos, especialmente relacionados à impressão 3D, onde sobras de filamentos ou peças defeituosas podem ser recicladas e reutilizadas na produção de novos itens. Isso contribui para a redução do impacto ambiental e para a promoção da economia circular.

A reutilização de materiais é uma prática central, promovendo a economia de recursos e a redução de resíduos (Kohtala, 2016). Os *Makerspaces* podem incentivar a prática de desmontagem e *upcycling* de materiais descartados, como brinquedos e dispositivos eletrônicos, prolongando a vida útil dos produtos e reduzindo o descarte de resíduos (Velicu; Giannis, 2020).

Além disso, a reciclagem de materiais pode ser integrada nas práticas de fabricação dos Espaços *Maker*. Por exemplo, a implementação de tecnologias como o *Recyclebot*, que transforma resíduos plásticos em filamentos para impressão 3D, promove a reutilização de recursos e reduz a dependência de materiais virgens (Woern *et al*., 2018). Zhong e Pearce (2018) apontam a viabilidade da fabricação distribuída com impressoras 3D *RepRap*[17] para produzir produtos a partir de materiais reciclados, promovendo a reutilização de recursos e a redução do desperdício.

A colaboração e o compartilhamento de recursos são elementos chave para a promoção da Economia Circular em Espaços *Maker*. You *et al*. (2020) sugerem que os *makerspaces* podem facilitar o compartilhamento de equipamentos e ferramentas entre os usuários, reduzindo a necessidade de adquirir novos recursos e promovendo a economia colaborativa. Essa prática não apenas otimiza o uso de recursos, mas também amplia o acesso a tecnologias e estimula a criatividade e a inovação.

A colaboração entre designers, fabricantes e outros *stakeholders* é essencial para a co-criação de soluções inovadoras e sustentáveis (Spekkink; Rödl; Charter, 2022). Esses atores que trabalham em *Makerspaces* podem promover a troca de ideias e a co-criação de projetos, fortalecendo a comunidade e incentivando a adoção de práticas circulares.

Os *makerspaces* também podem servir como incubadoras para o desenvolvimento de novos produtos e empreendimentos que levem em conta os desafios ambientais e promovam a Economia Circular (Unterfrauner *et al*., 2019). Premyanov *et al*. (2022) sugerem a implementação de programas de aceleração que ofereçam treinamento, mentoria e suporte para *makers* interessados em desenvolver negócios com foco na circularidade. Esses programas

[17] De acordo com Zhong e Pearce (2018), a impressora 3D *RepRap* é uma máquina de fabricação aditiva de código aberto projetada para ser autorreplicável, permitindo a produção de suas próprias peças estruturais. Utilizada em Espaços *Maker*, destaca-se pelo baixo custo e acessibilidade. Sua flexibilidade torna-a ideal para experimentação e aprendizado, enquanto o modelo de código aberto incentiva a inovação e a colaboração em projetos sustentáveis.

podem ajudar os participantes a transformarem seus modelos de negócios em soluções circulares e competitivas no mercado.

Além disso, os Espaços *Maker* podem explorar modelos de negócios baseados em princípios circulares, como a monetização de produtos de longa duração, a promoção da manutenção e reparo, e a implementação de estratégias de "acesso sobre propriedade", que incentivam a reutilização e compartilhamento de recursos (Behnert; Arlinghaus, 2023).

A aplicação da Economia Circular em Espaços *Maker* oferece inúmeras oportunidades para promover a sustentabilidade e a inovação no design e na fabricação de produtos. A hibridização de *makerspaces*, a promoção da educação e conscientização sobre práticas sustentáveis, o incentivo ao design circular e à reutilização de materiais, a implementação de sistemas de reciclagem e a promoção da colaboração e compartilhamento de recursos são algumas das estratégias que podem ser adotadas para alcançar esses objetivos.

Através da integração dessas práticas, os *makerspaces* podem não apenas reduzir seu impacto ambiental, mas também fomentar uma cultura de inovação sustentável e colaborativa. Continuar a investigar e desenvolver práticas de Economia Circular em Espaços *Maker* contribuirá significativamente para o desenvolvimento sustentável e a inovação social.

4.1.1.6 O Propósito e os Benefícios da Economia Circular em Espaços Maker

A Economia Circular representa um paradigma emergente que redefine os conceitos de produção e consumo, buscando minimizar o desperdício e otimizar o uso de recursos através da reutilização, reciclagem e recuperação de materiais. Nos Espaços *Maker*, onde a inovação, a criatividade e a colaboração são centrais, a incorporação dos princípios da Economia Circular pode não apenas transformar práticas de design e fabricação, mas também promover um desenvolvimento econômico mais sustentável e inclusivo.

Nesse contexto, o propósito fundamental de empregar a Economia Circular nos Espaços *Maker* é fomentar práticas sustentáveis que eliminem o desperdício de recursos. A adoção dos princípios circulares, como a reutilização, reciclagem e remanufatura de materiais, promove uma utilização mais eficiente e sustentável dos recursos disponíveis. Klemichen, Peters e Stark (2021) destacam que esta abordagem não apenas beneficia o meio ambiente, mas também impulsiona a eficiência econômica, reduzindo a necessidade de novas aquisições de materiais e diminuindo os custos de produção.

Além disso, a Economia Circular nos Espaços *Maker* estimula a inovação sustentável. Schroder, Elwakil e Steemers (2024) argumentam que a integração de práticas circulares

encoraja a criação de produtos mais duráveis e ecoeficientes, levando em consideração todo o ciclo de vida do produto, desde a concepção até o descarte. Esta perspectiva holisticamente sustentável permite que designers e fabricantes desenvolvam soluções que não apenas atendam às necessidades dos usuários, mas também minimizem o impacto ambiental.

Um dos principais benefícios da Economia Circular é a significativa redução do desperdício. Ao promover a reutilização e reciclagem de materiais, a economia circular ajuda a prolongar a vida útil dos produtos e componentes. Nos Espaços *Maker*, essa prática pode resultar em processos de fabricação mais eficientes e sustentáveis. Vuylsteke *et al*. (2022) ressaltam que a redução do desperdício preserva recursos naturais valiosos e diminui a necessidade de novas aquisições, gerando economia de custos. Kohtala (2016) acrescenta que a minimização do desperdício também contribui para a redução do impacto ambiental, uma vez que menos resíduos são enviados para aterros sanitários.

Ao desafiar os designers a repensarem o ciclo de vida dos produtos, a abordagem circular incentiva a experimentação com novos materiais e processos de fabricação. Velicu e Giannis (2020) apontam que a reutilização de materiais descartados pode levar à criação de produtos únicos e inovadores, promovendo a sustentabilidade ambiental. Schroder, Elwakil e Steemers (2024) também enfatizam que a criação de produtos modulares e reparáveis contribui para a redução do descarte prematuro, prolongando a vida útil dos produtos.

Com base nisso, a adoção de práticas circulares permite otimizar o uso de recursos, reduzindo a necessidade de extração de matérias-primas virgens e minimizando o consumo de energia e água. Campos e Cipolla (2021) reforçam que essa eficiência resulta em processos de produção mais econômicos e sustentáveis. Ademais, a reutilização de materiais reciclados gera a economia de custos, contribuindo para a viabilidade financeira dos projetos de design (Beltagui; Kunz; Gold, 2020). A abordagem circular também promove a eficiência na utilização de recursos ao incentivar o design para desmontagem e reparabilidade, facilitando a manutenção e atualização dos produtos (Kohtala; Hyysalo, 2015).

A colaboração e o compartilhamento de recursos aprimoram o uso e estimulam a troca de conhecimentos e habilidades, resultando em soluções mais inovadoras (Premyanov *et al*., 2022). A colaboração entre diferentes atores da cadeia de valor pode levar à criação de produtos mais adaptados às necessidades dos usuários e aumentar a aceitação dos produtos no mercado (Behnert; Arlinghaus, 2023). Além disso, a co-criação facilita a integração de diversas perspectivas, enriquecendo o processo de design e promovendo a inovação (Prendeville *et al*., 2017).

Santander *et al*. (2020) sugerem que ao integrar princípios circulares em suas atividades, esses espaços podem sensibilizar os participantes sobre a importância da sustentabilidade e do design responsável, promovendo uma mudança de mentalidade em relação ao consumo e ao descarte de materiais. *Workshops*, palestras e projetos colaborativos são ferramentas eficazes para disseminar conhecimentos sobre a economia circular e incentivar práticas mais conscientes (Despeisse *et al*., 2017). Essa abordagem educacional não apenas capacita os designers e fabricantes, mas também engaja a comunidade local, fortalecendo os laços sociais e promovendo uma cultura de sustentabilidade (Leminen *et al*., 2021).

A Economia Circular desafia os designers a repensar os processos tradicionais de produção e a buscar soluções criativas e inovadoras. Essa abordagem pode inspirar a experimentação com novos materiais e processos de fabricação, resultando em novos produtos alinhados a EC (Muth; Klunker; Völlmecke, 2023). A reutilização de materiais descartados não apenas contribui para a sustentabilidade ambiental, mas também oferece oportunidades únicas para a inovação em design, permitindo a criação de produtos com características distintivas e valor agregado (Zhong; Pearce, 2018). A integração da Economia Circular nos Espaços *Maker* estimula a criatividade ao incentivar a exploração de novas possibilidades e abordagens no desenvolvimento de produtos (Hoosain; Paul; Ramakrishna, 2020).

Ao adotar os princípios da Economia Circular, os Espaços *Maker* podem contribuir significativamente para a sustentabilidade ambiental e a responsabilidade social. Beltagui, Kunz e Gold (2020) ilustram que a Economia Circular oferece práticas de design que consideram o impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Essa perspectiva não apenas reduz a destruição ecológica, mas também fortalece a imagem dos Espaços *Maker* como líderes em inovação sustentável e responsabilidade social (Schroder; Elwakil; Steemers, 2024). A aplicação da Economia Circular nos Espaços *Maker* pode gerar impactos positivos na comunidade local, promovendo a inclusão social, a geração de empregos e o desenvolvimento de habilidades (Rattan *et al*., 2023).

A aplicação da Economia Circular nos Espaços *Maker* não apenas promove a sustentabilidade ambiental e a eficiência de recursos, mas também estimula a inovação, a criatividade e a colaboração. Ao adotar princípios circulares, os Espaços *Maker* podem contribuir significativamente para a redução do desperdício, a otimização dos processos de produção e a criação de produtos mais duráveis e ecoeficientes. Além disso, a Economia Circular nos Espaços *Maker* pode servir como uma plataforma educativa, conscientizando os participantes sobre a importância da sustentabilidade e do design responsável.

4.1.1.7 Principais Problemas de Pesquisa na Implementação da Economia Circular em Espaços Maker

A implementação da Economia Circular nos Espaços *Maker* é um tema que suscita inúmeras discussões e desafios. Apesar dos benefícios evidentes, como a redução do desperdício e a promoção da sustentabilidade, vários problemas emergem quando se tenta colocar esses princípios em prática.

Uma das principais limitações destacadas pela pesquisa de Schroder, Elwakil e Steemers (2024) é que o estudo de caso único limita a generalização dos resultados para outras situações. Isso implica que os *insights* obtidos podem não ser aplicáveis a diferentes contextos socioculturais e espaciais. Outrossim, a hibridização única dos *makerspaces*, que envolve o compartilhamento de edifícios e a criação de massa crítica de habilidades e materiais, pode não ser replicável em outros contextos, limitando a transferência de práticas bem-sucedidas para novos espaços.

A pesquisa de Klemichen, Peters e Stark (2021) também identifica limitações na implementação prática dos valores de sustentabilidade entre os *makers*. Apesar do potencial dos *makerspaces* para contribuir para a sustentabilidade ambiental, a adoção de práticas sustentáveis ainda é limitada. É necessário promover uma maior conscientização e fornecer ferramentas práticas para facilitar a integração de práticas sustentáveis nos Espaços *Maker*.

Paralelo a isso, Vuylsteke *et al*. (2022) aponta desafios específicos relacionados aos materiais e processos de fabricação. Por exemplo, os materiais à base de bio apresentaram formação de mofo, e houve dificuldades na manutenção da esterilidade dos substratos de resíduos contaminados. Por outro lado, os novos processos foram desafiadores de compreender e não atenderam às expectativas dos estudantes, indicando uma necessidade de melhor educação e formação em novas técnicas.

Premyanov *et al*. (2022) destacam a heterogeneidade da comunidade de *makers* como um desafio significativo. Essa diversidade em termos de orientação empresarial, capacidade e educação dificulta a implementação uniforme de práticas circulares. Além disso, *makers* que buscam transformar suas ideias em empreendimentos enfrentam desafios relacionados à escalabilidade e aos modelos de negócios, especialmente devido à falta de suporte empresarial adequado.

A pesquisa de Beltagui, Sesis e Stylos (2021) elenca a desigualdade de gênero como um problema nos *makerspace*s, onde há uma predominância de participantes do sexo masculino. Isso levanta questões sobre representatividade e acessibilidade da inovação para todos os

grupos, sugerindo a necessidade de iniciativas para incluir grupos sub-representados na pesquisa e na prática.

Velicu e Giannis (2020) ressaltam a importância de promover a educação e conscientização sobre práticas de Economia Circular e design sustentável. A falta de conhecimento e sensibilização sobre questões ambientais pode ser um obstáculo significativo para a adoção de práticas mais sustentáveis. Ademais, a falta de legislação e políticas públicas adequadas pode dificultar a implementação efetiva da Economia Circular, indicando a necessidade de apoio governamental e incentivos.

Kohtala (2016) destaca a falta de consideração adequada das implicações socioambientais das práticas de fabricação pessoal nos Espaços *Maker*. A invisibilidade ou negligência das consequências reais dessas atividades pode comprometer os benefícios sustentáveis que esses espaços buscam promover. A necessidade de um maior envolvimento e colaboração entre diferentes partes interessadas, incluindo especialistas técnicos e ambientais, é fundamental para abordar esses desafios de forma eficaz.

Unterfrauner *et al*. (2019) apontam a falta de reciclagem de filamentos para impressoras 3D como um problema significativo. A maioria dos filamentos não é reciclada devido à ausência de programas de reciclagem nos Espaços *Maker*, o que contribui para a geração de resíduos. A pesquisa também revela a necessidade de medidas quantitativas para investigar o impacto ambiental da fabricação aditiva, indicando uma lacuna na avaliação dos benefícios reais dessas práticas.

A implementação da Economia Circular em Espaços *Maker* enfrenta uma série de desafios que vão desde limitações na conscientização e educação até problemas técnicos e logísticos. A diversidade de problemas identificados sugere que uma abordagem multifacetada é necessária para superar esses obstáculos. Em outras palavras, promover uma maior conscientização, desenvolver infraestrutura adequada, fomentar a colaboração entre diferentes partes interessadas e criar políticas públicas de suporte são passos essenciais para garantir que os Espaços *Maker* possam contribuir de forma significativa para a sustentabilidade e a economia circular.

4.1.1.8 Enfoques nos Espaços Maker, Design e Economia Circular

A integração dos princípios de design e Economia Circular em Espaços *Maker* oferece um caminho promissor para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos. Esta seção explora o enfoque dado nas pesquisas do ponto de vista dos Espaços *Maker*, do design e da

Economia Circular, ressaltando suas interconexões e o potencial para promover a sustentabilidade.

4.1.1.8.1 Espaços Maker

Schroder, Elwakil e Steemers (2024) expõem a importância de espaços tradicionais de fabricação e reparo, muitas vezes subestimados em comparação com *Fab Labs* de alto perfil. Os autores ressaltam a vulnerabilidade dos espaços urbanos informais que abrigam *makers* locais, sujeitos a realocações ou fechamentos, e enfatizam a necessidade de fornecer e proteger uma variedade adequada de espaços e locais para os *makers*, mantendo o engajamento com o cotidiano urbano e facilitando o compartilhamento de habilidades e recursos.

Velicu e Giannis (2020) reforçam a importância dos Espaços *Maker* como ambientes propícios para a promoção da criatividade, experimentação e aprendizado prático. Esses espaços permitem que os participantes se envolvam em atividades de desmontagem e reutilização de materiais descartados, estimulando a inovação e a colaboração. Além disso, o estudo aborda a dualidade do papel do facilitador e pesquisador nos *makerspaces*, destacando os desafios de observar e intervir de forma equilibrada nesse contexto.

Prendeville *et al*. (2017) destacam como os gestores e fundadores de *makerspaces* desempenham um papel crucial como *gatekeepers*[18] para práticas circulares, influenciando a promoção da Economia Circular dentro desses espaços. A visão e as ações desses líderes podem fomentar uma cultura facilitadora e construir conexões locais, promovendo a circularidade e a sustentabilidade. O *know-how* prático relacionado a práticas circulares é essencial para integrar a circularidade no dia a dia dos *makerspaces*.

Nesse âmbito, Premyanov *et al*. (2022) assinalam a importância dos *makerspaces* como ambientes propícios para o desenvolvimento de habilidades empreendedoras e a promoção da inovação. Eles abordam as características da comunidade de *makers*, sua heterogeneidade em termos de orientação empresarial, capacidade e educação, bem como os desafios enfrentados pelos *makers* ao buscar transformar suas ideias em empreendimentos viáveis.

[18] De acordo com Prendeville et al. (2017), ***gatekeepers*** são indivíduos ou grupos que desempenham um papel central na mediação e facilitação de práticas dentro dos Espaços *Maker*, especialmente no contexto da promoção da Economia Circular. Esses atores, frequentemente gestores ou fundadores de *makerspaces*, têm a responsabilidade de criar uma cultura organizacional que valorize práticas sustentáveis, além de estabelecer conexões locais, compartilhar conhecimentos e incentivar a colaboração. Sua influência é crucial para integrar princípios circulares e transformar os Espaços *Maker* em ambientes propícios à inovação sustentável.

You *et al*. (2020) investigam a importância dos DIY *laboratories* como espaços de inovação e incubação de tecnologia para empreendedores, fornecendo recursos físicos e sociais para apoiar o desenvolvimento de projetos e negócios. Eles exploram a função desses laboratórios como plataformas de inovação científica e tecnológica no nível da comunidade, conectando negócios e ciência para promover soluções inovadoras e novas oportunidades de negócios.

Monaco e Herce (2023) analisam a contribuição dos Espaços *Maker*, como *Fab Labs*, *Makerspaces* e *Hackerspaces*, para o desenvolvimento urbano e a resiliência das cidades. Eles exploram como esses espaços promovem a inovação, a colaboração e a participação dos cidadãos na criação de soluções para desafios urbanos, utilizando tecnologias de fabricação digital.

Unterfrauner *et al*. (2019) investigam o papel e a contribuição dos Espaços *Maker* na promoção de práticas mais sustentáveis e na conscientização ambiental. Eles analisam como esses espaços influenciam as práticas de fabricação dos *makers* e o impacto ambiental dessas práticas. Além disso, exploram como os Espaços *Maker* podem desempenhar um papel na promoção da sustentabilidade e inovação social.

Campos e Cipolla (2021) sublinham a organização e colaboração entre *makers*, universidades, empresas e instituições de pesquisa nos Espaços *Maker*. Eles ressaltam a utilização de tecnologias de prototipagem rápida e fabricação aditiva para a produção de equipamentos de proteção individual durante a pandemia de COVID-19, demonstrando a importância da colaboração e cooperação entre diferentes atores para impulsionar a fabricação distribuída.

Nascimento e Pólvora (2018) exploram as práticas, dinâmicas e valores presentes nos Espaços *Maker*, como a Rede *Fab Lab*, *Maker Faires* e *Open Sourse Hadware Association*. Eles analisam o papel dos Espaços *Maker* na promoção da tecnologia ativa e crítica, do empoderamento dos participantes e da inovação tecnológica, investigando as interações sociais, colaborativas e educativas que ocorrem nesses espaços e seu impacto na comunidade e na sociedade em geral.

Por fim, Beltagui, Kunz e Gold (2020) ressaltam a importância dos Espaços *Maker* como locais onde os princípios de design aberto e colaborativo são aplicados à criação de produtos físicos. Eles reforçam como esses espaços promovem a inovação, o compartilhamento de conhecimento e a participação ativa dos usuários na concepção e produção de objetos tangíveis, contribuindo para a disseminação de práticas sustentáveis e socialmente responsáveis.

4.1.1.8.2 Design

No que tange ao design, a integração de princípios sustentáveis e circulares é fundamental para a criação de produtos e soluções inovadoras. Klemichen, Peters e Stark (2021) enfocam a aplicação de princípios de design sustentável e desenvolvimento de produtos ambientalmente amigáveis nos *makerspaces*. Os autores elencam a importância de considerar os impactos ambientais ao projetar produtos, promovendo a durabilidade, a eficiência de recursos e a reutilização de materiais como elementos-chave do design sustentável.

Beltagui, Seslis e Stylos (2021) exploram como a impressão 3D e outras ferramentas de fabricação digital são utilizadas para inovar e criar produtos dentro dos *makerspaces*. O estudo examina como os participantes aplicam suas habilidades de design e criatividade para desenvolver soluções, protótipos e produtos personalizados, destacando a importância do design colaborativo e da abordagem de *bricolage* na geração de ideias e na materialização de projetos inovadores.

Kohtala (2016) também se debruça sobre a promoção e prática do design aberto e da fabricação digital nos Espaços *Maker*. O teórico analisa as dinâmicas entre discurso e prática no contexto do design e fabricação de objetos, refletindo sobre os significados e valores do trabalho dos designers e *makers* em relação à sustentabilidade. A análise revela a necessidade de uma maior integração entre discurso e prática para promover a sustentabilidade de forma eficaz.

Vuylsteke *et al*. (2022) abordam a integração de conceitos de design sustentável e design para a circularidade no processo de criação de produtos. Os estudantes foram desafiados a repensar o ciclo de vida dos produtos, considerando a durabilidade, reparabilidade e fim de vida útil desde as fases iniciais do design. A experiência prática com materiais circulares e *bio-based* no "*bio-makerspace*" permitiu aos estudantes explorarem novas abordagens de design mais sustentáveis e alinhadas com os princípios da economia circular.

You *et al*. (2020) enfoca a aplicação da Economia Circular nos Espaços *Maker* para promover a sustentabilidade, a reutilização de recursos e a redução do desperdício. Eles afirmam a importância de adotar princípios de design circular e ecoeficiente para criar produtos mais duráveis, eficientes em termos de recursos e alinhados com a responsabilidade ambiental.

Monaco e Herce (2023) abordam a interseção entre o design e as práticas *maker* no contexto do desenvolvimento urbano. Eles examinam como o design participativo, a co-criação e a abordagem *bottom-up* influenciam a resiliência urbana, destacando a importância do design

centrado no usuário e da inovação colaborativa para criar soluções sustentáveis e adaptáveis para as cidades.

Unterfrauner *et al*. (2019) analisam a importância do design na promoção da sustentabilidade e na implementação de práticas circulares. Eles examinam como os *makers* incorporam princípios de design circular em seus projetos e como o design pode ser uma ferramenta para reduzir o impacto ambiental das atividades de fabricação. O estudo destaca a relevância do design consciente para a criação de soluções inovadoras e ambientalmente responsáveis.

Beltagui, Kunz e Gold (2020) evidenciam a importância do design aberto como uma abordagem que envolve a disponibilização de informações e recursos para que os usuários possam participar ativamente do processo de criação e customização de produtos. O design aberto permite a colaboração e a co-criação entre os fabricantes e os consumidores, incentivando a inovação, a personalização e a sustentabilidade.

4.1.1.8.3 Economia Circular

A Economia Circular é uma abordagem essencial para a construção de um futuro sustentável, focando na redução, reaproveitamento de materiais. Premyanov *et al*. (2022) destacam a relevância da Economia Circular na promoção da sustentabilidade e inovação nos *makerspaces*. Eles discutem os benefícios de utilizar materiais reciclados e promover a reutilização de recursos, bem como a importância de desenvolver modelos de negócios circulares para ampliar e diversificar as cadeias de valor circulares.

Spekkink, Rödl e Charter (2022) investigam os objetivos dos *Repair Cafes* e dos espaços *Precious Plastic* em relação à Economia Circular, incluindo a redução de resíduos, a promoção do reparo e da reciclagem, e os impactos dessas iniciativas na transição para uma economia mais circular. Eles discutem os desafios e potenciais das iniciativas cidadãs para a Economia Circular, como a necessidade de financiamento, a escala das operações e a colaboração com outros atores do ecossistema circular.

Kohtala (2016) também aborda a aplicação dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker*, avaliando a eficácia das práticas de design e fabricação sustentáveis em termos de redução do impacto ambiental. Ele recomenda um maior engajamento com *makers* e partes interessadas orientadas para a sustentabilidade, promovendo a adoção de práticas circulares e ecoeficientes em todas as etapas do processo de fabricação.

Beltagui, Kunz e Gold (2020) enfatizam a importância da economia circular na criação de produtos e soluções sustentáveis. Eles abordam como os princípios da Economia Circular podem ser integrados ao design e à fabricação, promovendo a reutilização de materiais, a redução do desperdício e a criação de produtos mais duráveis e eficientes em termos de recursos.

Monaco e Herce (2023) analisam a interseção entre a Economia Circular e o desenvolvimento urbano, destacando como os Espaços *Maker* podem promover práticas circulares e contribuir para a resiliência das cidades. Eles exploram como a reutilização de materiais e a reciclagem podem ser integradas ao design urbano e à fabricação digital, criando soluções sustentáveis e adaptáveis para os desafios urbanos.

A análise dos estudos revela que os Espaços *Maker*, o design e a Economia Circular estão profundamente interconectados, cada um desempenhando um papel crucial na promoção da sustentabilidade. Os Espaços *Maker* fornecem o ambiente necessário para a inovação e experimentação prática, enquanto o design circular é essencial para criar produtos eficientes e de baixo impacto ambiental. A Economia Circular, por sua vez, fornece direcionamentos necessários para fechar os ciclos de materiais e produtos, promovendo a reutilização e a reciclagem. Juntos, esses elementos têm o potencial de transformar práticas de produção e consumo, contribuindo significativamente para a sustentabilidade ambiental e social.

A promoção da sustentabilidade nos Espaços *Maker*, por meio da integração de princípios de design e Economia Circular, não apenas contribui para a redução do impacto ambiental, mas também fortalece a inovação, a colaboração e o empoderamento das comunidades.

Ademais, a colaboração entre diferentes atores, como universidades, empresas, instituições de pesquisa e iniciativas cidadãs, é essencial para ampliar e diversificar as cadeias de valor circulares, promovendo a inovação e a criação de soluções sustentáveis para os desafios ambientais e sociais. A implementação de programas de aceleração, a promoção de práticas de design aberto e colaborativo e o desenvolvimento de modelos de negócios circulares são estratégias importantes para fomentar a EC nos Espaços *Maker*.

Finalmente, a integração de princípios de design e Economia Circular nos Espaços *Maker* tem o potencial de transformar a maneira como pensamos e praticamos a fabricação e o consumo, promovendo uma transição para uma economia mais circular, eficiente e sustentável. Ao abordar os desafios ambientais contemporâneos de forma inovadora e colaborativa, os Espaços *Maker* desempenham um papel vital na construção de um futuro mais sustentável e resiliente.

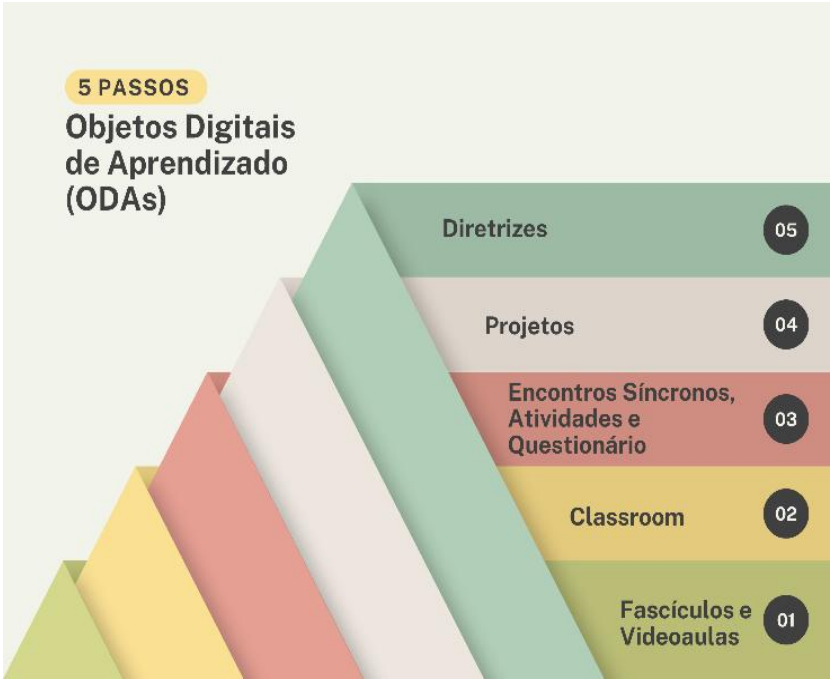
5 CAPACITAÇÃO DE PROFESSORES EXECUTORES DA REDE PÚBLICA ESTADUAL EM ECONOMIA CIRCULAR NOS ESPAÇOS 4.0: REPENSANDO UM DESIGN SUSTENTÁVEL COM AS TECNOLOGIAS DE FABRICAÇÃO DIGITAL

O curso intitulado “Capacitação de Professores Executores da Rede Pública Estadual em Economia Circular nos Espaços 4.0” originou-se do Programa de Inovação Educacional (INOV.EDU), criado com o objetivo de formar educadores e estudantes para enfrentarem os desafios do futuro. Esse programa tem estreitas ligações aos Espaços 4.0, que são laboratórios de tecnologia equipados para oferecer infraestrutura necessária à formação em habilidades portadoras de futuro. Essas habilidades abrangem desde Economia Circular e criatividade até negócios digitais e tecnologias, como robótica e inteligência artificial (Pernambuco, 2023).

Os Espaços 4.0, instalados em Escolas Estaduais de Ensino Médio e Centros Tecnológicos do Estado de Pernambuco, oferecem um ambiente inovador integrando práticas pedagógicas e tecnologias emergentes. Esses espaços buscam formar professores e estudantes em um ambiente *maker*, com foco na criatividade, no empreendedorismo e no domínio de tecnologias digitais. Além disso, têm sido utilizados como locais de formação para a Economia Criativa e Circular, sob a ótica da sustentabilidade e do impacto social (Pernambuco, 2023).

Dessa forma, as seções 5.1 a 5.4 apresentam, de maneira preliminar, as análises sobre o curso, distribuídas da seguinte forma: contextualização do programa INOV.EDU, planejamento, objetivos e resumo do cronograma de execução. Posteriormente, o desenvolvimento do curso é discutido em cinco passos, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Cinco passos da análise do curso



Fonte: O autor (2025)

De acordo com a Figura 16, após a seção 5.3, a pesquisa analisa o curso no âmbito das ODAs, percorrendo: a) os materiais didáticos e videoaulas; b) o *Classroom*; c) os encontros síncronos, as atividades e o questionário; d) os projetos; e e) o estabelecimento de diretrizes.

5.1 Contextualização do programa INOV.EDU

No ciclo 2021-2022, o programa INOV.EDU contou com um investimento de R$ 1,4 milhão, aplicado principalmente no pagamento de bolsas para professores e estudantes envolvidos em projetos de inovação nos Espaços 4.0. No ciclo seguinte, 2022-2023, foram destinados R$ 360 mil para expandir e fortalecer as atividades desses espaços, alcançando diretamente 138 pessoas e beneficiando mais de 8 mil usuários de forma indireta (Pernambuco, 2023).

Os resultados do INOV.EDU são expressivos. Professores formadores criaram Objetos Digitais de Aprendizado (ODAs), disseminando conhecimentos para estudantes em todo o estado. Esses materiais, disponíveis ao público geral, têm servido como ferramentas pedagógicas modernas e acessíveis. Ademais, os Espaços 4.0 têm funcionado como pontos focais para a integração entre aprendizado prático e o uso de tecnologias habilitadoras, promovendo uma educação mais conectada às demandas da Nova Economia (Pernambuco, 2023).

A partir dessas iniciativas, tanto o INOV.EDU quanto os Espaços 4.0 consolidam-se como pilares para a transformação educacional e tecnológica no estado de Pernambuco, alinhados às metas de desenvolvimento humano e socioeconômico.

No tocante ao edital, foram apresentados seis eixos temáticos, cada um voltado para uma área estratégica de desenvolvimento. Esses eixos foram selecionados considerando as demandas tecnológicas contemporâneas e a necessidade de preparar os professores para o uso de ferramentas e metodologias inovadoras. Os temas e suas justificativas são elencados a seguir:

a) Economia Circular: foco em metodologias que promovem a reutilização de recursos e a sustentabilidade, alinhando-se à transição para modelos econômicos circulares[19];
b) Inteligência Artificial e Ciência de Dados: desenvolvimento de competências em análise de dados e aplicações de inteligência artificial, essenciais para preparação dos estudantes para o mercado de trabalho futuro;
c) Manufatura Avançada e Cultura *Maker*: introdução de práticas de criação e prototipagem com tecnologias como impressoras 3D e cortadoras a laser, promovendo criatividade e inovação;
d) Negócios 4.0: exploração de plataformas digitais e ferramentas tecnológicas voltadas para a gestão e o empreendedorismo, preparando os participantes para ambientes de negócios inovadores;
e) Economia Criativa: integração de soluções tecnológicas e criativas na educação, incentivando a criatividade como motor para inovação;
f) Tecnologias Educacionais: implementação de metodologias ativas e ferramentas digitais que modernizem o ensino e estimulem a colaboração.

A seleção desses temas está alinhada às políticas públicas de educação e inovação estabelecidas no Estado de Pernambuco, que visam fortalecer a formação em áreas de Ciências, Tecnologia, Engenharia, Matemática e Criatividade (STEM+C). Além disso, os temas escolhidos refletem a necessidade de modernização dos processos educacionais para preparar os estudantes para um futuro digital e sustentável.

De acordo com o edital, os eixos foram elaborados com base na relevância global dessas áreas e em sua capacidade de promover soluções inovadoras e sustentáveis para os desafios enfrentados pela educação pública e pela sociedade em geral.

[19] Esse eixo reflete a urgência de incluir princípios de sustentabilidade na educação.

O professor Sadi da Silva Seabra Filho, autor deste projeto, concorreu ao edital apresentando uma proposta voltada à capacitação de professores executores das Escolas Técnicas Estaduais (ETEs) e Escolas de Referência em Ensino Médio (EREMs) em Economia Circular e Fabricação Digital. O projeto foi aprovado e teve financiamento concedido para sua execução, destacando-se como uma das iniciativas escolhidas para colaborar diretamente com a formação de multiplicadores no uso dos Espaços 4.0, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Resultado final para professor formador do edital FACEPE nº 20/2021

PROPOSTAS APROVADAS

PROCESSOS	TÍTULO	TEMA	COORDENADOR
ARC-0230-5.07/21	Economia Circular: Metodologias para a Transição na Educação	Economia Criativa	Gerla Castello Branco Chinelate
ARC-0232-1.03/21	Capacitação Básica em Inteligência Artificial e Ciência de Dados nos Espaços 4.0: Abordagem Prática e Interdisciplinar	Inteligência Artificial e Ciência de Dados	Pablo Azevedo Sampaio
ARC-0231-7.08/21	Capacitação de professores executores da rede pública estadual em Economia Circular nos Espaços 4.0: repensando um design sustentável com as tecnologias de Fabricação Digital.	Economia Circular	Sadi da Silva Seabra Filho
ARC-0202-1.01/21	Ciência de Dados nas Escolas de Ensino Médio do Estado de Pernambuco	Inteligência Artificial e Ciência de Dados	Lino Marcos da Silva
ARC-0212-7.08/21	EducaMaker: Formação Maker para Educadores	Manufatura avançada e cultura maker	Pedro Lemos de Almeida Júnior
ARC-0222-1.03/21	A Computação em Nuvem Auxiliando o Processo de Ensino e Aprendizagem	Negócios 4.0	Gustavo Rau de Almeida Callou

Fonte: FACEPE (2021)

A proposta foi desenvolvida para atender tanto às demandas do edital quanto às necessidades educacionais da rede estadual de ensino, criando uma abordagem pioneira para o uso dos Espaços 4.0. Esses ambientes representam uma inovação na educação técnica, oferecendo infraestruturas modernas para o aprendizado e a prática de habilidades tecnológicas.

Com base nesse contexto, o curso buscou não apenas formar os professores participantes, mas também estimular a criação de soluções sustentáveis que impactassem positivamente a sociedade pernambucana. O projeto teve como objetivo fortalecer a educação técnica e impulsionar o potencial desses espaços como motores de desenvolvimento econômico e social no estado.

5.2 Planejamento

A proposta inicial do curso, antes mesmo da aprovação pelo edital, foi concebida com uma estrutura fundamentada em eixos temáticos, que pretendiam abordar conteúdos específicos

por meio de ODAs. Esses ODAs foram planejados para que os professores executores adquirissem competências específicas em cada temática, alinhando-se às bases legais, políticas e estratégicas desenvolvidas pelo Ministério do Trabalho e às diretrizes da educação profissional, como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação nº 9394/96, a Resolução CNE/CEB nº 04/99 e o Decreto Federal nº 2208/97. O foco era proporcionar uma compreensão global do processo produtivo, congregando o saber tecnológico à valorização da cultura do trabalho e à mobilização dos valores necessários à tomada de decisões.

As competências definidas no planejamento inicial foram estruturadas para integrar três dimensões principais: o saber, o saber fazer e o saber ser. Consideradas fundamentais para a formação de profissionais competentes, essas dimensões foram desenvolvidas por meio de atividades práticas, reflexivas e colaborativas. Cada competência foi projetada para ter uma aplicação concreta, preparando os professores executores para compartilhar conhecimentos de forma eficaz com seus estudantes nos Espaços 4.0.

As Figuras 18 a 20 exibem como os ODAs foram planejados previamente.

Figura 18 – ODA 01: Economia Circular

ODA 01	**Tema: Economia Circular**
Competência	Compreender o que é a Economia Linear
Bases tecnológicas	Histórico da Economia Linear (EL) Revolução Industrial Conceito de Economia Linear
Atividade guiada	Identificar o ciclo de vida de um ou mais produtos que sejam alinhados ao modelo de Economia Linear e representar graficamente este ciclo.
Tecnologias, equipamentos e Materiais	Notebook; Desktop; Projetor
Abordagem Pedagógica	Promover uma discussão das revoluções industriais e associar os principais pontos que levaram ao modelo insustentável da Economia Linear. Criar *links* com a disciplina de História.

Fonte: FACEPE (2021)

Figura 19 – ODA 02: Economia Circular

ODA 02	Tema: Economia Circular
Competência	Conhecer os modelos antecessores da Economia Circular
Bases tecnológicas	Ecologia Industrial Biomimética *Cradle to Cradle* (C2C)
Atividade Guiada	Desenvolver uma apresentação com os dois ciclos propostos pela C2C – o Ciclo Biológico e o Ciclo Tecnológico.
Tecnologias, equipamentos e Materiais	Notebook; Desktop; projetor; mesa digitalizadora;
Abordagem Pedagógica	Apresentar as raízes do Economia Circular e promover junto aos professores uma integração com a disciplina de biologia, fazendo um *link* com os ciclos de vida dos ecossistemas naturais.

Fonte: FACEPE (2021)

Figura 20 – ODA 11: Design Circular

ODA 11	Design Circular
Competência	Conhecer e compreender as etapas de projeto de produto
Bases tecnológicas	Metodologias de Design de produto Guia de estratégias de Design Circular Estratégias de durabilidade de um produto Ciclo técnico
Atividade Guiada	Desenvolver um produto e/ou serviço dentro do modelo de Economia Circular e do contexto da cadeia de suprimentos da região através das tecnologias disponibilizadas dentro do Espaço 4.0. Esta atividade de ser realizada com os estudantes e bolsistas ao longo do projeto.
Tecnologias, equipamentos e Materiais	Equipamentos do Espaço 4.0
Abordagem Pedagógica	Serão expostas metodologias e técnicas de design para o de desenvolvimento de produtos e/o serviços norteados pela Economia Circular e o contexto regional da localidade.

Fonte: FACEPE (2021)

A metodologia inicial previa que as aulas fossem realizadas de maneira presencial-conectada, com uma exposição teórica introdutória por meio de encontros síncronos, seguida de uma aula-atividade prática, culminando na entrega de relatórios ou atividades no Ambiente Virtual de Ensino e Aprendizagem (AVEA).

As competências seriam avaliadas de forma contínua e progressiva, integrando leituras de materiais teóricos, participação em encontros síncronos e assíncronos e a realização de atividades práticas. O planejamento também contemplava a adaptação da carga horária das competências de acordo com o volume e a complexidade das bases tecnológicas abordadas, garantindo uma sequência cognitiva fluida para o "saber fazer".

Os indicadores de avaliação foram organizados de forma a garantir que os professores executores alcançassem plenamente as competências propostas antes de avançar. As atividades avaliativas incluíam fóruns, trabalhos em grupo, desenvolvimento de produtos, práticas laboratoriais com tecnologias 4.0 e ações junto aos estudantes. Além disso, a execução do curso demandava recursos materiais e humanos específicos. Entre os recursos materiais estavam incluídas as tecnologias 4.0, como canetas 3D, impressoras 3D, cortadoras a laser e scanners 3D, adicionando as ferramentas tradicionais disponíveis nos Espaços 4.0. Os recursos humanos incluíam estudantes bolsistas com Bolsa de Difusão Científica e Tecnológica (BDCT), professores executores com Bolsa de Cooperação Técnica (BCT-8) e o professor formador com Bolsa de Cooperação Técnica (BCT-6).

Entretanto, após a aprovação e as reuniões realizadas com os outros professores formadores aprovados no edital, bem como com os representantes da Secretaria de Ciência e Tecnologia de Pernambuco (SECTI) e da Secretaria de Educação de Pernambuco, surgiu a necessidade de padronizar os cursos oferecidos, a fim de assegurar maior coerência e consistência entre as diferentes propostas. Ficou definido um mínimo de 12 ODAs, os quais deveriam ser apresentados em fascículos e/ou videoaulas.

Nesse processo de revisão, algumas estratégias metodológicas e organizacionais foram ajustadas. Esse esforço de padronização e adaptação reforçou o compromisso do programa com a qualidade da formação oferecida, ao mesmo tempo em que manteve a essência do projeto original voltada para o desenvolvimento de competências em Economia Circular e no uso das tecnologias dos Espaços 4.0.

Nessa fase, foram tomadas decisões-chave, tais como: a) Estrutura Modular do Curso - Definição de seis módulos temáticos relacionados à Economia Circular e à Fabricação Digital; b) Produção de Materiais Didáticos - Planejamento de fascículos e videoaulas como principais recursos pedagógicos; e c) Escolha do Ambiente Virtual - O Google Sala de Aula foi selecionado como plataforma de interação, conforme defendido por Valente (2014) que destaca a importância de ambientes digitais para a colaboração no ensino.

Ante o exposto, para os fascículos, os textos foram escritos em linguagem acessível com exemplos práticos e atividades reflexivas ao final de cada módulo, que passaram por revisões

colaborativas envolvendo a equipe de formação e os professores. Para as videoaulas, cada módulo foi acompanhado por videoaulas gravadas em estúdio, planejadas para complementar os fascículos com recursos visuais e explicações dinâmicas. Essas aulas foram produzidas seguindo os estágios de roteirização, gravação e edição detalhada.

No que se diz respeito aos recursos elaborados no material didático, a interação com os professores se deu através da plataforma Google Sala de Aula, que foi estruturada como espaço colaborativo na construção do conhecimento entre participantes e formadores (Kenski, 2012). Essa etapa incluiu a inserção de materiais, organização de atividades e criação de fóruns de discussão.

Para as atividades síncronas, foram realizadas aulas semanais por videoconferência, com o objetivo de aprofundar os conteúdos teóricos e orientar atividades práticas. Por fim, as práticas nos Espaços 4.0 reuniu oficinas implementadas nos laboratórios de parte das escolas participantes, permitindo aos professores e monitores aplicarem os conceitos aprendidos no curso.

Ao final do projeto, foi organizado um encontro para apresentação e compartilhamento de resultados. Esse encontro foi crucial para consolidar o aprendizado e planejar futuras aplicações dos conhecimentos adquiridos, uma vez que segundo Freire (1987), a reflexão crítica é essencial para transformar a prática educativa em um processo significativo e emancipador.

O relato das experiências vividas pelos professores e monitores proporcionou um compartilhamento de aprendizados e desafios enfrentados durante o curso, enriquecendo o processo formativo. Essa metodologia integrativa garantiu que o projeto atingisse seus objetivos, conectando teoria, prática e reflexão em um modelo pedagógico inovador.

5.3 Objetivos

O **objetivo geral** concentrou-se em promover e desenvolver um curso de capacitação para professores executores da rede pública estadual em Economia Circular voltado para tecnologias dentro dos Espaços 4.0. Os **objetivos específicos** foram:

a) Inserir o conceito de Economia Circular dentro da sociedade pernambucana através da capacitação dos professores e consequentemente dos estudantes da rede pública estadual;

b) Difundir as tecnologias habilitadoras dos Espaços 4.0, bem como garantir o melhor aproveitamento das suas possibilidades de uso;
c) Realizar oficinas práticas de capacitação no desenvolvimento de produtos e serviços através do uso das tecnologias de Fabricação Digital e equipamentos dos Espaços 4.0 embasadas na sustentabilidade;
d) Promover o debate das relações entre Economia Circular na indústria 4.0 e nos Espaços *Maker*.

5.4 Resumo do cronograma de execução

O trabalho foi desenvolvido em 12 meses, de 1 de fevereiro de 2022 a 1 de março de 2023 (com um mês de recesso), seguindo o cronograma e o detalhamento das atividades listadas em quatro fases:

- Fase I (meses 1 a 4)

Preparação e planejamento para a elaboração dos ODAS. Nesta fase, foram realizadas diversas reuniões com os professores formadores e a equipe da Secretaria de Educação (Educação a Distância ETEPAC), juntamente com o pessoal da Secretaria de Ciência e Tecnologia do estado de Pernambuco.

Ainda foi definido que seriam desenvolvidos a quantidade de seis fascículos e videoaulas, como também a elaboração de um ambiente virtual que seria trabalhado com os professores e monitores por meio de aulas síncronas e assíncronas.

- Fase II (meses 5, 6 e 7)

Elaboração e desenvolvimento dos fascículos e do ambiente virtual. Nesta etapa, foram construídos seis fascículos e o ambiente do Google *Classroom*. Os professores formadores foram adicionados à plataforma, assim como os estudantes monitores. Nesse percurso, realizaram-se os ajustes nos textos através dos *feedbacks* oferecidos pelos professores formadores.

Além da elaboração dos ODAs foram realizadas as aulas síncronas com os professores formadores e estudantes. Nos encontros síncronos e assíncronos trabalharam-se os conteúdos

dos fascículos com foco na implementação de produtos através da fabricação digital, respeitando os conceitos da Economia Circular.

- Fase III (meses, 8, 9 e 10)

Nesta fase as videoaulas foram concentradas na ETEPAC, os vídeos foram elaborados como complemento dos fascículos e abordam questões relacionadas ao design circular e as possibilidades que os Espaços 4.0 tem de desenvolvimento de projetos que estimulem a sustentabilidade e economia local.

Ao todo foram elaborados seis vídeos disponibilizados no *Classroom* que serviram como material para o aprimoramento dos projetos dos Espaços 4.0.

- Fase IV (meses 11 e 12)

Organização do encontro presencial com os participantes dos projetos para que eles apresentassem o trabalho final, consequência do que eles construíram ao longo do curso junto com os estudantes bolsistas dentro dos Espaços 4.0.

5.5 Material didático e sala de aula virtual

O curso foi proposto e aplicado por meio de fascículos nos quais esperava-se que o professor executor e os monitores adquirissem uma competência proposta. Dessa forma, a estrutura do curso foi pautada na construção de competências e habilidades, conforme exigido pelas bases legais, políticas e estratégicas desenvolvidas pelo Ministério do Trabalho. A exigência de um perfil ampliado também estava presente na legislação da educação profissional, como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação nº 9394/96, a Resolução CNE/CEB nº 04/99 e o Decreto Federal nº 2208/97, cuja concepção orientou o desenvolvimento do curso.

Foram desenvolvidos alguns Objetos de Desenvolvimento de Aprendizagem ODAS: a) 6 fascículos abordando o tema de Economia Circular e Design Circular no formato *e-book* (pode ser apreciado no apêndice desta tese); b) um ambiente virtual através do Google Sala de Aula; e c) 6 videoaulas disponibilizadas no Educa-PE, mais especificamente no canal do *YouTube*. Além desse material, foram realizadas aulas síncronas que ficaram gravadas e disponibilizadas no ambiente virtual.

Os fascículos junto com os vídeos explicitavam através de capacidades a que se recorria para a realização de determinadas atividades em um contexto profissional e sociocultural. Assim, cada proposta competente teria uma expressão concreta na realidade dos objetivos de qualificar os professores executores e monitores na atuação junto aos estudantes no compartilhamento do saber.

Outrossim, partia-se da ideia que o agir profissional competente incorporava três dimensões: o saber, o saber ser e o saber fazer. A definição operacional das habilidades expressava essas três dimensões, onde os conhecimentos correspondiam ao saber, às habilidades ao "saber fazer" e às atitudes e valores ao "saber ser". Essa última dimensão da competência era considerada transversal a todos os fascículos e vídeos propostos.

Devido à presença da aula presencial-conectada, cada material didático do curso era trabalhado a partir da exposição teórica da aula telepresencial, seguida pela aula-atividade que iniciava o processo de construção, culminando na postagem da atividade ou relatório no Google Sala de Aula, que foi utilizado para esse fim. Essas habilidades eram avaliadas, tornando o sistema de ensino-aprendizagem um processo contínuo e progressivo.

As habilidades foram construídas de forma síncrona, sobretudo as que dependiam das atividades práticas eminentemente presenciais nos laboratórios. As aulas e os materiais disponibilizados eram programados de modo a não distanciar essas atividades para não quebrar a sequência cognitiva de construção do "saber fazer".

Os Indicadores de Avaliação foram organizados por atividades e aprovação somente ocorria quando o professor executor se apropriava das competências de cada semana através do cumprimento das aulas-atividades, leitura do material teórico, participação dos encontros síncronos e assíncronos apresentados. Entretanto, devido à falta de compatibilidade de calendário dos professores executores e atraso na definição desses autores, as atividades serviram como fixação do conhecimento e a avaliação se deu através da apresentação dos projetos ao final de todos os cursos elaborados.

5.5.1 Fascículos

O **Fascículo 1** aborda a Economia Circular e Fabricação Digital, sendo um material que busca apresentar uma nova visão sobre a economia e o design. Ele mostra como a Economia Linear impacta o meio ambiente e como a Fabricação Digital pode cooperar para um design mais sustentável. Apresenta o conceito de Economia Linear, um modelo econômico que se baseia na extração de recursos naturais, produção, consumo e descarte. Esse modelo tem gerado

impactos negativos no meio ambiente, como a poluição do ar, da água e do solo, além do esgotamento de recursos naturais finitos.

Consecutivamente é apresentado o conceito de Economia Circular, um modelo econômico que busca reduzir o desperdício e a poluição, mantendo os recursos em uso pelo maior tempo possível. Esse modelo propõe a reutilização, reciclagem e regeneração de materiais e recursos, gerando benefícios para a sociedade e para o meio ambiente.

Por fim, o fascículo propõe uma atividade em que o leitor deve escolher um produto ou objeto que utiliza diariamente e descrever o percurso que ele fez desde a matéria-prima até o momento em que chegou em suas mãos. Fora isso, deve-se prever o destino que ele terá quando não for mais útil e pesquisar quanto tempo vai permanecer na natureza (se for o caso de descarte) até se decompor. A atividade tem como finalidade conscientizar o leitor sobre a importância de repensar o consumo e o descarte de objetos, colaborando para um mundo mais sustentável.

O **Fascículo 2** aprofunda o tema da Economia Circular e Fabricação Digital, apresentando conceitos e exemplos de como essas duas áreas podem ser combinadas para promover a sustentabilidade. A Economia Circular é um modelo econômico que busca reduzir o desperdício e a poluição, conservando os recursos em uso pelo maior tempo possível. Já a Fabricação Digital é uma tecnologia que permite a produção de objetos a partir de um modelo digital, utilizando máquinas como impressoras 3D e cortadoras a laser.

A primeira parte do texto, apresenta uma introdução ao tema, destacando a importância da Economia Circular e Fabricação Digital para a sustentabilidade e como essas áreas podem ser combinadas para promover um design sustentável. Também ressalta a importância de realizar todas as tarefas solicitadas para um melhor aproveitamento do conteúdo.

São apresentados os princípios da Economia Circular, que são baseados em três pilares: design regenerativo, economia de compartilhamento e recuperação de recursos. Explica-se cada um desses pilares e como eles podem ser aplicados na prática. O texto também apresenta exemplos de objetos produzidos com as tecnologias de fabricação digital e como eles podem ser utilizados na Economia Circular.

O fascículo enfoca e discute um estudo de caso sobre a aplicação da Economia Circular e Fabricação Digital na indústria de móveis. Destaca os benefícios dessa abordagem, como a redução de resíduos e a otimização do uso de recursos, em adição de apresentar exemplos de empresas que já estão adotando essa prática. Na última parte do texto, conclui-se demonstrando um resumo dos principais pontos relacionados no texto e é proposta nova atividade de aprofundamento e fixação do tema.

No **Fascículo 3** o leitor é apresentado aos modelos antecessores da Economia Circular. A partir da década de 70, boa parte dos teóricos dessa temática perceberam que inúmeros dos recursos que dependemos para a nossa sobrevivência são finitos e/ou estão restritos a determinadas localidades. A Economia Circular surge como uma alternativa para a Economia Linear, que se baseia na extração, produção, consumo e descarte de materiais.

O texto também aborda a Fabricação Digital que permite a produção de objetos personalizados e sob demanda, reduzindo o desperdício de materiais e energia. Além disso, a tecnologia permite a criação de produtos mais duráveis e reparáveis, o que aumenta sua vida útil e reduz a necessidade de descarte.

Outro tema mencionado é a importância da Educação Profissional na promoção da Economia Circular. A Educação Profissional pode formar profissionais para atuarem em áreas relacionadas à Economia Circular, como a gestão de resíduos, a reciclagem e a produção sustentável. Ademais, a Educação Profissional pode incentivar a adoção de práticas sustentáveis em empresas e organizações.

O texto também apresenta a Superciclagem e a Subciclagem como conceitos fulcrais para a Economia Circular. A Superciclagem consiste em manter os materiais em uso por meio de processos de reciclagem de alta qualidade, enquanto a Subciclagem se baseia em reciclar materiais de forma inferior, gerando produtos de menor qualidade. O fascículo ainda traz exemplos de cada uma dessas práticas e convida o leitor a refletir sobre sua opinião a respeito delas.

Por fim, o texto apresenta uma palestra do *TEDxAmazonia* com Michael Braungart[20], um dos autores da C2C, que discute a importância de celebrar todos os sistemas pessoais e naturais na busca por uma sociedade mais justa e equilibrada.

A Figura 21 representa a contra capa dos três primeiros fascículos.

[20] Michael Braungart é um químico, professor e designer alemão, conhecido por seu trabalho na área de sustentabilidade e ecoefetividade. Junto com William McDonough, criou o conceito *Cradle to Cradle* (Do Berço ao Berço). Seu trabalho influencia empresas e indústrias na adoção de práticas sustentáveis e regenerativas (McDonough; Braungart, 2002).

Figura 21 - Contracapa dos Fascículos 1 a 3

Fonte: Seabra Filho (2022)

No **Fascículo 4**, o leitor é convidado a compreender a cadeia de design e suprimentos circular, criada pela autora Catherine Weetman[21] em 2015. Para isso, é proposto que o leitor pense em um produto mais complexo e tente descrevê-lo de forma textual e gráfica, identificando todos os *inputs*, materiais, compostos, componentes, fluxos e processos envolvidos.

Outrossim, o texto apresenta o site da *Open Source Circular Economy Days*[22], que oferece um fórum ativo para debates e contribuições sobre a Economia Circular. O objetivo é que o leitor aprofunde seus conhecimentos sobre a cadeia de design e suprimentos, apontando e compreendendo seus elementos e etapas. Para isso, são alinhadas algumas definições e entendimentos adotados para alguns termos que serão recorrentes, tais como: nutrientes, *loops*, materiais, inputs de processos, compostos, componentes e produtos.

O texto também revela o fluxo dos *loops* fechado e aberto e como eles podem se conectar e alguns dos termos que serão tratados na cadeia de design e suprimentos, como os materiais, que são os nutrientes primários (biológicos ou técnicos) que podem ser colhidos, minerados, extraídos e refinados.

Por fim, é ressaltado que a educação deve ser capaz de formar profissionais capazes de repensar o design sustentável com as tecnologias de fabricação digital, contribuindo para a redução do desperdício e a promoção da sustentabilidade.

---

[21] Catherine Weetman é especialista em economia circular, consultora e autora do livro *A Circular Economy Handbook*. Fundadora da *Re-think Solutions*, ajuda empresas a adotarem modelos sustentáveis e regenerativos. Seu trabalho foca na transição de sistemas lineares para circulares, promovendo inovação e eficiência no uso de recursos.

[22] Sítio eletrônico disponível em: https://oscedays.org/.

O **Fascículo 5** aborda modelos de negócio integrados com a Economia Circular e o modo como é possível repensar um design sustentável com as tecnologias de Fabricação Digital. O texto começa reapresentando a cadeia de design e suprimentos, explicando que é uma das formas de organizar e planejar as empresas para promover seus empreendimentos a um estágio de rentabilidade.

Logo após, o texto destaca as tendências mundiais de aumento dos preços e diminuição dos recursos, que estão levando a sociedade, empresas e governos a buscar alternativas de garantir desenvolvimento econômico e a preservação do meio ambiente, e como a Economia Circular surge como uma excelente alternativa.

O material expõe outros fatores que corroboram para as mudanças dos modelos de negócios, como a expansão das populações urbanas, a mudança do comportamento dos consumidores, os avanços tecnológicos, os riscos e incertezas ambientais e geopolíticas, entre outros fatores. Com a expansão das populações urbanas, por exemplo, temos hoje em dia 50% de todas as pessoas que vivem no mundo morando em áreas urbanas, o que auxilia o surgimento de modelos de compartilhamento e um número maior de clientes potenciais. Por fim, destaca também a importância de conhecer os modelos de negócio que estão integrados com a Economia Circular e que podem contribuir para um mundo mais sustentável.

O **Fascículo 6** discorre sobre os diversos temas relacionados à sustentabilidade e à inovação tecnológica. O conteúdo começa apresentando os capacitadores e aceleradores da Economia Circular, que são fatores que impulsionam a transição para um modelo econômico mais sustentável. Como exemplo, temos os capacitadores do pensamento sistêmico e as tecnologias de fabricação digital, que permitem repensar o design de produtos e processos produtivos de forma mais eficiente e menos impactante para o meio ambiente.

Subsequentemente, são discutidos os desafios enfrentados na implementação da Economia Circular, como a falta de incentivos financeiros e a resistência cultural. Para superar esses desafios, é necessário que empresas, governos e sociedade civil trabalhem juntos em prol de um objetivo comum: a sustentabilidade. Nesse sentido, as tecnologias de fabricação digital podem ser uma ferramenta poderosa para promover a inovação e a colaboração em rede.

Ainda é possível vislumbrar exemplos inspiradores de empresas que adotaram a Economia Circular em suas práticas de negócios. São casos de sucesso que demonstram como é possível conciliar lucro e sustentabilidade, por meio de estratégias como a reciclagem de materiais, a redução do desperdício e a criação de novos modelos de negócios baseados em serviços e compartilhamento.

Além disso, o fascículo aborda a importância da educação e da conscientização para a promoção da Economia Circular. É fundamental que as pessoas entendam os impactos ambientais e sociais de suas escolhas de consumo e que sejam capazes de exigir mudanças dos governos e das empresas. Por fim, o conteúdo enfatiza a necessidade de uma perspectiva interdisciplinar e colaborativa para enfrentar os desafios da sustentabilidade e da inovação tecnológica.

5.5.2 Videoaulas

Em relação às videoaulas, nesta seção em especial, as aulas estão no canal EDUCAPE TV do YouTube, com acesso aberto. Paralelo a isso, na seção 5.4.4, as aulas dos encontros síncronos somente estão disponíveis por meio de um endereço eletrônico restrito.

A **Videoaula 1**[23] apresenta o curso de Economia Circular e Design Sustentável, destacando o uso de tecnologias de fabricação digital. A aula também explica o conteúdo do curso e convida os participantes a se inscreverem, com foco no design sustentável e na aplicação dessas tecnologias.

A **Videoaula 2**[24] introduz o conceito de Espaços 4.0 nas escolas, com o objetivo de explorar ideias inovadoras relacionadas ao universo *Maker*, ao design e à interação com objetos no cotidiano. Também aborda os conceitos de Economia Linear e Economia Circular, destacando as limitações dos recursos naturais e o potencial da Economia Circular para criar um mundo mais sustentável.

Além disso, enfatiza a importância das tecnologias de fabricação digital no aprimoramento dos processos produtivos, contribuindo para um meio ambiente mais equilibrado. A aula ressalta que a transição de uma Economia Linear para uma Circular é uma responsabilidade coletiva e que novas possibilidades, como a fabricação digital — incluindo impressoras 3D pessoais — e o compartilhamento, facilitam e aceleram essa transição.

Por fim, a aula incentiva estudantes e professores, mostrando diversas possibilidades de uso do Espaço *Maker* 4.0 para promover ideias inovadoras em diferentes áreas do conhecimento.

A **Videoaula 3**[25] apresenta o conceito de Economia Circular em contraposição à Economia Linear, destacando os benefícios dessa abordagem, como a redução da degradação

[23] Videoaula 1 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/wJ6T1WgfZVQ.
[24] Videoaula 2 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/ZIkQui9VpZo.
[25] Videoaula 3 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/mj3hS0bnbrQ.

ambiental, a promoção da eficiência no uso de recursos e a solução de problemas associados à economia linear, como pobreza e escassez de energia e água.

A aula também explora os princípios da Economia Circular, que incluem o design de empresas, produtos e serviços voltados para mitigar a escassez de recursos, criar novas oportunidades de negócios e desenvolver formas inovadoras de consumo, geração de energia e preservação ambiental.

Por fim, enfatiza-se a importância de considerar todo o ciclo de vida de um produto ao implementar práticas de Economia Circular, buscando minimizar os impactos ambientais de maneira integrada e sustentável.

A **Videoaula 4**[26] traz uma discussão sobre o que é design e suas funções estéticas, funcionais e simbólicas, ao ponto de incluir o designer como um solucionador de problemas por meio de projetos. Discute um pouco sobre o design *Thinking* e sua relação com a inovação e apresenta os métodos de desenvolvimento de Design Circular propostos pela parceria da Fundação *Ellen MacArthur* e a IDEO, sendo uma empresa global de design.

Este vídeo tem como objetivo oferecer base para que os projetos desenvolvidos dentro dos Espaços 4.0 sejam guiados por princípios e diretrizes do "bom design". Além disso, auxilia no processo de criação, análise e desenvolvimento de todo e qualquer tipo de ideia.

A **Videoaula 5**[27] discute o uso do AutoCAD como ferramenta de design digital em engenharia, design e arquitetura. Explica que é um *software* baseado em vetor usado para projetos 2D e 3D e pode ser integrado com tecnologias de fabricação digital, acrescentando as vantagens do uso do AutoCAD, por exemplo, como a possibilidade de fazer transformações geométricas e evitar problemas com desenhos saindo das margens.

O vídeo foca principalmente em um tutorial que explora diversas ferramentas e funções do AutoCAD 2D, oferecendo instruções passo a passo em português para o desenvolvimento de projetos vetoriais. Destaca-se a justificativa para a escolha do programa, baseada na parceria entre a Autodesk e a Secretaria de Educação de Pernambuco, que possibilita o acesso à versão educacional dos softwares.

A **Videoaula 6**[28] traz a continuidade sobre o uso do AutoCAD para modelagem 3D e sua conexão com impressoras 3D e cortadoras a laser. Sugere-se na videoaula o uso de tutoriais, fóruns da comunidade e recursos online para aprender ainda mais sobre o AutoCAD.

---

[26] Videoaula 4 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/zhIY4_nQGPo.
[27] Videoaula 5 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/uHMK9XxaEh0.
[28] Videoaula 6 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/7ltzR4BJga0.

Na aula, é explicado o processo de criação de um modelo 3D no AutoCAD usando ferramentas básicas de modelagem e criação de sólidos. Menciona-se a importância de criar uma referência ou vista ortográfica para gerar o modelo 3D.

O vídeo conta ainda com uma demonstração do processo de extrusão para criar um objeto 3D e mostra como cortar e arredondar as bordas. Posteriormente, é realizada uma exportação do modelo 3D para o formato de arquivo STL para impressão 3D. Por fim, é explicado o processo de fatiamento e preparação para gerar o arquivo de impressão 3D no *software* Cura.

5.5.3 Google Classroom

O ambiente virtual que foi utilizado para interagir com todo o conteúdo produzido foi o *Classroom*. Neste espaço, adicionaram-se os professores formadores que estavam no projeto do INOV.EDU. Ao longo de onze semanas as atividades síncronas e assíncronas foram trabalhadas.

O *Google Classroom* proporcionou uma experiência de aprendizado remoto abrangente, organizada e interativa. A plataforma concentrou todos os materiais, atividades e interações necessárias para integrar aspectos teóricos e práticos, conduzindo a temática de forma consistente e acessível, como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Fragmento do curso no Classroom

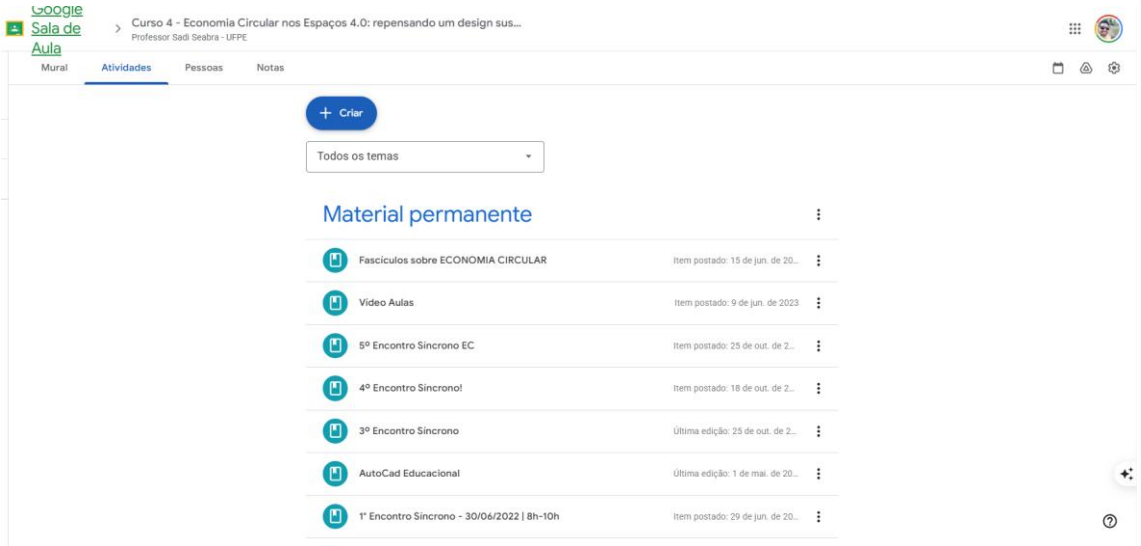
Fonte: Google *Classroom* (2022)

A introdução ao curso foi realizada por meio de um texto explicativo que enfatizou a relevância da Economia Circular para os espaços educacionais 4.0, conectando os objetivos do curso e dos fascículos. O texto explicativo foi postado no mural do ambiente virtual e serviu como um ponto de partida para contextualizar os participantes, estabelecendo uma base para o desenvolvimento das atividades. Ademais, os participantes foram incentivados a contribuir ativamente com o aprendizado coletivo, compartilhando materiais e recursos que considerassem relevantes. Essa prática promoveu um ambiente colaborativo e enriqueceu ainda mais a experiência educacional.

O curso contou com 41 inscritos, um número expressivo considerando que o público-alvo inicial incluía um pouco menos de 88 professores executores que deveriam escolher ao menos dois dos cursos oferecidos pelos professores formadores. A participação desses inscritos refletiu um interesse considerável pelo tema e pela proposta pedagógica do curso.

Na aba "Atividades", foi disponibilizado um conjunto de materiais permanentes que abrangiam fascículos detalhados sobre Economia Circular, os quais constituíam o alicerce teórico do curso. Essas publicações foram escritas especialmente para o curso, com linguagem acessível e exemplos práticos. Complementando esse material, foram incluídas videoaulas gravadas que discutiam cada um dos temas centrais do curso, favorecendo a compreensão dos tópicos pelos participantes, como exibe a Figura 23.

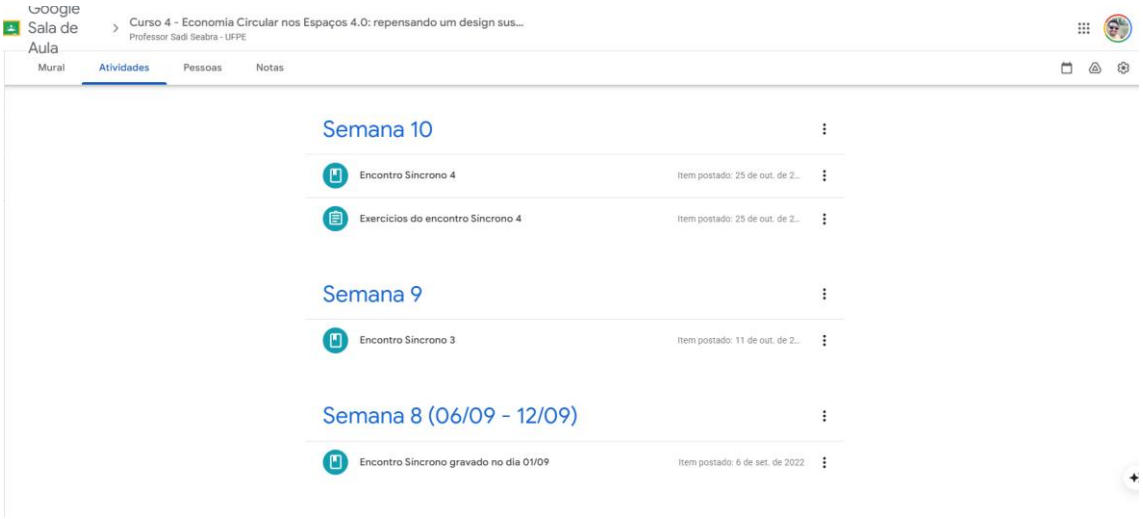
Figura 23 – Fragmento da aba Atividades no Classroom



Fonte: Google *Classroom* (2022)

Os encontros síncronos realizados em momentos estratégicos também foram gravados e disponibilizados nessa aba (Figura 24), garantindo que todos os participantes, mesmo os que não pudessem comparecer em tempo real, tivessem acesso às discussões e ao conteúdo apresentado. Adicionalmente, foram compartilhados links para recursos complementares, como o projeto dos óculos de realidade virtual feito em papelão, que ilustrou a aplicação prática da Economia Circular em contextos educacionais.

Figura 24 – Fragmento dos encontros síncronos no Classroom



Fonte: Google Classroom (2022)

No material permanente também foi disponibilizada a gravação da apresentação inicial do curso, realizada durante a abertura do projeto INOVA.EDU. Essa apresentação enfatizou a importância do tema e foi crucial para engajar os professores formadores, explicando detalhadamente os objetivos e a metodologia do curso.

Para apoiar a comunicação e a troca de informações, foi criado um grupo no *WhatsApp* que funcionou como um canal dinâmico e eficiente entre os participantes e o professor. Esse grupo foi amplamente utilizado para esclarecer dúvidas, compartilhar avisos e manter o engajamento dos participantes ao longo das semanas. Paralelamente, foi disponibilizado ainda na aba de "materiais permanentes" um fórum técnico dedicado exclusivamente a questões relacionadas ao funcionamento do curso, ofertando um espaço adicional para discussões.

O curso foi planejado para se desenvolver ao longo de onze semanas, com cada semana organizada em torno de uma competência específica. Nas semanas 1, 2, 3, 5 e 6, os participantes tinham acesso a uma estrutura que incluía a apresentação da competência da semana, fascículos

correspondentes, vídeos temáticos complementares, fóruns de discussão para aprofundar os tópicos e atividades práticas que precisavam ser concluídas dentro do prazo estabelecido.

Essas atividades foram cuidadosamente elaboradas para estimular a aplicação prática dos conceitos apresentados e consolidar o aprendizado. Na semana 4, foi realizado o primeiro encontro síncrono, que marcou um momento importante de interação ao vivo e permitiu esclarecimentos de dúvidas e discussões sobre os conteúdos já abordados. As semanas 8, 9, 10 e 11 também incluíram encontros síncronos, sendo que a última semana foi especialmente dedicada a atividades finais, concebidas para consolidar o aprendizado e refletir sobre o percurso realizado ao longo do curso.

Com essa organização, o curso ofereceu aos participantes uma experiência de aprendizado estruturada, integrando materiais de qualidade, ferramentas digitais e momentos de interação significativa. A combinação de recursos, como fascículos e videoaulas, com atividades colaborativas e síncronas, possibilitou uma abordagem educacional alinhada aos objetivos propostos, procurando garantir que os participantes pudessem não apenas aprender, mas também aplicar os conceitos de forma prática e inovadora.

5.5.4 Encontros síncronos

Os encontros síncronos foram responsáveis pela comunicação e o alinhamento das atividades, permitindo a troca de informações, o esclarecimento de dúvidas e a tomada de decisões em tempo real. Foram realizados por meio de plataformas digitais do google e facilitaram a interação entre os participantes das diferentes escolas, tornando os processos mais dinâmicos e colaborativos. Esses momentos proporcionaram atualizações constantes e oportunidades valiosas para feedbacks e ajustes, promovendo um fluxo de trabalho mais eficiente e alinhado às necessidades do grupo.

5.5.4.1 Videoaula 1

A Videoaula 1[29] corresponde ao encontro síncrono do curso de formação, reunindo educadores e estudantes envolvidos no projeto. Por ser o primeiro encontro, os participantes compartilharam suas formações, experiências e expectativas em relação ao curso, discutindo como suas áreas de atuação poderiam contribuir para a inovação no ensino.

[29] Videoaula 1 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/Q2l69y5qN_Q.

A atividade foi conduzida pelo professor Sadi, que destacou a diversidade do grupo, composto por profissionais de marketing, nutrição, engenharia de alimentos e design. Esse momento inicial foi essencial para estabelecer um ambiente de colaboração e respeito, fundamentais para o curso, que tem como objetivo buscar soluções inovadoras e sustentáveis dentro da Economia Circular.

As expectativas para o curso foram um ponto central. Os estudantes demonstraram interesse em desenvolver projetos que otimizassem o uso de energia e promovessem a sustentabilidade em suas regiões, com foco especial na agricultura e na produção local.

O professor Sadi destacou a importância de soluções práticas e viáveis, adaptadas às particularidades de cada localidade, integrando teoria e prática. O objetivo é que, ao final do curso, os participantes apliquem o conhecimento adquirido em projetos que gerem impacto positivo em suas comunidades.

Outro assunto abordado foi o conceito de Espaço *Maker*, que impulsiona inovação e criatividade. O professor explicou que esses espaços permitem criar, testar e prototipar ideias com tecnologias como impressão 3D e corte a laser. Essas ferramentas são potencializadoras para realizar projetos e aprender na prática, desenvolvendo habilidades valiosas a formação discente.

A Economia Circular também foi discutida, propondo um modelo de produção e consumo que tenta eliminar resíduos e maximizar o reaproveitamento de materiais. O professor ainda apresentou exemplos de implementação em setores como agricultura, indústria e artesanato, incentivando os cursistas a pensarem em soluções criativas para suas áreas. A colaboração entre todos os participantes foi colocada como essencial para o sucesso dos projetos.

Por fim, o professor reforçou a importância da comunicação e do trabalho em equipe, sugerindo a criação de um grupo no *WhatsApp* para facilitar a troca de ideias e informações, oferecendo um espaço para compartilhar materiais, dúvidas e experiências. Essa interação contínua visou fortalecer o aprendizado coletivo e garantir que todos se sintam parte de um processo colaborativo, essencial para desenvolver soluções que atendam às necessidades da sociedade. Essa abordagem pretendeu enriquecer a experiência dos cursistas e aumentar o impacto de suas iniciativas.

Ainda foi destacado o uso das tecnologias digitais e da fabricação 3D como ferramentas capazes de promover a Economia Circular na prática pedagógica. O encontro abordou também a definição do desenrolar e cronogramas do curso, reforçando a necessidade de alinhar teoria e prática.

Desta maneira, a aula destacou aspectos fundamentais da economia circular no contexto educacional. Destacam-se:

a) **colaboração e intercâmbio de ideias**: a troca de experiências entre professores e estudantes foi ressaltada como essencial para enriquecer o aprendizado e ampliar o impacto das iniciativas educacionais;
b) **foco na Economia Circular**: os participantes discutiram maneiras de aplicar a Economia Circular no ensino, enfatizando práticas de reaproveitamento de materiais e estratégias de sustentabilidade. A Economia Circular não é apenas uma tendência, mas uma necessidade para um futuro sustentável. Ao ser introduzida em cursos técnicos e superiores, pode preparar os cursistas para enfrentar desafios ambientais e sociais, tornando-os agentes ativos de mudança;
c) **desenvolvimento de projetos locais**: a ênfase na criação de projetos que atendam às necessidades específicas das regiões onde os participantes atuam reforça o impacto social e econômico da iniciativa;
d) **importância dos Espaços *Maker***: os educadores reconheceram o Espaço *Maker* como um ambiente fundamental para incentivar a criatividade, a experimentação e a inovação dentro das instituições de ensino, um espaço importante para permitir que estudantes e professores experimentem, criem e prototipem ideias rapidamente, estimulando tanto a criatividade quanto o aprendizado prático;
e) **diversidade de formação**: a variedade de áreas de atuação dos professores enriqueceu a discussão, permitindo que diferentes perspectivas fossem exploradas e aplicadas ao contexto da Economia Circular, uma vez que diferentes perspectivas podem contribuir para soluções mais criativas e inovadoras dentro da Economia Circular;
f) **aprendizado prático e colaborativo**: a abordagem baseada em projetos e colaboração foi reforçada como essencial para a formação de profissionais capacitados, uma vez que permite a construção de um conhecimento compartilhado e aplicado à realidade dos estudantes;
g) **aproveitamento de tecnologias digitais**: o uso de impressão 3D e fabricação digital foi destacado como um meio eficiente de inovação educacional, alinhado às práticas sustentáveis e ao desenvolvimento de novas metodologias de ensino.

A videoaula seguiu uma estrutura bem definida, permitindo que os temas fossem examinados de maneira clara e progressiva, ao explorar diversas abordagens relacionadas à

interseção entre educação, tecnologia e sustentabilidade. Os conceitos centrais discutidos foram:

a) **Economia Circular**: a necessidade de promover um modelo de consumo sustentável e incentivar o reaproveitamento de materiais foi amplamente debatida, reforçando sua aplicabilidade no ensino;
b) **fabricação digital**: a introdução de ferramentas como impressão 3D e corte a laser pode transformar a forma como os estudantes aprendem, desenvolvendo habilidades práticas e criativas;
c) **prototipagem rápida**: o uso de modelagem e fabricação digital para testar ideias e desenvolver soluções sustentáveis foi identificado como um diferencial no processo educativo;
d) **impacto social**: a videoaula reforçou a importância de integrar os Espaços *Maker* ao contexto social, utilizando tecnologias para responder a demandas emergenciais e melhorar a qualidade de vida das comunidades;
e) **personalização de produtos**: a impressão 3D foi vista como um recurso com grande potencial para personalização em diversas áreas, desde a educação até a indústria;
f) **estruturação do aprendizado**: a organização dos conteúdos do curso e a definição de etapas claras foram fundamentais para promover a absorção do conhecimento e a aplicação prática dos conceitos discutidos.

O engajamento dos participantes foi perceptível desde o início da videoaula, especialmente durante as apresentações pessoais. A diversidade de formações e áreas de atuação dos educadores – abrangendo nutrição, administração, engenharia de alimentos, computação e design – fortaleceu o debate e a troca de experiências. Esse momento inicial estabeleceu um ambiente de colaboração, fundamental para a construção do aprendizado coletivo.

Os momentos de maior engajamento ocorreram nas seguintes interações:

a) **discussão sobre a Economia Circular aplicada à educação**: professores compartilharam iniciativas já realizadas, como o reaproveitamento de resíduos orgânicos para hortas escolares e a utilização de materiais recicláveis para projetos pedagógicos;

b) **fabricação digital e prototipagem rápida**: a introdução a essas tecnologias gerou grande interesse, com destaque para o impacto dos Espaços *Maker* na criatividade dos estudantes;
c) **exemplificação de projetos concretos**: o relato sobre a produção de EPIs (escudos faciais) durante a pandemia demonstrou como a fabricação digital pode atender a demandas emergenciais, aproximando a teoria da prática.

Por outro lado, momentos mais teóricos sobre conceitos gerais da Economia Circular geraram uma leve redução na interação, evidenciando a necessidade de equilibrar a parte expositivas com elementos práticos e participativos.

Nas estratégias de interação e comunicação, a interação professor-aluno foi conduzida de maneira dinâmica, estimulando a participação por meio de perguntas abertas e valorização das contribuições dos participantes. Elencaram-se as seguintes estratégias observadas:

a) **uso de perguntas reflexivas**: motivou os participantes a relacionarem os conceitos discutidos com suas realidades profissionais;
b) **resgate de experiências prévias dos participantes**: a valorização do repertório dos educadores reforçou a relevância do curso e possibilitou a construção de um conhecimento coletivo;
c) **estímulo ao aprendizado colaborativo**: a proposta de construção conjunta do curso, mencionada pelo professor, contribuiu para um senso de pertencimento dos participantes.

Os elementos não verbais também foram relevantes. O tom de voz entusiasmado do professor e as reações dos participantes demonstraram um ambiente de aprendizado envolvente. Pequenos momentos de hesitação ou pausas prolongadas foram registrados quando os cursistas ainda não estavam confortáveis para interagir.

A videoaula revelou que muitos participantes já possuíam alguma familiaridade com práticas de Economia Circular, ainda que de maneira fragmentada. As evidências de aplicação foram observadas nos seguintes aspectos:

a) **experiências prévias de reaproveitamento de materiais**: professores relataram projetos desenvolvidos em suas escolas, como a compostagem de resíduos e a reutilização de embalagens em atividades didáticas;

b) **potencial das ferramentas *Maker* para soluções sustentáveis**: a fabricação digital foi vista como uma ferramenta poderosa para minimizar desperdícios e ampliar a personalização de produtos, o que dialoga com os princípios da Economia Circular;
c) **prototipagem rápida como estratégia educacional**: a discussão sobre a criação de projetos sustentáveis a partir da experimentação prática demonstrou alinhamento com metodologias de aprendizagem ativa.

Esses achados sugerem que os participantes queriam aprofundar a integração da Economia Circular em suas práticas pedagógicas, especialmente quando apoiados por ferramentas de fabricação digital.

Apesar do interesse e engajamento dos participantes, alguns desafios foram mencionados durante a videoaula:

a) **infraestrutura e recursos limitados**: alguns professores relataram dificuldades na implementação de projetos sustentáveis devido à falta de equipamentos em suas instituições;
b) **necessidade de maior suporte técnico**: a integração de novas tecnologias, como impressão 3D e corte a laser, exige capacitação adicional, o que pode representar um obstáculo para alguns educadores;
c) **adaptação curricular**: embora a Economia Circular seja um conceito interdisciplinar, sua incorporação em currículos escolares ainda não é plenamente estruturada, gerando dúvidas sobre como aplicá-la de maneira eficaz.

Esses desafios reforçam a importância de um suporte institucional mais robusto, além da necessidade de formação contínua para que os educadores possam aplicar os conceitos discutidos de maneira mais eficaz.

A análise da videoaula demonstrou um bom nível de engajamento dos participantes e um interesse na integração da Economia Circular e da fabricação digital no contexto educacional. A diversidade de formações enriqueceu as discussões, e as interações promovidas pelo professor estimularam a participação ativa dos educadores.

Os achados sugerem que o curso está alinhado às necessidades e expectativas dos participantes, mas que desafios estruturais e operacionais ainda precisam ser enfrentados para garantir uma implementação eficaz dos conceitos discutidos.

Analisando a videoaula, evidencia-se a relevância da educação colaborativa e interdisciplinar na promoção da Economia Circular. A troca de experiências entre os participantes possibilitou a construção de um conhecimento compartilhado e aplicável às diferentes realidades educacionais. A utilização de tecnologias digitais, como a fabricação digital, foi amplamente debatida, demonstrando seu potencial para impulsionar práticas inovadoras e sustentáveis dentro do ensino.

5.5.4.2 Videoaula 2

Na Videoaula 2[30], o professor iniciou com uma saudação amigável e expressou preocupação com a baixa participação dos cursistas. Diante disso, mostrou-se interesse em ouvir sobre as experiências e dificuldades enfrentadas no curso, pedindo opiniões sobre o conteúdo abordado, também sobre as interações com outros professores e o uso das tecnologias dos Espaços 4.0.

Um cursista mencionou a dificuldade inesperada na montagem dos equipamentos, que parecia ser uma tarefa simples, mas gerou muito trabalho para a calibração das impressoras 3D e adaptação para aprender a utilizar essa tecnologia. O professor reconheceu as pressões que os cursistas têm neste projeto, que lidam com sobrecarga de atividades da escola e a dificuldade de obter financiamento de bolsas em projetos. Desta forma, o professor incentivou um diálogo aberto sobre esses desafios.

Diversos cursistas manifestaram preocupação com a carga de trabalho e a falta de tempo para assimilar o conteúdo das aulas. O professor ressaltou a importância de integrar temas do curso em questão, Economia Circular e as demais formações dos outros cursos oferecidos pelo projeto INOVAEDU, que são cruciais para a multidisciplinaridade dos projetos.

O professor também debateu a gestão do tempo, admitindo que a estrutura atual das aulas poderia contribuir para a sensação de sobrecarga. Ele propôs flexibilizar os prazos de entrega, permitindo que os cursistas se concentrassem mais na compreensão do conteúdo do que em cumprir prazos de maneira rigorosa. Essa abordagem visou diminuir a carga de trabalho e criar um ambiente de aprendizado mais colaborativo e menos estressante.

No fim da aula, o professor sublinhou a importância do pensamento sistêmico e da busca por soluções inovadoras para desafios como gestão de resíduos e práticas sustentáveis na Economia Circular. Ele se comprometeu a oferecer recursos adicionais, ligados ao

[30] Videoaula 2 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/vJmaLxJspN4.

desenvolvimento de projetos, e fomentou a colaboração entre cursistas, criando um espaço para compartilhar ideias e experiências. Assim, pretendeu-se que os projetos desenvolvidos atendessem tanto às exigências acadêmicas, como também contribuíssem positivamente para a sociedade e o meio ambiente.

Em linhas gerais, a videoaula 2 do curso proporcionou um acompanhamento da evolução dos participantes e uma revisão dos conteúdos teóricos abordados até o momento dentro do ambiente virtual. Durante o encontro, os cursistas compartilharam suas dificuldades, progressos e percepções sobre a dinâmica do curso, com ênfase na carga de trabalho e na aplicação prática dos conceitos de Economia Circular nos Espaços *Maker*. O professor Sadi conduziu a discussão, ressaltando a importância da colaboração entre os participantes e sugerindo soluções para otimizar o aprendizado e a execução de projetos.

Os inscritos discutiram como tornar a Economia Circular mais tangível dentro das instituições de ensino. Surgiram sugestões sobre a incorporação da Economia Circular no dia a dia escolar, como a reutilização de materiais e a criação de sistemas de coleta e reaproveitamento.

Foi debatida a ideia de um aplicativo que conecte geradores de resíduos a recicladores, facilitando o reaproveitamento de materiais e promovendo a conscientização sobre o destino correto dos produtos descartados. Esse projeto seria uma oportunidade de integrar os conceitos discutidos no curso com soluções reais e aplicáveis nas comunidades escolares.

Os cursistas relataram que o cronograma inicial dos projetos precisou ser ajustado devido a dificuldades técnicas e organizacionais. Foi identificado que alguns espaços ainda não estavam totalmente equipados para a execução do projeto INOVAEDU, tornando necessário um planejamento mais detalhado para viabilizar as atividades.

A ideia de desenvolver um aplicativo voltado para a Economia Circular foi um dos destaques do encontro, pois permitiria o desenvolvimento de um projeto prático e aplicável, envolvendo diferentes disciplinas e conhecimentos adquiridos no curso. Além disso, a possibilidade de estabelecer parcerias locais para a implantação de soluções foi vista como um diferencial.

A importância do uso de ferramentas como impressoras 3D e modelagem digital para o desenvolvimento de soluções sustentáveis foi um dos pontos tratados. O professor apresentou a possibilidade de incluir treinamentos para modelagem 3D com AutoCAD, garantindo uma maior autonomia dos cursistas na prototipagem de ideias.

A integração dessas tecnologias nos projetos foi apontada como uma forma de estimular a criatividade e possibilitar a criação de soluções inovadoras dentro dos Espaços *Maker*. Foram

sugeridas práticas para otimizar o uso desses recursos, como a reciclagem de filamentos de impressão e a utilização de materiais biodegradáveis.

O encontro foi marcado por uma participação ativa, com diversos relatos sobre desafios e conquistas dos participantes. O professor apoiou a interação por meio de perguntas abertas e reflexões sobre a aplicação prática dos conceitos estudados.

Os momentos de maior engajamento ocorreram quando os participantes compartilharam soluções práticas e discutiram a viabilidade dos projetos propostos. Por outro lado, discussões mais teóricas geraram uma leve redução na interação, evidenciando a necessidade de equilibrar exposições conceituais com elementos práticos.

Sobre as principais dificuldades apresentadas pelos cursistas, destacou-se:

a) **infraestrutura insuficiente:** algumas escolas ainda não receberam os equipamentos necessários para a execução dos projetos;
b) **carga de trabalho elevada:** muitos professores enfrentam dificuldades para conciliar o curso com suas atividades docentes.

A videoaula 2 consolidou a importância da Economia Circular dentro do contexto dos Espaços *Maker* e reforçou a necessidade de tornar o ensino mais dinâmico e prático. O encontro permitiu compreender melhor os desafios enfrentados pelos participantes e estabelecer diretrizes para tornar o aprendizado mais eficiente e aplicado à realidade das instituições envolvidas. O professor finalizou, explicando que os próximos encontros terão um foco ainda maior no desenvolvimento de projetos e na integração da fabricação digital como ferramenta de apoio para soluções sustentáveis dentro do ensino.

Os registros do pesquisador indicaram uma participação ativa dos cursistas, com relatos sobre dificuldades enfrentadas na integração da Economia Circular às práticas pedagógicas. A interação dos participantes revelou desafios técnicos, organizacionais e estruturais que impactam a implementação dos projetos propostos.

Foram identificados quatro aspectos principais nos registros:

a) **engajamento dos cursistas:** os momentos de maior engajamento ocorreram durante a discussão de soluções práticas para os desafios encontrados, especialmente relacionados ao uso de materiais recicláveis e ao desenvolvimento de novas metodologias para os Espaços *Maker*. A interação dos participantes foi um ponto positivo da videoaula. Os cursistas demonstraram entusiasmo ao compartilhar suas experiências e dificuldades,

principalmente quando discutiram soluções práticas para os problemas enfrentados. No entanto, a gestão do tempo para acompanhamento das atividades ainda se mostra um desafio;

b) **impacto das ferramentas *Maker*:** os participantes destacaram a importância do acesso a tecnologias como impressão 3D e modelagem digital, mas também apontaram a necessidade de treinamentos mais aprofundados para melhor aproveitamento desses recursos;
c) **dificuldades estruturais:** algumas escolas ainda enfrentam dificuldades na adaptação de seus espaços para as práticas *Maker*, com falta de equipamentos essenciais e suporte técnico adequado. Os cursistas relataram dificuldades técnicas na operação dos equipamentos e na conciliação entre teoria e prática. A falta de infraestrutura em algumas escolas foi apontada como um obstáculo para a plena execução das atividades. Além disso, a necessidade de capacitação adicional em ferramentas digitais foi destacada como um fator essencial para otimizar os processos nos Espaços *Maker*;
d) **sugestões para melhoria:** os cursistas junto ao professor sugeriram maior flexibilização na entrega das atividades e a criação de espaços de colaboração entre escolas para troca de experiências e soluções para problemas comuns.

Com base nas discussões e reflexões, foram sugeridos quatro encaminhamentos para otimizar o aprendizado e a execução dos projetos:

a) **ajuste na carga de atividades:** redução da sobrecarga de tarefas para possibilitar maior aprofundamento nos temas abordados;
b) **capacitação técnica:** implementação de treinamentos específicos para o uso de ferramentas Maker e softwares de modelagem digital;
c) **fortalecimento das parcerias:** promoção de colaborações entre escolas e instituições para compartilhamento de recursos e experiências;
d) **aprimoramento da infraestrutura:** identificação de necessidades estruturais e busca por alternativas para melhorar os espaços de aprendizagem.

A videoaula 2 contribuiu significativamente para o amadurecimento dos projetos e para a troca de conhecimentos entre os participantes. O envolvimento dos cursistas na construção de soluções inovadoras reforça o potencial da abordagem adotada no curso. No entanto, desafios como infraestrutura inadequada, carga de atividades elevada e necessidade de capacitação

técnica ainda precisam ser enfrentados para garantir a efetividade da integração da Economia Circular nos Espaços *Maker*.

5.5.4.3 Videoaula 3

Na Videoaula 3[31] do curso foram abordados os temas de Economia Circular, com ênfase no design sustentável e nas tecnologias de fabricação digital. O professor fez uma breve recapitulação dos tópicos abordados nas aulas anteriores, que incluíram conceitos fundamentais da Economia Circular e a cadeia de suprimentos, evidenciando a relevância de um design que se alinhe a esses princípios.

O professor incentivou uma discussão sobre o conceito de design, estimulando a participação dos cursistas, que compartilharam diferentes definições. Essa troca evidenciou a complexidade do tema, que vai além da estética, abrangendo planejamento e materialização de ideias. Para aprofundar o debate, foi exibido um vídeo que explorou o significado do design, trazendo citações de figuras como Steve Jobs, que destacou seu caráter funcional e simbólico, indo além da mera aparência.

Em seguida, o professor examinou a diferença entre "design" e "designer", esclarecendo que design se refere ao projeto enquanto designer é o profissional responsável por sua execução. A importância de um pensamento estratégico no design foi discutida, ressaltando como o designer deve atuar em todas as etapas do desenvolvimento de um produto, desde a concepção até a implementação, sempre buscando soluções que atendam às necessidades do usuário.

O conceito de Design *Thinking* foi introduzido com enfoque na sua abordagem centrada no ser humano. O professor discutiu as etapas do Design *Thinking*: entender, definir, idealizar, prototipar, testar e entregar. Ele destacou que esse processo é não apenas linear, mas deve ser flexível, permitindo que os designers voltem a etapas anteriores quando necessário, a fim de refinar soluções e garantir que o produto final atenda às expectativas do usuário.

Na continuidade da aula, o professor enfatizou a importância de se implementar soluções circulares. Foi discutido como o design deve ser planejado para prolongar o ciclo de vida dos produtos, evitando descartes prematuros. O professor apresentou um guia de design circular, que contém métodos e ferramentas que podem ser aplicados na criação de soluções que respeitem os princípios da Economia Circular, ajudando a transformar a abordagem linear tradicional em uma abordagem mais sustentável.

[31] Videoaula 3 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/wOw1m3g34nc.

Para concluir, o professor propôs que os cursistas desenvolvessem um projeto que incorporasse os conceitos discutidos durante a aula. Ele incentivou a pesquisa e a colaboração, sugerindo que os cursistas se unissem em grupos para explorar ideias e desenvolver soluções inovadoras e sustentáveis. O professor se disponibilizou para orientar os cursistas no processo, ressaltando a importância de aplicar o conhecimento adquirido na prática e de fomentar um ambiente de aprendizado colaborativo.

A aula encerrou com um convite para que os cursistas continuassem a reflexão sobre como suas ideias poderiam contribuir para um futuro mais sustentável, alinhando-se aos princípios da Economia Circular e do design. A interação entre teoria e prática foi um ponto focal, buscando não apenas transmitir conhecimento, mas também inspirar os cursistas a se tornarem agentes de mudança em suas comunidades por meio do design responsável.

Os temas e conceitos sinalizados nesta videoaula foram:

a) **multidisciplinaridade do design**: o design não é apenas uma questão estética; ele combina arte e ciência para resolver problemas, mostrando sua natureza multidisciplinar;
b) **funções do design**: as funções estética, simbólica e prática do design são essenciais para a criação de produtos viáveis, ressaltando que um bom design deve atender a essas três esferas;
c) **transição para a Economia Circular:** é fundamental projetar produtos que não apenas atendam às necessidades dos consumidores, mas que também considerem o impacto ambiental, priorizando a sustentabilidade;
d) **Design Thinking**: essa abordagem incentiva a inovação através de um processo colaborativo e centrado no ser humano, essencial para a resolução de problemas complexos;
e) **prototipagem rápida**: a prototipagem permite testar conceitos rapidamente, reduzindo riscos e desperdícios, fundamental na criação de soluções mais eficientes;
f) **importância da empatia**: compreender as necessidades dos usuários é vital para o sucesso do design, ajudando a moldar soluções que realmente atendam às expectativas e exigências do mercado;
g) **integração de processos**: o design deve ser visto como parte de um sistema maior, onde o feedback contínuo e a evolução são cruciais para o desenvolvimento de produtos que se alinhem à economia circular.

O professor introduziu conceitos de design, enfatizando sua multidisciplinaridade e suas funções estéticas, simbólicas e práticas. Discute-se a importância de repensar o design em um contexto de Economia Circular, abordando a necessidade de projetar produtos e serviços de maneira que reduzam desperdícios e promovam a sustentabilidade.

O conceito de Design *Thinking* é introduzido como uma ferramenta para resolver problemas complexos, envolvendo etapas de empatia, definição, idealização, prototipagem, teste e entrega. O professor também destaca a importância deste entendimento para a prática do design no desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis.

Durante a videoaula, os cursistas mostraram maior engajamento em momentos de perguntas e respostas, particularmente quando o professor solicitou que compartilhassem suas definições de design. A interação foi notável quando uma cursista destacou que design é um "planejamento de como determinada coisa vai ser feita", gerando uma discussão rica que envolveu o restante da turma.

Os cursistas demonstraram interesse por meio de respostas rápidas. As perguntas feitas pelo professor, como “O que é design para vocês?”, provocaram um aumento no nível de interação. O engajamento variou ao longo da aula. Momentos de maior participação ocorreram durante discussões sobre conceitos práticos de design e Economia Circular. Por outro lado, houve uma diminuição no engajamento durante as partes mais teóricas, onde o professor falava sobre definições e teorias. Fatores como a complexidade dos conceitos e a falta de atividades práticas imediatas auxiliaram para essa variação.

O professor utilizou estratégias como perguntas abertas e desafios para estimular a participação dos cursistas. Ao questionar sobre o que eles entendiam por design, ele não apenas encorajou a participação, mas também promoveu um ambiente de troca de ideias. O professor fez uso de vídeos e apresentações visuais, o que ajudou a manter a atenção dos cursistas.

Houve um claro incentivo ao pensamento crítico e à resolução de problemas, especialmente quando o professor discutiu as funções do design e como isso se relaciona com a Economia Circular. Ele instigou os cursistas a pensar sobre como os produtos podem ser projetados para evitar descartes, e principalmente os descartes prematuros, além da importância de funcionalidades práticas destes produtos.

As perguntas feitas pelo professor foram abertas e provocativas, levando os cursistas a refletirem sobre conceitos de design. Essa abordagem ajudou a aprofundar a compreensão sobre as nuances do design e suas implicações na sustentabilidade.

Durante a aula, foram mencionados conceitos fundamentais da Economia Circular, como reutilização, reaproveitamento, design sustentável e ecodesign. O professor fez uma

conexão clara entre esses conceitos e o desenvolvimento de produtos que minimizem o desperdício e maximizem a eficiência de recursos.

Os cursistas demonstraram compreensão dos conceitos apresentados, sobretudo quando participaram de discussões sobre a função prática do design. A interação em torno de exemplos práticos, como a comparação entre um copo convencional e um copo quadrado, evidenciou a assimilação dos cursistas em relação à funcionalidade e estética do produto.

Os princípios da Economia Circular foram aplicados nas atividades práticas discutidas, onde o professor propôs que os cursistas pensassem em projetos que incorporassem esses princípios. A ideia de transformar um design linear em um design circular foi um ponto central da discussão, com ênfase na importância do *feedback* contínuo no processo de desenvolvimento.

O tom de voz do professor variou ao longo da aula, especialmente quando enfatizava pontos importantes sobre a intersecção entre design e Economia Circular. Essa variação ajudou a manter a atenção dos cursistas e a destacar conceitos-chave.

Os cursistas interagiram positivamente com os recursos do Espaço *Maker*, como impressoras 3D e ferramentas de corte a laser. A expectativa de usar essas ferramentas em projetos práticos gerou entusiasmo e curiosidade. O uso das ferramentas foi reconhecido como um elemento crucial para a melhor assimilação dos conceitos discutidos dentro de design e economia circular. A abordagem “mão na massa” foi fundamental para concretizar as ideias apresentadas, alinhando teoria e prática.

Embora não tenha havido menções diretas a dificuldades técnicas durante a aula, a necessidade de ajustes técnicos para compartilhar vídeos e apresentações pode ter impactado temporariamente o fluxo da aula. A solução rápida para esses problemas contribuiu para manter o foco no conteúdo. Algumas barreiras foram identificadas, como a complexidade dos conceitos teóricos e a falta de atividades práticas imediatas, que podem ter contribuído para a diminuição do engajamento. Além disso, a dependência de tecnologia para a apresentação de conteúdos pode ter causado frustração.

Com essas análises, e pensando em melhorar o curso, propõe-se novas abordagens:

a) Integrar mais atividades práticas desde o início da aula para manter o engajamento dos cursistas, priorizando uma abordagem mais "mão na massa". No entanto, esse processo se torna mais desafiador devido ao formato online das aulas.
b) reduzir a quantidade de conteúdo teórico em favor de discussões interativas de modo que a o processo teórico seja construído a partir das discussões e interações;

c) utilizar recursos visuais e audiovisuais de forma mais dinâmica, evitando momentos de espera devido a problemas técnicos;
d) promover maior envolvimento dos cursistas na formulação de perguntas e discussões, de modo a incentivar uma maior troca de ideias.

A videoaula 3 demonstrou um bom entendimento dos princípios da Economia Circular, na qual o professor utilizou estratégias para engajar os cursistas. Embora tenha havido variações no nível de participação, a aula proporcionou um espaço para a discussão crítica e a aplicação prática dos conceitos. As sugestões apresentadas visam aprimorar a experiência de aprendizado, tornando-a mais dinâmica e interativa. A integração de teoria e prática é fundamental para a formação dos cursistas em design e sustentabilidade, especialmente em um contexto *maker* educacional.

Em resumo, a videoaula 3 fornece uma visão abrangente sobre a relação entre design e Economia Circular, enfatizando a importância de projetar produtos que atendam tanto às necessidades dos consumidores quanto às exigências ambientais. O uso de metodologias como o Design *Thinking* e a prototipagem rápida são fundamentais para a criação de soluções inovadoras e sustentáveis. A aula convidou os estudantes a enxergarem o design como uma ferramenta poderosa para transformar ideias em projetos capazes de impactar positivamente o mundo ao seu redor.

5.5.4.4 Videoaula 4

A Videoaula 4[32] focou no uso do AutoCAD, um *software* importante para desenho técnico e modelagem em 3D e que possui uma parceria entre o fabricante e instituições de ensino. O professor começou a aula conversando com os cursistas, que estavam online e prontos para a prática. Ele detalhou as funções básicas do AutoCAD, mostrando como ele é útil para criar desenhos em 2D, que são cruciais para projetos técnicos, e modelos em 3D, cada vez mais importantes em design e engenharia.

O AutoCAD atua como uma prancheta eletrônica, substituindo o método tradicional de desenhar à mão. O professor destacou a importância de ser preciso nos desenhos digitais e como o *software* facilita ajustes, como mover, copiar, espelhar e girar objetos, economizando tempo e esforço em relação ao desenho manual.

[32] Videoaula 4 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/UbAQAAjXQOI.

A aula incluiu transformações geométricas: mover, girar, escalar e espelhar. O professor explicou a diferença entre desenhar em 2D e 3D e como isso se relaciona com tecnologias de fabricação digital, como impressoras 3D e cortadoras a laser, que precisam de arquivos digitais. Ele também destacou o uso de camadas para organizar e editar desenhos. Os cursistas participaram ativamente, fazendo perguntas sobre as ferramentas e suas aplicações. O professor incentivou a prática, pedindo que realizassem operações enquanto ele explicava. Ele apresentou comandos como "*copy*" e "*offset*", demonstrando como usá-los com exemplos práticos.

No final, o professor propôs um projeto desafiador para a próxima aula: desenhar um modelo de óculos de realidade virtual, chamado Google *Cardboard*, utilizando as técnicas aprendidas. Esta atividade prática permitiria aos cursistas aplicarem o conhecimento adquirido, unindo teoria e prática. A aula foi planejada para manter os cursistas engajados, com uma abordagem colaborativa que incentivava a troca de ideias e a resolução de dúvidas em tempo real.

Os temas e conceitos aprendidos nesta videoaula foram:

a) **AutoCAD como ferramenta de design**: o AutoCAD é um *software* que revoluciona a forma como os projetos arquitetônicos e de engenharia são desenvolvidos. Sua capacidade de criar desenhos técnicos precisos e modelos tridimensionais é essencial na formação de profissionais na área;
b) **transição do desenho manual para digital**: a mudança do desenho tradicional para o digital não só melhora a precisão, mas também permite modificações rápidas e a reutilização de elementos gráficos, otimizando o processo criativo;
c) **educação e acesso ao software**: a disponibilização de versões educacionais do AutoCAD é um passo significativo para democratizar o acesso a ferramentas profissionais, permitindo que estudantes desenvolvam habilidades valiosas para o mercado de trabalho;
d) **interatividade e participação dos cursistas**: um ambiente de aprendizado colaborativo, onde os participantes podem fazer perguntas e interagir com o instrutor, é fundamental para uma compreensão mais profunda e duradoura dos conceitos apresentados;
e) **relação com tecnologias emergentes**: o uso do AutoCAD em conjunto com tecnologias como impressão 3D e corte a laser ilustra a relevância do design digital nos processos de fabricação moderna, preparando os cursistas para desafios futuros;

f) **desafio na prática**: projetos práticos, como a construção de óculos de realidade virtual, são essenciais para aplicar os conhecimentos adquiridos e incentivar a criatividade dos cursistas;
g) **aulas futuras**: o agendamento de aulas adicionais reflete um compromisso com a aprendizagem contínua e o aprofundamento do conhecimento dos cursistas em design digital.

O vídeo exemplifica uma aula prática de AutoCAD, destacando a importância do *software* na formação de futuros profissionais de design e engenharia. O professor menciona que o AutoCAD pode ser usado tanto como uma prancheta eletrônica para desenhos 2D quanto para modelagem 3D, enfatizando a versatilidade da ferramenta. Os cursistas são incentivados a experimentar diferentes comandos e a interagir com o software, promovendo um aprendizado ativo.

Esta abordagem abrangente não apenas ensina o uso técnico do AutoCAD, mas também prepara os cursistas para a aplicação real de suas habilidades em projetos futuros, alinhando educação e prática profissional. O formato detalhado e interativo da aula é um modelo eficaz para o ensino de tecnologias complexas, refletindo a importância de um aprendizado envolvente e prático.

O engajamento dos cursistas se destacou em vários momentos da aula. Durante a introdução ao AutoCAD, eles foram incentivados a abrir arquivos e trabalhar em conjunto, promovendo um ambiente colaborativo. O professor fez perguntas abertas, como "Quem já usou o AutoCAD alguma vez?" e "Qual é a vantagem de fazer o desenho digital?", gerando respostas rápidas e participativas. Esses momentos foram essenciais para capturar o interesse dos cursistas e estimular a interação.

Os cursistas demonstraram interesse por meio de perguntas diretas, expressões faciais de curiosidade e a disposição para ajudar uns aos outros. Quando o professor introduziu conceitos técnicos, como a diferença entre modelagem 2D e 3D, os cursistas mostraram reações de entusiasmo e se manifestaram, querendo entender mais sobre o funcionamento do *software*. A colaboração foi evidente quando os cursistas tentaram abrir arquivos e resolver problemas técnicos juntos, como a dificuldade de alguns em acessar o AutoCAD.

O engajamento variou ao longo da aula, especialmente quando o professor abordou conceitos mais complexos. Por exemplo, quando discutiu a modelagem tridimensional e as técnicas de fabricação digital, alguns cursistas pareceram mais desinteressados, possivelmente

devido à complexidade do assunto. Fatores como o ritmo da aula e a clareza das instruções impactaram diretamente o nível de atenção e participação dos cursistas.

O professor utilizou várias estratégias para estimular a participação dos cursistas. Ele fez uso de perguntas abertas e incentivou a reflexão crítica ao pedir que os cursistas explicassem as vantagens do desenho digital em comparação ao desenho à mão. Além disso, ele frequentemente elogiava as respostas dos cursistas, criando um ambiente positivo e acolhedor.

As perguntas abertas do professor, como "Então, por que isso é importante?" e "O que vocês acham que pode ser feito com esses desenhos?", estimularam os cursistas a refletirem sobre a aplicação prática dos conceitos discutidos. Isso levou a discussões mais profundas sobre a relação entre design sustentável e a Economia Circular.

Durante a aula, o professor mencionou conceitos de reutilização, reaproveitamento e design sustentável, que são fundamentais para a Economia Circular. Ele destacou como o AutoCAD pode ser utilizado para criar projetos que considerem a sustentabilidade, como a fabricação de objetos que possam ser facilmente desmontados e reutilizados.

Os cursistas mostraram uma compreensão crescente dos conceitos de Economia Circular à medida que a aula avançava. Eles começaram a conectar as ferramentas e técnicas aprendidas no AutoCAD com as práticas sustentáveis discutidas. A interação durante as atividades práticas foi um indicativo de que estavam assimilando bem os conceitos.

As atividades práticas de desenvolvimento dos óculos de realidade virtual, permitiriam que os cursistas aplicassem os princípios da Economia Circular ao desenvolverem seus próprios projetos. O uso de tecnologias de fabricação digital, como impressão 3D e corte a laser, foi destacado como um exemplo prático de como esses conceitos podem ser implementados em projetos reais.

O tom de voz do professor variou conforme ele enfatizava pontos importantes. Ele utilizou uma entonação animada ao discutir os benefícios do AutoCAD e sua aplicação prática, o que ajudou a manter o interesse dos cursistas. A variação no tom também foi utilizada para destacar conceitos-chave, tornando a aula mais dinâmica e envolvente.

Os cursistas interagiram de forma eficaz com os recursos disponíveis no Espaço *Maker*, especialmente o *software* AutoCAD. A interação prática com o *software* ajudou a consolidar os conceitos discutidos em aula. Os cursistas puderam experimentar diretamente exercícios no *software*, o que facilitou o aprendizado. Ao criar e modificar seus próprios desenhos, os cursistas puderam ver a aplicação prática dos princípios discutidos, o que contribuiu para uma aprendizagem mais significativa.

Embora a maioria dos cursistas tenha conseguido interagir com o AutoCAD, alguns enfrentaram dificuldades técnicas, como problemas ao abrir arquivos. Essas dificuldades impactaram temporariamente o aprendizado, exigindo que o professor intervisse para ajudar a solucionar os problemas, o que poderia ter gerado frustração em alguns cursistas.

Identificou-se que algumas barreiras no ensino e aprendizagem incluíam a complexidade técnica de alguns conceitos, dificuldades de acesso a *softwares* nos dispositivos dos cursistas e a necessidade de mais tempo para a compreensão de certas ferramentas e técnicas. A variação no engajamento também indicou que a abordagem poderia ser mais adaptativa às diferentes velocidades de aprendizagem.

Para aprimorar futuras aulas, recomenda-se a inclusão de mais exercícios práticos e exemplos visuais que ilustrem a aplicação dos conceitos discutidos. Além disso, a formação de grupos de trabalho pode favorecer a colaboração entre os cursistas, promovendo a aprendizagem coletiva. A disponibilização de materiais de apoio, como tutoriais em vídeo, também pode facilitar a compreensão de ferramentas mais complexas.

A videoaula 4 não trouxe à tona muitas discussões sobre Economia Circular em Espaços *Maker* Educacionais. Entretanto, forneceu aos cursistas o aprendizado a uma ferramenta que auxilia no processo de desenvolvimento de projetos para serem produzidos através das tecnologias de fabricação digital.

5.5.4.5 Videoaula 5

Na Videoaula 5[33], o professor revisa conceitos já discutidos, focando no uso do AutoCAD para estudantes. Ele explica como utilizar ferramentas de desenho e modificação, mostrando como alternar entre modos 2D e 3D. Depois, demonstra como desenhar uma peça técnica a partir de uma imagem, e esclarece a diferença entre *softwares* vetoriais, como AutoCAD, e de bitmap, como *Photoshop*.

O professor inicia por meio de um desenho 2D com círculos e linhas, abordando medidas em milímetros e comandos como espelhamento. Ressalta o uso do comando *fillet* para criar bordas arredondadas e mostra a transformação do desenho 2D em um modelo 3D usando extrusão e *presspull*.

[33] Videoaula 5 disponível no YouTube pelo link: https://youtu.be/Tlk_o-TUEMo.

A aula avança com a criação de um cilindro e adição de furos, utilizando subtração para modificar a peça 3D. Explica a importância das medidas para garantir o tamanho correto da peça final e como exportar o arquivo em DXF para corte a laser ou STL para impressão 3D.

O professor pontua técnicas mais avançadas, como criar superfícies e cortes complexos, úteis para modelos detalhados, além de editar objetos, girando ou escalonando conforme necessário no projeto. Ele motiva ainda a prática dos exercícios e a busca de esclarecimentos. Posteriormente, enfatiza a combinação de prática e teoria, sugerindo que se desenhe à mão antes de digitalizar no AutoCAD para um aprendizado mais completo.

Ao final, lembra que a videoaula estará disponível para revisões, reforçando que a prática é crucial para dominar o software e as técnicas de desenho técnico. Despede-se incentivando a continuidade no aprendizado.

Pontos importantes abordados na videoaula:

a) transição entre 2D e 3D: o professor destaca como mudar do modo 2D para 3D no AutoCAD e as ferramentas disponíveis para cada modo;
b) uso de ferramentas de transformação: ele demonstra como utilizar comandos como espelhar, *fillet* e *trim* para aperfeiçoar os desenhos;
c) diferença entre vetores e imagens: a distinção entre *software* vetorial (AutoCAD) e *software* de imagem (*Photoshop*) é explicada;
d) criação de peças técnicas: o professor guia os cursistas na criação de uma peça técnica a partir de uma imagem, enfatizando a simetria;
e) exportação para impressão 3D: o processo de exportar desenhos para impressão 3D é detalhado, abordando o formato STL;
f) corte a laser: o vídeo explica como preparar arquivos para serem utilizados em cortadoras a laser, focando na importância do formato DXF;
g) aprendizado prática: a aula incentiva a prática e a interação, com o professor se colocando à disposição para esclarecer dúvidas.

O professor ainda destaca a importância da familiaridade com ferramentas como AutoCAD, que é uma ferramenta fundamental no desenho técnico, permitindo a criação de desenhos precisos e a visualização em 3D. O domínio das ferramentas de desenho e modificação é essencial para a produção de peças técnicas, que podem ser utilizadas em diversas aplicações, como impressão 3D e corte a laser. A compreensão das diferenças entre *softwares* vetoriais e de *bitmap* é crucial, assim como o conhecimento de escalas e unidades.

Além disso, a prática contínua e o suporte educacional são determinantes para o sucesso no uso do AutoCAD, agregando valor à formação profissional dos usuários.

Ao longo da videoaula, os momentos de maior participação dos cursistas foram observados durante a introdução ao *software* AutoCAD e nas etapas práticas de desenho. A aula começou com uma breve revisão, onde o professor perguntou se os cursistas estavam prontos para seguir, e a resposta positiva de um aluno indicou seu engajamento inicial.

Os cursistas demonstraram interesse por meio de perguntas sobre o uso das ferramentas, como "Professor, ficou muito grande?" e "Como faço para mudar a escala?" Essas interações não só indicaram que os cursistas estavam ativamente envolvidos, mas também que estavam aplicando o conhecimento adquirido nas aulas anteriores. O engajamento variou ao longo da aula. Inicialmente, cursistas estavam mais atentos às explicações teóricas, mas à medida que a aula progrediu para a prática com o AutoCAD, o nível de envolvimento aumentou. Fatores como a clareza das instruções do professor e a relevância das atividades práticas contribuíram para esse aumento no engajamento.

O professor utilizou várias estratégias para estimular a participação, como o compartilhamento de sua tela e a realização de perguntas abertas que incentivavam os cursistas a pensarem criticamente. O uso de frases como "Concordo, o que você acha?" e "Alguém tem alguma dúvida sobre isso?" ajudou a criar um ambiente colaborativo. Além disso, o professor fez referências a experiências anteriores dos cursistas, conectando o novo conteúdo com o que já era conhecido.

O professor fez perguntas que exigiam mais do que respostas simples. Por exemplo, ao discutir a diferença entre software vetorial e de imagem, ele pediu aos cursistas que refletissem sobre as implicações de usar cada tipo de software em projetos de design. Isso incentivou os cursistas a aplicarem seu conhecimento em situações práticas. As perguntas abertas propostas pelo professor promoveram reflexões significativas. Ao descrever a importância das dimensões em projetos 3D, ele instigou os cursistas a pensar sobre como as medidas impactam a funcionalidade dos objetos que estavam desenhando.

Durante a aula, foram mencionados conceitos centrais da Economia Circular, como reutilização, reaproveitamento e design sustentável. O professor enfatizou a importância de pensar em termos de sustentabilidade ao criar projetos no AutoCAD, sugerindo que os cursistas considerassem como seus designs poderiam ser utilizados ou adaptados em futuros projetos. Os cursistas mostraram compreensão dos conceitos discutidos. Quando questionados sobre como poderiam aplicar a Economia Circular em seus projetos, muitos cursistas sugeriram formas de reutilizar materiais e como poderiam otimizar seus designs para facilitar o reaproveitamento.

Os princípios da Economia Circular foram aplicados nas atividades práticas, onde os cursistas foram orientados a desenhar peças que poderiam ser cortadas a laser ou impressas em 3D. O professor explicou como o design dessas peças poderia ser feito de forma a minimizar o desperdício de material, reforçando a ideia de que cada projeto deveria considerar seu impacto ambiental.

O tom de voz do professor variou ao longo da aula, com mudanças sutis para enfatizar pontos importantes. Em momentos de explicação teórica, o tom era mais sério, enquanto nas partes práticas, o professor adotou um tom mais entusiasmado e encorajador.

Os cursistas demonstraram entusiasmo, especialmente durante os exercícios práticos. O professor observou expressões de satisfação e alegria quando os cursistas conseguiam realizar as tarefas propostas. No entanto, em algumas partes mais teóricas, alguns cursistas mostraram sinais de desinteresse, que foram rapidamente contornados pelo professor com interações mais dinâmicas.

Os cursistas interagiram ativamente com os recursos disponíveis no Espaço *Maker*. O uso do *software* AutoCAD foi um destaque, pois permitiu que os cursistas aplicassem conceitos teóricos na prática. O professor incentivou a exploração das ferramentas, destacando a importância de se familiarizar com o software antes de começar projetos mais complexos.

O uso das ferramentas contribuiu significativamente para a assimilação dos conceitos de Economia Circular. Os cursistas foram capazes de visualizar suas ideias e entender como a teoria se traduz em prática. A manipulação direta das ferramentas permitiu que eles experimentassem e ajustassem seus designs em tempo real.

Houve algumas dificuldades técnicas que impactaram o aprendizado. Problemas de conexão e travamentos do *software* foram comuns durante a aula, o que gerou frustração em alguns cursistas. O professor tentou mitigar esses problemas, sugerindo que os cursistas salvassem frequentemente seu trabalho e explorassem alternativas caso enfrentassem dificuldades.

As barreiras identificadas no ensino e aprendizagem incluíram a falta de clareza em algumas instruções, dificuldades técnicas com o *software* e momentos de desmotivação em atividades mais teóricas. A combinação desses fatores pode ter afetado a fluidez do aprendizado.

A videoaula sobre Economia Circular em Espaços *Maker* Educacionais foi um espaço rico para a interação e aprendizado dos cursistas. O engajamento foi elevado, especialmente durante as atividades práticas, e os princípios da Economia Circular foram claramente aplicados. No entanto, desafios técnicos e momentos de desmotivação foram observados,

sugerindo a necessidade de ajustes nas abordagens pedagógicas e no uso das ferramentas. Com algumas melhorias, as futuras aulas podem proporcionar experiências ainda mais valiosas e produtivas para os cursistas.

5.6 Atividades

A metodologia de análise de conteúdo sistematizada por Franco (2018) foi escolhida para avaliar o impacto do curso porque se trata de uma técnica para a interpretação qualitativa dos dados, permitindo identificar padrões, tendências e categorias que possibilitam uma avaliação detalhada do aprendizado dos cursistas.

Essa abordagem estruturada garante que a análise das respostas seja realizada com base em critérios definidos, como criatividade, sustentabilidade e aplicabilidade, minimizando interpretações subjetivas e possibilitando a identificação de lacunas no processo de ensino-aprendizagem. Outrossim, a Análise de Conteúdo é eficaz para reconhecer padrões recorrentes nas respostas dos cursistas, colaborando a detectar quais conceitos foram mais bem assimilados e quais ainda precisam ser aprofundados.

Com essa técnica, é possível categorizar os cursistas em diferentes níveis de compreensão e desempenho, permitindo avaliar o curso e o impacto causado nos cursistas. Outro aspecto fundamental da metodologia é sua capacidade de ir além da avaliação quantitativa tradicional, explorando a qualidade das respostas e a profundidade da aprendizagem. Dessa forma, tornou-se possível entender se os cursistas apenas reproduziram conceitos ou se realmente desenvolveram um raciocínio crítico e aplicado. Além disso, a metodologia permite identificar barreiras no aprendizado, como dificuldades técnicas ou falta de engajamento, favorecendo intervenções pedagógicas mais eficazes.

Por fim, a escolha dessa metodologia se justifica pelo seu potencial de contribuir para a melhoria contínua do curso, pois os resultados obtidos podem ser utilizados não apenas para medir o desempenho dos cursistas, mas também para aprimorar as estratégias didáticas e tornar o ensino mais eficiente e alinhado aos princípios da Economia Circular. Assim, a Análise de Conteúdo de Franco (2018) se mostrou a abordagem mais adequada para essa avaliação, pois alia rigor metodológico, sistematização e capacidade de adaptação pedagógica, promovendo uma avaliação qualitativa que contribui para o aprimoramento do ensino e da aprendizagem.

Com base nas respostas fornecidas pelos cursistas nos exercícios, a análise será estruturada nos seguintes critérios analíticos:

1. **Criatividade** – capacidade dos cursistas de propor soluções inovadoras e relevantes;
2. **Sustentabilidade** – alinhamento das respostas aos princípios da Economia Circular;
3. **Aplicabilidade** – viabilidade das propostas apresentadas em contextos reais.

5.6.1 Atividade 1

A primeira pergunta foi inserida assim que os cursistas estudaram o Fascículo 1 e seu enunciado dizia:

"Escolha um produto ou objeto que você faz uso diariamente e tente descrever o percurso que ele fez desde quando ele era matéria-prima até o momento que ele chegou na sua mão para seu uso, depois tente prever o destino que ele vai ter quando não lhe for mais útil e pesquise quanto tempo ele vai permanecer na natureza (se for o caso de descarte) até se decompor".

Criatividade

A análise das respostas indica que a criatividade variou significativamente entre os cursistas:

a) **alta criatividade:** alguns cursistas foram além da simples descrição do ciclo de vida do produto e levantaram questionamentos sobre o impacto ambiental e possíveis soluções. Um exemplo é a análise dos notebooks, onde o aluno refletiu sobre a dificuldade da logística reversa e sobre a real intenção das empresas em reciclar os componentes eletrônicos;
b) **criatividade moderada:** a maioria dos cursistas descreveu o ciclo de vida do produto de forma linear, mas sem propor soluções inovadoras. Houve menções à reciclagem e ao descarte correto, porém sem explorar novas formas de reaproveitamento;
c) **baixa criatividade:** algumas respostas apenas descreveram o ciclo de vida do produto sem questionar seu impacto ambiental ou alternativas para minimizar o descarte.

Percebeu-se que a criatividade poderia ser mais bem explorada se a pergunta incentivasse explicitamente a proposição de soluções para reduzir o impacto ambiental dos produtos analisados.

Sustentabilidade

O critério de sustentabilidade foi abordado de diferentes formas pelos cursistas:

a) **alta compreensão da sustentabilidade:** alguns cursistas analisaram a relação do produto com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, discutindo a necessidade de incentivos para a reciclagem e propondo soluções como descontos para consumidores que descartam corretamente seus produtos. O aluno que escolheu o *smartphone* demonstrou um olhar crítico sobre o problema do lixo eletrônico e sugeriu medidas para melhorar a reciclagem;
b) **compreensão intermediária:** a maioria dos cursistas mencionou o impacto ambiental e a necessidade de descarte correto, mas sem aprofundar a discussão sobre circularidade. Exemplos incluem as respostas que destacaram a possibilidade de reciclagem, mas sem explorar como os materiais poderiam ser mantidos no ciclo produtivo por mais tempo;
c) **compreensão superficial:** alguns cursistas apenas mencionaram que o produto pode ser descartado ou reciclado, sem considerar os desafios da implementação de um sistema de reaproveitamento eficaz. Um exemplo disso foi a resposta sobre a garrafa de água da *Tupperware*, que menciona que "provavelmente será descartada e reciclada", mas sem discutir a viabilidade desse processo.

Os cursistas demonstraram um bom nível de conscientização sobre os impactos ambientais, mas o conceito de Economia Circular ainda não foi totalmente absorvido. O curso poderia reforçar a importância de estratégias como redesign, reutilização e logística reversa. Muitos se apresentaram céticos em relação a implementação de uma Economia Circular, externando que só seria possível se as instituições públicas e privadas tivessem interesse real e que muitas vezes isso é apenas uma questão de marketing.

Aplicabilidade

O critério de aplicabilidade avaliou se os cursistas apresentaram respostas que poderiam ser implementadas no mundo real:

a) **propostas altamente aplicáveis:** certas respostas trouxeram sugestões concretas, como logística reversa para calçados de couro e recompensas para o descarte correto de eletrônicos. Esses cursistas demonstraram uma visão prática e alinhada às políticas ambientais existentes;

b) **propostas de aplicabilidade moderada:** a maioria dos cursistas sugeriu reciclagem como solução, mas sem discutir a viabilidade desse processo. Por exemplo, a resposta sobre garrafas PET menciona que são recicláveis, mas não considera os desafios da reciclagem desse material no Brasil, onde a taxa de reciclagem ainda é baixa;
c) **propostas pouco aplicáveis:** determinadas respostas apenas mencionaram que o produto pode ser jogado no lixo ou queimado, sem considerar alternativas para prolongar sua vida útil. Um exemplo foi a resposta sobre o lápis, que menciona que ele pode ser queimado, sem explorar formas mais sustentáveis de reaproveitamento.

A aplicabilidade das soluções poderia ser melhorada com um maior direcionamento do curso para estimular os cursistas a pensarem em estratégias viáveis de reaproveitamento. No geral, as primeiras atividades do curso tiveram um impacto positivo na sensibilização ambiental dos cursistas, sendo eficaz em introduzir os conceitos de impacto ambiental e reciclagem.

5.6.2 Atividade 2

A segunda atividade foi proposta assim que os cursistas estudaram o Fascículo 2 e seu enunciado dizia:

"Desenvolva uma apresentação digital com o conceito de Economia Circular e os princípios desse modelo. Em cada princípio tente ilustrar com mais exemplos! Você pode utilizar um software que faça slides e realizar a entrega em formato PDF, ok?"

Criatividade

Os critérios listados foram:

a) **alta criatividade:** certos cursistas foram além da simples descrição dos princípios da EC desenvolveram apresentações bem elaboradas visualmente e com um excelente referencial teórico descrevendo novos autores. Alguns cursistas ainda apresentaram soluções para integrar os princípios da EC de maneira cotidiana;
b) **criatividade moderada:** a maioria dos cursistas descreveu a atividade conforme solicitado no enunciado, mas sem propor nada além do previsto. Houve menções e exemplos inéditos ao apresentado no fascículo, o que demonstra capacidade criativa;

c) **baixa criatividade:** determinadas respostas apenas descreveram o conceito de Economia Circular através de um esquema gráfico não original e não apresentaram os princípios e exemplos que ilustrassem sua aplicação.

Percebeu-se que a criatividade foi bem explorada na questão visual dos slides, entretanto na questão de conteúdo, não foram apresentadas inovações.

Sustentabilidade

O critério de sustentabilidade foi abordado de diferentes formas pelos cursistas:

a) **alta compreensão da sustentabilidade:** a maioria dos cursistas apresentaram os conceitos e exemplos sobre a EC de maneira correta e com bom leque de exemplos;
b) **compreensão intermediária:** certos cursistas não apresentaram todas as solicitações do enunciado, esquecendo muitas vezes de apresentar exemplos dos princípios da EC ou exemplos que não correspondiam ao princípio;
c) **compreensão superficial:** alguns cursistas apresentaram apenas um esquema gráfico e outros deram exemplos que estavam sem conformidade ao princípio descrito. Colocando a Economia Circular com o mero papel de redução de danos ao meio ambiente.

No geral, os cursistas demonstraram um bom nível de entendimento sobre os propósitos da de Economia Circular. O curso poderia reforçar um pouco mais o papel dos princípios para que os estudantes compreendessem que a EC é também um sistema econômico e que pretende fomentar uma produção ativa.

Aplicabilidade

O critério de aplicabilidade avaliou se os cursistas apresentaram respostas que poderiam ser implementadas no mundo real:

a) **propostas altamente aplicáveis:** determinadas respostas trouxeram exemplos de aplicação dos princípios inovadoras as apresentadas e condizentes com os princípios. Esses cursistas demonstraram um alinhamento e entendimento da EC;
b) **propostas de aplicabilidade moderada:** boa parte dos cursistas sugeriu exemplos de aplicações já discutidos no material e/ou facilmente apresentadas como casos de sucesso já conhecidos;

c) **propostas pouco aplicáveis:** algumas não apresentaram respostas ou apresentaram respostas não coerentes aos princípios da EC. Por vezes apresentaram exemplos de minimizar danos do que propostas que beneficiassem o meio ambiente e a economia.

No geral, a segunda atividade do curso ajudou aos estudantes compreenderem melhor o conceito da EC e seus princípios, dando uma visão abrangente das possibilidades e caminhos que eles podem seguir nos projetos desenvolvidos nos Espaços *Maker*.

5.6.3 Atividade 3

A terceira atividade foi proposta assim que os cursistas estudaram o Fascículo 3 e seu enunciado dizia:

"Após você assistir essa palestra (vídeo 3 do texto da competência 3), proponho que você retorne ao primeiro trabalho da competência 1, em que você definiu o ciclo de vida de um produto e tente fazer uma proposta para que este produto possa ganhar a certificação da C2C. Não se preocupe com todos os detalhes (custo, equipamentos necessários, especificação exata de material etc.), neste momento o mais importante é pensarmos fora da caixa e seguirmos os princípios da C2C tornando-o cíclico".

Criatividade

A análise das respostas mostra que a criatividade dos cursistas variou bastante, com alguns apresentando propostas inovadoras e outros apenas reformulando a reciclagem tradicional:

a) **alta criatividade:** os cursistas que se destacaram nesse critério trouxeram ideias alinhadas com o conceito de *Cradle to Cradle* (C2C), explorando soluções de design e logística reversa. O aluno que propôs um programa de recolhimento de calçados de couro sugeriu não apenas a reciclagem do couro, mas também um plano completo de rastreabilidade da matéria-prima e reaproveitamento de componentes sintéticos. Outra proposta inovadora foi o uso de impressão 3D para criar utensílios domésticos reutilizáveis, garantindo que os produtos fossem retornados para reaproveitamento;
b) **criatividade moderada:** a maioria dos cursistas focou em tornar seus produtos recicláveis, o que é um passo positivo, mas não totalmente inovador dentro da lógica da Economia Circular. O caso da garrafa PET foi bem trabalhado em termos de reciclagem, mas não apresentou um design inovador que favorecesse a reutilização antes do

descarte. A proposta do copo descartável biodegradável feito de coco seco foi interessante, mas poderia ter sido mais detalhada quanto à viabilidade técnica;

c) **baixa criatividade:** algumas respostas apenas reforçaram o descarte correto e a reciclagem convencional, sem propor mudanças estruturais no design do produto ou na forma como ele poderia ser reaproveitado dentro do ciclo produtivo.

Apesar de determinadas propostas criativas, a maioria dos cursistas ainda pensa dentro do modelo linear de reciclagem, sem explorar completamente o potencial da certificação C2C.

Sustentabilidade

O critério de sustentabilidade avalia o quanto as respostas foram alinhadas com os princípios da Economia Circular:

a) **alta compreensão da sustentabilidade:** algumas respostas trouxeram soluções bem fundamentadas para fechar o ciclo produtivo do produto, tornando-o efetivamente circular. O caso da camiseta de algodão reciclada, combinada com um programa de logística reversa, demonstrou um entendimento profundo do conceito de ciclo fechado. A proposta do sapato sustentável apresentou um plano detalhado de rastreabilidade, reaproveitamento de materiais e certificação ecológica;

b) **compreensão intermediária:** grande parte dos cursistas identificaram corretamente a necessidade de reaproveitamento dos materiais, mas sem apresentar um plano estruturado para garantir um ciclo fechado. O caso do notebook levantou questões sobre logística reversa, mas sem oferecer soluções concretas. O aluno que propôs a certificação C2C para garrafas PET destacou a necessidade de reciclagem, mas não abordou a eliminação do plástico na origem ou a criação de alternativas mais sustentáveis;

c) **compreensão superficial:** certas respostas apenas mencionaram a possibilidade de reciclagem, sem aprofundar o conceito de Economia Circular. Um exemplo é a resposta sobre papel, que reforçou a reciclagem sem explorar formas de reduzir o consumo ou reutilizar o material antes do descarte.

Muitos cursistas compreendem a importância da sustentabilidade, mas ainda têm dificuldade em propor soluções que eliminem resíduos desde a concepção do produto.

Aplicabilidade

Este critério avalia se as soluções propostas poderiam ser implementadas na prática:

a) **propostas altamente aplicáveis:** certas soluções foram bem estruturadas e viáveis para serem aplicadas no mercado. O aluno que sugeriu um modelo de desconto para quem devolvesse uma camiseta usada apresentou uma ideia realista e alinhada com práticas já adotadas por algumas empresas de moda sustentável. A proposta de usar resíduos plásticos para impressão 3D também se mostrou viável, pois já existem iniciativas semelhantes sendo desenvolvidas;
b) **propostas de aplicabilidade moderada:** algumas ideias foram interessantes, mas não ficaram claras sobre como seriam implementadas. O caso do copo biodegradável de coco seco apresentou uma excelente proposta, mas sem detalhar a viabilidade da produção em larga escala. O cursista que propôs a reciclagem de eletrônicos mencionou a necessidade de um sistema de coleta, mas sem discutir como esse sistema seria financiado ou gerenciado;
c) **propostas pouco aplicáveis:** umas respostas foram abstratas ou não viáveis em um contexto real. Um exemplo foi a proposta de simplesmente reduzir a produção de plástico, sem apresentar alternativas concretas para substituí-lo. A ideia de que empresas devem ser forçadas a reciclar todos os seus produtos sem considerar viabilidade econômica ou regulatória também foi uma abordagem pouco prática.

Determinadas propostas foram bem estruturadas e viáveis, mas muitas ainda carecem de um plano de implementação realista. A segunda atividade trouxe uma evolução no pensamento dos cursistas sobre a Economia Circular, mas ainda é claro que alguns desafios precisam ser superados.

A atividade ajudou os cursistas a avançarem no entendimento da Economia Circular, mas ainda fica claro uma tendência a focar apenas na reciclagem, sem considerar a eliminação de resíduos na origem e a viabilidade real das soluções.

5.6.4 Atividade 4

A quarta atividade foi proposta assim que os cursistas estudaram o Fascículo 3 e seu enunciado dizia:

"Agora elabore um pequeno texto que deixe claro as diferenças sobre a Superciclagem e Subciclagem. Insira neste texto alguns exemplos de cada uma delas e no final dê sua opinião sobre estes processos. Você já tinha parado para pensar sobre estes temas?"

Criatividade

A atividade pedia uma explicação sobre os conceitos de superciclagem (*upcycling*) e subciclagem (*downcycling*), incluindo exemplos e uma reflexão final. Analisando as respostas, observamos variações no nível de criatividade e profundidade das análises:

a) **alta criatividade:** determinados cursistas foram além da definição e trouxeram exemplos originais e bem contextualizados. Um caso interessante foi o estudante que mencionou a transformação de lonas de caminhão em bolsas e acessórios, mostrando uma compreensão clara da superciclagem e sua aplicação comercial. Outro ainda propôs a utilização de redes de pesca descartadas na fabricação de tapetes, evidenciando um pensamento inovador e alinhado à Economia Circular;
b) **criatividade moderada:** a maioria dos cursistas citou exemplos comuns de superciclagem, como a reutilização de garrafas PET para fazer vasos de plantas ou o reaproveitamento de jeans para criar bolsas e roupas. Esses exemplos são válidos, mas já são bastante difundidos, não representando uma abordagem inovadora. A subciclagem foi frequentemente exemplificada com a reciclagem de papel e plásticos, o que demonstra compreensão, mas sem aprofundamento crítico;
c) **baixa criatividade:** algumas respostas limitaram-se a definir os conceitos sem fornecer exemplos concretos ou reflexões pessoais. Um caso típico foi um cursista que apenas afirmou que *"superciclagem mantém a qualidade do material e subciclagem reduz a qualidade"*, sem explorar implicações ou aplicações práticas.

A maioria dos cursistas compreendeu os conceitos, mas poucos exploraram aplicações criativas. O curso pode incentivar mais a proposição de soluções inovadoras baseadas na superciclagem.

Sustentabilidade

Este critério avaliou o quão bem os cursistas relacionaram a superciclagem e subciclagem com os princípios da Economia Circular:

a) **compreensão da sustentabilidade:** alguns cursistas perceberam que a superciclagem é mais alinhada com a Economia Circular, pois mantém os materiais em um nível de valor elevado. Um cursista destacou que *"a superciclagem evita o uso de novos recursos e mantém os materiais em circulação por mais tempo"*. Outro trouxe um argumento interessante ao afirmar que a subciclagem, apesar de ser uma forma de reaproveitamento, ainda leva à degradação dos materiais, exigindo a extração de novos recursos para compensar a perda de qualidade;
b) **compreensão intermediária:** a maioria dos cursistas reconheceu a importância da superciclagem, mas sem aprofundar as implicações. Um padrão comum foi considerar toda reciclagem como um processo positivo, sem discutir os desafios da subciclagem. Muitos não analisaram a relação entre a qualidade dos materiais reciclados e sua vida útil, um ponto essencial da Economia Circular;
c) **compreensão superficial:** certos cursistas confundiram os conceitos ou não demonstraram uma relação clara com a Economia Circular. Por exemplo, houve respostas que trataram a reciclagem de plástico como superciclagem, ignorando que na maioria dos casos o plástico reciclado tem qualidade inferior ao original, caracterizando subciclagem. Também houve casos em que os termos foram apenas definidos.

Os cursistas demonstraram um entendimento básico da diferença entre superciclagem e subciclagem, mas poucos fizeram uma análise crítica sobre qual das duas é mais benéfica para um sistema verdadeiramente circular.

Aplicabilidade

Este critério analisou se os exemplos e reflexões que traziam propostas aplicáveis ao mundo real:

a) **propostas altamente aplicáveis:** alguns cursistas conseguiram propor soluções viáveis e alinhadas com práticas reais de Economia Circular. O caso das redes de pesca transformadas em tapetes foi um bom exemplo, pois já existem empresas que fazem isso. A ideia de usar garrafas PET para criar fibras têxteis também é aplicável e já ocorre em algumas indústrias de moda sustentável;
b) **propostas de aplicabilidade moderada:** a maioria dos cursistas trouxe exemplos que são viáveis, mas genéricos, sem um plano claro de implementação. Muitas respostas

citaram garrafas PET reutilizadas para plantar mudas ou caixas de leite transformadas em isolantes térmicos, o que são boas ideias, mas já amplamente conhecidas. Também houve cursistas que mencionaram a reciclagem de papel como uma forma de superciclagem, quando na realidade isso ocorre com perda de qualidade (subciclagem);

c) **propostas pouco aplicáveis:** certas respostas foram pouco realistas ou simplistas. Um aluno sugeriu que *"todas as empresas deveriam obrigatoriamente usar materiais recicláveis em 100% dos produtos"*, sem considerar os desafios técnicos e econômicos. Outro mencionou que *"a solução para o lixo plástico seria parar de produzir plásticos"*, sem apresentar alternativas viáveis.

Muitos cursistas compreenderam a importância da superciclagem, mas poucos trouxeram exemplos bem fundamentados ou propostas realmente aplicáveis. A terceira atividade ajudou os cursistas a distinguirem entre superciclagem e subciclagem, mas pode ser aprimorada para estimular um pouco mais o pensamento crítico, inovação e conexão com o mundo real.

5.6.5 Atividade 5

A quinta atividade foi proposta assim que os cursistas estudaram o Fascículo 4 e seu enunciado dizia:

"Após compreender um pouco sobre a 'cadeia de design e suprimentos', proponho que você pense em algum produto um pouco mais complexo do que os exercícios anteriores e tente colocá-lo dentro do framework da 'cadeia de design e suprimentos circular' criado pela autora Catherine Weetman em 2015. Tente descrever de forma textual e gráfica (através dos loops) todos os inputs, materiais, compostos, componentes, fluxos e processos".

Criatividade

Nesta atividade, os cursistas precisavam **aplicar o conceito da cadeia de design e suprimentos circular** a um produto mais complexo, considerando **insumos, fluxos e processos**. A criatividade se destacou em algumas respostas:

a) **alta criatividade:** alguns exploraram produtos complexos e sugeriram redesigns inovadores para torná-los mais sustentáveis. O exemplo do smartphone, onde o aluno

detalhou componentes, processos de fabricação e impacto ambiental, foi um dos mais completos. O aluno propôs melhorias no design para facilitar a desmontagem e reutilização de peças, algo alinhado com a circularidade. Outro aluno analisou a produção de garrafas plásticas para suco, propondo o uso de plásticos biodegradáveis e uma logística reversa eficiente;

b) **criatividade moderada:** a maioria dos cursistas identificou corretamente os processos envolvidos, mas sem propor grandes inovações. O exemplo do copo descartável biodegradável foi interessante, mas não abordou o impacto da produção em larga escala. O aluno que analisou notebooks trouxe uma visão interessante sobre a necessidade de reciclagem, mas sem explorar design modular ou reparabilidade, que são estratégias mais circulares;
c) **baixa criatividade:** boa parte das respostas apenas descreveram os materiais e processos sem propor melhorias significativas. O aluno que escolheu latas de alumínio citou que são recicláveis, mas não analisou fluxos e cadeias produtivas. Alguns cursistas repetiram conceitos de reciclagem, sem considerar o redesenho do produto para aumentar sua vida útil.

Os cursistas compreenderam o *framework* de Catherine Weetman, mas muitos não se aprofundaram em fazer um esquema gráfico e não pontuaram todos os elementos do *framework* apresentado no Fascículo 4.

Sustentabilidade

Esta atividade exigia que os cursistas pensassem na sustentabilidade de um produto dentro da **cadeia de suprimentos circular**. O nível de aprofundamento variou:

a) **compreensão da sustentabilidade:** algumas respostas demonstraram um entendimento detalhado de fluxos circulares de materiais. O aluno que analisou o smartphone destacou os impactos ambientais da mineração de metais raros e propôs aumento da vida útil do produto por meio de modularidade e remanufatura. O caso do calçado de couro foi bem desenvolvido, abordando rastreamento da matéria-prima, redução do impacto ambiental no curtume e reciclagem de componentes sintéticos;
b) **compreensão intermediária:** a maioria dos cursistas entendeu a importância da sustentabilidade, mas com abordagens ainda lineares. O exemplo do copo biodegradável apresentou boas intenções, mas ignorou a pegada ambiental do processo de fabricação.

O aluno que trabalhou com garrafas PET mencionou a necessidade de reciclagem, mas não propôs alternativas para reduzir a produção inicial do plástico;

c) **compreensão superficial:** certas respostas mencionaram a reciclagem sem discutir circularidade real. Um aluno afirmou que "todo alumínio pode ser reciclado infinitamente", sem abordar o consumo energético do processo. Outros não analisaram os insumos e fluxos produtivos, focando apenas no descarte.

A sustentabilidade foi compreendida, mas poucos cursistas abordaram estratégias circulares completas conforme proposto pelo *framework*.

Aplicabilidade

A análise da aplicabilidade das propostas mostrou variações na profundidade das respostas:

a) **propostas altamente aplicáveis:** certas propostas foram bem fundamentadas e poderiam ser aplicadas em empresas reais. O design modular para smartphones se alinha com tendências atuais. A logística reversa para calçados, envolvendo rastreabilidade e recompra de produtos usados, também foi uma solução viável;

b) **propostas de aplicabilidade moderada:** boa parte das ideias foram boas, mas faltou um plano detalhado para sua implementação. O copo biodegradável foi uma boa proposta, mas não discutiu custos de produção e escalabilidade. O modelo de logística reversa para garrafas PET reconheceu a necessidade de melhorar a reciclagem, mas não abordou barreiras como falta de infraestrutura e incentivos econômicos;

c) **propostas pouco aplicáveis:** algumas propostas foram vagas ou utópicas. Um aluno sugeriu que "todas as fábricas deveriam usar apenas energia renovável", sem discutir a viabilidade econômica. Outro propôs que "as empresas deveriam ser obrigadas a reciclar 100% de seus produtos", ignorando desafios técnicos e regulatórios.

Determinadas propostas foram bem estruturadas e aplicáveis, mas muitas ficaram no campo da ideia genérica, sem considerar barreiras reais e estratégias de implementação. A quarta atividade permitiu aos cursistas explorarem a Economia Circular em um nível mais profundo, mas muitos ainda focaram apenas na reciclagem, sem considerar desafios de implementação da Economia Circular, como infraestrutura, custos e engajamento do consumidor.

5.6.6 Atividade 6

A sexta atividade foi proposta assim que os cursistas estudaram o fascículo 05 e seu enunciado dizia:

"Após compreender um pouco sobre os principais modelos de negócio, que tal fazer uma pesquisa na internet e encontrar empresas ou entidades que se encaixem em cada um dos modelos ou até em mais de um deles? Justifique sua resposta explicando qual é o produto e/ou serviço oferecido e como se dá a relação com os usuários".

Criatividade

Nesta atividade, os cursistas precisavam **identificar empresas que aplicam diferentes modelos de negócio** e relacioná-las com a Economia Circular. Houve variação na originalidade e profundidade das respostas:

a) **alta criatividade:** certos cursistas foram além de apenas listar empresas e explicaram como esses modelos impactam a sustentabilidade e a Economia Circular. O exemplo da empresa *Bundles*, que oferece máquinas de lavar em um modelo de assinatura, foi uma escolha inovadora e alinhada ao conceito de produto como serviço, prolongando a vida útil dos equipamentos. O aluno que citou a empresa *Fairphone*, que produz smartphones modulares e reparáveis, demonstrou uma excelente compreensão da relação entre modelo de negócio e circularidade;
b) **criatividade moderada:** a maioria dos cursistas identificou empresas conhecidas e fez uma conexão superficial com a Economia Circular. Empresas como Uber, *Airbnb* e 99 foram mencionadas dentro do modelo de compartilhamento, mas sem aprofundar como esse modelo pode reduzir o consumo de recursos. Alguns citaram a C&A, que implementou um sistema de troca de roupas usadas, mas sem analisar o impacto real dessa iniciativa;
c) **baixa criatividade:** algumas respostas apenas listaram empresas conhecidas sem justificar sua escolha ou sem conectá-las com a Economia Circular. Exemplos como *Amazon* e *McDonald's* foram mencionados sem explorar se seus modelos de negócio favorecem a sustentabilidade. Um aluno citou *Nike* e *Adidas*, mas sem detalhar suas iniciativas de economia circular, como o programa de reaproveitamento de tênis.

Os cursistas entenderam os modelos de negócio, mas nem todos fizeram conexões profundas com a Economia Circular.

Sustentabilidade

O critério de sustentabilidade analisou como os cursistas relacionaram os modelos de negócio com práticas circulares:

a) **compreensão da sustentabilidade:** certos cursistas demonstraram um entendimento avançado sobre a relação entre modelos de negócio e circularidade. O caso da Patagonia, que incentiva os clientes a repararem roupas em vez de comprar novas, foi um ótimo exemplo. Um aluno destacou o impacto positivo da logística reversa da Albéa Brasil, empresa que recicla embalagens de cosméticos para evitar resíduos plásticos;
b) **compreensão intermediária:** a maioria dos cursistas reconheceu que compartilhamento e reutilização são práticas sustentáveis, mas sem discutir desafios e impactos. Empresas como *Tesla* e *Apple* foram mencionadas, mas sem questionar se seus produtos são realmente circulares ou apenas comercializados como sustentáveis. O aluno que mencionou bicicletas compartilhadas (*Yellow*) fez uma boa conexão, mas poderia ter aprofundado o impacto desse modelo na redução do consumo de novos veículos;
c) **compreensão superficial:** algumas respostas não relacionaram os modelos de negócio com a sustentabilidade. Empresas de vendas tradicionais foram mencionadas sem explorar como podem adotar modelos mais circulares. Um aluno citou empresas de alimentos ultraprocessados, sem analisar se sua operação incentiva ou prejudica a sustentabilidade.

Alguns cursistas entenderam bem a relação entre modelos de negócio e circularidade, mas outros apenas listaram empresas sem avaliar seu impacto ambiental.

Aplicabilidade

A análise da aplicabilidade avaliou se os cursistas identificaram empresas que realmente operam dentro de modelos circulares e sustentáveis:

a) **propostas altamente aplicáveis:** boa parte das respostas foram bem fundamentadas e alinhadas com práticas reais. O aluno que mencionou *WeWork* (escritórios compartilhados) explicou como o modelo reduz o consumo de recursos e promove um

uso mais eficiente do espaço. O exemplo do modelo de *leasing* da *Brammer*, empresa que oferece água filtrada como serviço em vez de vender purificadores, foi uma ótima escolha;

b) **propostas de aplicabilidade moderada:** determinadas respostas identificaram empresas corretas, mas sem detalhar como sua atuação impacta a Economia Circular. Empresas de moda sustentável foram mencionadas, mas sem discutir se seus programas de reciclagem são eficazes. A reciclagem de eletrônicos foi citada, mas sem abordar desafios como logística reversa e custos do processo;
c) **propostas pouco aplicáveis:** algumas respostas foram genéricas ou sem embasamento. Um aluno sugeriu que "todas as empresas deveriam reciclar seus produtos", sem considerar custos e viabilidade técnica. Outros mencionaram modelos tradicionais de negócio, sem discutir como poderiam ser adaptados para serem mais circulares.

As respostas poderiam ser mais profundas e detalhadas, explorando como cada modelo pode ser aplicado na prática. A atividade ajudou os cursistas a **identificarem modelos de negócio circulares**, mas muitos **ainda fizeram conexões superficiais** com a sustentabilidade.

5.6.7 Atividade 7

A sétima atividade foi proposta assim que os cursistas estudaram o Fascículo 6 e seu enunciado dizia:

"Após compreender um pouco sobre os principais aceleradores e capacitores da Economia Circular, que tal fazer uma pesquisa na internet e encontrar os principais tipos de impressoras 3D e quais os materiais que elas utilizam? Verifique se estes materiais estão ou não conectados com a Economia Circular, ou seja, se ao final do uso eles podem virar nutrientes! Justifique sua resposta e pense numa solução local para resolver os resíduos gerados pelas impressoras do seu espaço 4.0".

Criatividade

Nesta atividade, os cursistas precisavam pesquisar os tipos de impressoras 3D, os materiais usados e sugerir soluções para os resíduos gerados. As respostas apresentaram diferentes níveis de criatividade:

a) **alta criatividade:** certos cursistas exploraram soluções inovadoras para o reaproveitamento dos resíduos da impressão 3D. Um aluno propôs a reutilização dos restos de filamento de PLA para impressão de órteses médicas, criando um ciclo sustentável dentro do próprio laboratório. Outro aluno sugeriu a implementação de uma extrusora de filamentos reciclados, permitindo que os resíduos fossem transformados novamente em matéria-prima;
b) **criatividade moderada:** a maioria dos cursistas identificou os materiais das impressoras 3D e discutiu sua relação com a Economia Circular, mas sem trazer soluções inovadoras. Muitos mencionaram o PLA como um material sustentável por ser biodegradável, mas não analisaram as condições necessárias para sua degradação eficiente. O PETG foi identificado como um material reciclável, mas poucos cursistas discutiram como coletar e reprocessar esse material de forma prática;
c) **baixa criatividade:** algumas respostas foram superficiais, apenas listando tipos de impressoras e filamentos sem propor soluções para os resíduos. Um aluno apenas mencionou que "o ABS não é sustentável", sem sugerir alternativas. Outro mencionou que "os resíduos deveriam ser reciclados", mas sem detalhar como isso poderia ser feito no contexto de um laboratório.

Os cursistas entenderam a questão dos resíduos das impressoras 3D, mas nem todos trouxeram soluções concretas para reduzir ou reaproveitar esses resíduos.

Sustentabilidade

Este critério analisou como os cursistas relacionaram os materiais das impressoras 3D com a circularidade:

a) **alta compreensão da sustentabilidade:** alguns cursistas demonstraram um entendimento avançado da relação entre impressão 3D e Economia Circular. O aluno que propôs o uso de materiais biodegradáveis combinados com um sistema de compostagem trouxe um ótimo exemplo de design para regeneração. Outro aluno destacou que a reciclagem mecânica de filamentos pode ter limitações, sugerindo alternativas como filamentos de biomateriais ou feitos a partir de resíduos orgânicos;
b) **compreensão intermediária:** a maioria dos cursistas reconheceu a importância da reciclagem, mas sem aprofundar nos desafios práticos. O PLA foi amplamente citado como sustentável, mas poucos cursistas discutiram que ele só se degrada corretamente

em condições específicas de compostagem industrial. O uso do ABS foi criticado por ser um plástico derivado do petróleo, mas sem explorar possíveis soluções para minimizar seu impacto;

c) **compreensão superficial:** determinadas respostas não relacionaram os materiais com a Economia Circular de forma clara. Um aluno mencionou que "a impressão 3D reduz o desperdício", mas sem explicar se isso se aplica a todos os materiais. Outro cursista afirmou que "todo PLA é sustentável", ignorando os desafios da compostagem industrial.

A maioria dos cursistas compreendeu a necessidade de sustentabilidade na impressão 3D, mas poucos exploraram desafios reais como descarte inadequado e viabilidade da reciclagem.

Aplicabilidade

A análise da aplicabilidade avaliou se as soluções propostas poderiam ser implementadas na prática:

a) **propostas altamente aplicáveis:** algumas propostas foram bem estruturadas e viáveis dentro de um laboratório *maker*. A ideia de um sistema de reciclagem local de filamentos foi uma solução prática e alinhada à circularidade. A proposta de usar resíduos de PLA na produção de pequenos objetos úteis dentro do laboratório foi realista e de fácil implementação;

b) **propostas de aplicabilidade moderada:** boa parte das soluções foram boas, mas faltou um plano claro de implementação prática. O aluno que sugeriu "incentivar empresas a coletar resíduos de impressão 3D" trouxe uma boa ideia, mas sem explicar como isso poderia ser viabilizado. A proposta de compostagem para resíduos de PLA foi interessante, mas não considerou que a maioria dos ambientes urbanos não possui acesso a esse tipo de infraestrutura;

c) **propostas pouco aplicáveis:** certas respostas foram vagas ou pouco realistas. Um aluno sugeriu que "as impressoras 3D deveriam apenas usar materiais biodegradáveis", ignorando a necessidade de resistência mecânica em muitos projetos. Outro afirmou que "todo resíduo de impressão pode ser reaproveitado", sem considerar as dificuldades técnicas de reciclagem de filamentos contaminados.

Algumas soluções foram bem estruturadas e viáveis, mas muitas ficaram no campo da ideia genérica, sem considerar desafios técnicos e econômicos. A atividade ajudou os cursistas a entenderem o impacto ambiental da impressão 3D, mas muitos ainda precisam aprofundar suas soluções para os resíduos gerados.

As outras atividades propostas não foram entregues pelos estudantes no ambiente virtual, muito disso, foi devido ao não atrelamento entre a conclusão das atividades do curso e o desenvolvimento do projeto pessoal aprovado pela FACEPE de cada cursista, que eram os professores executores e estudantes bolsistas. Isso ficou claro, pois após essa decisão o número de atividades entregues foi diminuindo a cada exercício.

Entretanto as perguntas que não foram respondidas são relacionadas a modelagem bi e tridimensional e parte dessas foram desenvolvidas nos encontros síncronos.

A seguir estão descritas as atividades que não foram registradas respostas (Figura 25):

"No anexo tem dois arquivos: um com a extensão DWG, que é um arquivo do AutoCAD para você fazer o exercício acompanhando o encontro síncrono; e outro um PDF do Google Cardboard, que você deve imprimir, medir e redesenhar no AutoCAD. Qualquer dúvida... Fala comigo! Boa atividade".

Figura 25 – Último exercício proposto aos estudantes para a modelagem tridimensional

Fonte: Google Classroom (2022)

A falta de respostas também pode ser a indicação da necessidade de melhorias na aplicação do exercício, seja no formato, suporte técnico ou no engajamento dos cursistas. É essencial entender se ocorreram novos motivos do não envio das respostas para ajustar futuras atividades.

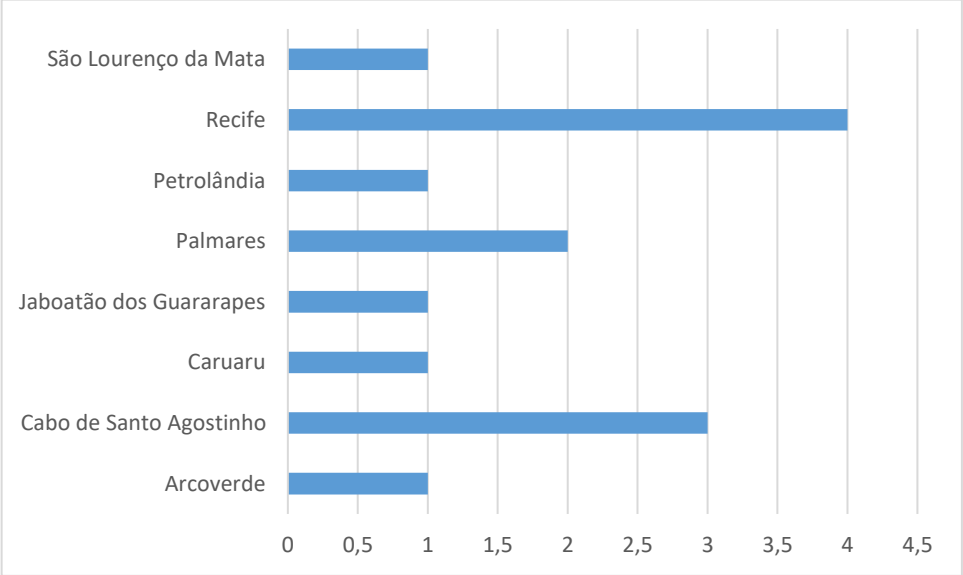
5.7 Questionário

No final do curso, foi aplicado um questionário (Apêndice A) com o objetivo de avaliar o aprendizado e coletar *feedbacks*. Esse questionário não apenas forneceu *insights* importantes sobre a experiência dos participantes, como também foi incorporado à pesquisa de doutorado associada ao curso, permitindo uma análise mais profunda do impacto da proposta educacional.

O questionário foi respondido por 15 participantes e as respostas foram analisadas qualitativa e quantitativamente, distribuídas da seguinte maneira: a) perfil dos respondentes; b) conhecimento prévio e motivação; c) conteúdo do curso; d) aplicação do conhecimento; e) impacto no ensino; f) aprendizagem e avaliação geral e sugestões; g) exemplos de aplicações dos conceitos; e h) considerações.

Ante o exposto, o Gráfico 9 apresenta as cidades, referente aos locais de trabalho dos professores, que responderam ao questionário:

Gráfico 9 – Contagem de instituições de ensino de Pernambuco por cidade

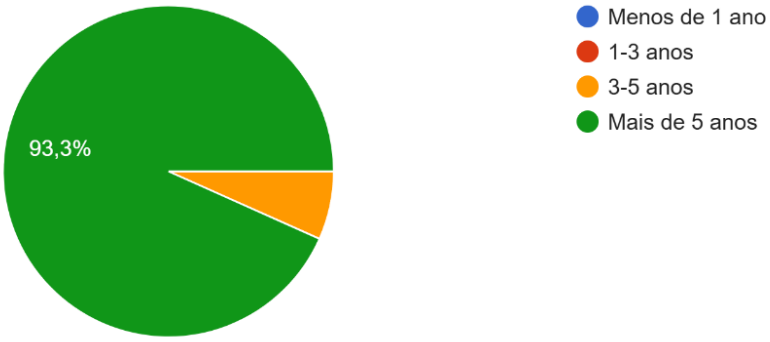


Fonte: O autor (2024)

- Perfil dos Respondentes

a) **formação acadêmica:** os respondentes possuem diversas formações acadêmicas, incluindo doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares, administração, sistemas de informação, e licenciaturas em diferentes áreas;
b) **tempo de experiência como professor:** a maioria dos respondentes possui mais de 5 anos de experiência como professor (93,3%) (Gráfico 10).

Gráfico 10 – Tempo de experiência como professor

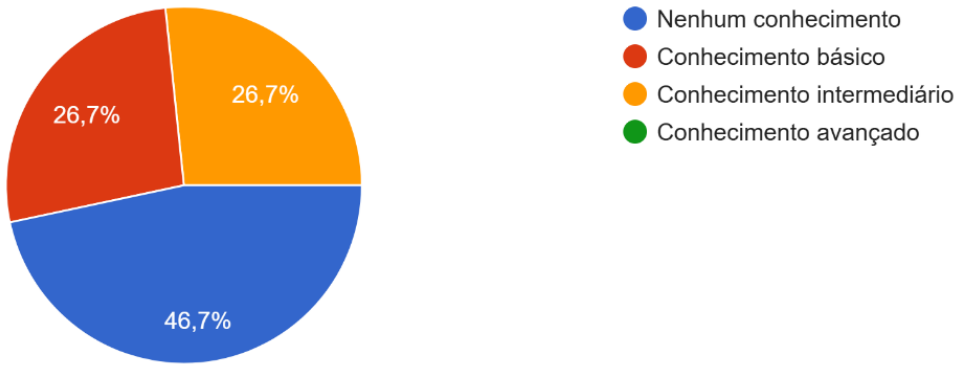


Fonte: O autor (2024)

- Parte I: Conhecimento Prévio e Motivação

a) **experiência prévia com Espaços *Maker*:** antes de participar do curso, 26,7% dos respondentes não tinham conhecimento prévio sobre Espaços *Maker*, 46,7% possuíam conhecimento básico e 26,7% tinham conhecimento intermediário (Gráfico 11);

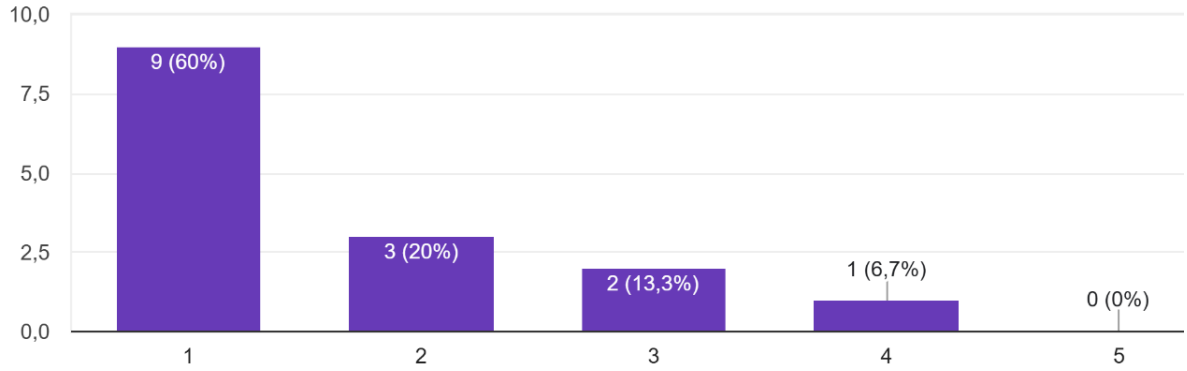
Gráfico 11 – Experiência prévia com Espaços Maker



Fonte: O autor (2024)

b) **conhecimento sobre Economia Circular:** 60% dos respondentes consideravam seu conhecimento sobre Economia Circular como muito básico antes do curso, enquanto 20% tinham conhecimento básico, 13,3% intermediário e 6,7% avançado (Gráfico 12);

Gráfico 12 – Conhecimento sobre Economia Circular

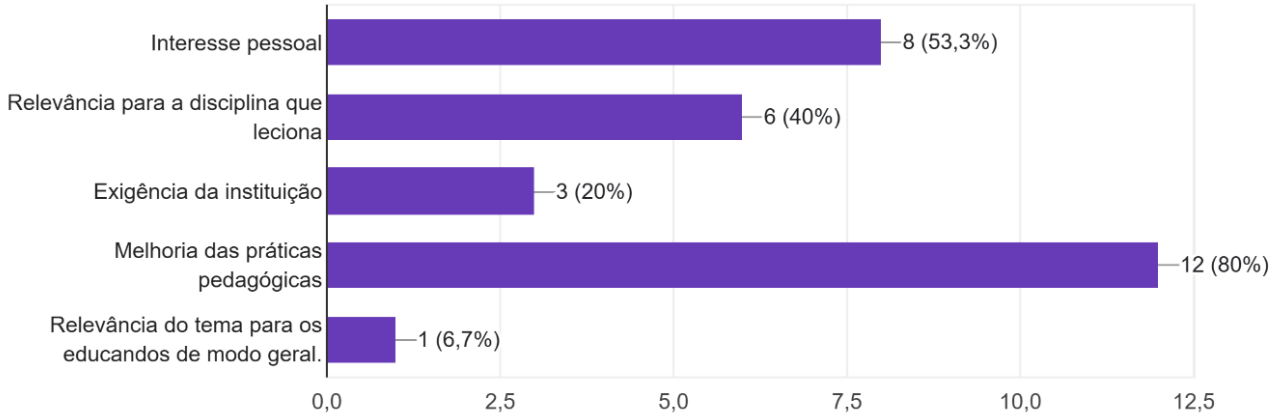


Fonte: O autor (2024)

c) **importância da Economia Circular e Espaços *Maker*:** 33,3% dos respondentes consideravam a Economia Circular e Espaços *Maker* muito importantes para a educação antes do curso; e 20% consideravam importante.

d) **motivação para participar do curso:** as principais motivações incluíram a melhoria das práticas pedagógicas (80%), relevância para a disciplina lecionada (53,3%), e interesse pessoal (53,3%) (Gráfico 13).

Gráfico 13 – Motivação para participar do curso

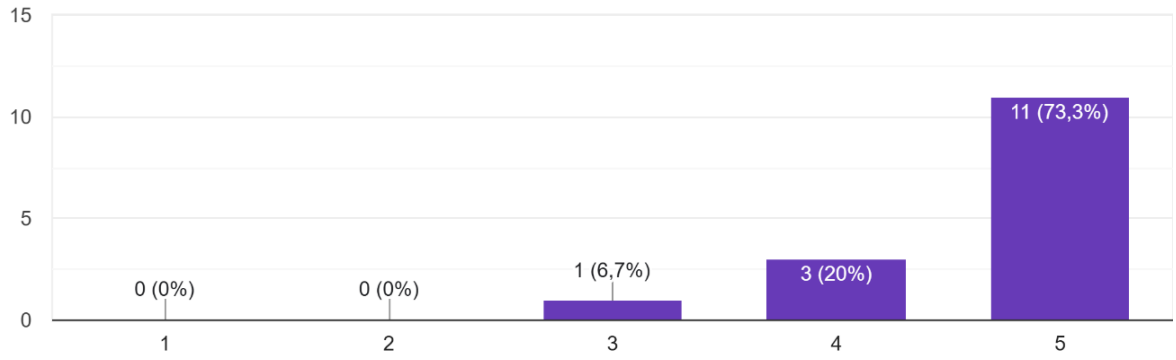


Fonte: O autor (2024)

- Parte II: Conteúdo do Curso

a) **qualidade do conteúdo teórico:** 73,3% dos respondentes avaliaram a qualidade do conteúdo teórico como excelente (Gráfico 14);

Gráfico 14 – Qualidade do conteúdo teórico



Fonte: O autor (2024)

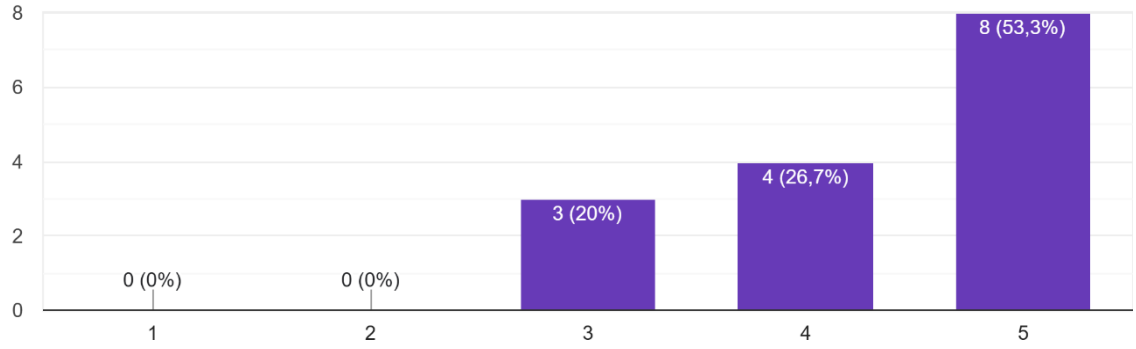
b) **qualidade das atividades práticas:** 66,7% avaliaram as atividades práticas e projetos desenvolvidos durante o curso como excelentes;

c) **relevância dos temas:** 73,3% consideraram os temas abordados muito relevantes para sua prática profissional.

- Parte III: Aplicação do Conhecimento

a) **confiança para aplicar conceitos:** após o curso, 53,3% dos respondentes se sentiam muito confiantes para aplicar os conceitos de Economia Circular em projetos desenvolvidos nos Espaços *Maker* Educacionais; e 26,7% confiantes (Gráfico 15).

Gráfico 15 – Confiança para aplicar conceitos

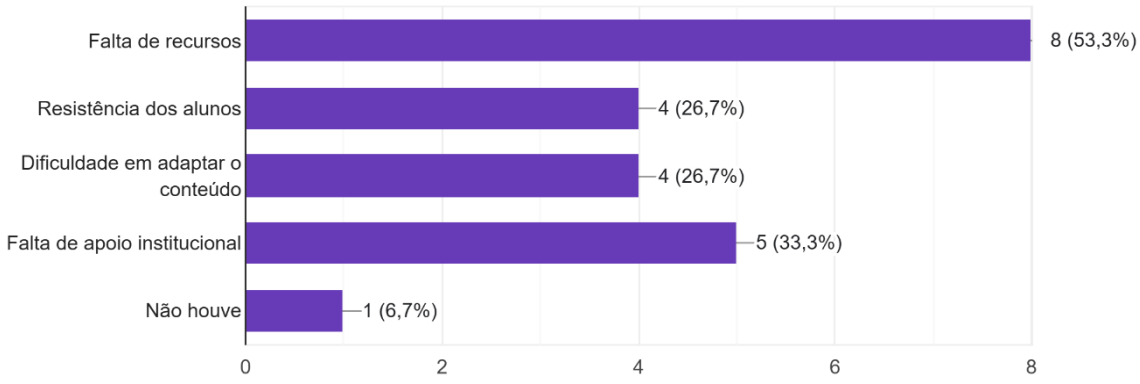


Fonte: O autor (2024)

b) **aplicação de conceitos:** 53,3% dos respondentes já aplicaram algum conceito de Economia Circular em projetos desenvolvidos com seus cursistas nos Espaços *Maker* após o curso;

c) **desafios encontrados:** os principais desafios foram a falta de recursos (53,3%), resistência dos cursistas (26,7%), dificuldade em adaptar o conteúdo (26,7%), e falta de apoio institucional (33,3%) (Gráfico 16).

Gráfico 16 – Desafios encontrados

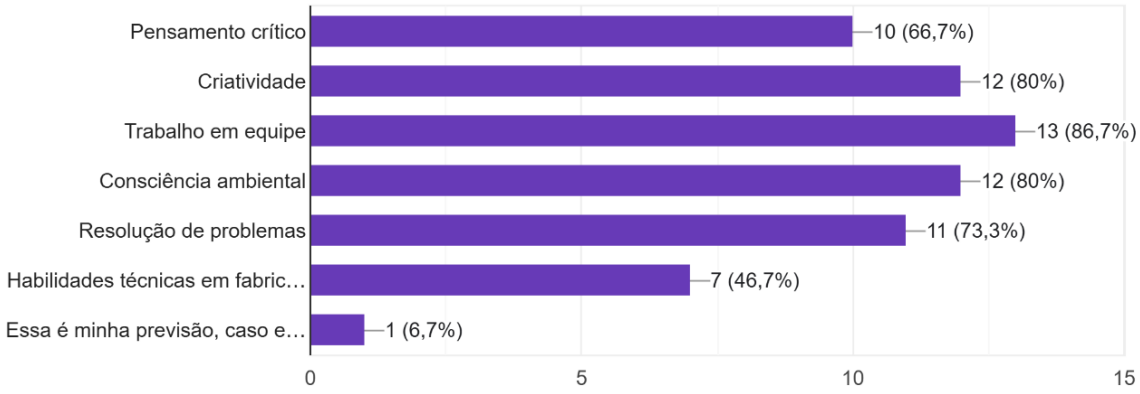


Fonte: O autor (2024)

- Parte IV: Impacto no Ensino e Aprendizagem

a) **mudança no interesse e engajamento dos cursistas:** 40% dos respondentes observaram um aumento significativo no interesse e engajamento dos cursistas após a introdução de projetos baseados na Economia Circular nos Espaços *Maker*;
b) **desenvolvimento de competências:** as principais competências desenvolvidas pelos cursistas incluíram trabalho em equipe (86,7%), consciência ambiental (80%), resolução de problemas (80%), e criatividade (80%) (Gráfico 17).

Gráfico 17 – Desenvolvimento de competências

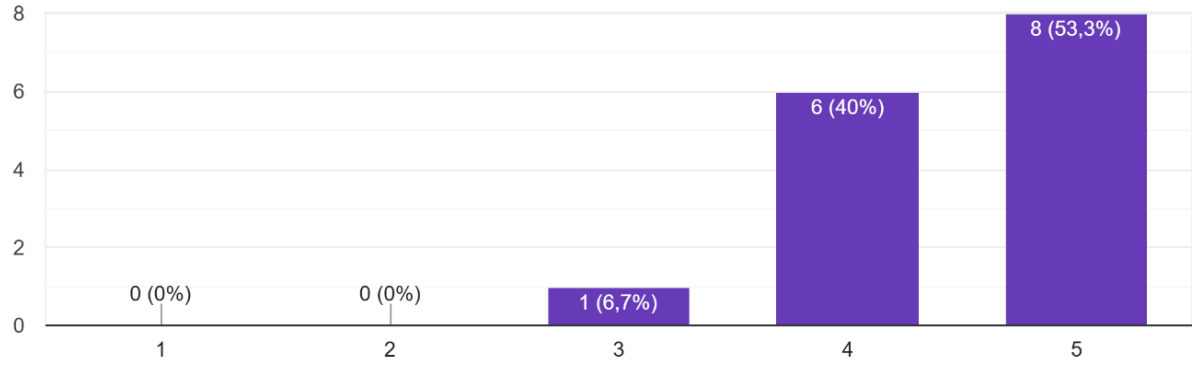


Fonte: O autor (2024)

- Parte V: Avaliação Geral e Sugestões

a) **impacto geral do curso:** 53,3% dos respondentes avaliaram o impacto geral do curso em sua prática pedagógica como muito alto; e 40% com um impacto alto (Gráfico 18).

Gráfico 18 – Impacto geral do curso



Fonte: O autor (2024)

b) **sugestões para melhoria do curso:** as sugestões incluíram mais encontros presenciais, maior carga horária, cursos adicionais para novos professores, e apresentação de exemplos práticos de empresas ou projetos que aplicam os princípios da economia circular;
c) **tópicos para exploração futura:** os respondentes sugeriram tópicos como prototipagem, novos modelos de negócios, Internet das Coisas, e bioplásticos.

- Exemplos de Aplicação dos Conceitos

Os respondentes compartilharam experiências significativas de aplicação dos conceitos de Economia Circular em projetos nos Espaços *Maker* Educacionais, como a elaboração de eletivas com a temática, projetos de reaproveitamento de materiais, e a implementação de conceitos de sustentabilidade em disciplinas do novo ensino médio.

- Considerações

A análise dos dados revela que o curso teve um impacto positivo significativo nas competências, atitudes e comportamentos dos professores em relação à Economia Circular e Espaços *Maker*. Os participantes expressaram confiança na aplicação dos conceitos aprendidos e observaram melhorias no interesse e engajamento dos cursistas. As sugestões para melhorias futuras serão valiosas para aprimorar a eficácia do curso e expandir seu alcance.

5.8 Projetos

Ao final do curso, os inscritos (professores formadores e estudantes bolsistas do projeto INOVA.EDU) deveriam desenvolver, por escola, projetos relacionados a um ou mais temas abordados nos cursos promovidos pelos professores conteudistas. Os projetos foram divulgados na Mostra de Inovação dos Espaços 4.0 do estado de Pernambuco, realizada em 2022, e publicados em um *e-book* intitulado "Mostra de Inovação dos Espaços 4.0"[34].

Dos quinze projetos desenvolvidos, quatro estavam diretamente relacionados à Economia Circular, a saber: 1) Sistema de Irrigação Automática e Sensor de umidade do solo com Arduino; 2) Desenvolvimento de Aplicativos Mobile Inteligentes e Economia Circular; 3) *Desplug Programme*; e 4) Desenvolvimento de Apps Voltados para a Agenda 2030. Os projetos selecionados evidenciaram a integração dos princípios de reaproveitamento, eficiência no uso de recursos e inovação sustentável ao longo das atividades. O curso ministrado teve um impacto significativo na formação dos cursistas e professores participantes, resultando na aplicação prática dos conceitos aprendidos em projetos inovadores.

Em correspondência, esses projetos refletem como a Economia Circular pode ser incorporada no contexto educacional e tecnológico, reforçando a importância de práticas sustentáveis no desenvolvimento de soluções criativas.

A presença da Economia Circular em quatro dos quinze projetos desenvolvidos no Espaço 4.0 demonstra o impacto direto do curso na mudança de mentalidade dos participantes, incentivando soluções mais eficientes, sustentáveis e inovadoras. O conhecimento adquirido foi aplicado de maneira prática e interdisciplinar, resultando em projetos que aliam tecnologia, sustentabilidade e inovação.

O reconhecimento do "Sistema de Irrigação Automática e Sensor de Umidade do Solo" como o melhor projeto do evento reforça a relevância da Economia Circular no desenvolvimento de soluções reais para problemas ambientais e sociais. Esses projetos mostram que a Educação em Economia Circular e a Inovação dos Espaços *Maker* podem caminhar juntas na construção de um futuro mais sustentável, trazendo benefícios para a comunidade, o meio ambiente e a formação dos estudantes como cidadãos conscientes e agentes de transformação.

A seguir, será apresentado a influência do curso nos quatro projetos que abordaram a Economia Circular em seus objetivos e execução.

---

[34] *E-book* disponível pelo link: https://www.gc.seplag.pe.gov.br/s/ce3jvvcunvgsp64j0le0/ce3jvvcunvgsp64j0le0/d/cee5m6kunvgsp64j0lr0/mostra-de-inovacao-dos-espacos-4.0.

5.8.1 Sistema de Irrigação Automática e Sensor de umidade do solo com Arduino: EREM Professora Edite Matos, de Santa Maria da Boa Vista

Premiado como o melhor projeto do Espaço 4.0, este sistema de irrigação automática utiliza sensores para medir a umidade do solo e garantir um uso eficiente da água. A influência do curso de Economia Circular está presente na redução do desperdício de recursos naturais, promovendo um sistema agrícola mais sustentável. Além disso, o uso de tecnologia para otimizar processos reforça a importância da inovação aliada à sustentabilidade, alinhando-se aos princípios da EC de uso eficiente e regeneração de recursos (Figura 26).

Figura 26 – Fragmento do Projeto Sistema de Irrigação Automática e Sensor de umidade do solo com Arduino

Fonte: Pernambuco (2022)

5.8.2 Desenvolvimento de Aplicativos Mobile Inteligentes e Economia Circular: ETE Aderico Alves de Vasconcelos

Este projeto destaca a relação entre tecnologia digital e Economia Circular, promovendo a criação de aplicativos e soluções tecnológicas voltadas para práticas sustentáveis. A iniciativa

possibilitou a integração entre ambiente *maker*, economia criativa e negócios 4.0, incentivando o desenvolvimento de soluções que favorecem a reutilização de materiais e práticas de consumo consciente. A influência do curso pode ser observada na conscientização dos estudantes sobre o impacto da tecnologia no desenvolvimento sustentável, além da criação de soluções digitais voltadas para pequenos negócios e práticas circulares (Figura 27).

Figura 27 – Fragmento do Projeto Desenvolvimento de Aplicativos Mobile Inteligentes e Economia Circular

Fonte: Pernambuco (2022)

5.8.3 Desplug Programme - Construindo Blocos de Programação Desplugada com Materiais Recicláveis: ETE Ariano Vilar Suassuna

Este projeto exemplifica a aplicação da Economia Circular no contexto *maker*, ao desenvolver blocos físicos de programação feitos com materiais plásticos recicláveis. A proposta promove a reutilização de materiais descartáveis, evitando desperdícios e prolongando o ciclo de vida dos insumos utilizados. Ademais, ao criar um kit educacional sustentável, o projeto reforça o potencial da Economia Circular na educação, estimulando o pensamento crítico sobre reuso, design sustentável e durabilidade dos produtos (Figura 28).

Figura 28 – Fragmento do Projeto Desplug Programme

Fonte: Pernambuco (2022)

5.8.4 Desenvolvimento de Apps Voltados para a Agenda 2030 - Ecolog: ETE Prof. Francisco Jonas Feitosa Costa

O aplicativo *Ecolog* é um exemplo prático da Economia Circular aplicada à gestão de resíduos, funcionando como uma plataforma para otimizar a coleta seletiva. O projeto se destaca por conectar tecnologia e sustentabilidade, facilitando a logística reversa e promovendo a reutilização de materiais. A influência do curso pode ser percebida na criação de um sistema que incentiva o reaproveitamento de recursos e a redução de resíduos, além de fortalecer a conscientização ambiental entre os participantes (Figura 29).

Figura 29 – Fragmento do Projeto Desenvolvimento de Apps Voltados para a Agenda 2030 - Ecolog

Fonte: Pernambuco (2022)

5.9 Perspectivas gerais a respeito do curso elaborado

O projeto de capacitação em Economia Circular nos Espaços 4.0 apresentou um desenvolvimento consistente ao longo das fases. Foram elaborados seis fascículos e seis vídeos aula, além da criação de um ambiente virtual no Google Sala de Aula. Durante a fase de elaboração e desenvolvimento, os professores formadores e estudantes monitores foram inseridos no ambiente virtual, e ajustes nos textos foram realizados com base nos feedbacks dos professores formadores e equipe de revisão da ETEPAC e SEDUC.

Destaca-se também a realização das aulas síncronas com os professores formadores e estudantes, onde os conteúdos dos fascículos foram trabalhados com foco no desenvolvimento de produtos através da fabricação digital, respeitando os conceitos da Economia Circular. Entretanto, mesmo com os 44 integrantes da sala virtual, poucos participação das aulas síncronas, o que refletiu em uma baixa aderência na realização das atividades propostas de

fixação. É importante destacar que as aulas síncronas ficaram gravadas e disponibilizadas no ambiente virtual, podendo ser acessadas a qualquer momento pelos participantes do curso.

Todo o material didático produzido aborda questões relacionadas ao design circular e às possibilidades de desenvolvimento de projetos sustentáveis nos espaços 4.0. Esses materiais foram disponibilizados na sala de aula do Google e serviram como material para o aprimoramento dos projetos. Na última fase do curso, foi realizado um encontro para reflexão e compartilhamento de aprendizados, visando a continuidade do trabalho pelos professores executores e estudantes.

Quanto às perspectivas de futuros desdobramentos, considerando a relevância da Economia Circular e a crescente busca por alternativas sustentáveis, é possível imaginar que o curso possa ser expandido e replicado para outras escolas do estado, contribuindo para a disseminação do conhecimento sobre design circular e fabricação digital. Além disso, a continuidade do trabalho pelos professores executores e estudantes pode levar a novas iniciativas e projetos que promovam o desenvolvimento e a economia local.

5.10 Diretrizes

Os Espaços *Maker* Educacionais são ambientes propícios à inovação, aprendizagem ativa e experimentação tecnológica. No entanto, a adoção de modelos produtivos sustentáveis nesses espaços ainda é um desafio. Com base na pesquisa desenvolvida foram traçadas diretrizes voltadas a aplicação prática da Economia Circular dentro desses espaços educacionais pelos agentes envolvidos.

Diante disso, essas diretrizes pretendem mitigar os impactos ambientais e promover a Economia Circular através de estratégias para prolongar a vida útil dos materiais, otimizar recursos e evitar desperdícios. À luz disso, as diretrizes foram organizadas em oito categorias estratégicas para facilitar sua implementação dentro dos Espaços *Maker* Educacionais expostas no Quadro 5.

Quadro 5 – Diretrizes de design alinhadas com os princípios da Economia Circular para os Espaços *Maker*

CATEGORIAS	BREVE EXPLICAÇÃO	DIRETRIZES
Formação, Sensibilização e Educação para a Economia Circular	A incorporação da Economia Circular nos Espaços *Maker* exige um trabalho educacional contínuo com todos os usuários, para que suas práticas e decisões estejam alinhadas aos princípios da sustentabilidade. Desta maneira, as principais diretrizes são voltadas a mudança de cultura para o processo circular e isto implica que todos os envolvidos compreendam seus princípios e saibam como colocá-los em prática.	1. Formar todos os *stakeholders* (estudantes, professores, técnicos e usuários) sobre os princípios da Economia Circular. 2. formar continuamente sobre práticas sustentáveis na fabricação digital, incluindo boas práticas de design, escolha de materiais e otimização dos processos de fabricação. 3. Criar uma cultura de responsabilidade compartilhada, onde os usuários são incentivados a cuidar dos materiais, equipamentos e espaço. 4. Desenvolver cursos para formação de estudantes em Economia Circular, considerando as particularidades de cada Espaço *Maker*. 5. Construir materiais didáticos e guias para orientação dos usuários sobre o uso sustentável dos equipamentos e gestão de resíduos. 6. Sensibilizar sobre o impacto ambiental do modelo linear e a importância de pensar em ciclos fechados dentro dos Espaços *Maker*. 7. Conceber diretrizes instrucionais para orientar professores na produção de materiais didáticos para cursos sobre Economia Circular em ambientes presenciais e a distância. 8. Promover redes de colaboração entre laboratórios, pesquisadores e empresas para o compartilhamento de conhecimento e soluções circulares. 9. Estruturar trilhas formativas em Economia Circular, contemplando desde conceitos básicos até a aplicação prática em projetos *maker*. 10. Inserir Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) no curso, estimulando os participantes a resolverem problemas reais usando práticas circulares. 11. Gerar módulos que explorem a interseção entre Economia Circular, Materialização Digital e Design, destacando sua aplicação em diferentes contextos, tais como, indústrias, empresas e até outros Espaços *Maker*. 12. Preparar professores, pesquisadores e estudantes como agentes multiplicadores, garantindo que os conhecimentos adquiridos sejam disseminados para novos usuários e *makers*. 13. Criar programas de certificação para educadores e monitores que concluírem os módulos do curso e aplicarem seus conhecimentos em projetos reais.

Gestão Sustentável de Materiais e Resíduos	A escolha, o uso e o descarte de materiais são aspectos centrais da Economia Circular. Os Espaços *Maker* devem garantir que os insumos sejam reaproveitados, reciclados ou redirecionados para novos ciclos produtivos.	1. Priorizar o uso de materiais recicláveis ou sustentáveis tais como: filamentos reciclados e/ou biodegradáveis, ou seja, sempre buscar alternativas biodegradáveis ou compostáveis. 2. Desenvolver protocolos de seleção de materiais para garantir que apenas insumos recicláveis ou reutilizáveis sejam privilegiados. 3. Mapear os resíduos gerados por diferentes tecnologias, como impressoras 3D FDM, cortadoras a laser, máquinas CNC e impressoras de resina, identificando possibilidades de reaproveitamento. 4. Evitar o uso de ABS e outros materiais de difícil reciclagem, a menos que seja estritamente necessário, programando uma reutilização ao final do ciclo de vida do produto desenvolvido. 5. Construir um banco de fornecedores alinhados com as diretrizes ambientais e que forneçam materiais de baixo impacto ambiental. 6. Gerar um catálogo de materiais sustentáveis, com recomendações sobre os melhores insumos para cada tipo de projeto (exemplo: PLA reciclado para impressão 3D, Madeira reaproveitada para corte a laser). 7. Manter uma biblioteca de materiais (ou biblioteca de nutrientes), onde sobras possam ser catalogadas e reutilizadas em novos projetos. 8. Estabelecer um sistema eficiente de separação e armazenamento para diferentes tipos de plásticos oriundo da impressão 3D (PLA, ABS, PETG, TPU) e outros resíduos/sobras gerados pelas tecnologias de fabricação digital. 9. Conceber centros de coleta de materiais recicláveis, incentivando o recolhimento de resíduos pelos usuários. 10. Implementar tecnologias para reaproveitamento de resíduos, como extrusoras de filamento reciclado para impressão 3D.
Eficiência Energética e Gestão de Equipamentos	A fabricação digital consome uma grande quantidade de energia e recursos. O uso eficiente dos equipamentos e o monitoramento do consumo são fundamentais para a sustentabilidade.	1. Monitorar de modo inteligente o consumo de energia, com sensores para otimizar o uso dos equipamentos desligando-o assim que o trabalho for concluído. Este controle pode ser realizado através do uso de tomadas inteligentes e monitoramento remoto ou de equipamentos com desligamento automático após o uso. 2. Implementar sensores de consumo energético para mapear quais equipamentos consomem mais energia e como otimizá-los. 3. Priorizar equipamentos de baixo consumo energético e incentivar práticas de economia de energia entre os usuários 4. Estabelecer parcerias com fornecedores de energia limpa, como painéis solares e fontes renováveis.

		5. Manter de maneira regular os equipamentos para prolongar sua vida útil e evitar descartes precoces.
		6. Adaptar e fiscalizar os upgrades em equipamentos antigos, evitando a obsolescência programada.
		7. Armazenar corretamente os insumos, como filamentos de impressão 3D, para evitar deterioração e desperdício
		8. Criar um cronograma de manutenção preventiva para evitar falhas e garantir a longevidade dos equipamentos de fabricação digital
		9. Incentivar o uso de peças reutilizadas e recicladas para manutenção de máquinas e ferramentas.
		10. Desenvolver guias e treinamentos para que os usuários saibam como conservar os equipamentos e evitar o desgaste prematuro.
Tecnologias Aditivas	A impressão 3D é amplamente utilizada nos Espaços *Maker*, mas pode gerar desperdício de material e alto consumo energético. Algumas diretrizes específicas ajudam a mitigar esses impactos.	1. Guardar o filamento corretamente após o uso para evitar ressecamento e desperdício.
		2. Desenvolver projetos que minimizem o uso de suportes, otimizando a utilização de material.
		3. Utilizar a menor impressora possível para cada objeto, reduzindo o consumo de energia de um maquinário maior, que consome mais energia, para desenvolver um produto menor.
		4. Priorizar impressões que tenham um propósito real, evitando a produção de peças sem utilidade prática.
		5. Criar objetos de teste funcionais e reutilizáveis, evitando o descarte imediato de protótipos.
		6. Implementar um protocolo de revisão dos parâmetros de fatiamento antes da impressão, reduzindo erros de programação e consequentemente desperdícios de matéria-prima e energia.
		7. Promover o uso de extrusoras de filamento reciclado, permitindo que resíduos plásticos sejam reaproveitados na fabricação de novos objetos.
		8. Incentivar a utilização de materiais alternativos na impressão 3D, como bioplásticos e compósitos de fibras naturais.
Tecnologias Subtrativas	Máquinas como CNC, cortadoras a laser e fresadoras geram grande volume de resíduos sólidos. Estratégias específicas são necessárias para reduzir	1. Criar um plano de corte antes da execução, garantindo o máximo aproveitamento da matéria-prima.
		2. Construir um banco de parâmetros técnicos de corte para diferentes materiais, otimizando o uso e reduzindo erros de produção. Esses parâmetros devem

	desperdícios e melhorar o aproveitamento dos materiais.	considerar desgastes e ajustes necessários ao longo do tempo, garantindo maior eficiência no corte e reduzindo sobras. 3. Estabelecer parcerias com marceneiros e artesãos locais para o reaproveitamento de resíduos de madeira e acrílico gerados nos Espaços *Maker.*
Colaboração e Redes de Parcerias	Ao estabelecer conexões entre laboratórios, instituições de ensino, empresas, outros projetos e comunidades locais, é possível criar um ecossistema de inovação que promove o compartilhamento de conhecimento, insumos e práticas sustentáveis.	1. Estabelecer redes de colaboração com outros laboratórios, grupos de pesquisa e instituições para compartilhamento de resíduos reaproveitáveis e co-desenvolvimento de projetos sustentáveis, a fim de criar uma rede de economia circular dentro da instituição e com o setor produtivo. 2. Incentivar parcerias com empresas e indústrias locais, permitindo que resíduos industriais sejam transformados em novos produtos dentro dos Espaços *Maker*. 3. Instituir parcerias com outros projetos educacionais e/ou empresas e indústrias locais para recebimento e reaproveitamento dos resíduos dos quais o próprio Espaço *Maker* não possa reaproveitar. 4. Designar uma biblioteca de resíduos reaproveitáveis que seja catalogada e compartilhada, onde materiais excedentes possam ser utilizados em novos projetos e por vários parceiros do espaço. 5. Incentivar redes de compartilhamento de conhecimento, onde estudantes e professores possam trocar experiências sobre a implementação da Economia Circular.
Design Circular	O próprio design dos produtos desenvolvidos nos Espaços *Maker* deve considerar os princípios da circularidade.	1. Projetar os produtos criados nos Espaços *Maker* para terem uma vida útil longa, serem facilmente desmontados. 2. Arquitetar objetos modulares, permitindo uma fácil desmontagem, substituição e atualização de componentes. 3. Desenvolver produtos que possam ser consertados e reutilizados, evitando o descarte prematuro. 4. Incorporar o conceito de “design reverso”, onde o produto é planejado para ser desmontado e reaproveitado. 5. Criar um repositório de projetos circulares, onde designs prontos possam ser compartilhados e reaproveitados por outros *makers*. 6. Priorizar o uso de materiais que possam ser facilmente separados e reciclados, evitando misturas difíceis de processar no final da vida útil do produto. 7. Amadurecer um sistema de aluguel e compartilhamento de equipamentos, reduzindo a necessidade de aquisição individual de ferramentas. 8. Construir programas de troca e reutilização de peças e componentes, garantindo que partes de produtos obsoletos possam ser reaproveitadas em novos projetos.

		9. Implementar um selo de sustentabilidade para produtos desenvolvidos dentro dos Espaços *Maker*, certificando que foram projetados segundo os princípios da Economia Circular
		10. Expandir modelos de negócio baseados em serviços de manutenção, aluguel de equipamentos e compartilhamento de recursos, reduzindo o consumo excessivo de novos materiais.
		11. Elaborar um sistema de incentivos para usuários que adotam práticas sustentáveis, como descontos no uso dos equipamentos para quem retornar materiais recicláveis.
Rastreamento dos produtos desenvolvidos pelo Espaço *Maker*	Para fechar o ciclo da Economia Circular, é essencial possibilitar que os produtos desenvolvidos nos Espaços *Maker* possam ser rastreados e, ao final de sua vida útil, possam retornar para o laboratório para serem utilizados como nutrientes, e/ou para outros espaços que possam garantir a sua reutilização no ciclo produtivo.	1. Criar um sistema de rastreabilidade para os produtos fabricados, permitindo seu monitoramento ao longo do tempo de uso e garantindo que retornem ao laboratório quando não forem mais utilizados.
		2. Executar um protocolo de logística reversa, onde peças e materiais possam ser reinseridos no ciclo produtivo de maneira atrativa para o usuário deste produto.
		3. Desenvolver etiquetas, QRCodes ou soluções similares que orientem os usuários do destino do produto ao final de seu ciclo de vida, garantindo que possam ser recuperados e reciclados.
		4. Construir mecanismos que incentivem os usuários a devolverem os produtos que não forem mais utilizados, garantindo que possam ser reaproveitados como matéria-prima para novos projetos.
		5. Realizar um sistema de rastreabilidade de materiais, garantindo que os produtos desenvolvidos no Espaço *Maker* retornem ao laboratório ao final da vida útil para reaproveitamento.
		6. Elaborar um banco de resíduos para reutilização de materiais descartados de projetos anteriores, reduzindo a dependência de matéria-prima nova.
		7. Conceber um banco de dados de produtos fabricados, onde cada item tenha um código de rastreamento para facilitar seu retorno ao laboratório ao final do ciclo de uso.
		8. Ampliar um sistema de recuperação de peças e componentes, garantindo que itens descartados sejam desmontados e reaproveitados.

Fonte: O autor (2025)

As diretrizes apresentadas promovem um uso mais eficiente dos recursos, reduzem desperdícios e transformam os Espaços *Maker* em laboratórios vivos de Economia Circular. Elas podem ser aplicadas tanto na organização interna dos laboratórios quanto na formação dos usuários, garantindo que o conhecimento adquirido reverbere em práticas sustentáveis.

Proporcionando o uso sustentável das tecnologias de fabricação digital juntamente na atuação positivamente no ambiente, essas práticas formam cidadãos e profissionais mais conscientes e preparados para um futuro sustentável. A partir da análise do curso de Capacitação de Professores em Economia Circular nos Espaços *Maker*, ficou evidente que os Espaços *Maker* possuem grande potencial para a implementação da Economia Circular, mas dependem de diretrizes estruturadas e mecanismos de gestão eficientes.

Essas diretrizes reforçam a importância da gestão sustentável de materiais, eficiência energética, otimização de fabricação digital, engajamento dos participantes, sustentabilidade de longo prazo e rastreamento de produtos, proporcionando que os Espaços *Maker* não apenas formem profissionais capacitados, mas também se tornem referências em inovação sustentável.

Com planejamento e sensibilização, os laboratórios *maker* podem se tornar fontes primárias em inovação sustentável dentro das instituições de ensino e da indústria. A aplicação dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais requer a integração de estratégias que promovam práticas de fabricação digital à sustentabilidade.

6 CONCLUSÕES

A presente pesquisa partiu da necessidade de repensar os modelos de produção e consumo no contexto educacional, com foco na aplicação dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker*. Diante dos desafios ambientais e das limitações impostas pelo modelo econômico linear, identificou-se a urgência de alternativas sustentáveis para a materialização digital e para a inovação no design.

A partir dessa perspectiva, a pesquisa demonstrou que os Espaços *Maker* Educacionais são ambientes estratégicos para fomentar práticas circulares, integrando tecnologias de fabricação digital e promovendo a formação de uma nova geração de designers e educadores mais conscientes. A materialização digital, ao permitir a prototipagem, criação e a customização de produtos, abre caminhos para reduzir desperdícios e criar ciclos produtivos mais eficientes.

Os desafios enfrentados, como a falta de diretrizes claras para a implementação da Economia Circular nesses espaços e a necessidade de formação específica para os professores, foram abordados com a proposta de um curso voltado para formação destes. Esse curso representa um avanço significativo na construção de uma mentalidade sustentável, alinhando teoria e prática no desenvolvimento de projetos educacionais inovadores.

Dessa forma, a pesquisa contribui para o avanço do conhecimento na interseção entre design, sustentabilidade e educação, ressaltando a importância da transdisciplinaridade para transformar os processos produtivos. A adoção dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* não apenas amplia as possibilidades de inovação, mas também reforça o compromisso das instituições educacionais com um futuro mais sustentável.

Os resultados desta pesquisa demonstraram que a integração dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais tem grande potencial para transformar a maneira como os laboratórios de fabricação digital operam. A partir da análise realizada, constatou-se que ainda há lacunas significativas na adoção sistemática desses princípios, embora algumas práticas sustentáveis já sejam aplicadas de forma isolada.

A capacitação dos professores e estudantes foi identificada como um elemento essencial para a implementação da Economia Circular nesses espaços, uma vez que os educadores desempenham um papel central na difusão dos conceitos e práticas sustentáveis entre os estudantes. Além disso, as diretrizes desenvolvidas nesta pesquisa fornecem um modelo aplicável para otimizar recursos, reduzir desperdícios e promover uma abordagem mais consciente na manufatura digital educacional.

A presente pesquisa teve como objetivo investigar a inserção dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais e seus impactos no desenvolvimento de projetos sustentáveis, com ênfase na materialização digital. Partindo da hipótese de que a aplicação desses princípios pode potencializar a eficiência no uso de recursos, reduzir desperdícios e fomentar uma nova abordagem para a educação e a produção, os resultados obtidos permitiram confirmar a relevância desse modelo para os espaços maker no contexto educacional.

Os resultados obtidos demonstram que a incorporação desses princípios pode não apenas otimizar os processos de fabricação digital, mas também impulsionar mudanças significativas no ensino e na aplicação do design sustentável nesses espaços. O estudo demonstrou que os Espaços *Maker* Educacionais são ambientes propícios para a implementação dos princípios da Economia Circular, uma vez que operam com base no compartilhamento de conhecimento, na experimentação e na inovação. A integração de tecnologias de fabricação digital, como impressão 3D, corte a laser e CNC, possibilita o desenvolvimento de produtos e soluções que consideram o reaproveitamento de materiais, a modularidade e a extensão da vida útil dos objetos produzidos.

Para atingir esse objetivo, foram definidos quatro objetivos específicos, cada um abordado por meio de metodologias distintas e complementares, garantindo uma análise abrangente e estruturada sobre o tema.

1. Analisar criticamente os fundamentos teóricos da Economia Circular, Materialização Digital e Espaços *Maker* Educacionais - O primeiro objetivo específico foi alcançado por meio de um mapeamento sistemático da literatura, que permitiu identificar as principais abordagens teóricas e práticas sobre Economia Circular e sua relação com os Espaços *Maker*. Os resultados evidenciaram que, apesar da crescente relevância do tema, ainda há lacunas na implementação de diretrizes estruturadas que integrem a circularidade de maneira sistemática nesses ambientes.

A pesquisa revelou que a maioria dos estudos foca em práticas sustentáveis isoladas, como reciclagem e reutilização de resíduos, sem considerar uma abordagem mais holística baseada na modularidade, remanufatura e design regenerativo. Assim, a revisão teórica fundamentou a necessidade de desenvolver diretrizes específicas que orientassem a aplicação desses princípios nos laboratórios maker educacionais.

2. Investigar como os princípios da Economia Circular são aplicados em projetos desenvolvidos nos Espaços *Maker* Educacionais ao redor do mundo - O segundo objetivo foi atingido por meio da análise dos resultados do mapeamento sistemático e de estudos de caso

que demonstraram experiências bem-sucedidas e desafios enfrentados na adoção da Economia Circular em diferentes espaços de fabricação digital.

Os achados indicaram que, apesar de algumas iniciativas promissoras, ainda não há um modelo amplamente replicável que contemple a Economia Circular de forma estruturada nos Espaços *Maker*. Além disso, verificou-se a necessidade de maior envolvimento dos educadores e da comunidade acadêmica na implementação de práticas circulares, especialmente em ambientes educacionais. Esse diagnóstico reforçou a importância da capacitação de professores e da criação de diretrizes claras que pudessem guiar a implementação dessas práticas dentro dos laboratórios *maker*.

3. Propor um curso de formação em Economia Circular para professores formadores da rede pública de ensino básico do estado de Pernambuco e avaliar seu impacto no desenvolvimento de projetos dentro desses espaços - O terceiro objetivo foi atingido por meio da elaboração e aplicação de um curso de capacitação para professores executores, voltado para o ensino da Economia Circular no contexto dos Espaços *Maker* Educacionais em Pernambuco.

A análise dos resultados da capacitação indicou que a formação proporcionou aos cursistas uma compreensão mais aprofundada sobre a relação entre design, sustentabilidade e materialização digital, permitindo que integrassem esses conceitos às suas práticas pedagógicas. Além disso, a formação incentivou a adoção de novas metodologias e uso racional dos materiais nos laboratórios *maker*, promovendo uma cultura de inovação e sustentabilidade entre os professores e seus estudantes.

O impacto dessa capacitação demonstrou que, quando os educadores são preparados para compreender e aplicar os princípios da Economia Circular, eles se tornam agentes de transformação, influenciando diretamente a forma como os Espaços *Maker* operam e como os estudantes desenvolvem seus projetos.

4. Desenvolver diretrizes de design alinhadas com os princípios da Economia Circular, adaptadas às particularidades dos Espaços *Maker* Educacionais - O quarto e último objetivo foi alcançado com a criação de um conjunto de diretrizes estruturadas que orientam a aplicação da Economia Circular nos laboratórios maker. Essas diretrizes foram desenvolvidas com base nos achados da pesquisa teórica, no mapeamento sistemático e na análise das dificuldades enfrentadas pelos educadores e estudantes, além da experiência do autor que atua a mais de 9 anos nesses espaços.

A pesquisa demonstrou que a integração dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais é viável e benéfica, desde que seja apoiada por formações adequadas, diretrizes estruturadas e um compromisso institucional com a sustentabilidade.

Os quatro objetivos específicos foram atingidos de maneira integrada, permitindo que a pesquisa fornecesse contribuições teóricas e aplicadas para a consolidação da Economia Circular no contexto da educação *maker*. Além de preencher lacunas na literatura acadêmica, a pesquisa também ofereceu ferramentas práticas, como um curso de formação e um conjunto de diretrizes, que podem ser adotadas e replicadas em diferentes instituições.

Desta forma, reafirma-se que os Espaços *Maker* possuem um potencial transformador na educação e na inovação sustentável. Quando aliados aos princípios da Economia Circular, esses espaços podem não apenas otimizar o uso de recursos e reduzir impactos ambientais, mas também formar uma nova geração de profissionais preparados para enfrentar os desafios da sociedade contemporânea com criatividade, responsabilidade e visão sustentável.

6.1 Sobre a trajetória metodológica

A trajetória metodológica desta pesquisa foi estruturada para investigar, de maneira aprofundada e sistemática, a inserção dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais. Para isso, foram utilizadas três principais abordagens: o mapeamento sistemático da literatura, a observação direta e a análise do curso de capacitação para professores. Essa combinação metodológica permitiu uma visão ampla e bem fundamentada do tema, facilitando a compreensão dos desafios e oportunidades na implementação de práticas sustentáveis nesses espaços.

Os resultados do mapeamento sistemático indicaram que, embora existam iniciativas isoladas ao redor do mundo que relacionam os Espaços *Maker* à Economia Circular, ainda há carência de diretrizes estruturadas que orientem esses processos de maneira consistente. Essa constatação reforçou a necessidade de sistematizar boas práticas e propor diretrizes aplicáveis, alinhando a formação de estudantes às demandas contemporâneas por um design sustentável e inovador.

A implementação do curso de capacitação em Economia Circular para professores da rede pública estadual demonstrou ser uma estratégia eficaz para disseminar esses conceitos nos Espaços *Maker*. A formação não apenas ampliou o conhecimento dos educadores sobre sustentabilidade e fabricação digital, mas também os capacitou para orientar estudantes no desenvolvimento de projetos mais alinhados à circularidade. Além disso, essa capacitação possibilitou a criação e validação das diretrizes propostas, permitindo ajustes e aprimoramentos conforme as necessidades identificadas nos laboratórios *maker*.

Ao longo da pesquisa, a integração entre análise teórica e prática mostrou-se essencial para consolidar um modelo replicável em diferentes contextos educacionais. Essa abordagem reforça o papel do designer como um orquestrador no processo de materialização digital sustentável, conectando tecnologia, educação e inovação.

Dessa forma, esta pesquisa não apenas validou a importância da Economia Circular nos Espaços *Maker*, mas também estabeleceu um referencial para futuras investigações e práticas. As diretrizes desenvolvidas oferecem um caminho viável para transformar esses espaços em ambientes que não apenas ensinam a fabricar, mas também a repensar o design e a produção de maneira mais consciente e sustentável.

6.2 Sobre os resultados

A pesquisa demonstrou através dos seus resultados que: a Economia Circular ainda não é amplamente implementada nos Espaços *Maker*, mas há um grande potencial de impacto positivo caso seja adotada de forma estruturada; a formação dos professores é um fator crucial para a disseminação das práticas circulares e para garantir que os cursistas desenvolvam uma mentalidade sustentável; as diretrizes propostas podem e devem ser aplicáveis e replicáveis, fornecendo um modelo prático para otimizar a gestão de recursos, minimizar desperdícios e incentivar o design circular; a adoção dos princípios da Economia Circular pode transformar os Espaços *Maker* em ambientes de inovação sustentável, preparando estudantes para um mercado de trabalho cada vez mais voltado para a transição da economia e tecnologias limpas.

Os resultados do mapeamento sistemático da literatura realizado nesta pesquisa evidenciaram a crescente atenção da comunidade acadêmica e profissional para a integração dos princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais. Contudo, a análise detalhada revelou que, embora existam iniciativas e estudos relevantes sobre o tema, a aplicação da EC nesses ambientes ainda ocorre de forma fragmentada e sem diretrizes amplamente consolidadas.

A revisão sistemática permitiu identificar três principais lacunas na literatura:

1. Ausência de um modelo estruturado para a Economia Circular em Espaços *Maker*:

    a) a maior parte dos estudos analisados discute práticas sustentáveis isoladas, como o reaproveitamento de resíduos plásticos da impressão 3D ou a reciclagem de materiais nos laboratórios *maker*. No entanto, poucos

trabalhos abordam a integração completa da EC no ciclo de produção e consumo, considerando aspectos como design regenerativo, modularidade, otimização de recursos e inovação em materiais sustentáveis;

b) observou-se também que, apesar de iniciativas voltadas para a reciclagem e reutilização, muitas vezes essas práticas não são incorporadas desde a fase inicial do projeto, levando a desperdícios evitáveis.

2. Baixa adoção da Economia Circular no ensino e formação de professores:

a) outro dado importante identificado foi a falta de estudos voltados para a capacitação de professores e educadores sobre a aplicação da Economia Circular nos Espaços *Maker*;
b) embora o movimento *maker* seja reconhecido como um espaço de experimentação e aprendizado ativo, as pesquisas sugerem que professores e gestores educacionais não possuem formação específica em EC. Isso resulta em uma implementação limitada, dificultando a criação de projetos sustentáveis dentro das instituições;
c) o levantamento mostrou que há potencial significativo para o desenvolvimento de cursos e programas educacionais que incorporem os conceitos da EC, especialmente para educadores que atuam na rede pública e possuem acesso limitado a recursos e formações especializadas.

3. Desafios na mensuração do impacto das práticas circulares nos Espaços *Maker*:

a) a revisão também apontou uma escassez de pesquisas que avaliem de forma quantitativa e qualitativa os impactos das iniciativas circulares nesses espaços;
b) existem poucos estudos que investiguem, por exemplo, o tempo de vida útil dos materiais reutilizados, a redução efetiva de resíduos, a economia de recursos energéticos e o impacto ambiental real das práticas adotadas;
c) além disso, há poucas métricas e indicadores padronizados que possam auxiliar na comparação entre diferentes laboratórios maker e suas práticas circulares.

Os achados do mapeamento sistemático reforçam a necessidade urgente de consolidar a Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais, não apenas como um conceito teórico, mas como uma prática estruturada, integrada e mensurável. Embora já existam iniciativas promissoras, a falta de diretrizes claras, a ausência de formação específica para professores e a dificuldade na avaliação dos impactos são obstáculos que precisam ser superados para que a transição para um modelo verdadeiramente sustentável aconteça.

Sobre o curso de formação, os dados levantados mostram que: os professores relataram maior entendimento sobre a relação entre fabricação digital e Economia Circular; que os educadores começaram a implementar práticas circulares em suas atividades pedagógicas; e que em laboratórios dos espaços 4.0, houve uma preocupação para a redução no desperdício de materiais, especialmente em impressões 3D. Esses resultados demonstram de forma clara que a formação teve um impacto significativo e mensurável, consolidando a importância da Economia Circular nos Espaços *Maker*.

A análise dos resultados revelou que a formação dos professores não apenas ampliou o conhecimento teórico sobre a Economia Circular e suas aplicações em Espaços *Maker*, mas também incentivou uma mudança na perspectiva pedagógica adotada por esses educadores. Os participantes passaram a reconhecer a importância da conexão entre design sustentável, fabricação digital e economia regenerativa, e a valorizar a necessidade de práticas alinhadas a esses princípios.

Entre os principais impactos da capacitação, destacam-se:

1. Ampliação da Compreensão sobre Economia Circular:

    a) antes da formação, muitos professores ainda associavam sustentabilidade apenas à reciclagem e reutilização de materiais, sem considerar conceitos como design regenerativo, modularidade e otimização de recursos;
    b) após o curso, os participantes demonstraram um entendimento mais aprofundado sobre fluxos circulares de materiais, design sustentável e práticas de produção que minimizam desperdícios.

2. Desenvolvimento de Estratégias Didáticas Inovadoras:

a) a formação proporcionou aos professores ferramentas e metodologias que permitem integrar os conceitos da Economia Circular em seus planos de ensino;
b) estratégias como aprendizagem baseada em projetos (ABP), oficinas *maker* voltadas para o reuso e reconfiguração de produtos e o uso da materialização digital para experimentação sustentável foram incorporadas à prática pedagógica dos participantes.

3. Transformação da Cultura de Produção nos Espaços *Maker*:

a) observou-se que, após a capacitação, os professores passaram a adotar uma abordagem mais crítica e reflexiva sobre o uso dos recursos disponíveis nos laboratórios *maker*;
b) houve um maior incentivo ao uso racional de materiais, promovendo caminhos para o aproveitamento de resíduos e a utilização de materiais reciclados nos protótipos;
c) a introdução de protocolos para reaproveitamento e redução de desperdícios nos laboratórios foi um dos avanços práticos mais significativos.

A capacitação dos professores executores foi um elemento-chave para o avanço da implementação da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais. Os resultados demonstram que, quando educadores são devidamente preparados, eles se tornam agentes de transformação, promovendo práticas mais sustentáveis e inovadoras em seus espaços de ensino.

Apesar dos desafios estruturais e metodológicos identificados, a formação possibilitou mudanças significativas na mentalidade e nas práticas dos professores, incentivando a adoção de abordagens mais sustentáveis e reflexivas sobre o uso dos recursos nos laboratórios *maker*.

6.3 Sobre as diretrizes

A formulação das diretrizes para a implementação da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais representa um avanço na consolidação de práticas sustentáveis nesses ambientes. Ao longo da pesquisa, foi possível identificar desafios estruturais, operacionais e pedagógicos que dificultam a aplicação dos princípios da Economia Circular (EC) no contexto da materialização digital nesses espaços. Com base nessas análises, as diretrizes propostas

visam não apenas minimizar impactos ambientais, mas também maximizar o potencial educacional e inovador dessas ferramentas, práticas e espaços.

As diretrizes criadas foram estruturadas com o objetivo de fornecer um modelo aplicável, adaptável e replicável em diferentes contextos educacionais e até mesmo em espaços não educacionais. Entre os principais avanços proporcionados por essas diretrizes, destacam-se: a) a redução do desperdício e otimização do uso de materiais; b) incentivo ao design regenerativo e modular; c) estabelecimento de protocolos para separação e reciclagem de materiais; d) uso responsável da energia e otimização do funcionamento dos equipamentos; e e) formação contínua de todos os envolvidos nesses espaços sobre Economia Circular. Todos esses avanços implicam em um passo importante para a transição e quebra do paradigma da Economia Linear para a Economia Circular em um contexto que pode ser expandido para diversos outros.

Embora as diretrizes criadas sejam fundamentais para a transição para um modelo mais sustentável, alguns desafios foram identificados em sua implementação, tais como: a) Infraestrutura e recursos limitados: alguns laboratórios *maker* podem não ter equipamentos adequados para reciclagem e reaproveitamento de resíduos, o que exige adaptações para viabilizar a aplicação das diretrizes; b) Resistência à mudança: A adoção de novas práticas requer uma mudança de mentalidade por parte dos professores, técnicos e estudantes, o que pode demandar tempo e esforços contínuos de sensibilização; c) Dificuldade de padronização: Cada Espaço *Maker* possui especificidades quanto aos equipamentos, materiais e disponibilidade de recursos, tornando a aplicação das diretrizes um processo flexível e adaptável a diferentes realidades.

Para garantir que as diretrizes sejam efetivamente aplicadas e ampliadas, algumas estratégias podem ser adotadas, por exemplo:

a) a criação de um selo de certificação para Espaços *Maker* Sustentáveis pode incentivar a adesão às diretrizes e esse selo poderia servir como referência para boas práticas, incentivando instituições a buscar melhoria contínua na gestão dos recursos e resíduos;
b) desenvolvimento de ferramentas digitais para monitoramento da circularidade, como a criação de um dashboard interativo para que os Espaços *Maker* possam acompanhar métricas de consumo de materiais, eficiência energética e volume de resíduos reciclados pode fortalecer a gestão sustentável desses espaços;

c) ampliação do escopo das diretrizes para diferentes áreas do design e engenharia, atualmente, as diretrizes foram criadas com foco na fabricação digital dentro dos Espaços *Maker*, mas poderiam ser expandidas para outras áreas, como arquitetura, moda sustentável e manufatura distribuída;
d) parcerias com empresas e órgãos governamentais. A implementação bem-sucedida das diretrizes pode ser fortalecida por meio de incentivos governamentais e apoio do setor privado, que podem contribuir para a infraestrutura necessária para viabilizar práticas circulares nos laboratórios *maker*.

As diretrizes propostas nesta pesquisa representam um passo fundamental para consolidar a Economia Circular como princípio estruturante dos Espaços *Maker* Educacionais. Ao promover a redução de desperdícios, a otimização dos recursos, a formação contínua e o design regenerativo, essas diretrizes têm o potencial de transformar os laboratórios *maker* em verdadeiros centros de inovação sustentável.

Embora desafios na implementação sejam esperados, a criação dessas diretrizes fornece um referencial sólido e aplicável, que pode ser adaptado de acordo com a realidade de cada laboratório e aprimorado continuamente por meio de pesquisas e experimentações práticas.

A adoção dessas diretrizes não apenas fortalecerá o compromisso das instituições de ensino com a sustentabilidade, mas também preparará uma nova geração de designers, engenheiros e educadores capazes de repensar o ciclo produtivo sob a ótica da circularidade. Dessa forma, os Espaços *Maker* Educacionais podem se tornar não apenas ambientes de aprendizado e fabricação digital, mas também vetores de transformação social e ecológica, contribuindo para um futuro mais sustentável e inovador.

6.4 Limitações da pesquisa

Apesar dos avanços e contribuições, algumas limitações foram identificadas, tais como:

a) tempo reduzido para avaliar impactos de longo prazo: a implementação da Economia Circular requer uma análise contínua para verificar mudanças sustentáveis ao longo do tempo;

b) infraestrutura limitada em alguns espaços *maker*: alguns laboratórios possuem equipamentos e recursos escassos para viabilizar todas as diretrizes propostas, o que pode dificultar sua adoção completa;
c) resistência inicial de alguns professores: certos participantes demonstraram dificuldade em visualizar como integrar os conceitos da Economia Circular às suas disciplinas, principalmente aqueles sem experiência prévia com fabricação digital;
d) falta de normativas institucionais: ainda há pouco suporte governamental ou regulatório para incentivar oficialmente a transição para modelos circulares nos laboratórios *maker* educacionais;
e) dificuldade em mensurar impactos qualitativos: embora os dados quantitativos indiquem reduções de desperdício, ainda há necessidade de estudos mais aprofundados sobre o impacto pedagógico e cultural da Economia Circular nos estudantes e professores.

6.5 Possibilidades de continuação da pesquisa

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa sobre a integração da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais, torna-se evidente a necessidade de aprofundamento e expansão desse estudo em diversas direções. A relevância do tema e os desafios identificados sugerem que novas investigações podem contribuir significativamente para a consolidação de práticas sustentáveis nesses ambientes, ampliando sua aplicação e impacto.

Os resultados obtidos apontam diversas possibilidades para a continuidade da pesquisa, incluindo estudos longitudinais para acompanhar o impacto das diretrizes nos Espaços *Maker* ao longo do tempo e validar sua efetividade em diferentes contextos educacionais. Assim será possível avaliar a Redução real de desperdício nos laboratórios *maker* com base na aplicação das diretrizes de otimização do uso de materiais e o grau de eficiência energética e redução de consumo em comparação com espaços que não adotam essas diretrizes gerando evidências mais robustas sobre os benefícios dessas práticas. Além de análises de custo-benefício para avaliar a viabilidade econômica das práticas circulares em laboratórios maker, considerando o retorno financeiro e ambiental das soluções propostas.

A expansão da formação para um maior número de professores, com cursos em formato híbrido ou online, garantindo maior acessibilidade, pois a adoção das práticas sustentáveis pelos envolvidos nesses espaços é uma forma de consolidação como parte da cultura educacional. A

formação de professores foi um dos principais focos desta pesquisa, mas sua aplicação ainda pode ser ampliada. Como proposta de continuidade, sugere-se:

a) realizar o curso em um número maior de instituições, avaliando as diferenças na implementação das diretrizes em diferentes contextos educacionais;
b) desenvolver materiais didáticos complementares para a formação em EC: a produção de fascículos, videoaulas e conteúdos interativos pode auxiliar os professores a aprofundarem os conceitos aprendidos na formação e facilitar a disseminação do conhecimento entre seus estudantes;
c) estudar a incorporação da Economia Circular na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e em diretrizes educacionais para fortalecer a adoção desses princípios nas escolas e universidades;
d) investigar o impacto da formação na prática pedagógica dos professores, verificando como o aprendizado adquirido influencia os projetos desenvolvidos nos Espaços *Maker*;
e) criar um modelo de ensino híbrido e/ou a distância para expandir o alcance da capacitação, permitindo que educadores de diversas regiões tenham acesso ao conteúdo.

Além da capacitação de professores, outra vertente pouco explorada na literatura é o impacto da Economia Circular na formação e no perfil dos estudantes que participam de Espaços *Maker*. Três perguntas-chave para futuras pesquisas incluem:

a) como a exposição a práticas circulares influencia a mentalidade dos estudantes sobre design e inovação?
b) quais habilidades e competências são desenvolvidas quando a Economia Circular é aplicada nos Espaços *Maker*?
c) há impacto na empregabilidade e nas escolhas profissionais dos estudantes expostos a esses conceitos?

Investigar essas questões pode fornecer evidências sobre o papel da Economia Circular na construção de um pensamento crítico e inovador entre os estudantes, contribuindo para a formação de profissionais mais alinhados com as demandas do mercado sustentável. Essa linha de pesquisa pode fornecer insumos valiosos para a criação de um currículo permanente sobre Economia Circular nos cursos de formação em diversas áreas que implicam no processo de transição das economias.

Outro ponto importante são: a) investigações sobre o desenvolvimento de novas tecnologias e materiais para fabricação circular como a produção de filamentos biodegradáveis e compostáveis para impressão 3D; b) desenvolvimento de processos eficientes de reciclagem e reuso dentro dos próprios laboratórios *maker*, evitando desperdícios e criando um ciclo produtivo mais fechado; e c) estudos sobre tecnologias emergentes, como impressão 3D de base biológica e processos de fabricação híbrida, que combinem diferentes métodos para otimizar o uso de materiais. Essas investigações podem resultar em avanços práticos que reduzam os impactos ambientais da manufatura digital, tornando-a mais alinhada aos princípios da Economia Circular.

Além disso, a continuidade da pesquisa é a formulação de diretrizes para políticas públicas que incentivem a adoção da Economia Circular em laboratórios *maker*, tanto em universidades quanto em escolas técnicas e institutos federais. Fortalecendo iniciativas institucionais através da criação de uma plataforma digital para compartilhamento de boas práticas entre laboratórios maker, permitindo que experiências bem-sucedidas sejam replicadas em diferentes instituições.

Esse tipo de pesquisa pode fornecer dados quantitativos mais robustos, auxiliando na validação dos benefícios da Economia Circular em ambientes maker e na formulação de novas políticas para sua implementação. Certas abordagens possíveis podem incluir a criação de regulamentações e incentivos para a adoção de práticas circulares em espaços educacionais e estudos sobre modelos de financiamento para implantação de infraestrutura sustentável nos Espaços *Maker*. Essa linha de investigação pode contribuir para a criação de um marco regulatório que estimule práticas mais sustentáveis em ambientes de aprendizagem e inovação.

A pesquisa desenvolvida até o momento representa um avanço na integração da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais, fornecendo diretrizes práticas e estratégias para sua implementação. No entanto, a complexidade e a abrangência do tema exigem novas investigações que aprofundem e ampliem os impactos da sustentabilidade na manufatura digital e na educação.

As propostas apresentadas exploram diferentes abordagens complementares, desde a avaliação de impactos a longo prazo, passando pelo desenvolvimento de novos materiais e tecnologias sustentáveis, até a formulação de políticas públicas e diretrizes normativas. Com isso, espera-se que futuros estudos possam consolidar ainda mais a Economia Circular como um pilar essencial da cultura maker, promovendo a inovação, a consciência ambiental e a formação de cidadãos e profissionais preparados para os desafios da sustentabilidade no século XXI.

Através de uma abordagem do design, dentro dos temas MD, LM e EC, pode-se promover uma contribuição para uma transformação social e do modo de consumo que tem devastado o nosso planeta. O design como orquestrador do processo de materialização digital, em espaços *maker* pode e deve contribuir para o desenvolvimento de projetos circulares que promovam a sustentabilidade mitigando as catástrofes ambientais que estamos presenciando

Por fim, esta tese contribui para o campo do design ao integrar os princípios da Economia Circular nos Espaços *Maker* Educacionais, demonstrando como a fabricação digital pode ser reorientada para práticas mais sustentáveis. A pesquisa apresenta diretrizes inovadoras que facilitam a aplicação de estratégias circulares nesses espaços, promovendo a reutilização de materiais, a minimização de desperdícios e a concepção de produtos mais sustentáveis. Além disso, contribui para a formação de professores e estudantes, capacitando-os a desenvolver projetos alinhados aos princípios da Economia Circular.

No contexto dos Espaços *Maker*, esta tese reforça o papel dessas infraestruturas como catalisadoras da inovação sustentável e da aprendizagem prática, destacando seu potencial para transformar a maneira como produtos são projetados, fabricados e descartados. Dessa forma, a pesquisa não apenas avança o conhecimento teórico sobre a interseção entre design, sustentabilidade e tecnologia digital, mas também propõe soluções para fomentar a cultura maker dentro de um paradigma mais justo.

REFERÊNCIAS

ABIKO, K. *et al*. A criação da rede Fab Lab Brasil: do voluntariado nacional ao reconhecimento internacional. *In*: ROSSI, D.; MOON, R.; JONSON, J. (ed.). **Movimento Maker e Fab Labs**: design, inovação e tecnologia em tempo real. Bauru: FAAC - UNESP, 2019. p. 16–25.

ASSIS, M. C. **Metodologia de investigação cientifica**. [*S. l.: s. n*.], 2007. Disponível em: https://hugoribeiro.com.br/biblioteca-digital/Assis-Metodologia.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

BAKKER, C. *et al*. Products that go round: exploring product life extension through design. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, NL, v. 69, p. 10-16, Apr. 2014. Disponível em: https://research.tudelft.nl/en/publications/products-that-go-round-exploring-product-life-extension-through-d. Acesso em: 2 fev. 2025.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2008.

BELTAGUI, A.; KUNZ, N.; GOLD, S. The role of 3D printing and open design on adoption of socially sustainable supply chain innovation. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, NL, v. 221, Mar. 2020.

BELTAGUI, A.; SESIS, A.; STYLOS, N. A bricolage perspective on democratising innovation: the case of 3D printing in makerspaces. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, US, v. 163, p. 1-51, Feb. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162520312798. Acesso em: 3 fev. 2025.

BEHNERT, A.; ARLINGHAUS, J. Open source as an enabler for circularity: a systematic literature review. **Procedia CIRP**, v. 120, p. 75-80, Jan. 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123006856. Acesso em: 3 fev. 2025.

BOCKEN, N. M. P. *et al*. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 65, p. 42-56, Feb. 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613008032. Acesso em: 28 jan. 2025.

BOTLENG, V.; BRUNEL, S.; GIRARD, P. Providing a conducive environment to integrate Design and production: assessing the potentials of university-based fablabs (ub-fablabs). *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, 21., 2017, Vancouver. **Proceedings** [...]. Vancouver: ICED17, 2017. p. 11-20. Disponível em: https://www.designsociety.org/publication/39882/Providing+a+conducive+environment+to+integrate+design+and+production%3A+Assessing+the+potentials+of+university-based+fablabs+%28Ub-Fablabs%29#:~:text=This%20paper%20discusses%20findings%20into%20a%20potential%20platform,analysis%20was%20carried%20out%20on%2053%20university-based%20fablabs. Acesso em: 3 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Sobre a doença COVID-19**. [*S. l.*], 2020. Disponível em: https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#transmissao. Acesso em: 10 ago. 2022.

BÜRDEK, B. E. **História, teoria e prática do design de produtos**. [*S. l.*]: Blucher, 2006.

BYARD, D. J. *et al*. Green fab lab applications of large-area waste polymer-based additive manufacturing. **Additive Manufacturing**, v. 27, p. 515-525, May 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221486041830695X. Acesso em: 3 fev. 2025.

CACERES-MENDOZA, C. *et al*. Life cycle assessment of filament production in distributed plastic recycling via additive manufacturing. **Cleaner Waste Systems**, v. 5, p. 2-15, Aug. 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277291252300026X. Acesso em: 3 fev. 2024.

CAMPOS, D.; CIPOLLA, C. Maker networks fighting COVID-19: design guidelines for redistributed manufacturing (RDM) models. **Strategic Design Research Journal**, v. 14, n. 1, p. 209-223, Jan./Apr. 2021. Disponível em: https://revistas.unisinos.br/index.php/sdrj/article/view/sdrj.2021.141.18. Acesso em: 1 fev. 2025.

CASADEVALL, A. Climate change brings the specter of new infectious diseases. **Journal of Clinical Investigation**, United States, v. 130, n. 2, p. 553–555, Feb. 2020.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Cortez, 2014.

CICLO biológico e ciclo técnico. *In*: O QUE É CRADLE to cradle. **Ideia Circular**, c2025. Disponível em: https://ideiacircular.com/o-que-e-cradle-to-cradle/#ciclos. Acesso em: 22 jan. 2025.

CLARKE, A. L. 3D printed circuit splitter and flow restriction devices for multiple patient lung ventilation using one anaesthesia workstation or ventilator. **Anaesthesia**, v. 75, n. 6, p. 705-835, Mar. 2020. Disponível em: https://associationofanaesthetists-publications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/anae.15063. Acesso em: 3 mar. 2025.

COSKUN, A. *et al*. Make it a circular city: experiences and challenges from European cities striving for sustainability through promoting circular making. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, NL, v. 185, Oct. 2022.

COSTA, C. M. O. N. G.; PELEGRINI, A. V. O Design dos Makerspaces e dos Fablabs no Brasil: um mapeamento preliminar. **Design & Tecnologia**, Rio Grande do Sul, v. 7, n. 13, p. 57-66, jun. 2017. Disponível em: https://www.ufrgs.br/det/index.php/det/article/view/375. Acesso em: 3 mar. 2025.

COSTA, M. Q; MONTEIRO, I.; RIBEIRO, V.; DIAS, S. **Urjalândia a circular**: economia circular. Porto: Escola Superior de Educação de Paula Frassinetti, 2013.

COX, J. L.; KOEPSELL, S. A. 3D-printing to address COVID-19 testing supply shortages. **Laboratory Medicine**, Philadelphia, v. 51, n. 4, p. e45–e46, July 2021. Disponível em: https://academic.oup.com/labmed/article/51/4/e45/5834993. Acesso em: 3 mar. 2025.

CRADLE to Cradle Products Innovation Institute Launches Cradle to Cradle Certified Product Standard 4.0. **Architect**, 16 Mar. 2021. Disponível em: https://www.architectmagazine.com/technology/cradle-to-cradle-products-innovation-institute-launches-cradle-to-cradle-certified-product-standard-4-0_o. Acesso em: 22 jan. 2025.

CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa**: escolhendo entre cinco abordagens. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

CRUZ SANCHEZ, F. A. *et al*. Plastic recycling in additive manufacturing: a systematic literature review and opportunities for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, NL, v. 264, p. 1-22, 10 Aug. 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620316498. Acesso em: 2 fev. 2025.

CUNHA, A. C. S. **Do digital ao material**: uma investigação teórico especulativa sobre o raciocínio visual e as heurísticas da materialidade nos laboratórios de fabricação digital Pronto 3D. 2019. Tese (Doutorado em Design) – Centro de Artes e Comunicação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39368. Acesso em: 3 mar. 2025.

DAVIES, S. R. **Hackerspaces**: making the maker movement. Cambridge, UK: Malden, USA: Polity Press, 2017.

DELFTX: Circular Economy: an introduction. c2024. Disponível em: https://www.edx.org/learn/circular-economy/delft-university-of-technology-circular-economy-an-introduction. Acesso em: 3 mar. 2025.

DELGADO, C. V. C.; BREUER, R. L.; FORMAN, G. S. Organic waste bio-based materials for 3D extrusion: eggshells, shells, sand, and coffee grains with sodium alginate. **Convergências**, Portugal, v. 15, n. 29, May 2022. Disponível em: https://convergencias.ipcb.pt/index.php/convergences/article/view/133. Acesso em: 3 fev. 2025.

DESPEISSE, M. *et al*. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: a research agenda. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, US, v. 115, p.75-84, Feb. 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162516303341. Acesso em: 3 fev. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular economy butterfly diagram**. [*S. l.*]: EMF, 2019. 1 imagem.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**: an economic and business rationale for an accelerated transition. [*S. l.*]: EMF, 2013. v. 1. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an. Acesso em: 28 jan. 2025.

ELSACKER, E.; PEETERS, E,; DE LAET, L. Large-scale robotic extrusion-based additive manufacturing with living mycelium materials. **Sustainable Futures**, v. 4, p. 2-14, May

2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666188822000193. Acesso em: 3 fev. 2025.

ESPAÇO 4.O[:] AUTOCAD tridimensional [...]. [*S. l. s. n.*], 12 dez. 2022a. 1 vídeo (20 min). Publicado pelo canal EDUCAPE TV. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=7ltzR4BJga0. Acesso em: 27 jan. 2025.

ESPAÇO 4.O[:] como o designer trabalha [...]. [*S. l. s. n.*], 13 dez. 2022b. 1 vídeo (21 min). Publicado pelo canal EDUCAPE TV. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=zhIY4_nQGPo. Acesso em: 27 jan. 2025.

ESPAÇO 4.O[:] Economia Circular [...]. [*S. l. s. n.*], 12 dez. 2022c. 1 vídeo (1 min 38 seg). Publicado pelo canal EDUCAPE TV. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=wJ6T1WgfZVQ. Acesso em: 27 jan. 2025.

FACEPE. **Edital n° 20/2021**. Programa de Inovação Educacional – Capacitação Tecnológica para Educadores – INOV.EDU. Recife: FACEPE, 2021. Disponível em: https://www.facepe.br/wp-content/uploads/2021/09/Edital-FACEPE_20-2021-Programa-de-Inova%C3%A7%C3%A3o-Educacional.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

FALBO, R. A. **Revisão sistemática**. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo, [2020?]. Disponível em: http://www.inf.ufes.br/~vitorsouza/archive/2020/wp-content/uploads/academia-br-metpesq-revisao-sistematica.pdf. Acesso em: 1 fev. 2025.

FALUDI, J. *et al*. Comparing environmental impacts of additive manufacturing vs traditional machining via life-cycle assessment. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 1, p. 14–33, Jan. 2015.

FIKSEL, J. **Design for environment**: a guide to sustainable product development. New York: McGraw Hill Professional, 2009.

FRANCO, M. L. P. B. **Análise de conteúdo**. Brasília: Plano Editora, 2018.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GERSHENFELD, N. **Fab**: the coming revolution on your desktop--from personal computers to personal fabrication. New York: Basic Books, 2005.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 114, p. 11-32, Feb. 2016.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies**: rapid prototyping, to direct digital manufacturing. New York: Springer, 2010.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies**: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. 2nd ed. New York: Springer, 2015.

GONÇALVES, J. A. J.; ROSSI, D. C. Se a filosofia é maker a metodologia é hacker. *In*: ROSSI, D. C.; GONÇALVES, J. A. J.; MOON, R. M. B. (org.). **Movimento Maker e Fab Labs**: design, inovação e tecnologia em tempo real. Bauru: FAAC - UNESP, 2019. p. 31-41. Disponível em: https://www.faac.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/MestradoeDoutorado/TelevisaoDigital/ebookfinalfinal.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

HELIOTERIO, M. C. *et al*. Covid-19: Por que a proteção de trabalhadores e trabalhadoras da saúde é prioritária no combate à pandemia? **Trabalho, Educação e Saúde**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 1-13, jun. 2020. Disponível em: https://europepmc.org/article/PPR/PPR459093. Acesso em: 3 mar. 2025.

HENNELLY, P. A. *et al*. Do makerspaces represent scalable production models of community-based redistributed manufacturing? **Production Planning & Control**, London, GB, v. 30, p. 540-554, May 2019. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537287.2018.1540056. Acesso em: 3 fev. 2025.

HONKALA, T.; HÖLTTÄ-OTTO, K.; KÄHKÖNEN, E. Towards circular design and manufacturing - lessons learned from University-based makerspaces. **Procedia CIRP**, v. 119, p. 327–332, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123004626?via%3Dihub. Acesso em: 3 mar. 2025.

HOOSAIN, M. S.; PAUL, B. S.; RAMAKRISHNA, S. The impact of 4IR digital technologies and circular thinking on the United Nations sustainable development goals. **Sustainability**, v. 12, n. 23, p. 1-16, Dec. 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/23/10143. Acesso em: 28 jan. 2025.

HOPKINSON, N.; HAGUE, R.; DICKENS, P. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. [*S. l.*]: JohnWiley & Sons, 2006.

HOUSE OF COMMONS. **Growing a circular economy**: ending the throwaway society. London: The Stationery Office Limited, 2014.

INMETRO. **Inmetro inicia parceria com empresa do setor da Manufatura Aditiva**. 3 fev. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/inmetro-inicia-parceria-com-empresa-do-setor-da-manufatura-aditiva. Acesso em: 31 jan. 2022.

KENSKI, V. M. **Tecnologias e ensino presencial e a distância**. Campinas: Papirus, 2012.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, NL, v. 127, p. 221–232, Dec. 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302835. Acesso em: 3 mar. 2025.

KITCHENHAM, B. *et al*. Systematic literature reviews in software engineering: a tertiary study. **Information and Software Technology**, v. 52, n. 8, p. 792–805, Aug. 2010.

KITCHENHAM, B. A.; BRERETON, O. P.; BUDGEN, D. Mapping study completeness and reliability: a case study. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION & ASSESSMENT IN SOFTWARE ENGINEERING, 16., 2012, Ciudad Real. [**Anales**] [...]. Ciudad Real, IET, 2012. p. 126–135.

KITCHENHAM, B.; BUDGEN, D.; BRERETON, P. Using mapping studies as the basis for further research: a participant-observer case study. **Information and Software Technology**, London, GB, v. 53, p. 638-651, Jun. 2011. Disponível em: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-79953724329&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Using+mapping+studies+as+the+basis+for+further+research+%E2%80%93+A+participant-observer+case+study%29. Acesso em: 3 fev. 2025.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**: version 2.3. Keele: Keele University, 2007.

KLEMICHEN, A.; PETERS, I.; STARK, R. Sustainable in action: from intention to environmentally friendly practices in makerspaces based on the theory of reasoned action. **Frontiers**, v. 2, p. 1-15, Feb. 2022. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/sustainability/articles/10.3389/frsus.2021.675333/full. Acesso em: 3 fev. 2025.

KOHTALA, C. Making "Making" Critical: how Sustainability is constituted in Fab Lab ideology. **The Design Journal**, p. 1-20, Dec. 2016.

KOHTALA, C.; HYYSALO, S. Anticipated environmental sustainability of personal fabrication. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, NL, v. 99, p. 333-344, Jul. 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615002589. Acesso em: 3 fev. 2025.

KURTI, R. S.; KURTI, D. L.; FLEMNG, L. The philosophy of educational makerspaces. **Educational Philosophy and Theory**, v. 3, n. 1, p. 8-11, June 2014. Disponível em: https://www.evergreeneducation.org/itie2016/KurtiArticlePart1.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

LEMINEN, S. *et al*. Collaborative innovation for sustainability in Nordic cities. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, NL, v. 328, p. 2-14, Dec. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621037288. Acesso em: 4 fev. 2025.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, NL, v. 115, p. 36-51, Mar. 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615018661. Acesso em: 2 fev. 2025.

LIPSON, H.; KURMAN, M. **Fabricated**: the new world of 3d printing. Indianapolis: Wiley, 2013.

LOPES, E. Vire-se-você-mesmo: o movimento maker e o falso empoderamento por meio da tecnologia. *In*: ROSSI, D.; MOON, R.; JONSON, J. (ed.). **Movimento Maker e Fab Labs**: design, inovação e tecnologia em tempo real. Bauru: FAAC - UNESP, 2019. p. 26–30.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 2013.

MANRIQUE, M. R. *et al*. Plástico precioso: prototipagem rápida e reciclagem de resíduos de manufatura aditiva. *In*: SIMPÓSIO DESIGN SUSTENTÁVEL, 7.., 2019, Recife. **Anais** [...]. Recife: Edgard Blucher, 2019.

MARIĆ, J. *et al*. Innovation management of three-dimensional printing (3DP) technology: disclosing insights from existing literature and determining future research streams. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, US, v. 193, p. 2-23, Aug. 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162523002901. Acesso em: 3 fev. 2024.

MARTINEZ, S. L.; STAGER, G. S. **Invent to learn**: making, tinkering, and engineering in the classroom. Torrance, CA: Constructing Modern Knowledge Press, 2013.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to Cradle**: remaking the way we make things. New York: North Point Press, 2002.

MEDEIROS, I. L.; BRAVIANO, G. A materialização digital e sua sistematização no processo de desenvolvimento de produtos. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 132, 2017. Disponível em: https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1886. Acesso em: 3 mar. 2025.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. São Paulo: Hucitec, 2014.

MINEIRO, E. F. **Experimentação em design como estratégia no cenário da autoprodução**. 2016. Tese (Doutorado em Design) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1312290_2016_completo.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

MONACO, L.; HERCE, C. Impact of maker movement on the urban resilience development: assessment methodology and analysis of EU research and innovation projects. **Sustainability**, v. 15, p. 2-39, Aug. 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/17/12856. Acesso em: 3 fev. 2025.

MORAN, J. M. **A educação que desejamos**: novos desafios e como chegar lá. Campinas: Papirus, 2015.

[MOREIRA, R.]. **Agenda brasileira para a Indústria 4.0**: o Brasil preparado para os desafios do futuro. [*S. l.*]: Ministério da Indústria Comércio e Serviços do Brasil, [2018]. Disponível em: https://www.gov.br/suframa/pt-br/assuntos/industria4-0_cits_ahk.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

MOTTA, A.; LOYENS, D. Product design in a circular economy: competencies and

responsibility. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE, SENSES & SENSIBILITY, 9., 2017, Funchal. **Proceedings** [...]. Funchal: [*s. n.*], 2017. p. 83-89.

MOTTA, A. C. S. B. T. **Design de produto na economia circular**: aplicação no mobiliário de escritório. 2018. Dissertação (Mestrado em Design) - Escola Superior de Artes e Design, Matosinhos, 2018. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/22101. Acesso em: 1 fev. 2025.

MUTH, J.; KLUNKER, A.; VÖLLMECKE, C. Putting 3D printing to good use: additive manufacturing and the sustainable development goals. **Frontiers**, v. 4, p. 1-16, Jul. 2023. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/sustainability/articles/10.3389/frsus.2023.1196228/full. Acesso em: 3 fev. 2025.

NASCIMENTO, S.; PÓLVORA, A. Maker cultures and the prospects for technological action. **Science and Engineering Ethics**, v. 24, p. 927-946, Jul. 2016. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-016-9796-8. Acesso em: 3 fev. 2025.

ONU. **The sustainable development goals report 2019**. New York: United Nations, 2019.

OPPENHEIM, A. N. **Questionnaire, design, interviewing and attitude measurement**. London: Pinter Pub, 1992.

ORCIUOLI, A. Marcenaria digital: design e fabricação sustentável. *In*: Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital, 2012, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: Sigradi, 2012. p. 653-656. Disponível em: https://itc.scix.net/pdfs/sigradi2012_104.content.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

OSCE Days. **Circular Economy**. [20--]. Disponível em: https://web.archive.org/web/20160425133055/https://oscedays.org/open-source-circular-economy-mission-statement/. Acesso em: 17 maio. 2023.

PEETERS, B.; KIRATLI, N.; SEMEIJN, J. A barrier analysis for distributed recycling of 3D printing waste: taking the maker movement perspective. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, NL, v. 241, p. 1-14, Dec. 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261933183X. Acesso em: 3 fev. 2025.

PERNAMBUCO. Secretaria de Educação e Esportes. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação. **Espaços 4.0**: mostra de inovação. Recife: FACEPE: Secretaria de Educação e Esportes: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação, 2022. Disponível em: https://www.gc.seplag.pe.gov.br/s/ce3jvvcunvgsp64j0le0/ce3jvvcunvgsp64j0le0/d/cee5m6kunvgsp64j0lr0/mostra-de-inovacao-dos-espacos-4.0. Acesso em: 28 fev. 2025.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação. **Relatório Anual de Gestão - 2022**. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação, 2023. Disponível em: https://www.secti.pe.gov.br. Acesso em: 17 jan. 2025.

PETERSEN, K. *et al*. Systematic mapping studies in software engineering. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION AND ASSESMENT IN

SOFTWARE ENGINEERING, 12., 2008, Italy. **Proceedings** [...] Italy: BCS Learning & Development, 2008.

PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: an update. **Information and Software Technology**, v. 64, p. 1-18, Aug. 2015.

PREMYANOV, N. *et al*. Circular Makerspaces as entrepreneurship platforms for smart and sustainable cities. *In*: International Conference on Smart and Sustainable Technologies, 7., 2022, Croatia. **Proceedings** [...]. Croatia: IEEE, 2022.

PRENDEVILLE, S. *et al*. Circular makerspaces: the founder's view. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 10, p. 272-288, May 2017. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19397038.2017.1317876. Acesso: 3 fev. 2025.

PRIAVOLOU, C. *et al*. Tracing sustainable production from a degrowth and localisation perspective: a case of 3D printers. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, NL, v. 376, p. 4-41. Nov. 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262203863X. Acesso em: 3 fev. 2025.

PUPO, R. T. **A inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto**: um novo desafio para o ensino da arquitetura. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009. Disponível em: https://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/442574. Acesso em: 3 mar. 2025.

PUPO, R. T. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. **PARC**, Campinas, SP, v. 1, n. 3, p. 80-98, 2008. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634511. Acesso em: 3 mar. 2025.

RATTAN, R. S. *et al*. Hangprinter for large scale additive manufacturing using fused particle fabrication with recycled plastic and continuous feeding. **HardwareX**, v. 13, p. 2-131, Mar. 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067223000081. Acesso em: 3 fev. 225.

RIDLEY, D. **The literature review: a step-by-step guide for students**. [*S. l.*]: SAGE, 2012.

ROSSI, D. C.; GONÇALVES, J. A. J.; MOON, R. M. B. (org.). **Movimento Maker e Fab Labs**: design, inovação e tecnologia em tempo real. Bauru: FAAC - UNESP, 2019. Disponível em: https://www.faac.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/MestradoeDoutorado/TelevisaoDigital/ebookfinalfinal.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

ROSLUND, S.; RODGERS, E. **Makerspaces**. [*S. l.*]: Lake Publishing, 2013.

ROUX-MARCHAND, T. *et al*. Connecting the strategic intent of innovation labs and projects: the case of the Green Fablab. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, TECHNOLOGY AND INNOVATION, 2020, Cardiff, UK. **Proceedings**

[...] Cardiff, UK: Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2020. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9198320. Acesso em: 1 fev. 2025.

SANTANDER, P. *et al*. Closed loop supply chain network for local and distributed plastic recycling for 3D printing: a MILP-based optimization approach. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, NL, v. 154, p. 1-48, Mar. 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919304379. Acesso em: 3 fev. 2025.

SCHRODER, I.; ELWAKIL, R.; STEEMERS, K. Hybrid makerspaces and networks for the circular city: a case study of Leuven, Belgium. **Buildings**, Basel, v. 14, p. 2-18, Jan. 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/14/1/137. Acesso em: 3 fev. 2024.

SEABRA FILHO, S. S. **Economia Circular**: repensando um design sustentável com as tecnologias de Fabricação Digital: Fascículo 1. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de Pernambuco; Secretaria Executiva de Educação Integral e Profissional, 2022.

SEURING, S.; GOLD, S. Sustainability management beyond corporate boundaries: from stakeholders to performance. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, NL, v. 56, p. 1-6, Oct. 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612006269. Acesso em: 1 fev. 2025.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

SMITH, A. Social innovation, democracy and makerspaces **SPRU Working Paper Series**, [*s. l.*], v. 10, p. 1-18, June 2017.

SOOMRO, S. A.; CASAKIN, H.; GEORGIEV, G. V. Sustainable design and prototyping using digital fabrication tools for education. **Sustainability**, v. 13, p. 2-17, Jan. 2021. Disponível: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/3/1196. Acesso em: 3 fev. 2025.

SOUZA, L. Falta proteção, sobram riscos e angústia. **Jornal da Associação Médica Brasileira**, São Paulo, n. 1413, p. 32–39, jun. 2020. Disponível em: https://amb.org.br/wp-content/themes/amb/revista-jamb/JAMB_Ed1413.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

SPEKKINK, W.; RÖDL, M.; CHARTER, M. Repair cafés and precious plastic as translocal networks for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, NL, v. 380, p. 2-17, Dec. 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622046996. Acesso em: 1 fev. 2025.

SWENNEN, G. R.; POTTEL, L.; HAERS, P. Custom-made 3D-printed face masks in case of pandemic emergency: justification and ethical aspects. **International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 49, n. 5, p. 673-677, May 2020. Disponível em: https://www.ijoms.com/article/S0901-5027(20)30123-5/fulltext. Acesso em: 2 fev. 2025.

UNTERFRAUNER, E. *et al*. The environmental value and impact of the maker movement: insights from a cross-case analysis of european maker initiatives. **Business Strategy and the**

Environment, v. 8, p. 1518-1533, May 2019. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bse.2328. Acesso em: 3 fev. 2025.

UNTERFRAUNER, E. *et al*. The maker movement and the disruption of the producer-consumer relation. **Internet Science**, v. 10750, p. 113–125, Mar. 2018.

VALENTE, J. A. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. **Educar em Revista**, Curitiba, n. 4, p. 79-97, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/er/a/GLd4P7sVN8McLBcbdQVyZyG/. Acesso em: 6 fev. 2025.

VASQUEZ, E. S. L.; WANG, H.; VEGA, K. Introducing the sustainable prototyping life cycle for digital fabrication to designers. *In*: ACM DESIGNING INTERACTIVE SYSTEMS CONFERENCE, 2020, Eindhoven. **Proceedings** [...]. Eindhoven: [*s. n.*], 2020. p. 1301-1312. Disponível em: https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3357236.3395510. Acesso em: 18 fev. 2025.

VELICU, A.; GIANNIS, G. Dismantling the products of global flows: a model for a children's global (un)makerspace. **Sage Journals**, v. 10, p. 289-303, Sep. 2020. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2043610620944927. Acesso em: 3 fev. 2025.

VOLPATO, N. **Prototipagem rápida**: tecnologias e aplicações. São Paulo: Blucher, 2007.

VONES, K. *et al*. 3D-printing 'Ocean plastic'– fostering childrens' engagement with sustainability. **Materials Today Communications**, v. 16, p. 56-59, Sep. 2018.

VUYLSTEKE, B. *et al*. Creating a circular design workspace: lessons learned from setting up a "bio-makerspace". **Sustainability**, v. 14, n. 2229, p. 2-21, Feb. 2022. Disponível em: https://biblio.ugent.be/publication/8741307. Acesso em: 3 fev. 2025.

WEETMAN, C. **A circular economy handbook for business and supply chains**: repair, remake, redesign, rethink. London: Kogan Page, 2019a.

WEETMAN, C. **Economia circular**: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa. São Paulo: Autêntica Business, 2019b.

WOERN, A. L. *et al*. RepRapable recyclebot: open source 3-D printable extruder for converting plastic to 3-D printing filament. **HardwareX**, v. 4, p. 2-57, Oct. 2018. Disponível em: https://www.hardware-x.com/article/S2468-0672(18)30020-8/fulltext. Acesso em: 3 fev. 2025.

YOU, W. *et al*. The business model of Do-It-Yourself (DIY) laboratories: a triple-layered perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, US, v. 159, p. 1-36, Oct. 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162520310313. Acesso em: 3 fev. 2025.

YUAN, Z.; BI, J.; MORIGUCHI, Y. The circular economy: a new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 4-7, Feb. 2006. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1162/108819806775545321. Acesso em: 1 fev. 2025.

ZHONG, S.; PEARCE, J. M. Tightening the loop on the circular economy: coupled distributed recycling and manufacturing with recyclebot and RepRap 3-D printing. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, NL, v. 128, p. 48-58, Jan. 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917303014. Acesso em: 3 fev. 2025.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

Questionário de Avaliação de Impacto da Economia Circular nos Espaços Maker educacionais

Caro Professor(a),

Gostaría de convidá-lo(a) a participar de um importante estudo de avaliação do impacto do curso "Economia Circular: Repensando um Design Sustentável com as Tecnologias de Fabricação Digital". Este questionário faz parte da minha pesquisa de doutorado na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e seu feedback é essencial para entendermos como o conhecimento adquirido no curso tem sido aplicado nos projetos desenvolvidos em espaços maker educacionais e como ele tem influenciado suas práticas profissionais.

Este questionário tem como objetivo avaliar o impacto do curso nas competências, atitudes e comportamentos dos participantes em relação à sustentabilidade e à economia circular. Além disso, buscamos identificar os desafios enfrentados na implementação dos conceitos aprendidos e coletar sugestões para melhorar a fusão destes dois conceitos: Economia Circular e Espaços Maker.

Sua participação é fundamental para que possamos:

Avaliar a eficácia do curso.

- Identificar pontos fortes e áreas de melhoria.
- Compreender melhor as necessidades dos educadores em espaços maker.
- Contribuir para o desenvolvimento de projetos mais sustentáveis e inovadores.
- Avançar nas pesquisas sobre economia circular e Espaços Maker dentro do contexto educacional.

O preenchimento do questionário levará aproximadamente 10 minutos. Sua colaboração será de grande valor para o aprimoramento das práticas educacionais e para a promoção da sustentabilidade em nossa comunidade.

Todas as respostas serão tratadas com estrita confidencialidade. Os dados serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e de pesquisa. Não serão divulgadas informações que permitam a identificação individual dos participantes.

Ao responder a este questionário, você concorda em participar voluntariamente deste estudo e autoriza o uso de suas respostas para análise acadêmica e científica. Sua participação é inteiramente voluntária, e você pode optar por não responder a qualquer pergunta ou interromper sua participação a qualquer momento.

Agradeço imensamente seu tempo e sua disposição em contribuir com este estudo. Sua participação contribui para o desenvolvimento contínuo da educação em espaços maker.

Estou à disposição para qualquer dúvida ou esclarecimento.

Informações Gerais

3. Instituição de Ensino:

4. Curso ou Disciplina que Leciona:

5. Tempo de experiência como professor:

- [ ] Menos de 1 ano - [ ] 1-3 anos - [ ] 3-5 anos - [ ] Mais de 5 anos

Parte I: Conhecimento Prévio e Motivação

6. Antes de participar do curso, qual era o seu nível de conhecimento sobre Economia Circular e Espaços *Maker*?

- [ ] Nenhum conhecimento
- [ ] Conhecimento básico
- [ ] Conhecimento intermediário
- [ ] Conhecimento avançado

7. Qual foi a principal motivação para participar do curso de Economia Circular? (Marque todas que se aplicam)

- [ ] Interesse pessoal
- [ ] Relevância para a disciplina que leciona
- [ ] Exigência da instituição
- [ ] Melhoria das práticas pedagógicas
- [ ] Outros (especificar): _____

Parte II: Conteúdo do Curso

8. Avalie a qualidade do conteúdo teórico apresentado no curso (1 - Muito Insatisfatório, 5 - Muito Bom):

- [ ] 1 - [ ] 2 - [ ] 3 - [ ] 4 - [ ] 5

9. Avalie a qualidade das atividades práticas e projetos desenvolvidos durante o curso (1 - Muito Insatisfatório, 5 - Muito Bom):

- [ ] 1 - [ ] 2 - [ ] 3 - [ ] 4 - [ ] 5

Parte III: Aplicação do Conhecimento

10. Após o curso, qual o seu nível de confiança para aplicar os conceitos de economia circular em projetos desenvolvidos nos Espaços *Maker* Educacionais (1 - Nenhuma confiança, 5 - Muita confiança):

- [ ] 1 - [ ] 2 - [ ] 3 - [ ] 4 - [ ] 5

11. Você já aplicou algum conceito de economia circular em projetos desenvolvidos com seus alunos nos Espaços *Maker* após o curso?

- [ ] Sim - [ ] Não

12. Se sim, descreva brevemente um projeto onde você aplicou esses conceitos (máximo de 200 palavras):

13. Quais foram os principais desafios encontrados na aplicação dos conceitos de economia circular em seus projetos nos Espaços *Maker*? (Marque todas que se aplicam)

- [ ] Falta de recursos
- [ ] Resistência dos alunos
- [ ] Dificuldade em adaptar o conteúdo
- [ ] Falta de apoio institucional
- [ ] Outros (especificar): _____

Parte IV: Impacto no Ensino e Aprendizagem

14. Você observou alguma mudança no interesse e engajamento dos alunos após a introdução de projetos baseados na economia circular nos Espaços *Maker*?

- [ ] Aumento significativo
- [ ] Aumento moderado
- [ ] Sem mudanças
- [ ] Diminuição moderada
- [ ] Diminuição significativa

15. De que forma você acredita que a economia circular contribui para o desenvolvimento das competências dos alunos em Espaços *Make*r? (máximo de 200 palavras)

16. Quais habilidades ou conhecimentos você considera que seus alunos mais desenvolveram ao participar de projetos de economia circular nos Espaços *Maker*? (Marque todas que se aplicam)

- [ ] Pensamento crítico
- [ ] Criatividade
- [ ] Trabalho em equipe
- [ ] Consciência ambiental
- [ ] Resolução de problemas
- [ ] Habilidades técnicas em fabricação digital
- [ ] Outros (especificar): _____

Parte V: Avaliação Geral e Sugestões

17. Como você avalia o impacto geral do curso na sua prática pedagógica (1 - Nenhum impacto, 5 - Muito alto impacto):

- [ ] 1 - [ ] 2 - [ ] 3 - [ ] 4 - [ ] 5

18. Você tem sugestões para a melhoria do curso de Economia Circular? (máximo de 200 palavras)

19. Quais outros tópicos relacionados à Economia Circular e Espaços *Maker* você gostaria de explorar em cursos futuros? (máximo de 200 palavras)

Parte VI: Dados Qualitativos Adicionais

20. Descreva uma experiência significativa que você teve ao aplicar os conceitos de Economia Circular em projetos nos Espaços *Maker* educacionais (máximo de 300 palavras):

21. Outros comentários e observações:

APÊNDICE B - FASCÍCULOS

Acesso através do link

https://drive.google.com/drive/folders/1QjZiLiQICQBgntkoCz4fx4YCUdYEJ237?usp=drive_link