



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE ARTES
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**DO DESIGN COMPUTACIONAL À MANUFATURA ADITIVA:
UM MAPEAMENTO TECNOLÓGICO NO ÂMBITO
DA ECONOMIA CIRCULAR**

Matheus Dantas de Moraes Almeida

BRASÍLIA,

2022.

**DO DESIGN COMPUTACIONAL À MANUFATURA ADITIVA:
UM MAPEAMENTO TECNOLÓGICO NO ÂMBITO
DA ECONOMIA CIRCULAR**

Matheus Dantas de Moraes Almeida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, do Instituto de Artes da Universidade de Brasília, na área de concentração Design, Tecnologia e Sociedade, linha de Pesquisa Design de Informação e Interação, como requisito para obtenção do título de Mestre em Design.

Orientadora: Profa. Dra Ana Carolina Kalume Maranhão

BRASÍLIA,

2022.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AA447d Almeida, Matheus Dantas de Moraes
Do Design Computacional à Manufatura Aditiva: um
mapeamento tecnológico no âmbito da Economia Circular /
Matheus Dantas de Moraes Almeida; orientador Ana Carolina
Kalume Maranhão. -- Brasília, 2022.
144 p.

Dissertação (Mestrado em Design) -- Universidade de
Brasília, 2022.

1. Design Computacional. 2. Manufatura Aditiva. 3.
Impressão 3D. 4. Prospecção tecnológica. 5. Economia
Circular. I. Maranhão, Ana Carolina Kalume, orient. II.
Título.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Profa. Dra Ana Carolina Kalume Maranhão, pelos ensinamentos, direcionamentos, apoio e compreensão dispensados. Ao membros da banca e do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade de Brasília.

Aos docentes e mentores Prof. Dr. Ari Melo Mariano, Profa. Dra. Dianne Magalhães Viana, Prof. Dr. Gustavo Barboni Dantas Nascimento, Prof. Dr. Eduardo Antônio Ferreira, Prof. Dr. Ricardo Ramos Fragelli, Profa. Dra. Célia Matsunaga Higawa, Profa. Dra. Ana Mansur de Oliveira, Profa. Dra. Daniela Fávaro Garrossini e Profa. Dra. Virgínia Tiradentes Souto pela inspiração e troca de aprendizado nesses dois anos.

Aos meus pais Zenilda e Walter, meus irmãos Thiago e Gabriel e à minha amiga e parceira de vida Débora, pelo apoio incondicional.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo estabelecer um panorama do contexto global de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) relacionado ao Design Computacional e Manufatura Aditiva, dando destaque às produções e desafios relacionados ao âmbito da Economia Circular. Pretende-se, com tal destaque, contribuir com a sistematização e identificação de frentes de pesquisa, tendências e inovações para um futuro sustentável no Design Computacional e Impressão 3D. A pesquisa foi empreendida tomando como base métodos e técnicas de prospecção tecnológica, em especial o mapeamento de artigos e patentes a partir de *data and text mining*. Foram identificadas 17 frentes de desenvolvimento científico e tecnológico do campo, bem como um conjunto de cenários futuros imaginados. Os resultados obtidos demonstram que, apesar do recente crescimento significativo das tecnologias e descobertas no Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva, ainda são poucos os indícios de iniciativas que considerem a Economia Circular como ponto central, o que aumenta a probabilidade de impactos ambientais no curto e médio prazo.

Palavras-Chaves: Design Computacional, Manufatura Aditiva, Impressão 3D, Prospecção tecnológica, Economia Circular.

RESUMEN

Esta tesis tiene como objetivo establecer una visión general del contexto global de Investigación, Desarrollo e Innovación (IDI) relacionada con el Diseño Computacional y la Fabricación Aditiva, destacando las producciones y desafíos relacionados con la Economía Circular. Se pretende, con tal énfasis, contribuir a la sistematización e identificación de frentes de investigación, tendencias e innovaciones para un futuro sustentable en Diseño Computacional e Impresión 3D. La investigación se realizó con base en métodos y técnicas de prospección tecnológica, en particular el mapeo de artículos y patentes a partir de minería de datos y textos. Se identificaron 17 frentes de desarrollo científico y tecnológico en el campo, así como un conjunto de escenarios futuros imaginados. Los resultados obtenidos demuestran que, a pesar del reciente crecimiento significativo de tecnologías y descubrimientos en Diseño Computacional con amplia relación con la Fabricación Aditiva, aún hay poca evidencia de iniciativas que consideren la Economía Circular como punto central, lo que aumenta la probabilidad de impactos ambientales a corto y mediano plazo.

Palabras clave: *Diseño Computacional, Fabricación Aditiva, Impresión 3D, Prospección Tecnológica, Economía Circular.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Visualização do caminho metodológico empregado na pesquisa ..	20
FIGURA 2 - Esquema ilustrativo de Design Paramétrico, Generativo e Algorítmico	26
FIGURA 3 - Esquema ilustrativo do nível de controle das etapas e sobreposição de subtemas no Design Computacional	27
FIGURA 4 - Peça de vidro desenvolvida com técnica de manufatura aditiva	29
FIGURA 5 - Demonstração de modelo virtual desenvolvido por software de Design Computacional e protótipo físico para Manufatura Aditiva	29
FIGURA 6 - Quadrifolium - peça de geometria complexa desenvolvida a partir de impressão 3D	30
FIGURA 7 - Modelo virtual tridimensional de tecido de pele bio impresso	30
FIGURA 8 - Modelo de mão regenerativa desenvolvida a partir de métodos de bioimpressão	31
FIGURA 9 - O ciclo de vida de produtos e de materiais na perspectiva da Economia Circular	33
FIGURA 10 - <i>Framework</i> de blocos e interdependências das frentes de pesquisa, desenvolvimento e inovação para um futuro sustentável na manufatura aditiva	40
FIGURA 11 - <i>Framework</i> de blocos e interdependências das frentes de pesquisa, desenvolvimento e inovação para um futuro sustentável na manufatura aditiva - Exemplos de remoção e inversão	41
FIGURA 12 - Cone de futuro: alternativas concebíveis por ator	44
FIGURA 13 - Esquema ilustrativo dos processos e benefícios da Prospecção Tecnológica	45
FIGURA 14 - Perspectivas de curto, médio e longo prazo e seus respectivos materiais de análise	71
FIGURA 15 - <i>Framework</i> de blocos e interdependências das frentes de pesquisa, desenvolvimento e inovação para um futuro sustentável na manufatura aditiva - Perspectivas visuais desejáveis (verde) e não desejáveis (vermelho)	78

FIGURA 16 - Esquema ilustrativo do cenário A: realizável e indesejável com alta probabilidade de ocorrência no curto prazo	79
FIGURA 17 - Esquema ilustrativo do cenário B: realizável e indesejável com baixa probabilidade de ocorrência no curto prazo	81
FIGURA 18 - Esquema ilustrativo do cenário C: realizável e desejável com alta probabilidade de ocorrência no curto prazo	83
FIGURA 19 - Esquema ilustrativo do cenário D: realizável e desejável com baixa probabilidade de ocorrência no curto prazo	85
FIGURA 20 - Esquema ilustrativo da expectativa de impacto ambiental esperado	87
FIGURA 21 - Esquema ilustrativo dos cenários irrealizáveis não desejáveis e desejáveis	88
FIGURA 22 - Esquema ilustrativo da projeção temporal do impacto ambiental na perspectiva de curto, médio e longo prazo no âmbito do Design Computacional e Manufatura Aditiva na perspectiva do autor. Cenários irrealizáveis desejáveis e não desejáveis	89
FIGURA 23 - Esquema ilustrativo da projeção temporal do impacto ambiental na perspectiva de curto, médio e longo prazo no âmbito do Design Computacional e Manufatura Aditiva. Cenários imaginados pelo autor	90

LISTA DE QUADROS

TABELA 1 - Classificação de cenários relacionados ao cone de incertezas	43
TABELA 2 - Acervos de bases de dados integrados à plataforma The Lens	47
TABELA 3 - Sintaxe utilizada na formatação da busca	48
TABELA 4 - Amostras de acordo com as buscas relacionadas aos subtemas no Design Computacional	49
TABELA 5 - Sintaxe utilizada na formatação da busca.....	59
TABELA 6 - Design Computacional e Manufatura Aditiva: Registros dos 20 principais depositantes de patentes por tipos de documentos patentários.....	63

TABELA 7 - Perspectivas não desejáveis no âmbito da Economia Circular sob a perspectiva da manufatura aditiva	77
TABELA 8 - 87 registros de depósitos de patentes identificadas nas tecnologias no Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva	103
TABELA 9 - 57 registros de patentes garantidas identificadas nas tecnologias no Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva	118
TABELA 10 - 85 registros de publicações identificadas nas tecnologias no Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva	128

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Evolução anual do número de publicações científicas e documentos patentários no Design Computacional	50
GRÁFICOS 2 e 3 - Comparativo de índices de preços de fabricação de semicondutores e outros componentes eletrônicos por ano e aumento da eficiência computacional por ano	51
GRÁFICOS 4 e 5 - Comparativo de poder computacional por ano e preços de trânsito na internet	52
GRÁFICOS 6 e 7 - Razão entre documentos patentários e publicações científicas e Razão entre publicações científicas e documentos patentários	53
GRÁFICO 8 - Quadrante de Pasteur - Acumulado de publicações científicas e documentos patentários por subtemas no Design Computacional	55
GRÁFICOS 9 e 10 - Análise comparativa da evolução anual do número de publicações científicas e documentos patentários por subtemas no Design Computacional	56
GRÁFICO 11 - Diagrama de Sankey com o número de subclasses de registros IPC vinculadas aos documentos patentários no Design Computacional	57
GRÁFICO 12 - Subclasses IPC com maior concentração nos documentos	

patentários do Design Computacional	58
GRÁFICO 13 - Design Computacional e Manufatura Aditiva Evolução anual do número de patentes proprietárias em relação ao número de depósitos de patentes	60
GRÁFICO 14 - Design Computacional e Manufatura Aditiva Número de documentos patentários por países dos depositantes	61
GRÁFICO 15 - Design Computacional e Manufatura Aditiva Análise comparativa dos 20 principais depositantes de patentes por tipos de documentos patentários	62
GRÁFICO 16 - Evolução anual do número de publicações científicas e citações	67
GRÁFICO 17 - Número de registros de patentes concedidas (curto prazo) de acordo com as 17 frentes de desenvolvimento científico e tecnológico	72
GRÁFICO 18 - Número de registros de depósitos de patentes (médio prazo) de acordo com as 17 frentes de desenvolvimento científico e tecnológico	73
GRÁFICO 19 - Número de registros de publicações científicas (longo prazo) de acordo com as 17 frentes de desenvolvimento científico e tecnológico	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.1.1 OBJETIVO ESPECÍFICO	14
2. METODOLOGIA	15
3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E DOCUMENTAL DOS CAMPOS ESTRUTURANTES DA PESQUISA	21
3.1 DESIGN COMPUTACIONAL E A SUA AMPLA RELAÇÃO COM A MANUFATURA ADITIVA	23
3.2 EXPECTATIVAS DE UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO ÂMBITO DA MANUFATURA ADITIVA	32
3.3 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E ESTUDOS DE FUTURO	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 SELEÇÃO E CATEGORIZAÇÃO DAS BASES DE DADOS DA PESQUISA.	47
4.2 SELEÇÃO E CATEGORIZAÇÃO DOS TERMOS DE BUSCA	48
4.3 CENÁRIO GLOBAL DA PESQUISA E INOVAÇÃO NO ÂMBITO DO DESIGN COMPUTACIONAL	50
4.4 PANORAMA DA PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO NOS SUBTEMAS RELACIONADOS AO DESIGN COMPUTACIONAL	54
4.5 MAPEAMENTO DE TECNOLOGIAS NO ÂMBITO DO DESIGN COMPUTACIONAL COM AMPLA RELAÇÃO COM A MANUFATURA ADITIVA	59
4.6 MAPEAMENTO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS NO ÂMBITO DO DESIGN COMPUTACIONAL COM AMPLA RELAÇÃO COM A MANUFATURA ADITIVA	67
4.7 PERSPECTIVAS DE CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO NA PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO NO DESIGN COMPUTACIONAL E MANUFATURA ADITIVA	69
4.8 CENÁRIOS FUTUROS E PERSPECTIVAS PARA UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO DESIGN COMPUTACIONAL E MANUFATURA ADITIVA	76
4.8.1 ESTRUTURAÇÃO DE CENÁRIOS A PARTIR DO CONE DE FUTUROS	78

a) Realizável, indesejável, com alta probabilidade de ocorrência no curto prazo - Design Computacional viabiliza progressivamente novas técnicas de manufatura aditiva em uma evolução gradual	79
b) Realizável, indesejável, com baixa probabilidade de ocorrência no curto prazo - Design Computacional viabiliza exponencialmente técnicas de manufatura aditiva que hoje fazem uso de Matéria Prima virgem, fator que acelera a poluição no curto e médio prazo	81
c) Realizável, desejável, com alta probabilidade de ocorrência no curto prazo - Empreendedorismo e olhar educacional para práticas de design a partir da economia circular	83
d) Realizável, desejável, mas com baixa probabilidade de ocorrência no curto prazo - Equilíbrio e desenvolvimento complementar de todas as áreas	85
e) Cenários Irrealizáveis não desejáveis e desejáveis	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
APÊNDICE A - ACERVO DE DOCUMENTOS PATENTÁRIOS E PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS: ATRIBUIÇÕES DENTRE OS 17 TEMAS DE CONVERGÊNCIA ..	102

1. INTRODUÇÃO

Estruturado a partir de sistemas computacionais, o Design Computacional oferta inúmeras oportunidades criativas aos designers a partir de soluções apoiadas por simulações, algoritmos genéticos ou *machine learning*, por exemplo. Nesse contexto, os avanços técnico-científicos, dependem não só da evolução de soluções capazes de projetar mas também produzir e viabilizar a existência material desses construtos, como é o caso da Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing*), amplamente conhecida como Impressão 3D.

Apoiada por sistemas computacionais, e em amplo desenvolvimento e aceleração, a Manufatura Aditiva passa a ofertar soluções que viabilizam economicamente e tecnicamente a produção doméstica ou industrial de formas complexas, fator essencial para o avanço do Design Computacional. Diante desse paradigma de convergência entre os dois campos, é esperada uma transformação importante na cadeia produtiva, com impactos que vão do design à forma como a indústria se estabelece.

Cenários como o da personalização em massa (*mass personalization*) e a descentralização da força produtiva e industrial geram amplo debate na comunidade acadêmica, com destaque para os possíveis impactos ambientais. Como forma de investigação do tema, a presente dissertação utiliza como base métodos e técnicas de prospecção tecnológica, em especial o mapeamento de artigos e patentes a partir de *data and text mining*.

A trajetória de pesquisa nos dois anos de estudo do mestrado, começa a partir de uma visão direcionada a um dos temas do Design Computacional, o Design Generativo. Em amplo crescimento, o tema apresenta grande potencial de transformação do campo, havendo aplicações multidisciplinares diversas como a Arquitetura, Engenharia, Design de Produto, Arte, Ciência da Computação e outras como Design de Jogos e Bioinformática, por exemplo.

Diante da diversidade de frentes disponíveis para uma investigação mais especializada, tomou-se como base a Manufatura Aditiva, especialmente por ser uma tecnologia com nível de maturidade mais elevado, já apresentando soluções comercializadas mais presentes no dia a dia do consumidor final. A escolha por esse

caminho encontra justificativa em uma maior relevância e potencial interesse para um volume maior de pessoas, especializadas ou não, favorecendo novas pesquisas ou até mesmo auxiliando entusiastas em seus processos decisórios.

A escolha pela Economia Circular, como enfoque para a análise dos resultados, dá-se pela necessidade de que mais trabalhos científicos especializados e inovações surjam, favorecendo a mitigação de riscos futuros e impactos ambientais. Juntamente a isso, o entendimento de que vivenciamos um momento decisório importante nas tecnologias de Design Computacional aplicadas à Manufatura Aditiva revela o papel central que as decisões tomadas hoje possuem nos futuros que se apresentam. Cenários favoráveis ou desfavoráveis podem já ser identificados hoje, caberá a nós decidir que trajetória seguiremos.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da presente pesquisa é investigar o estado atual do contexto global de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) relacionado ao Design Computacional e Manufatura Aditiva como forma de analisar os desafios relacionados ao âmbito da Economia Circular. As amostras analisadas apresentaram registros com janela temporal que se estende da década de 1960 até os dias de hoje, fator que viabilizou a identificação de marcos temporais no desenvolvimento científico e tecnológico do campo.

1.1.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Estudar a relação entre possibilidades e perspectivas para entender caminhos futuros e impactos ambientais das tecnologias e descobertas do Design Computacional com aplicação direta à Manufatura Aditiva.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho parte de uma pesquisa exploratória e descritiva constituída por três partes principais: i) análise bibliográfica e documental; ii) análise bibliométrica e patentométrica a partir de *data and text mining* e iii) projeção de cenários futuros imaginados.

Na etapa inicial, de análise bibliográfica e documental, foram articulados autores, temas e conceitos que passam pelo estudo das técnicas e tecnologias, encaminham-se para o Design Computacional, Manufatura Aditiva, Economia Circular e Prospecção Tecnológica, temas centrais utilizados na investigação.

Na segunda etapa, de análise bibliométrica e patentométrica a partir de *data and text mining* foi analisado um *corpus* composto por publicações científicas e documentos patentários, por serem instrumentos com inter-relação direta e apresentados enquanto elementos de conexão entre ciência e tecnologia. Tal análise viabilizou a identificação de marcos que fortaleceram a visão dos autores articulados na primeira etapa.

Já na terceira fase, de projeção de cenários futuros imaginados, estruturou-se a partir das descobertas viabilizadas pelas análises, um conjunto de cenários possíveis, descritos a partir da lógica de Cone de Futuros em seu modelo adaptado por MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY (2015). Tal esforço nos permite identificar oportunidades e desafios em cenários favoráveis, desfavoráveis, desejáveis ou indesejáveis, favorecendo a tomada de decisão da comunidade. O descritivo de cada etapa, pode ser visualizado na figura 1 e nos tópicos que foram listados a seguir..

1. **ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL:**

1.1. **Técnicas e tecnologias**

1.1.1. Apresentação de conceitos de técnicas e tecnologias;

1.1.2. Apresentação do conceito de aceleração técnica;

1.2. **Design Computacional e Manufatura Aditiva**

1.2.1. Diferenciação entre Design Computacional e Design Digital;

- 1.2.2. Diferenciação entre os diferentes subtemas no Design Computacional (Design Generativo, Paramétrico e Algorítmico), bem como suas sobreposições conceituais;
- 1.2.3. Apresentação das definições de Manufatura Aditiva, seus benefícios e aplicações;
- 1.2.4. Apresentação da relação entre Design Computacional e Manufatura Aditiva, desafios e benefícios;

1.3. **Manufatura Aditiva e Economia Circular**

- 1.3.1. Apresentação de conceitos relacionados à Economia Circular;
- 1.3.2. Apresentação de 22 barreiras para uma cadeia distribuída de materiais recicláveis na Manufatura Aditiva a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017);
- 1.3.3. Apresentação de seis pilares que podem mobilizar um futuro em prol de um contexto mais circular na Manufatura Aditiva a partir da visão de PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN (2019);
- 1.3.4. Desenvolvimento de um *framework* visual e interativo com base nos seis pilares propostos por PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN (2019);

1.4. **Prospecção Tecnológica**

- 1.4.1. Contextualização da Prospecção Tecnológica enquanto campo essencial ao contexto de pesquisa, desenvolvimento e inovação;
- 1.4.2. Definição de Cones de Futuros a partir do modelo adaptado por por MARCIAL, WOSGRAU E CHERVENSKY (2015);
- 1.4.3. Apresentação de publicações científicas e documentos patentários enquanto instrumentos amplamente utilizados nos estudos prospectivos;

2. **ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E PATENTOMÉTRICA A PARTIR DE DATA AND TEXT MINING:**

2.1. **Seleção e categorização das bases de dados da pesquisa;**

- 2.1.1. Justificativas para o uso da plataforma The LENS;

- 2.1.2. Apresentação das bases relevantes de patentes e de literatura científica utilizadas para a pesquisa;
- 2.2. **Seleção e categorização dos termos de busca utilizados;**
 - 2.2.1. Análise prévia dos resultados das amostras identificadas;
 - 2.2.2. Definição da amostra inicial de análise;
- 2.3. **Análise do panorama da pesquisa, desenvolvimento e inovação no âmbito do Design Computacional;**
 - 2.3.1. Análise da evolução anual de publicações científicas e documentos patentários no Design Computacional;
 - 2.3.2. Identificação de marcos a partir da evolução do número de documentos patentários e publicações científicas por ano;
 - 2.3.3. Levantamento bibliográfico de indicadores macroeconômicos que podem ter acelerado os marcos de crescimento no campo;
 - 2.3.4. Análise comparativa da evolução anual da razão entre artigos e patentes e patentes e artigos;
- 2.4. **Análise do panorama da pesquisa, desenvolvimento e inovação nos subtemas relacionados ao Design Computacional;**
 - 2.4.1. Análises do número de documentos patentários e publicações científicas dos subtemas do Design Computacional a partir do Quadrante de *Pasteur*, em seu modelo adaptado por CANONGIA; PEREIRA; ANTUNES (2006);
 - 2.4.2. Análise comparativa da evolução anual de publicações científicas nos subtemas do Design Computacional;
 - 2.4.3. Análise comparativa da evolução anual de documentos patentários nos subtemas do Design Computacional;
 - 2.4.4. Análise dos registros IPC vinculados aos documentos patentários por subtemas no Design Computacional a partir da visualização de suas intersecções no Diagrama de Sankey;
 - 2.4.5. Filtragem de amostra a partir do registro IPC B33Y, relacionado com o tema da Manufatura aditiva;

2.5. Mapeamento de tecnologias no Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva;

- 2.5.1. Análise da evolução anual no número de depósitos e patentes proprietárias no âmbito do Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva;
- 2.5.2. Identificação e análise do número de documentos patentários por países dos depositantes;
- 2.5.3. Análise comparativa dos 20 principais depositantes de patentes por tipos de documentos patentários;
- 2.5.4. Análise bibliográfica e documental das tecnologias e inovações identificadas na amostra, bem como de marcos e acontecimentos na perspectiva macroeconômica;

2.6. Mapeamento de publicações científicas no Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva;

- 2.6.1. Filtragem da amostra a partir das categorias identificadas na plataforma the LENS;
- 2.6.2. Análise da evolução anual no número de publicações científicas e citações com ampla relação com a Manufatura Aditiva;

2.7. Análise das perspectivas de curto, médio e longo prazo na pesquisa, desenvolvimento e inovação no Design Computacional e Manufatura Aditiva;

- 2.7.1. Apresentação do conceito de *Roadmap* Tecnológico na perspectiva de TAVARES; BORSCHIVER (2021);
- 2.7.2. Apresentação de 17 temas de convergência identificados na análise qualitativa das publicações científicas e documentos patentários da amostra;
- 2.7.3. Análise do número de registros por tipo de documento de acordo com as 17 frentes de desenvolvimento científico e tecnológico sob a perspectiva de curto, médio e longo prazo;
- 2.7.4. Análise qualitativa e detalhamento das 17 frentes de desenvolvimento científico e tecnológico identificadas sob a

ótica de curto, médio e longo prazo;

2.8. Identificação e detalhamento das publicações científicas e documentos patentários com ampla relação com conceitos de Economia Circular;

2.8.1. Análise bibliográfica e documental dos documentos patentários e publicações identificadas;

3. PROJEÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS IMAGINADOS:

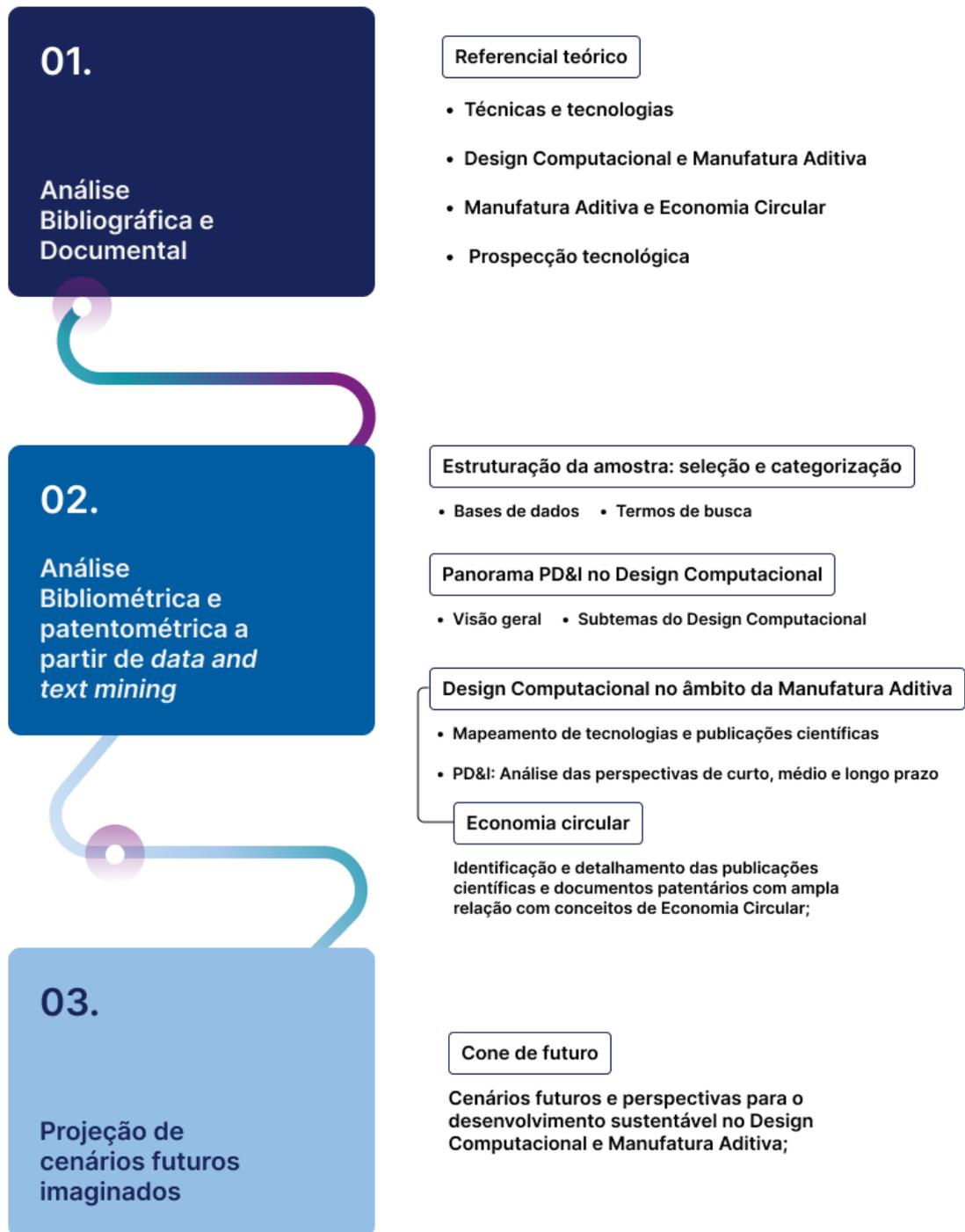
3.1. Cenários futuros e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Design Computacional e Manufatura Aditiva;

3.1.1. Adaptação da perspectiva do cenário “não desejável” a partir dos seis pilares que podem mobilizar um futuro em prol de um contexto mais circular na Manufatura Aditiva a partir da visão de PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN (2019);

3.1.2. Detalhamento de cenários a partir de cada um dos eixos existentes no Cone de Futuros e utilização do *framework* visual desenvolvido com base nos seis pilares propostos por PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN (2019);

3.1.3. Detalhamento temporal de seis cenários imaginados com base na perspectiva de impactos ambientais no curto, médio e longo prazo, bem como no referencial teórico apresentado.;

Figura 1 - Visualização do caminho metodológico empregado na pesquisa



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Diante da estrutura metodológica apresentada, o estudo em questão avança em direção à primeira etapa de investigação, em que foi realizado o estudo bibliográfico e documental dos temas centrais investigados.

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E DOCUMENTAL DOS CAMPOS ESTRUTURANTES DA PESQUISA

Amplamente utilizados nos dias de hoje, termos como “tecnologia” e “técnicas” possuem ampla importância nas mudanças que ocorrem no âmbito econômico, social e ambiental. Fruto do desenvolvimento científico e tecnológico, a crescente evolução de descobertas e inovações, é favorecida pela disponibilidade massiva de dados que revelam informações e cenários cada vez mais complexos.

Conforme apresentado por SIGAUT (1996, apud SCHEPS, 1996 p. 47) o termo tecnologia pode ser entendido como “conjunto de técnicas modernas e de caráter científico, em oposição às práticas supostamente empíricas dos artesãos”, sendo a origem de sua utilização na Alemanha do século XVIII. Identificada como “ciência das técnicas”, apesar do autor reconhecer o desuso dessa abordagem ao longo dos anos, é relevante perceber que conceitualmente o termo é apresentando em sua origem de modo similar ao que a Biologia é para os seres vivos ou a Linguística para as línguas.

As técnicas, portanto, são entendidas por SIGAUT (1996, apud SCHEPS, 1996 p. 52) como “produções humanas, fatos sociais”, sendo caracterizadas não só como a ferramenta, mas o material (aquele que é objeto, o alvo da ferramenta) e o gesto (como é realizado), o que conecta suas evoluções a eventuais mudanças sociais.

Amplamente debatido pela escola francesa, o estudo das técnicas já considera um olhar profundo acerca dos aspectos sociais, com intersecções entre as esferas econômicas, políticas, culturais e também das particularidades da técnica em questão. STIEGLER (1996, apud SCHEPS, 1996, p.170) caracteriza a história das técnicas enquanto uma “história de rupturas” e articula o pensamento de LEROI-GOURHAN (1943;1992) e GILLE (1978; 1980), aos seus conceitos de tendência técnica e sistemas técnicos, respectivamente.

O primeiro conceito, de tendências técnicas, revela a hipótese da existência de tendências universais, ou seja, seria possível imaginar evoluções de seus desmembramentos, rotas de transformação, ao analisar a trajetória e seu contexto STIEGLER (1996, apud SCHEPS, 1996, p.170). STIEGLER ainda reforça que

LEROI-GOURHAN (1943;1992) apresenta o conceito a partir de pesquisas etnográficas no oceano Pacífico que revelaram instrumentos muito comuns entre povos com baixa probabilidade de contato (STIEGLER,1996, apud SCHEPS, 1996, p.170).

O autor, ainda reforça que na visão de GILLE (1978; 1980), com o conceito de sistemas técnicos, há a ideia de que estes estão sempre adiantados em relação aos demais sistemas humanos, por sua tendência à diferenciação, à transformação e conseqüentemente a entrar em contradição com outros sistemas, e que, apesar das resistências advindas dessas contradições, a técnica sempre sai ganhando. (STIEGLER,1996, apud SCHEPS, 1996, p.170).

STIEGLER (1996, apud SCHEPS, 1996, p.170) pontua que a partir do século XIX e ainda mais forte agora no século XXI vivemos a “era da inovação permanente”, caracterizada por uma ruptura na história social, técnica, econômica e política, mas contrapõe a ideia de uma certa estabilização dos sistemas técnicos, reforçando que o momento que vivemos hoje apresenta um processo de transformação muito poderoso, que impede essa estabilização e “não nos deixa mais o tempo de nos acostumarmos a um estado de equilíbrio simples”.

Desde a década de 1990, com as revoluções política e digital, o mundo vive uma crescente onda de aceleração, intensificada pelo advento da internet. Do ponto de vista técnico, o surgimento de novas tecnologias têm ampliado os recursos e possibilidades para uma maior liberdade política e individual, em contrapartida, na perspectiva cultural, vivemos um movimento voltado para a autonomia e autodeterminação, regado por uma visão de competitividade e velocidade (WANDERLEY, 2014, apud ROSA, 2014).

A análise das técnicas, por natureza complexa, parece perder o compasso da aceleração social, tornando a dificuldade de seu mapeamento ainda mais intensa. SCHEPS (1996) entende que vivemos hoje um contexto de tomada de decisão orientada aos impactos, com uma perspectiva mais paliativa do que propositiva, o que, de certo modo, nos deixa reféns das transformações sociais causadas pelas novas tecnologias.

Por outro lado, a crescente disponibilidade de dados e ferramentas computacionais com ampla capacidade de processamento, têm oferecido alternativas para que tenhamos um pouco mais de poder decisório, antecipando cenários e mudanças que se apresentam. Essa recente conectividade aumenta significativamente a nossa capacidade de apropriação, transformação e utilização das coisas que se apresentam, ampliando nossas extensões cognitivas: “As ferramentas imitam a mão e o corpo empiricamente; as máquinas mecanicamente; e os aparelhos, neurofisiologicamente” (FLUSSER, 2007, p. 38).

Sistemas computacionais, amplamente utilizados no Design, favorecem processos de criação de formas, coleta e processamento de dados, aumentando as capacidades de intervenções, agora imaginadas e visualizadas no ambiente virtual. Tal mudança, apresenta novas oportunidades e perspectivas de transformação no campo, em especial com o recente surgimento e disseminação de técnicas de Design Computacional, que aumentam exponencialmente o potencial criativo a partir da viabilização de designs e geometrias de alta complexidade. Como ponto de partida, a pesquisa investiga o panorama do Design Computacional, seus conceitos, subtemas e sua ampla relação com a Manufatura aditiva.

3.1 DESIGN COMPUTACIONAL E A SUA AMPLA RELAÇÃO COM A MANUFATURA ADITIVA

Sistemas computacionais cada vez mais tornam-se presentes na nossa sociedade. Seja em atividades do dia a dia ou na execução de tarefas complexas, a difusão dessa variável encontra-se amplamente entrelaçada na vida contemporânea. No Design, a adesão de sistemas para auxiliar na resolução de problemas é também parte desse contexto, aumentando as alternativas criativas disponíveis.

Nesse cenário, novos termos, classificações e nomenclaturas, ao surgirem, são adotados e reproduzidos pela comunidade. Toma-se como exemplo os termos Design Digital (*Digital Design*) e Design Computacional (*Computational Design*), ou outros como Design Paramétrico (*Parametric Design*), Design Generativo (*Generative Design*) e Design Algorítmico (*Algorithmic Design*).

Dada a dinamicidade do campo, por sua natureza técnica, inovações, iterações e descobertas surgem a cada dia tornando a produção da literatura relacionada cada vez mais intensa e proeminente. No entanto, o próprio campo, também por ser recente, algumas vezes utiliza termos de forma ambígua, gerando algumas dificuldades de identificação e debate (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2020).

Diante de tal contexto, elencou-se o artigo “*Computational design in Architecture: Defining parametric, generative and algorithmic Design*” (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2020) como referência e ponto de partida para as definições aqui abordadas. A publicação traz ao debate a necessidade de uma visão taxonômica integradora, que foi proposta a partir de uma revisão extensa da literatura.

No artigo em questão, os autores iniciam definindo e diferenciando os conceitos de Design Digital (DD) e Design Computacional (DC). O Design Digital, como proposto, é considerado como o “uso de ferramentas computacionais no processo de design”, enquanto o Design Computacional “incorpora o uso de sistemas computacionais no desenvolvimento dos designs”. Diante das classificações, percebe-se que a principal diferença está no papel que a ferramenta possui e na sua capacidade de desenvolver soluções junto ao designer.

Nessa abordagem, enquanto no Digital (DD) o sistema é uma ferramenta de criação do design, no Computacional (DC) o sistema cria junto com ele, atuando como gerador de soluções. Vale ressaltar que não há uma limitação rígida, mas um paralelo entre as duas definições, podendo haver sobreposições e camadas dos dois conceitos dentro de uma mesma solução, como pode ser percebido no trabalho Sagrada Família (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2020, apud BURRY; GAUDÍ, 1993).

Como escopo de pesquisa científica, o termo *Computational Design*, começa a aparecer como tópico ou *keyword* na literatura no fim da década de 1990, quando passa a fortalecer-se como campo com suas conferências e *journals* em amplo exercício. Apesar disso, é possível identificar indícios a partir da década de 1960, com a influência do pensamento modernista e de explorações tecnológicas, que tiveram papel importante ao influenciar outros campos como o da Inteligência Artificial, Cibernética e Matemática (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2020).

As aplicações do Design Computacional surgem inicialmente estruturadas para dar suporte de automação a esboços de projetos arquitetônicos, no entanto, com o passar dos anos, integraram-se outras técnicas computacionais aumentando a capacidade a partir de modelos de simulações, otimização evolucionária e algorítmica, o que amplia consideravelmente seus desmembramentos. Os autores caracterizam o Design Computacional a partir de quatro premissas:

1. a automatização dos processos de design;
2. a existência de um ambiente de gestão eficiente de um alto volume de informações de modo simultâneo;
3. a capacidade de incorporação de mudanças com flexibilidade;
4. a existência de processos de suporte que permitam a descoberta de formas a partir de modelos com *feedback* automatizado.

Como mudança de paradigma, o Design Computacional marca uma transformação na forma de pensar o Design, alcançando destaque considerável na literatura na última década, o que gerou o surgimento de termos como Design Paramétrico, Design Generativo e Design Algorítmico. Toma-se como base comparativa a classificação proposta para o termo Design Generativo, bem como a sua diferenciação e correlação com os demais conceitos.

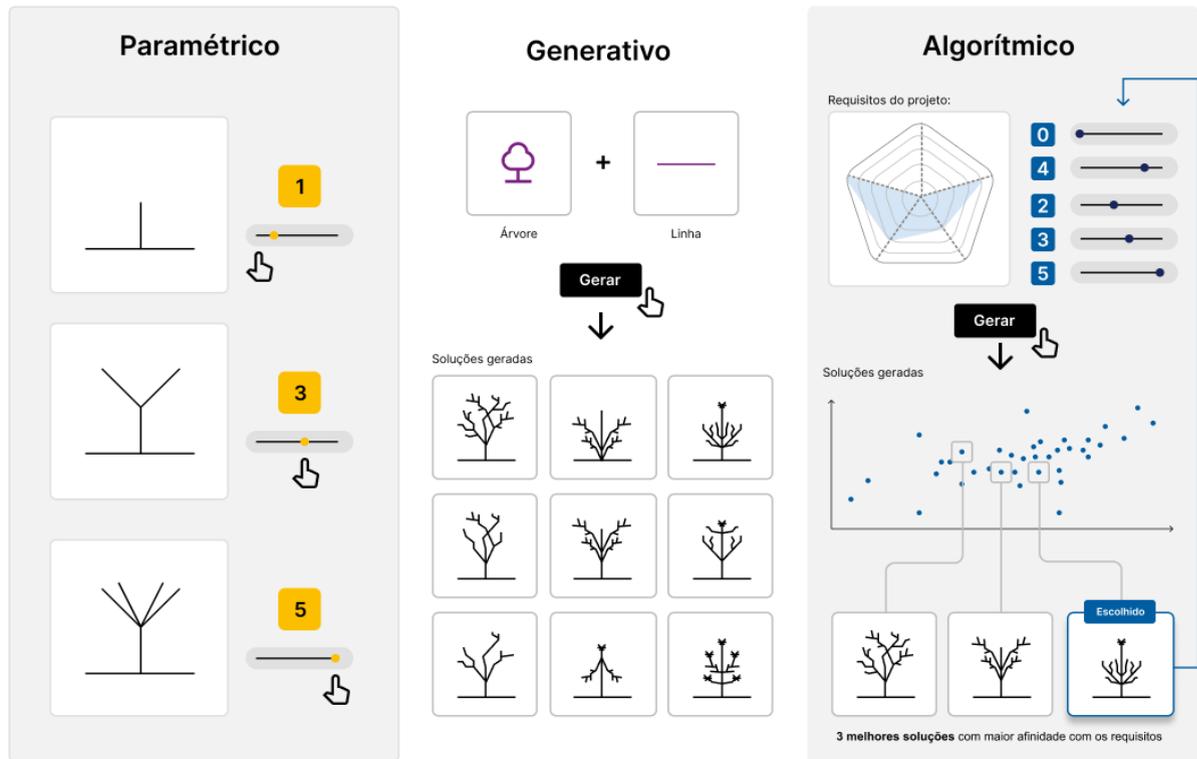
CAETANO; SANTOS; LEITÃO (2020) levantam a classificação do dicionário *Cambridge* para o termo “generativo” (*generative*), como a “capacidade de produzir ou criar algo” e afirma que nas abordagens de Design Generativo, uma vez iniciado o processo, o sistema atua na execução das instruções configuradas até que os critérios estejam resolvidos, portanto nesse campo, é comum que resultados complexos surjam a partir de simples algoritmos.

Os PGDS¹ (*Performance-Based Generative Design Systems*) ou sistemas de design generativo orientados à performance, são exemplos claros, pois demonstram que uma vez que há a configuração dos objetivos de performance, o algoritmo encontra as soluções de design que melhor se aproximam do resultado desejado,

¹ AudiOptimization (Monks et al.,2000), EifForm (Shea, 2000) e Paragen (von Buelow, 2012) são exemplos.

portanto, é característico do Design Generativo essa “não rastreabilidade” entre o que foi configurado e os designs gerados, como pode ser visualizado na figura 2.

Figura 2: Esquema ilustrativo de Design Paramétrico, Generativo e Algorítmico



Fonte: elaborado pelo autor (2022) com base na proposta de CAETANO; SANTOS; LEITÃO (2020).

Pode-se estabelecer um paralelo entre Design Generativo e Design Paramétrico, quando entende-se que “o Design Generativo é um paradigma do design que emprega algoritmos que são mais autônomos do que no Design Paramétrico” (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2020). Os autores classificam então o Design Paramétrico como uma abordagem que descreve simbolicamente um design a partir do uso de parâmetros, ou seja, um fator numérico ou mensurável que estabelece condições para uma dada operação em um dado sistema.

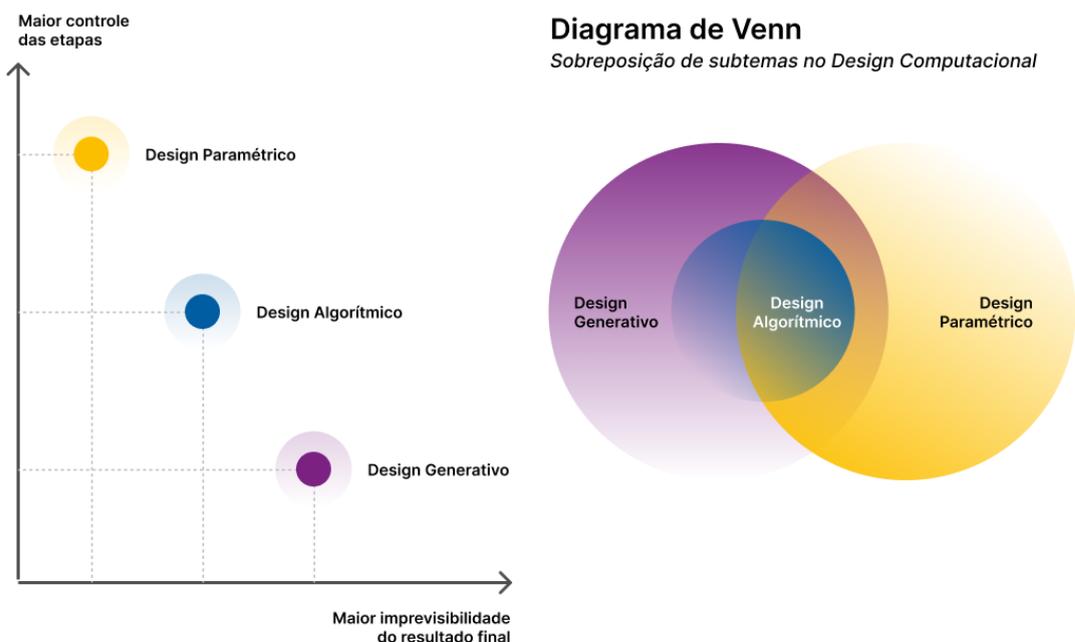
Toma-se como exemplo a ilustração proposta na figura 2 Enquanto no Paramétrico o designer pode adicionar novos eixos a uma linha, modificando seus parâmetros até formar a figura de uma árvore, por exemplo, no Generativo, inúmeras árvores “imprevisíveis” seriam construídas de forma automatizada pelo sistema generativo, que agiria com mais autonomia até satisfazer as configurações.

Já no caso do Design Algorítmico, o que acontece é uma intersecção de abordagens de Design Generativo e Design Paramétrico, o que permite que o designer consiga, a partir de parâmetros configurados, criar em conjunto com o sistema computacional e rastrear as soluções mais eficazes, gerando novas alternativas em um ciclo que pode se repetir continuamente.

Por ser mais específico e possuir uma curva de aprendizado maior, o tema é menos abordado que os dois primeiros, no entanto, na perspectiva de CAETANO; SANTOS; LEITÃO (2020) o Design Algorítmico, por valer-se de algoritmos, pode ser considerado também Generativo, porém com uma diferença essencial: há uma maior rastreabilidade e identificação das partes do algoritmo que foram responsáveis pelo resultado final. Os resultados neste caso não são tão imprevisíveis como os do Design Generativo.

A inter-relação entre os três temas distintos, bem como a demonstração figurativa por controle e previsibilidade dos resultados finais pode ser visualizada na figura 3, a seguir.

Figura 3: Esquema ilustrativo do nível de controle das etapas e sobreposição de subtemas no Design Computacional



Fonte: adaptado de CAETANO; SANTOS; LEITÃO (2020).

Investiga-se, deste modo, a relação do Design Computacional com a Manufatura Aditiva, em especial como os avanços dos dois campos apresentam cenários potenciais de transformação não só da forma como fazemos e pensamos o Design, mas como mudanças estruturais importantes podem afetar os modelos de manufatura existentes.

Desenvolvida como um método alternativo de produção, a Manufatura Aditiva, popularmente conhecida como Impressão 3D, vem se estabelecendo há décadas, em especial pela sua capacidade de viabilizar formas geométricas complexas (LEUNG et al., 2019), antes inviáveis por métodos tradicionais, especialmente em curtos períodos de tempo (figura 6).

Conhecida como um “processo de unificação de materiais para construir objetos a partir de modelos de dados tridimensionais, normalmente camada a camada (figura 4), em oposição a metodologias de Manufatura Subtrativa (ASTM INTERNATIONAL, 2012), a Manufatura Aditiva apresenta desafios como: dificuldade na criação de representações (digitais) de alta acurácia bem como o seu armazenamento e modificação, capacidade computacional ineficiente e número baixo de alternativas orientadas aos usuários (*user friendly*) (LEUNG et al., 2019).

Em avanço crescente, como descrito por LEUNG et al. (2019), o número de materiais e novos processos têm expandido continuamente as possibilidades, não limitando mais os produtos a terem um só material, uma só escala ou uma só função, sendo também encontradas aplicações em que há a combinação de aspectos térmicos, ópticos, acústicos ou elétricos, por exemplo.

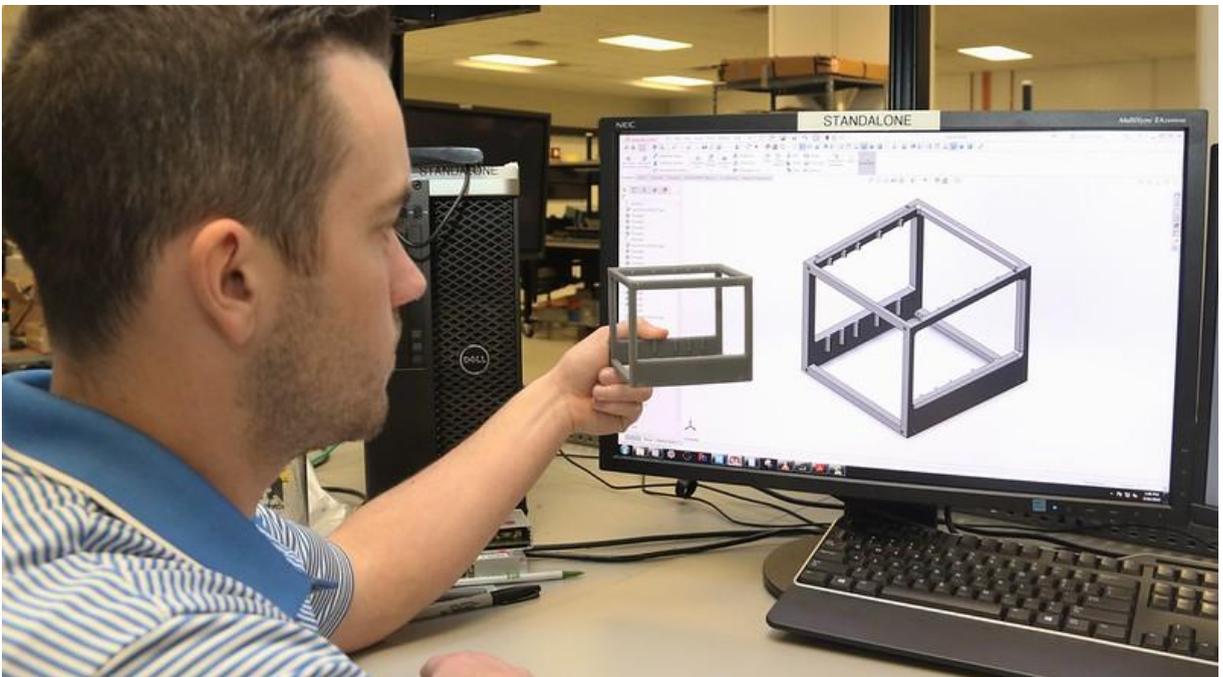
Apesar da maior liberdade, soluções de design “além da geometria”, como no caso de tecidos biológicos (figura 7), são cada vez mais demandadas, sendo poucas as alternativas de sistemas computacionais capazes de desenvolver designs de alta complexidade, o que leva a inviabilização técnica de produção de algumas dessas soluções.

Figura 4 - Peça de vidro desenvolvida com técnica de manufatura aditiva



Fonte: OXMAN (2015)²

Figura 5 - Demonstração de modelo virtual desenvolvido por software de Design Computacional e protótipo físico para Manufatura Aditiva

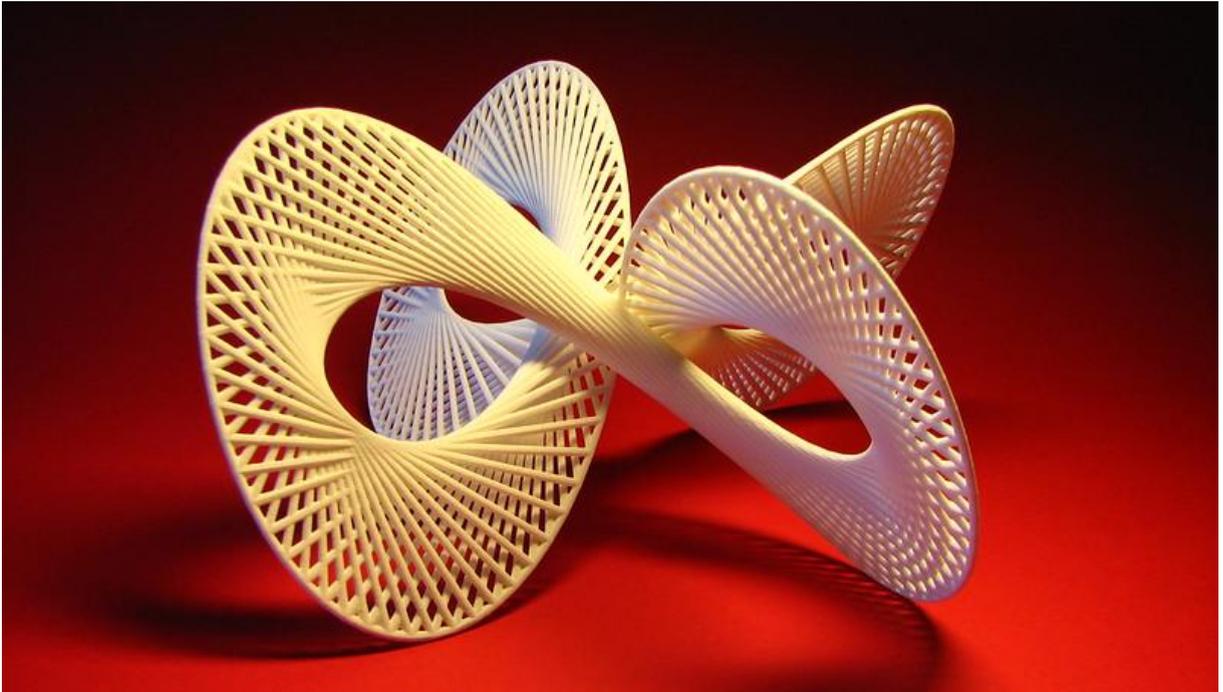


Fonte: C5ISR CENTER³ (2019)

² Imagem licenciada sob CC BY-SA 4.0 - Disponível em <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=57337328>> Último acesso em 27/09/2022.

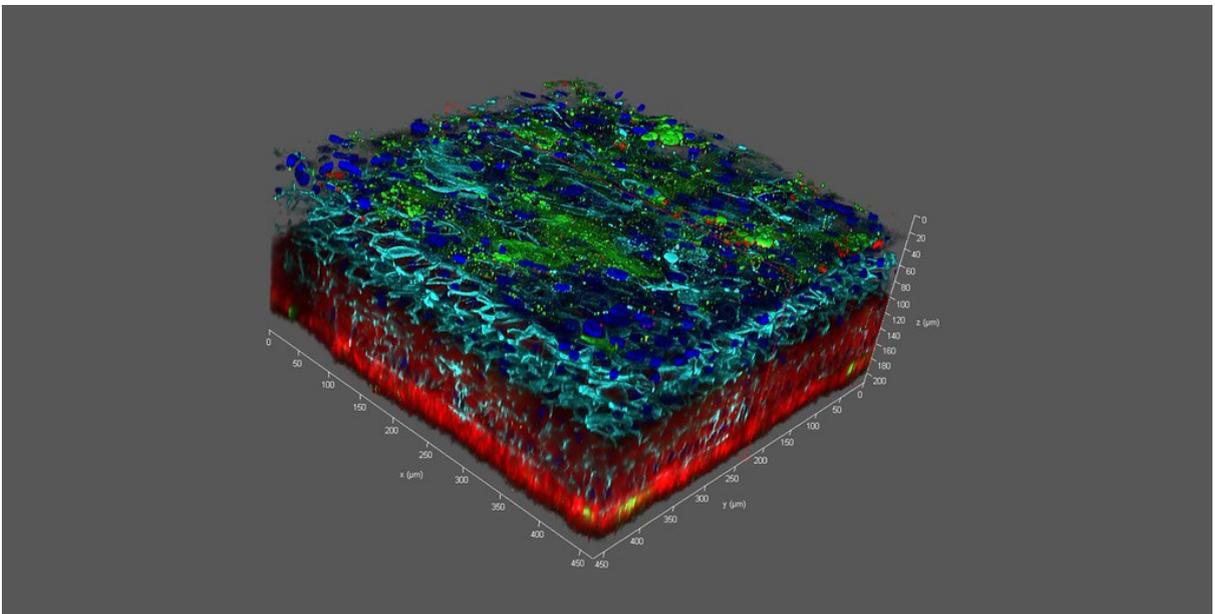
³ Imagem licenciada sob CC BY 2.0 - Disponível em <<https://www.flickr.com/photos/47119026@N07/48490013266>> Último acesso em 27/09/2022.

Figura 6 - Quadrifolium - peça de geometria complexa desenvolvida a partir de impressão 3D.



Fonte: FDCOMITE⁴ (2012)

Figura 7 - Modelo virtual tridimensional de tecido de pele bio impresso.



Fonte: NIH-NCATS⁵, (2018)

⁴ Imagem licenciada sob CC BY 2.0 - Disponível em:
<<https://www.flickr.com/photos/21649179@N00/8215690357>> Último acesso em 27/09/2022.

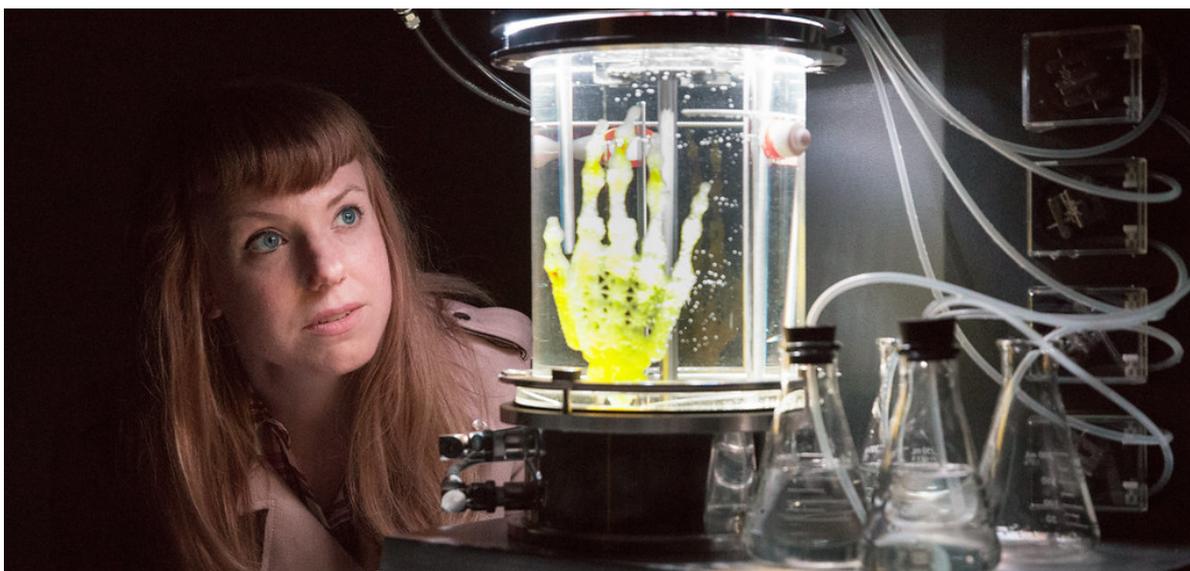
⁵ Imagem licenciada sob "Public Domain Mark 1.0" - Disponível em:
<<https://www.flickr.com/photos/64860478@N05/28746740398>> Último acesso em 27/09/2022.

Paralelamente a isso, LEUNG et al. (2019) identifica que os processos criativos atuais são predominantemente iterativos (tentativa e erro), muito devido a uma lacuna existente entre o projeto e os resultados das fabricações. Nesses casos, a interferência humana, para o autor, é um fator considerado como o grande responsável por tais discrepâncias, sendo necessárias automações responsáveis por garantir que os parâmetros de processo ou restrições do projeto ocorram segundo as melhores configurações possíveis, e isso só é possível por meio de dados.

LEUNG et al. (2019) ainda reforça que o gerenciamento e interpretação de dados é tarefa chave, com destaque para diferentes informações sobre materiais, que devem ser organizados em bibliotecas virtuais compartilhadas e de aprendizado contínuo, em que cada uso ou fabricação retroalimenta a inteligência de dados da biblioteca, favorecendo produções de acurácia crescente.

Infere-se, pela visão dos múltiplos autores, que há uma interdependência clara entre os avanços do Design Computacional e da Manufatura Aditiva, sendo os avanços do primeiro, essenciais para a viabilização de construtos e configurações necessárias ao segundo e vice e versa.

Figura 8 - Modelo de mão regenerativa desenvolvida a partir de métodos de bioimpressão.



Fonte: ARS ELECTRONICA⁶ (2017).

⁶ Imagem licenciada sob CC BY-NC-ND 2.0 - Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/36085842@N06/36995027462> > Último acesso em 27/09/2022

Em um cenário em que o Design Computacional resolve os desafios apresentados, o que aparenta ser bem plausível e provável, há portanto uma expectativa crescente da Manufatura Aditiva, o que gera também a reflexão a respeito de possíveis impactos socioambientais, em especial para as dinâmicas relacionadas à Economia Circular.

Pela possibilidade também de uso de materiais diversos, de origem biológica, por exemplo (figura 8), mas também pelo fato de ainda muitas soluções utilizarem filamentos de origem polimérica (plásticos), vivemos um ponto de virada em que as ações tomadas hoje podem revelar futuros muito distintos, em que uma visão mais descentralizada da cadeia de manufatura possa aumentar consideravelmente os índices de reciclabilidade de materiais ou, de modo oposto, acelerar muito a poluição e impactos já vividos hoje. Investiga-se, portanto, na próxima seção as expectativas de um desenvolvimento sustentável no âmbito da Manufatura Aditiva.

3.2 EXPECTATIVAS DE UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO ÂMBITO DA MANUFATURA ADITIVA

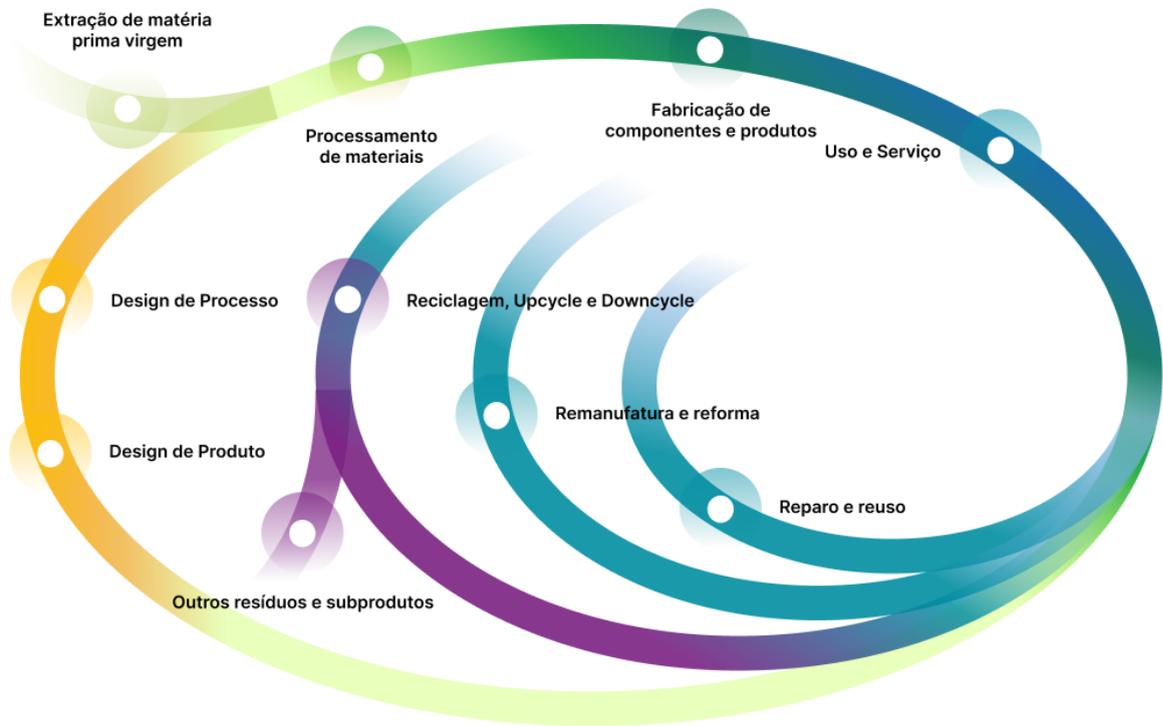
O debate acerca dos benefícios e desafios no desenvolvimento de técnicas de design, modelagem e impressão 3D é pauta também no âmbito da Economia Circular (EC). Conceito desenvolvido a partir de uma visão de eficiência de recursos, a EC busca eliminar a ideia de desperdício existente no modelo linear de tomar-fazer-descartar, viabilizando a fluidez a partir de biociclos (biomassa) ou tecno ciclos (materiais inorgânicos) (DESPEISSE et al., 2017).

Mobilizações de empresas e organizações, como a resolução da ONU⁷, assinada por 175 Estados-membros em março de 2022, pode apresentar um novo impulso em direção à Economia Circular ao prever o ciclo de vida completo do plástico, da produção ao descarte. A resolução coloca em pauta a importância do design circular de produtos e materiais, a sua reutilização, manufatura ou reciclagem, permitindo que sejam retidos na economia pelo maior tempo possível. O ciclo pode ser visualizado na figura 9, que segue.

⁷ Disponível em: <

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/38522/k2200647_-_unep-ea-5-l-23-rev-1_-_a_dvance.pdf?sequence=1&isAllowed=y > Acesso em 06/08/2022

Figura 9 - O ciclo de vida de produtos e de materiais na perspectiva da Economia Circular.



Fonte: adaptado de DESPEISSE et al. (2017).

DESPEISSE (2017) reforça que é amplamente reconhecida a visão de que a impressão 3D oferece vantagens significativas em termos de liberdades de design, customização em massa, cocriação e inovação, sendo um ponto forte a sua natureza aditiva, em que o material é adicionado apenas se necessário, o que não acontece em métodos subtrativos, que geram maior desperdício de materiais.

Nesse cenário, o avanço da Manufatura Aditiva pode afetar a distribuição da cadeia produtiva, tornando-a mais descentralizada, o que pode abrir benefícios potenciais para a sustentabilidade (GEBLER; SCHOOT UITERKAMP; VISSER, 2014). No entanto, ainda não são claras as implicações dessas reconfigurações da cadeia de valor, sendo ainda incerto se elas realmente podem permitir um uso mais circular dos recursos (DESPEISSE et al., 2017), ou podem ainda aumentar significativamente o desperdício e descarte indevido de resíduos. Torna-se necessária a criação e identificação de ações antes que algumas atividades amadureçam, dificultando o avanço sustentável do setor.

Segundo levantamento realizado pela ABRELPE (2020) - Associação de Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, no ano de 2019, das 79.069.575 toneladas de resíduos sólidos urbanos geradas (RSU), 13,35 milhões de toneladas eram somente de resíduos de origem plástica (16,8%). No relatório do ano seguinte, referente ao ano de 2020 (ABRELPE, 2021, p. 22), a associação ainda reforça que aproximadamente 30.277.390 de toneladas (39,8%) de materiais potencialmente recicláveis foram descartadas de forma indevida, ou seja, foram despejados na natureza.

Como citado por Bruno Igel, CEO da *Wise Plásticos*, em reportagem para o portal RESET⁸, o maior volume do material de embalagens flexíveis no Brasil é recolhido por catadores e catadoras, no entanto, vão parar majoritariamente em aterros, por falta de uma infraestrutura para aplicações nobres do resíduo. O gestor ainda ressalta que, apesar da demanda pela matéria prima mais nobre (resina reciclada) ter aumentado em taxas crescentes, com mais empresas comprometidas com a Economia Circular, a infraestrutura para a transformação do material recuperado em matéria prima reciclada ainda é um gargalo importante no mercado.

Enquanto os plásticos ainda são reciclados a taxas baixas em instalações de reciclagem, uma cadeia de reciclagem mais distribuída, inclusive para a produção de filamentos para manufatura aditiva, poderia ajudar a aumentar essa taxa a um menor custo econômico e ambiental. Porém, essa não é uma realidade no cenário atual, que apresenta desafios de viabilidade, qualidade e reciclabilidade de matérias primas na impressão 3D.

PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN (2019) apontam que para a viabilidade de uma cadeia distribuída de reciclagem para impressão 3D, avanços no uso adequado de materiais, na modelagem correta do design, na diminuição de impressões excessivas de protótipos e do reuso de sobras de filamentos são temas que demandam atenção. Os autores ainda levantam 22 barreiras para uma cadeia distribuída de materiais recicláveis na impressão 3D, traduzidas e listadas abaixo.

- 1. Sensibilidade alta das tecnologias FFF (*Fused Filament Fabrication*) ao diâmetro dos filamentos** - Essas tecnologias são

⁸ Disponível em: <

<https://www.capitalreset.com/a-empresa-por-tras-das-embalagens-recicladas-de-unilever-e-natura/> >

muito dependentes da espessura do filamento utilizado. Filamentos reciclados disponíveis hoje tendem a causar perda na qualidade final dos produtos impressos e travamento da máquina;

2. **Resistências ao uso de filamentos reciclados** - Hoje há uma tendência da comunidade evitar filamentos reciclados pela inconsistência do diâmetro, preços altos, percepção de qualidade final, incerteza sobre a consistência das propriedades mecânicas e preferência pelo uso do filamento virgem;
3. **Foco maior nas funcionalidades de impressão 3D** - Os autores apontam que pelo tema ser novo, há um enfoque maior no desenvolvimento de novas tecnologias e soluções em detrimento de estudos e alternativas viáveis para a reciclagem;
4. **Contaminação externa** - graxa, sujeira e água se ligam ao plástico após o toque, que contaminam a matéria prima, influenciando negativamente as propriedades mecânicas (resistência à tração, fragilidade e elasticidade);
5. **Variedade de tipos de termoplásticos com diferentes propriedades** - A separação dos resíduos fica mais difícil pelo fato de que cada tipo diferente de termoplástico possui composições químicas diferentes. Um mesmo termoplástico também pode ter variações na sua composição por tipo de fornecedor ou aditivos utilizados;
6. **Capacidade limitada das extrusoras de filamento domésticas** - as extrusoras de filamento domésticas disponíveis possuem capacidades limitadas com relação aos resíduos plásticos. São hoje predominantemente projetadas para reciclar a partir de *pellets*⁹.
7. **Diminuição da qualidade e necessidade de adição de material virgem** - O aquecimento ou a contaminação podem quebrar as cadeias poliméricas, afetando as propriedades mecânicas e o diâmetro

⁹ Pequenos grânulos de resinas plásticas usados na indústria para produzir diferentes tipos de plásticos.

dos filamentos de impressão 3D. A mistura de diferentes termoplásticos também afeta a qualidade, o que demanda que seja necessário adicionar matéria prima virgem para melhorar a qualidade dos filamentos reciclados;

- 8. Extrusoras domésticas e industriais ainda apresentam problemas de fase inicial (“*start-ups*”)** - Filamentos extrudados ainda estão abaixo dos padrões de qualidade pelo fato das zonas de aquecimento serem instáveis ou por fatores ambientais externos (vento frio pela janela, por exemplo);
- 9. Sensibilidade e complexidade do processo de extrusão** - A temperatura da máquina e o resfriamento devem ser ideais, para que não afetem a qualidade final. Isso requer uma configuração complexa do maquinário;
- 10. Resíduos plásticos são armazenados de forma heterogênea** - *Makerspaces* e entidades de impressão 3D locais não conhecem os tipos exatos de resíduos, que muitas vezes são coletados de forma misturada, o que dificulta a separação;
- 11. Custo alto dos filamentos reciclados** - Filamentos reciclados possuem custo maior do que os filamentos virgens;
- 12. Incerteza a respeito do retorno sobre o investimento** - Custos altos e incerteza sobre a qualidade dos filamentos trazem insegurança nos cálculos de retorno sobre o investimento;
- 13. Alta qualidade demandada pelos consumidores** - Expectativas pelo aumento da qualidade final e diminuição de custos são fatores sensíveis aos consumidores. Há um entendimento de que hoje os filamentos reciclados geram uma menor qualidade final;
- 14. Economia linear e sociedade de consumo** - A atual economia linear incentiva as matérias-primas obtidas pela exploração de recursos naturais escassos. A sociedade está acostumada a consumir dentro de um sistema linear e não vê muito valor no resíduo pós consumo. O

foco no curto prazo rejeita (como muito caras) iniciativas de economia circular que seriam benéficas a longo prazo;

15. Falta de conhecimento (nicho dentro de um nicho) - A impressão 3D ainda é um nicho e, portanto, há pouca consciência. A reciclagem dentro da impressão 3D é portanto um nicho dentro de um nicho;

16. Mentalidade sustentável - Demanda por tomadores de decisão com mentalidade sustentável para estabelecer a reciclagem local de resíduos oriundos da impressão 3D. Pelo fato do investimento na reciclagem de polímeros de baixo custo ainda não ser financeiramente atrativo, existem barreiras de adesão;

17. Falta de recursos - *Makerspaces* e organizações relacionadas carecem de recursos em termos de tempo, espaço, funcionários e dinheiro para organizar a reciclagem local de resíduos;

18. Padronização do processo de reciclagem - Os polos de coleta e reciclagem (em diversas regiões) devem funcionar de acordo com procedimentos padronizados para garantir qualidade e eficiência;

19. Investimento em tempo e espaço - Existe a necessidade de pré-processar e separar os resíduos heterogêneos dos homogêneos, depois limpar, secar, triturar e possivelmente extrudar, para refazer a trituração para uma mistura suficiente. Somente depois de fazer essas preparações, que consomem tempo e espaço, o filamento reciclado extrudado pode ser produzido;

20. Potencial dificuldade em cumprir os regulamentos de segurança e saúde - Gases oriundos dos processos de reciclagem podem ser tóxicos e é difícil atender aos regulamentos e padrões de segurança em níveis locais (alcançar padrões de limpeza requeridos em processos industriais). Equipamentos de extrusão, especialmente máquinas industriais, trazem riscos de segurança e requerem regulamentação. Há ainda falta de regulamentação específica para a reciclagem de resíduos de impressão 3D;

21. Segredos comerciais, direitos autorais e patentes - Extrusoras patenteadas não podem ser desenvolvidas pela comunidade de código aberto e distribuídas a preços mais baixos. Os segredos comerciais dos produtores de filamentos podem dificultar a inovação;

22. Falta de categorias de polímeros termoplásticos especificadas - A falta de categorias especificadas de polímeros termoplásticos torna difícil identificar suas propriedades exatas, devido aos muitos tipos diferentes. Nenhum regulamento ou padrão organiza o grande número de polímeros que entram e já estão no mercado. Como resultado, há um crescimento descontrolado em polímeros de impressão 3D.

Dentre as 22 barreiras apresentadas por PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN (2019), é claro que aspectos de viabilidade técnica, econômica e de consciência da comunidade ainda são críticos e demandam uma jornada longa de desenvolvimento, que ainda dá os primeiros passos em contraponto com o avanço acelerado do setor.

Por outro lado, conforme proposto por DESPEISSE et al. (2017), o ecossistema de pesquisa, desenvolvimento e inovação pode beneficiar-se de uma agenda de pesquisa implementada a partir de seis pilares que podem mobilizar um futuro em prol de um contexto mais circular na impressão 3D. São eles:

1) **produto, serviço e sistema de design** - Investigação de características dos processos e produtos de impressão 3D que viabilizam aspectos da economia circular como reuso, modularidade, atualização (*upgrade*), reforma e remanufatura, bem como a preocupação em capacitar designers em princípios de Economia Circular, para que tais conceitos sejam implementados também na fase de design;

2) **materiais e rede de suprimentos** - mapeamento de impactos econômicos, sociais e de sustentabilidade das cadeias de suprimentos, investigação de como as tecnologias de menor escala podem contribuir para cadeias de suprimentos locais (distribuídas) e se há um aumento pelo interesse em dados relevantes à medida que a cadeia de suprimentos local passa a demandar mais matéria prima;

3) estruturas de informações e fluxos - o estudo dos tipos de dados e informações necessárias para a gestão de uma economia circular de impressão 3D e do favorecimento de padrões mais eficazes de consumo;

4) empreendedorismo - a identificação de como os empreendedores têm desenvolvido soluções que viabilizam oportunidades e quais barreiras e desafios para tal;

5) transformações nos modelos de negócios - como as organizações agregam valor na utilização de métodos e técnicas de impressão 3D na implementação de conceitos de economia circular e como o uso de dinâmicas de reparo e remanufatura podem abrir portas para modelos de negócio baseados em serviço;

6) educação e desenvolvimento educacional - unificação de habilidades, força de trabalho e indústria para uma transição em prol de uma Economia circular e formação de designers e engenheiros a respeito dos benefícios e aplicações;

Entende-se que dentro da proposta de seis frentes de pesquisa de DESPEISSE et al. (2017), para fins de otimização dos esforços da comunidade, é possível entender que linhas de pesquisa como a de “estruturas de informação e fluxos”, por exemplo, são essenciais a todas as demais, em especial, pelo fato de viabilizarem que a comunidade tenha recursos estratégicos baseados em dados para mapear cenários e projetar movimentos de curto, médio e longo prazo.

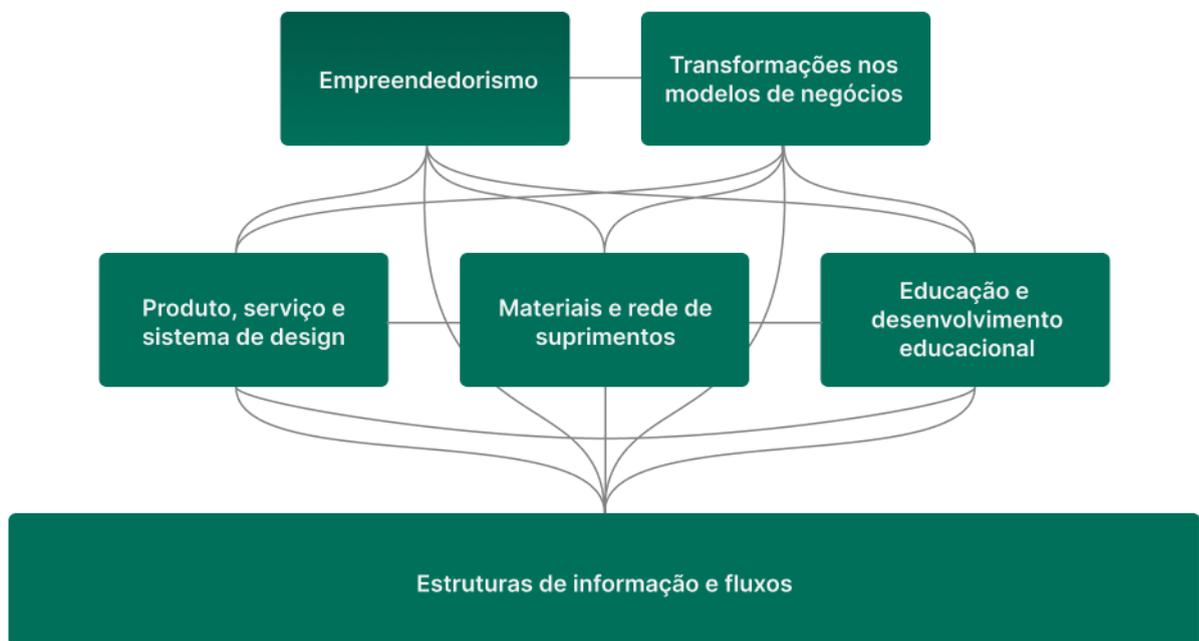
É possível também depreender que a frente “produto, serviço e sistema de design”, em conjunto com “materiais e rede de suprimentos” e “educação e desenvolvimento educacional” são eixos estruturantes indispensáveis ao desenvolvimento sustentável do setor, pelo fato de que, na ausência de cada uma dessas frentes, o desenvolvimento tende a acontecer de modo incompleto, ou, com outras palavras, distante do cenário desejável.

Ou seja, se não há um olhar orientado às práticas de design alinhadas à Economia Circular desde as fases iniciais, ou se não há uma abordagem que considere impactos econômicos e que não garanta a formação de profissionais

capacitados para as próximas gerações, é possível que nenhuma das demais frentes alcance o seu potencial esperado.

Por fim, as frentes “empreendedorismo” e “transformações nos modelos de negócios” podem ser compreendidas como amplamente dependentes das demais, como desmembramentos da combinação e da eficácia dessas interconexões. Sendo assim, propõe-se um *framework* visual e interativo que organiza as frentes de pesquisa e inovação propostas por DESPEISSE et al. (2017), em uma relação de blocos e interdependências, como descrito na figura 10, disponível abaixo.

Figura 10 - *Framework* de blocos e interdependências das frentes de pesquisa, desenvolvimento e inovação para um futuro sustentável na manufatura aditiva



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017)

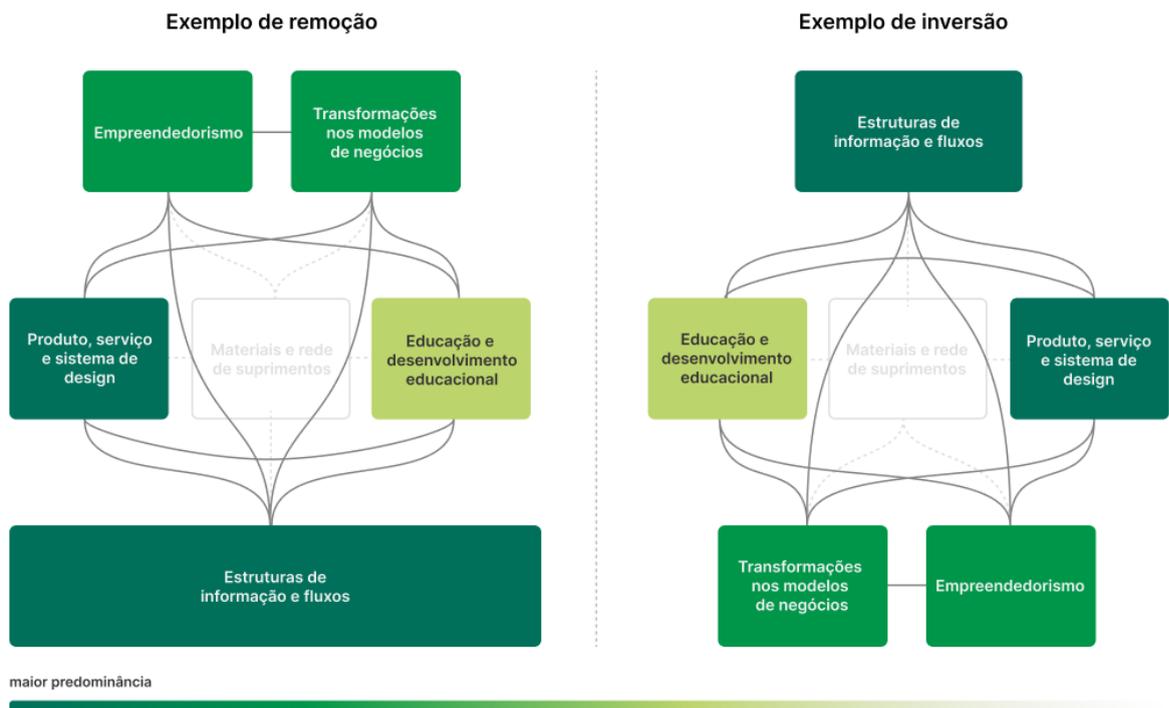
A proposta do *framework*, não surge como frente de engessamento ou de hierarquização determinista entre as áreas, mas como uma visão projetada de uma estrutura desejável¹⁰, em que cada frente é essencial em termo de suporte e interdependência para a viabilização das demais. Vale reforçar que o tamanho atribuído ao campo “estrutura de informação e fluxos” deu-se pelo entendimento de que realmente esse tema pode ter uma abrangência maior pela sua aplicação e

¹⁰ A visão desejável aqui apresentada representa a visão do autor da presente pesquisa, sendo um primeiro passo para discussões e redesign das inter relações.

relevância direta com todas as demais, sendo entendido como essencial em termos estratégicos, em especial no contexto da contemporaneidade, em que a aceleração técnica e de informação são fatores críticos.

A inversão das ordens dos blocos ou até mesmo a sua remoção, pode funcionar como exercício de projeção de cenários, ampliando as possibilidades de debates guiados por contextos imaginados a partir da utilização interativa do *framework*. É possível visualizar exemplos de remoção ou inversão na figura 11, que segue, além de variações de intensidade a partir de cores mais escuras (mais proeminentes e próximas cenário desejável) e cores mais claras (menos proeminentes).

Figura 11 - *Framework* de blocos e interdependências das frentes de pesquisa, desenvolvimento e inovação para um futuro sustentável na manufatura aditiva - Exemplos de remoção e inversão.



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017)

De modo complementar, cada um dos 22 desafios elencados por PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN (2019) podem ser debatidos a partir da mobilização dos blocos do *framework*, que poderá ser rearranjado com enfoque no bloco de maior afinidade com o desafio, permitindo assim o levantamento colaborativo de alternativas de viabilização do enfrentamento dessas barreiras. Mais adiante, na fase três da

metodologia, o *framework* será utilizado como ferramenta para o design de cenários futuros imaginados.

Diante deste modelo e do apanhado teórico apresentado, a presente pesquisa tem articulado intersecções entre os campos de interesse, relacionando conceitualmente os autores e definições de cada tema. A seguir, toma-se como base a perspectiva da Prospecção Tecnológica, abordagem teórica responsável por proporcionar recursos técnicos de investigação e análise sistemática, em especial na análise e desenvolvimento de cenários possíveis.

3.3 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E ESTUDOS DE FUTURO

Apresentado o contexto das mudanças no Design Computacional e Manufatura Aditiva, bem como seu potencial impacto na Economia Circular, utilizou-se como referencial teórico a perspectiva abordada no campo da Prospecção Tecnológica, em especial os Estudos Prospectivos como fonte de apoio e monitoramento do contexto que se apresenta.

Disciplina que oferece compreensão sobre ambientes cercados por incertezas, tal abordagem, possibilitou uma visão sistêmica do ambiente, visualização de tendências e interconexões de relevância, o que gera a identificação de novas oportunidades, mas também desafios no Design Computacional.

A importância da disciplina “estudos prospectivos” torna-se cada vez maior em um contexto de crescente incerteza e complexidade, vividos hoje pela nossa sociedade. Descrita por GODET (2006) a partir de três pilares: antecipação (pensamento prospectivo), ação (estratégia) e apropriação (mobilização coletiva), as questões do presente encontram no futuro possibilidades de modelagem e transformação da realidade.

Nesse contexto, monitorar sistematicamente o ambiente através da observação de eventos e relações auxilia na identificação de mudanças, que interpretadas como sinais, nos ajudam a captar movimentos e projetar futuros (MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY, 2015).

É nesse contexto, que o observador posicionado no presente, a partir de sua visão de mundo, se abre para as possibilidades de futuro segundo suas próprias lentes, vivências e relações, o que gera múltiplas visões (MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY, 2015). Os autores ainda reforçam que o presente é o momento em que o ator concebe suas possibilidades com relação ao futuro, que se abrem sob um cone de alternativas múltiplas e incertas.

Desejáveis, indesejáveis, realizáveis ou irrealizáveis, o Cone de Incertezas em seu modelo adaptado por por MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY (2015), nos permite projetar alternativas concebíveis, atribuindo estratégias diferenciadas para cada cenário. Na tabela 1, que segue, é possível identificar o que os cenários previstos.

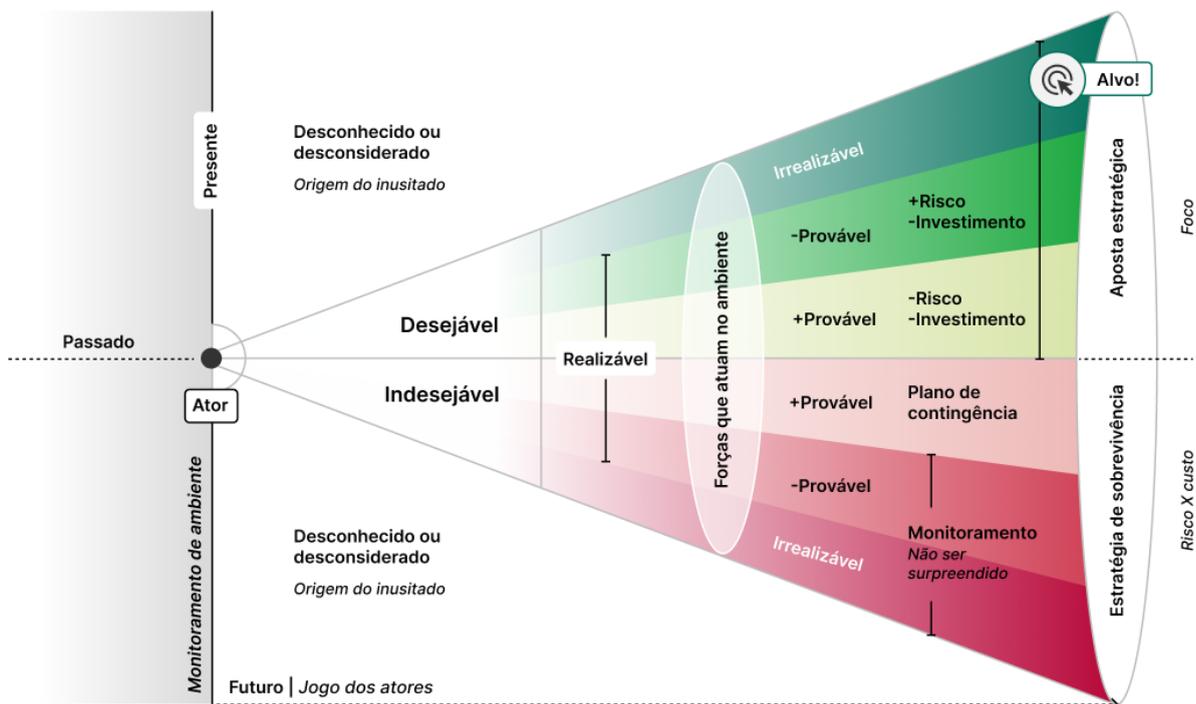
Tabela 1 - Classificação de cenários relacionados ao cone de incertezas

Cenário	Natureza	Probabilidade	Estratégia
Realizável	Desejável	Baixa probabilidade de ocorrência	Demanda grandes investimentos e apresenta alto risco para o ator
	<i>Aqui normalmente se encontra o cenário alvo, aquele o qual o ator quer construir</i>	Alta probabilidade de ocorrência	Demandam menores investimentos e apresentam menor risco para o ator
		Indesejável	Baixa probabilidade de ocorrência
	<i>O indesejável enseja estratégias de sobrevivência. A análise é de risco versus custo.</i>	Alta probabilidade de ocorrência	Demanda planos de contingência
Irrealizável	Desejável	Menor probabilidade de ocorrência	Aposta estratégica baseada no pensamento crítico e inovação para transformar o que a princípio era irrealizável em realizável. Risco invariavelmente elevado
	Indesejável	Menor probabilidade de ocorrência	Monitoramento para que o ator não seja surpreendido. Podem causar rupturas e quebras de paradigma que colocam em risco a própria sobrevivência do ator.

Fonte: MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY (2015)

Dentre as alternativas concebíveis, os autores consideram que as dimensões de futuro desejáveis estabelecem-se em cenários-alvo e estratégias de sobrevivência, a partir de uma relação de custo e risco. No entanto, reforçam que o futuro não se delimita ao cone, mas por toda a sua envoltória que engloba o desconhecido e o desconsiderado, também particulares a cada ator (MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY, 2015).

Figura 12 - Cone de futuro: alternativas concebíveis por ator



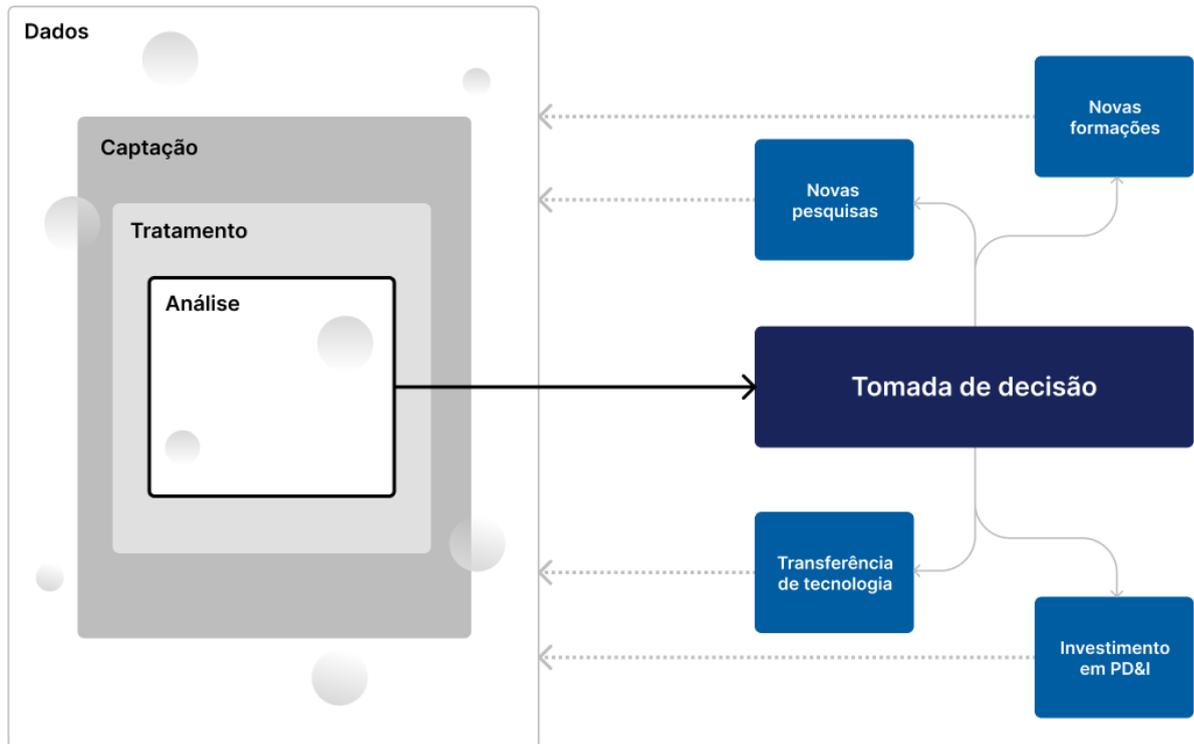
Fonte: adaptado de MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY (2015).

A presente pesquisa encontra na perspectiva de Cones de Futuro, uma ferramenta sistemática para o desenvolvimento de propostas para o campo do Design Computacional, embasadas a partir de técnicas de mapeamento patentário e bibliométrico, por meio da análise de artigos e patentes.

Como ferramenta, a Prospecção Tecnológica baseia-se em diferentes métodos ou atividades que atuam na captação, tratamento e análises de informações, com foco total na tomada de decisão da comunidade ou empresa estudada (ANTUNES et al., 2018). Como benefício, os atores envolvidos, a partir dos resultados da prospecção realizada, podem gerar novas pesquisas científicas, formações técnicas ou atuar no favorecimento de oportunidades de investimento,

proteção e transferência de tecnologias, entre outros, otimizando cada vez mais o ecossistema, como pode ser visualizado na figura 13.

Figura 13 - Esquema ilustrativo dos processos e benefícios da Prospecção Tecnológica



Fonte: Elaborado pelo autor (2022) a partir da visão de ANTUNES et al. (2018)

CANONGIA; PEREIRA; ANTUNES (2006) afirmam que decisões apoiadas em informações de maior valor agregado permitem a construção das bases de conhecimento de um futuro em que a competitividade e o desenvolvimento sustentável sejam mais prováveis. Fruto de vários estudos, a utilização de análises entre artigos e patentes não é novidade, no entanto, ressalta-se diferenças estruturantes entre os dois documentos, visto que no artigo, por essência, a natureza é de tornar públicas as descobertas, enquanto nas patentes o sigilo é fator determinante para o seu sucesso como reserva de mercado (MOURA, 2009).

MOURA (2009, p. 35. apud BARBIERI, 1990) enfatiza que, apesar das diferenças, a articulação entre Ciência e Tecnologia na sociedade é tão grande que o desenvolvimento tecnológico só é sustentado a partir de uma correspondente produção de conhecimentos científicos. Refere-se comumente a esse contexto articulatório como sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação.

Os métodos prospectivos, de forma recorrente, fazem uso de fontes formais de informação, como artigos e patentes, em conjunto com fontes informais, como dados de mídia especializada, sendo os artigos, importantes insumos para a cobertura ampla da literatura, e patentes, fontes de informação de prospecção tecnológica (CANONGIA; PEREIRA; ANTUNES, 2006). Em muitas atividades de prospecção, o uso das classes de patentes são fontes de conhecimento relevantes pois favorecem a possibilidade de comparações e tratamento estatístico.

Como elemento unificador aos referenciais teóricos, a Teoria do Enfoque Meta-Analítico Consolidado (MARIANO; ROCHA, 2017), foi utilizada enquanto método de análise bibliométrica de artigos. Tal escolha permitiu a compreensão do contexto a partir de ferramentas empregadas na sistematização visual de um vasto conjunto de dados. Para a análise das patentes, o Mapeamento Patentário (ANTUNES et al., 2018), foi empregado enquanto forma de identificação dos principais provedores de tecnologias, bem como seus enfoques estratégicos.

Apresentados os recursos teóricos para o desenvolvimento da dissertação, encaminha-se, a seguir, os resultados e discussões da pesquisa, sendo desmembradas as análises e reflexões na perspectiva do Design Computacional, Manufatura Aditiva e desafios que se apresentam na perspectiva da Economia Circular.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização de ferramentas de bases de dados de patentes e artigos, bem como técnicas de análise bibliométrica e patentométrica, viabilizaram a seleção, processamento e investigação de um acervo significativo de metadados, o que seria inviável sem o apoio de tais ferramentas.

Como primeiro ponto a ser detalhado, realizou-se a seleção e categorização de bases de dados para a coleta e processamento da amostra analisada.

4.1 SELEÇÃO E CATEGORIZAÇÃO DAS BASES DE DADOS DA PESQUISA

Com mais de 20 anos de desenvolvimento e com suporte de organizações filantrópicas, a plataforma The LENS¹¹ estrutura-se enquanto ferramenta agregadora com mais de 225 milhões de trabalhos acadêmicos e 127 milhões de registros de patentes globais.

O benefício de sua utilização encontra-se na segmentação, limpeza e normalização de metadados, trabalho complexo e criterioso, disponível para consulta a poucos cliques. Deste modo, a escolha pela utilização da ferramenta não só aumenta a segurança e qualidade dos dados apresentados como também facilita e diminui o esforço em seu processamento.

Pode-se consultar na tabela 2, disponibilizada abaixo, o conjunto de bases vinculadas à plataforma, bem como seus endereços eletrônicos para acesso.

Tabela 2 - Acervos de bases de dados integrados à plataforma The Lens

Base de dados	Endereço eletrônico:
Microsoft Academic	www.academic.microsoft.com
CrossRef	www.crossref.org
ORCID	www.orcid.org
PubMed	www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
Impactstory	www.impactstory.org
CORE	www.core.ac.uk

¹¹ Disponível em: <<https://about.lens.org/>> Acesso em 31/07/2022

Escritório Europeu de Patentes (EPO)	www.epo.org
Escritório de Patentes e Marcas Registradas dos Estados Unidos (USPTO)	www.uspto.gov
IP Austrália	www.ipaustralia.gov.au
Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI)	www.wipo.int

Fonte: The LENS (2022) - Último acesso em 28/09/2022

Entende-se que o conjunto de bases disponibilizadas de modo unificado e sistematizado, fornecerá ambiente significativo para seleção do *corpus* da pesquisa. Justificada a escolha, no tópico a seguir apresentou-se os critérios de seleção dos termos de busca.

4.2 SELEÇÃO E CATEGORIZAÇÃO DOS TERMOS DE BUSCA

A seleção dos termos de busca, em conjunto com seus critérios e condicionais, permitirá o refinamento e seleção dos resultados de acordo com uma perspectiva que considera uma visão de amplitude internacional.

Com vistas ao estabelecimento do primeiro recorte relacionado ao campo do Design Computacional, optou-se por uma busca diretamente relacionada aos termos “Design Generativo”, “Design Paramétrico” e “Design Algorítmico”, entre aspas¹², todos em língua portuguesa, espanhola e inglesa e vinculados ao termo “OR”¹³ (“OU” em português). A busca foi realizada sob os campos: *scholarly works*¹⁴ e *patent analysis*¹⁵, que identificou **36.404** publicações científicas e **18.983** registros de documentos patentários. A sintaxe da busca pode ser acessada na tabela 3, disponibilizada a seguir.

Tabela 3 - Sintaxe utilizada na formatação da busca

Busca sob os termos “any fields”

```
"Generative Design" ) OR ( ( "Diseño Generativo" ) OR ( ( "Design Generativo" ) OR ( ( "Parametric Design" ) OR ( ( "Diseño Parametrico" ) OR ( ( "Design Parametrico" ) OR ( ( "Algorithmic Design" ) OR ( ( "Design Algorítmico" ) OR ( "Diseño Algorítmico" ) ) ) ) ) ) ) ) ) ) )
```

¹² A busca com termos entre aspas considera a ocorrência exata de tudo que está entre as aspas, de modo agrupado;

¹³ A utilização do termo “OU”, considera a aparição de pelo menos um dos termos na busca;

¹⁴ Busca no acervo de trabalhos acadêmicos disponibilizado na plataforma The LENS;

¹⁵ Busca no acervo de patentes disponibilizado na plataforma The LENS.

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Dentre os diversos tipos de documentos disponíveis no escopo da ciência, optou-se por filtrar e agrupar dados de artigos de periódicos (*journal articles*), artigo de anais de congresso (*conference proceedings article*) e capítulos de livros (*book chapters*), nomeados de maneira unificada nesta pesquisa como “publicações científicas”. Já na perspectiva das patentes, analisou-se somente as patentes concedidas (*granted patents*) e os depósitos de patentes (*patent application*), nomeados aqui como “documentos patentários”. Os filtros geraram uma nova amostra final de **27.297** publicações científicas e **18.777** documentos patentários.

Realizou-se também a busca individualizada por subtemas, o que gerou novos recortes da mesma amostra, informações que podem ser consultadas na tabela 4, que segue. Vale ressaltar que há o entendimento de que os termos podem ser utilizados em conjunto em uma mesma publicação científica ou documento patentário, portanto, não há o interesse em descobrir registros com os termos únicos, mas aqueles em que houve a aparição dos termos estudados pelo menos uma vez.

Tabela 4 - Amostras de acordo com as buscas relacionadas aos subtemas no Design Computacional

Formatação da busca	Subtema	Publicações científicas	Documentos patentários
("Generative Design") OR (("Diseño Generativo") OR (("Design Generativo")	Design Generativo	1.128	18.777
(("Algorithmic Design") OR (("Design Algorítmico") OR ("Diseño Algorítmico"))	Design Algorítmico	19.319	16.821
(("Parametric Design") OR (("Diseño Paramétrico") OR (("Design Paramétrico")	Design Paramétrico	6.300	1.266

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

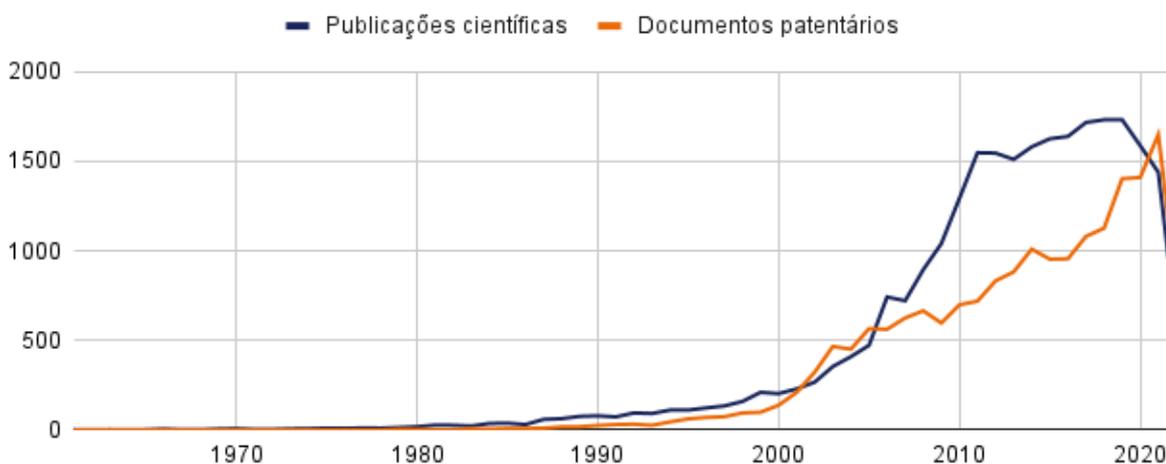
Como apresentado previamente na proposta metodológica, encaminharemos na próxima etapa para uma investigação do contexto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação no Design Computacional. A cada nova seção, novos filtros e recortes dentro da amostra serão apresentados e justificados, tornando os objetos cada vez mais específicos.

4.3 CENÁRIO GLOBAL DA PESQUISA E INOVAÇÃO NO ÂMBITO DO DESIGN COMPUTACIONAL

A análise da evolução na produção científica e de patentes nos permite a compreensão do quanto se produziu no âmbito científico e tecnológico nos últimos anos. Tal estudo nos ajuda a verificar se a área investigada está em um momento de maior predominância da produção acadêmica, em que abordagens e debates revelam novas descobertas, ou se o momento em questão é de maior predominância técnica, com avanços mais significativos em tecnologias e inovações.

No gráfico 1, disponibilizado a seguir, verifica-se que o campo do Design Computacional apresenta uma convergência significativa entre o que é produzido em termos acadêmicos e as suas aplicações técnicas, que nos últimos anos comportaram-se de forma correlata. Com primeiros registros datados da década de 1970, observa-se avanços consideráveis a partir dos anos 2000, sendo a última década a mais proeminente em termos de pesquisa e desenvolvimento na área.

Gráfico 1 - Evolução anual do número de publicações científicas e documentos patentários no Design Computacional



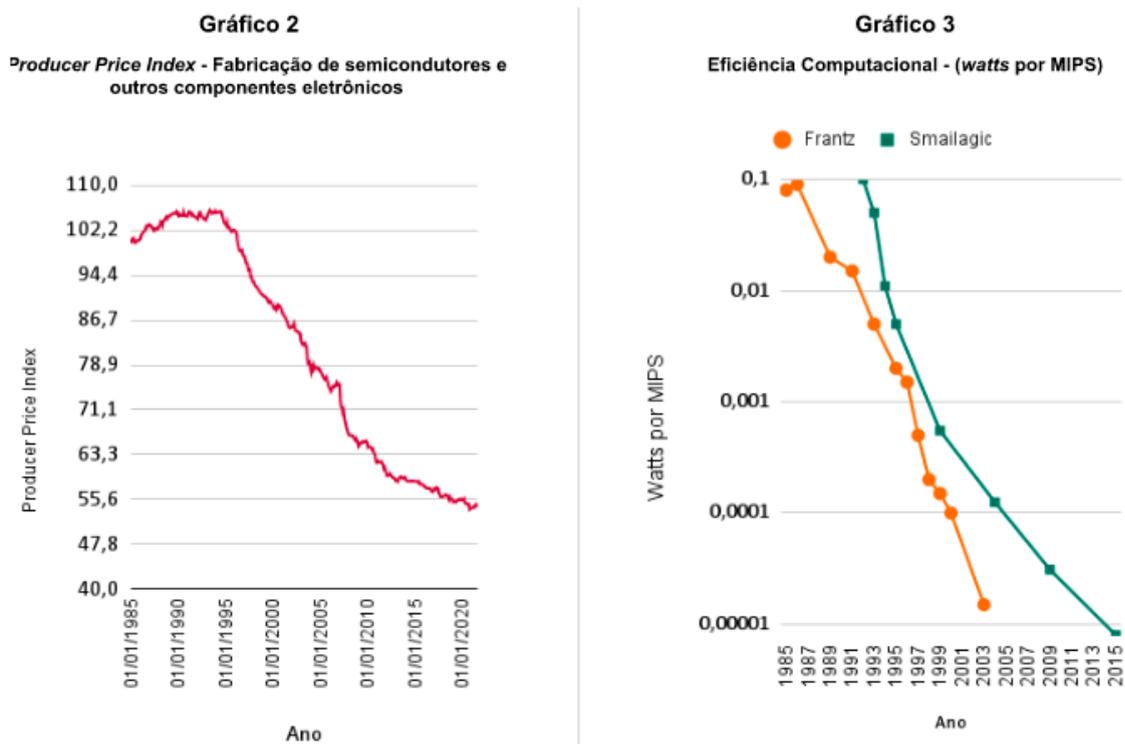
Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Os avanços observados a partir dos anos 2000 podem ter potencial relação com fatores como diminuição de custos de produção, processamento na nuvem e *Big Data*, todos com marcos coincidentes. O primeiro deles, de custos de manufatura de semicondutores e componentes eletrônicos (U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS, 2022), visualizados abaixo no gráfico 2, apresentaram

decréscimo progressivo a partir da década de 1990, sendo os menores valores alcançados a partir de 2015, o que pode ter viabilizado descobertas e técnicas.

Vale ressaltar que o barateamento na produção não necessariamente resulta em maior eficiência. No entanto, no gráfico 3 é possível visualizar uma tendência de aumento de eficiência computacional, medida no decréscimo na necessidade de *watts* por milhão de instruções por segundo (KURZWEIL, 2005), tendo os maiores índices de eficiência mapeados a partir dos anos 2000. De forma similar, no gráfico 4, quando analisado o crescimento de *FLOPS* em supercomputadores ao longo dos anos, fica claro o aumento de eficiência a partir de 2010 e crescimento considerável a partir de meados de 2015 (TOP500 SUPERCOMPUTER DATABASE, 2022).

Gráficos 2 e 3 - Comparativo de índices de preços de fabricação de semicondutores e outros componentes eletrônicos por ano e aumento da eficiência computacional por ano.



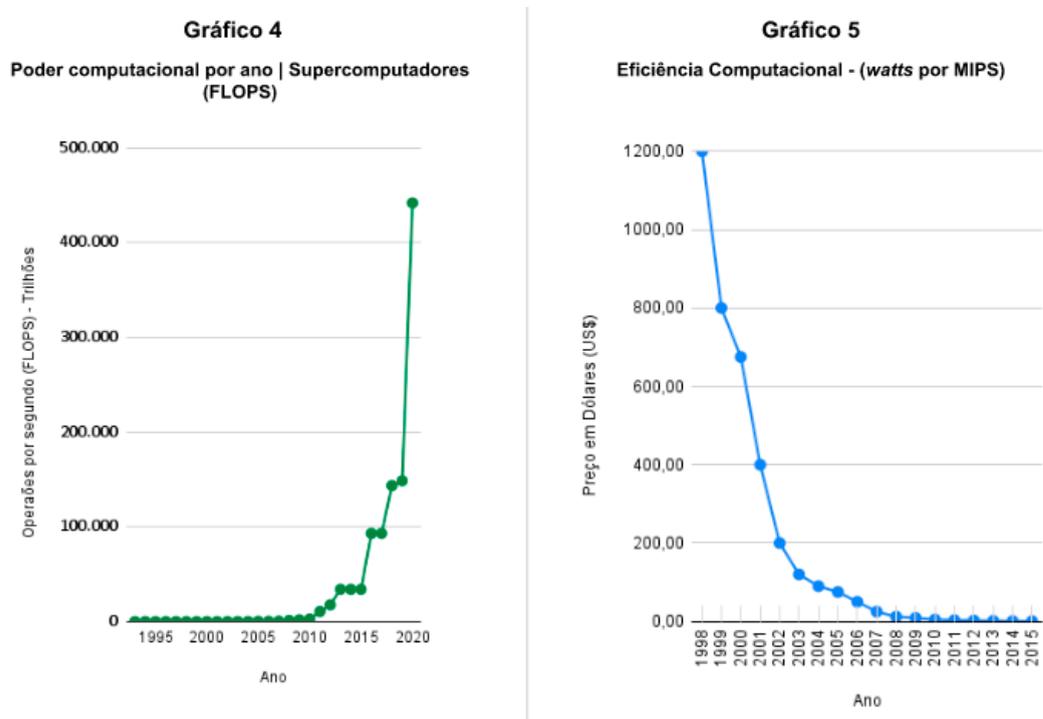
Fonte: (U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS, 2022); (KURZWEIL, 2005) – adaptado e traduzido pelo autor (2022)

Como afirmado pelo Technology Policy Institute – TPI (WALLSTEN, 2018), a queda progressiva nos preços de computadores pessoais nas últimas décadas, aliada ao baixo custo de processamento, armazenamento e transferência, viabilizou o acesso a computadores com mais recursos por uma grande parcela de pessoas. O instituto ainda afirma que, de forma relativamente repentina, houve mais

disponibilidade de computadores de ponta a pequenas empresas, e não mais somente a grandes empresas.

Com relação aos indicadores de *Big Data*, a disponibilidade de um vasto conjunto de dados a partir de 2001 intensificou o desenvolvimento de campos como *machine learning* e *deep learning* (RUSSELL; NORVIG, 2010). Tal marco é condizente com o fato de que o Design Computacional, em alguns casos, tem se beneficiado da disponibilidade de dados para aumentar a performance de soluções geradas e na criação de cenários preditivos de comportamento.

Gráficos 4 e 5: Comparativo de poder computacional por ano e preços de trânsito na internet.



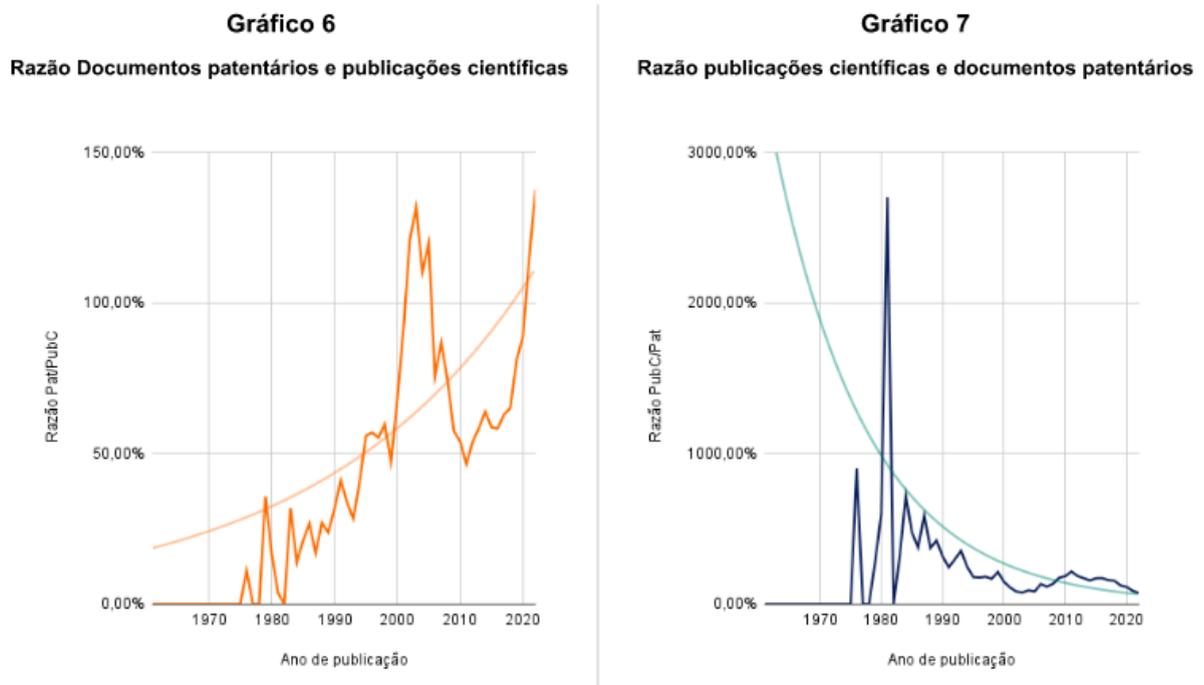
Fonte: (TOP500 SUPERCOMPUTER DATABASE, 2022); (NORTON, 2010) – adaptado e traduzido pelo autor

O dado apresentado por RUSSEL; NORVIG (2010), pode ser confirmado no gráfico 5, que demonstra a diminuição nos custos de mobilização de dados na Internet, em que fica claro que a partir dos anos 1998 os custos caíram vertiginosamente até 2002, chegando a \$0,63 por Mbps em 2015 (NORTON, 2010), data também coincidente com a curva de crescimento no Design Computacional.

Diante do contexto favorável à evolução do campo, pode-se investigar o quanto a produção científica tem avançado em comparação ao surgimento de inovações e tecnologias. O estudo da razão entre documentos patentários e

publicações científicas (gráfico 6), indica uma tendência a uma predominância cada vez maior do âmbito técnico (patentes), ou seja, espera-se uma aceleração de inovações e tecnologias e menor volume proporcional de produção acadêmica (gráfico 7), o que provavelmente pode representar que estamos vivenciando hoje os frutos das descobertas científicas de 1980. O surgimento de novos picos como o da década de 80, em um futuro próximo, poderão abrir portas para mais descobertas e, portanto, novos desenvolvimentos de natureza técnica. Caberá à comunidade monitoramentos futuros.

Gráficos 6 e 7: Razão entre documentos patentários e publicações científicas e Razão entre publicações científicas e documentos patentários



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Encaminha-se na pesquisa para uma perspectiva mais detalhada do Design Computacional, sendo investigados na seção a seguir como cada um dos subtópicos: Design Generativo, Paramétrico e Algorítmico evoluíram ao longo dos anos. O estudo tem como objetivo proporcionar um mapeamento baseado no modelo adaptado do Quadrante de Pasteur (CANONGIA; PEREIRA; ANTUNES, 2006).

4.4 PANORAMA DA PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO NOS SUBTEMAS RELACIONADOS AO DESIGN COMPUTACIONAL

A compreensão de como avançam os subtemas relacionados ao Design Computacional poderá oferecer um entendimento mais aprofundado de áreas com maior predominância técnica e/ou científica, fator que pode contribuir para a identificação de oportunidades de investimento, sejam em momentos iniciais de pesquisa ou em fases mais avançadas de prototipagem e registro patentário.

A partir do Quadrante de *Pasteur*, em seu modelo adaptado (CANONGIA; PEREIRA; ANTUNES, 2006), é possível visualizar o posicionamento dos subtemas em uma dispersão que envolve quatro quadrantes. Cada quadrante apresenta posicionamentos que abordam níveis diferentes de produção científica em relação à produção de inovação e tecnologias na forma de patentes. São eles:

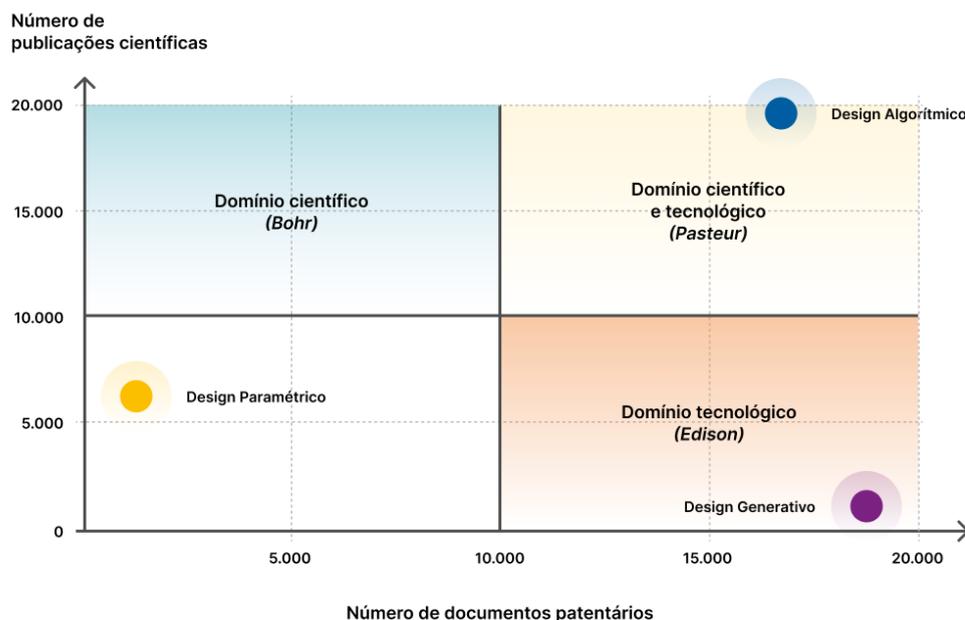
- **Quadrante I:** relevância científica e tecnológica em níveis iniciais, porém com potencial de desenvolvimento para os demais quadrantes;
- **Quadrante II (*Bohr*):** representa o arquétipo de cientistas como *Niels Bohr*, em que há um enfoque em direção ao conhecimento universal, porém de impacto prático limitado, pelo menos em sua fase de descoberta;
- **Quadrante III (*Pasteur*):** aquele em que há ampla relevância para o avanço do conhecimento e para as aplicações imediatas, assumindo o arquétipo de *Pasteur*, criador das bases da Microbiologia ao estudar problemas de fermentação na fabricação de bebidas alcoólicas;
- **Quadrante IV (*Thomas Edison*):** aquele em que há um enfoque no curto e médio prazo, porém com impacto limitado para o avanço do conhecimento. O arquétipo de *Edison*, indica uma abordagem prática às descobertas;

Diante da importância da ciência e tecnologia na sociedade, é possível afirmar que o cenário ótimo de posicionamento nos quadrantes encontra-se no quadrante de *Pasteur*, por demonstrar um equilíbrio entre os dois universos. CANONGIA; PEREIRA; ANTUNES (2006) reforçam que não há prejuízo nos demais quadrantes, no entanto, no quadrante de *Pasteur*, há o reconhecimento do conhecimento científico enquanto condição essencial ao desenvolvimento

econômico e social, havendo impacto no surgimento de novos produtos ou processos. Há, assim, uma recomendação pelo desenvolvimento de políticas ou ações que priorizem o equilíbrio entre os setores.

Aplicado ao contexto do Design Computacional, o Quadrante de *Pasteur*, demonstrado no gráfico 8, revela que dentre as amostras detalhadas (tabela 4), o subtema Design Algorítmico é aquele com maior volume de publicações de natureza científica e tecnológica vinculadas. Já no caso do Design Generativo, verifica-se uma maior predominância técnica, com número de documentos patentários bem superior ao de publicações acadêmicas (*Edison*). Por fim, o Design Paramétrico, posicionado no primeiro quadrante, apresenta maior proximidade ao Domínio Científico (*Bohr*).

Gráfico 8: Quadrante de Pasteur - Acumulado de publicações científicas e documentos patentários por subtemas no Design Computacional



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

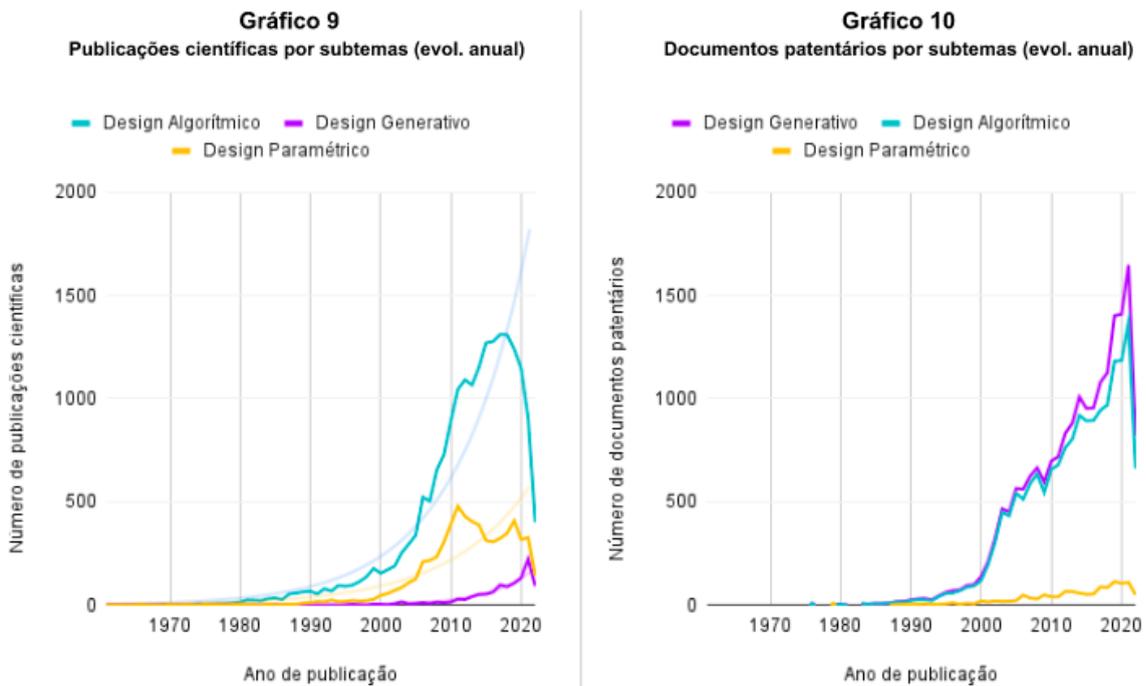
Espera-se, portanto, que existam avanços mais significativos, no curto e médio prazo, nos dois primeiros subtemas do que no Paramétrico, por seus níveis de maturidade e desenvolvimento estarem mais avançados¹⁶ e propícios ao surgimento de tecnologias e descobertas. É possível inferir também que o Design Generativo pode estar vivenciando até então uma série de inovações incrementais

¹⁶ É considerada também uma possível ambiguidade entre os subtemas e sua utilização pela comunidade, bem como as sobreposições e intersecções previamente apresentadas.

de modelos já existentes, o que não demandaria necessariamente uma participação muito ativa da produção científica para que inovações surjam.

Na sequência realizou-se uma análise comparativa da evolução das produções científicas e patentárias nos subtemas, dado apresentado nos gráficos 9 e 10, disponibilizados a seguir. Verifica-se que há um volume maior de registros científicos vinculados ao tema do Design Algorítmico e, apesar de menor protagonismo, o Design Generativo tem alcançado níveis de desenvolvimento tecnológico elevados, similares aos do Design Algorítmico, avanço que não tem sido acompanhado da mesma forma pelo Design Paramétrico.

Gráficos 9 e 10: Análise comparativa da evolução anual do número de publicações científicas e documentos patentários por subtemas no Design Computacional

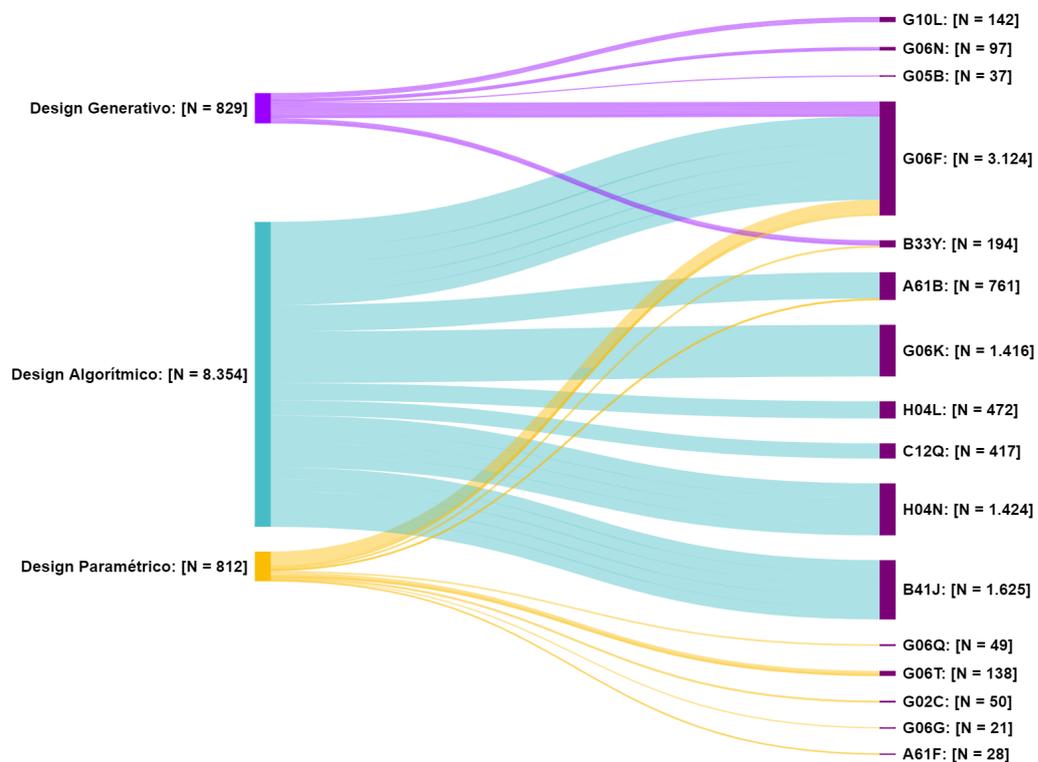


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Partindo dessas informações e da premissa de que o enfoque da pesquisa trata-se de um mapeamento tecnológico, interessa ao estudo imergir um pouco mais nos campos de desenvolvimento dessas tecnologias e inovações, e em especial como cada subtema do Design Computacional têm convergido em interesses tecnológicos.

Utilizou-se, neste caso, os 20 registros IPC¹⁷ de maior volume de documentos patentários, dado que pode ser visualizado no *Diagrama de Sankey* (MEIRELLES, 2013) disponibilizado no gráfico 11, que revela convergências e volume de interesse por subclasses no Design Computacional. Justifica-se a escolha do registro IPC como métrica pelo seu reconhecimento enquanto modelo internacional de classificação de inovações e tecnologias.

Gráfico 11: Diagrama de *Sankey* com o número de subclasses de registros IPC vinculadas aos documentos patentários no Design Computacional



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Verifica-se no diagrama uma convergência alta de interesses dos três temas na subclasse G06F - *ELECTRIC DIGITAL DATA PROCESSING (computer systems based on specific computational models)*, responsável por tecnologias de processamento de dados digitais com base em sistemas computacionais. Outras subclasses com convergência identificada foram a A61B - *DIAGNOSIS; SURGERY;*

¹⁷ O sistema de Classificação Internacional de Patentes (IPC), estabelecido pelo Acordo de Estrasburgo de 1971, é um sistema hierárquico que utiliza símbolos independentes de linguagem para classificar patentes e modelos de utilidade de acordo com a área de tecnologia a que se referem (ESPACENET, 2016).

IDENTIFICATION, de métodos para diagnóstico e cirurgias e B33Y - *Additive Manufacturing*, (Manufatura Aditiva).

Para uma visualização mais facilitada do que se tratam as principais subclasses, foram propostos pelo autor títulos resumidos, somente para fins didáticos de análise. A atribuição dos títulos deu-se com base na tradução livre com base nos descritivos de cada subclasse IPC, sendo apresentados os resultados no gráfico 12, disponibilizado abaixo.

Gráfico 12: Subclasses IPC com maior concentração nos documentos patentários do Design Computacional

Subclasse IPC	Documentos
G06F - Processamento digital de dados	3124
B41J - Máquinas e mecanismos de impressão (impressoras)	1625
G06K - Reconhecimento, apresentação e transporte de dados	1416
H04N - Comunicação pictorial (transmissão e reprodução) - Ex: televisão	1414
A61B - Diagnóstico, Cirurgia e identificação	761
H04L - Transmissão de informações digitais (telegráfica e telefônica)	472
C12Q - Avaliações e testes envolvendo enzimas e microorganismos	417
B33Y - Manufatura Aditiva	194
G10L - Reconhecimento ou processamento de voz ou áudio	142
G06T - Processamento ou geração de dados de imagem	138
G06N - Sistemas computacionais	97
G02C - Óculos ou lentes de contato	50
G06Q - Sistemas ou métodos de tratamento de dados para fins administrativos, comerciais, financeiros, gerenciais, de supervisão ou predição	49
G05B - Sistemas de controle e regulação	37
A61F - Filtros implantáveis em vasos sanguíneos, próteses, dispositivos ortopédicos, contraceptivos, kits de primeiros socorros ou dispositivos de tratamento e proteção de olhos e ouvidos	28
G06G - Computadores analógicos	21

Fonte: elaborado pelo autor (2022) com base nos registros IPC (WIPO - WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION, 2022)

Visando alcançar o objetivo da pesquisa de estabelecer um panorama do contexto global de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) relacionado ao Design Computacional e Manufatura Aditiva, optou-se pela filtragem da amostra inicial considerando os documentos patentários que contivessem registros relacionados à subclasse IPC B33Y (Manufatura Aditiva), busca que revelou 144 documentos patentários, sendo 79 tecnologias únicas¹⁸. A sintaxe utilizada na formatação da busca pode ser visualizada na tabela 5.

Tabela 5 - Sintaxe utilizada na formatação da busca

Busca sob os termos “any fields”

*"Generative Design" OR ("Diseño Generativo" OR ("Design Generativo" OR ("Parametric Design" OR ("Diseño Parametrico" OR ("Design Parametrico" OR ("Algorithmic Design" OR ("Design Algorítmico" OR "Diseño Algorítmico")))))))) AND IPCR Classification Code: B33Y**

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Na seção a seguir investiga-se com maior profundidade os avanços da Manufatura Aditiva com ampla relação com o Design Computacional. A compreensão mais detalhada desses temas permitirá identificar movimentos estratégicos no mercado que nos ajudem a mapear com maior clareza quais direções estas tecnologias e inovações tendem a apontar em cenários futuros.

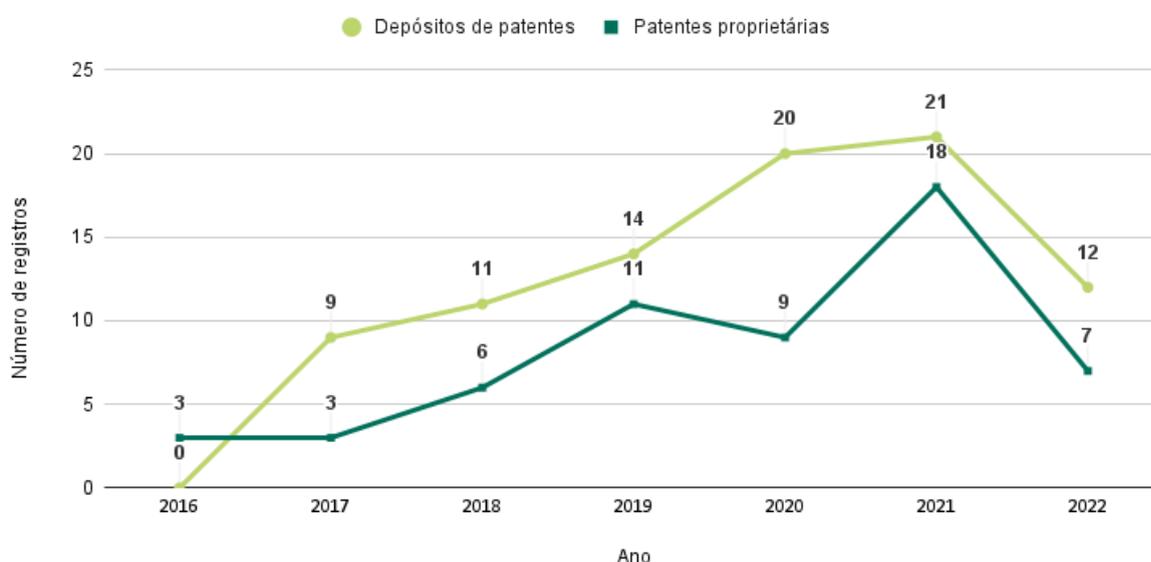
4.5 MAPEAMENTO DE TECNOLOGIAS NO ÂMBITO DO DESIGN COMPUTACIONAL COM AMPLA RELAÇÃO COM A MANUFATURA ADITIVA

Por tratar-se de um tema muito comentado nos dias atuais, a Manufatura Aditiva apresenta potencial de transformar não só a forma como nos relacionamos com produtos, mas também como pensamos o design e produção. Cada vez mais acessível e com novidades surgindo quase que diariamente, os avanços no Design Computacional prometem não só acelerar como tornar o contexto mais complexo e disruptivo. Mapear tecnologias e movimentos estratégicos torna-se tarefa essencial para enxergarmos cenários possíveis que se apresentam.

¹⁸ Os valores referentes às subclasses nos gráficos S e Z representam a soma acumulada de todas as aparições de cada subclasse IPC vinculada a cada um dos três subtemas do Design Computacional, individualmente. Isso justifica, por exemplo, o fato da subclasse B33Y apresentar indicador de 194 aparições em contraste com os 144 documentos patentários identificados. É importante considerar também que, durante o processo de registro patentário, um depositante pode vincular uma mesma tecnologia em diferentes jurisdições ou em mais de uma solicitação.

Os documentos patentários utilizados na presente pesquisa englobam as patentes proprietárias, registros deferidos e com direito garantido, e os depósitos de patentes, novas solicitações de registros ainda em processo de avaliação. O estudo dos dois formatos nos ajuda a compreender o quão aquecido está o tema, dado analisado no gráfico 13, que segue.

Gráfico 13: Design Computacional e Manufatura Aditiva | Evolução anual do número de patentes proprietárias em relação ao número de depósitos de patentes

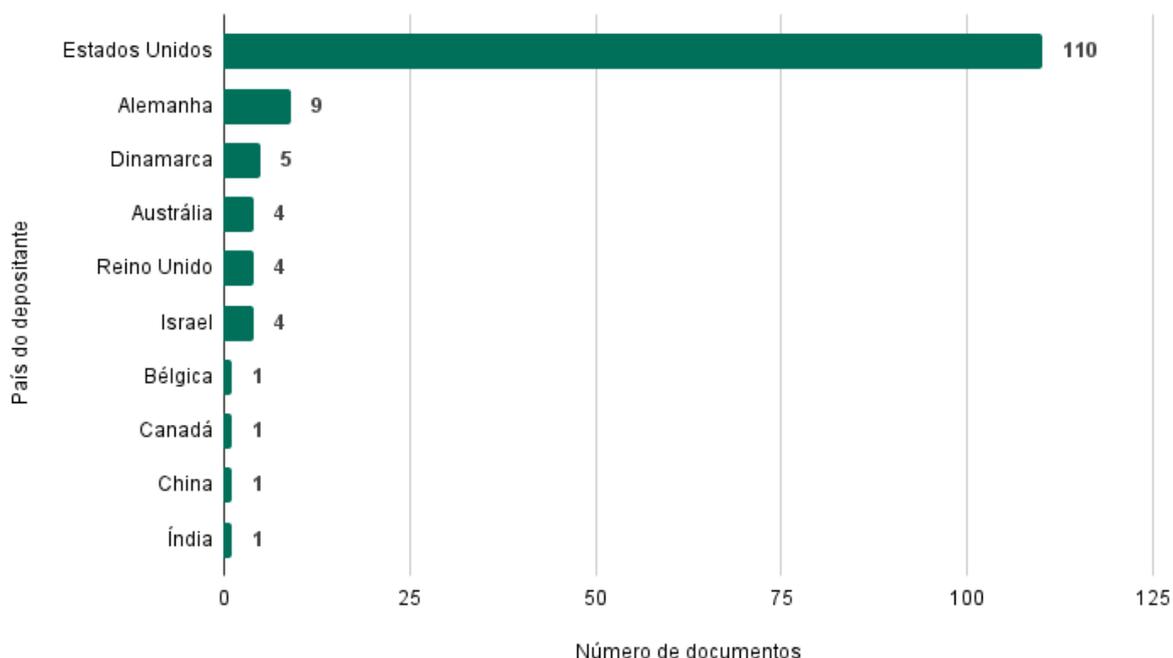


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Com primeiros registros identificados a partir de 2016, 57 documentos correspondem a patentes proprietárias (39,58%) e 87 a depósitos de patentes (60,42%), sendo as duas curvas muito similares e crescentes apesar da janela curta de existência dessas tecnologias. Isso indica que no período analisado há um aumento no número de novas tecnologias, que têm sido registradas continuamente.

Considerando que dentre os documentos patentários, quatro possuem *status* legal como “*discontinued*”, o que significa que foram descontinuadas, rejeitadas ou retiradas, analisou-se no gráfico 14 abaixo, a distribuição do número de documentos patentários por países dos depositantes.

Gráfico 14: Design Computacional e Manufatura Aditiva | Número de documentos patentários por países dos depositantes



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Como demonstrado no gráfico, é possível perceber uma predominância muito significativa dos Estados Unidos, com 110 registros, o que corresponde a 78,57% dos 140 documentos analisados. Tal indicador pode ser interpretado como fator de alerta para a competitividade no ecossistema de Pesquisa e Inovação global, uma vez que técnicas de impressão 3D tendem a depender por definição de sistemas computacionais para o seu funcionamento e performance. A hegemonia de países, como no caso apresentado, pode aumentar o esforço de novos entrantes e também a diminuição da competitividade no setor.

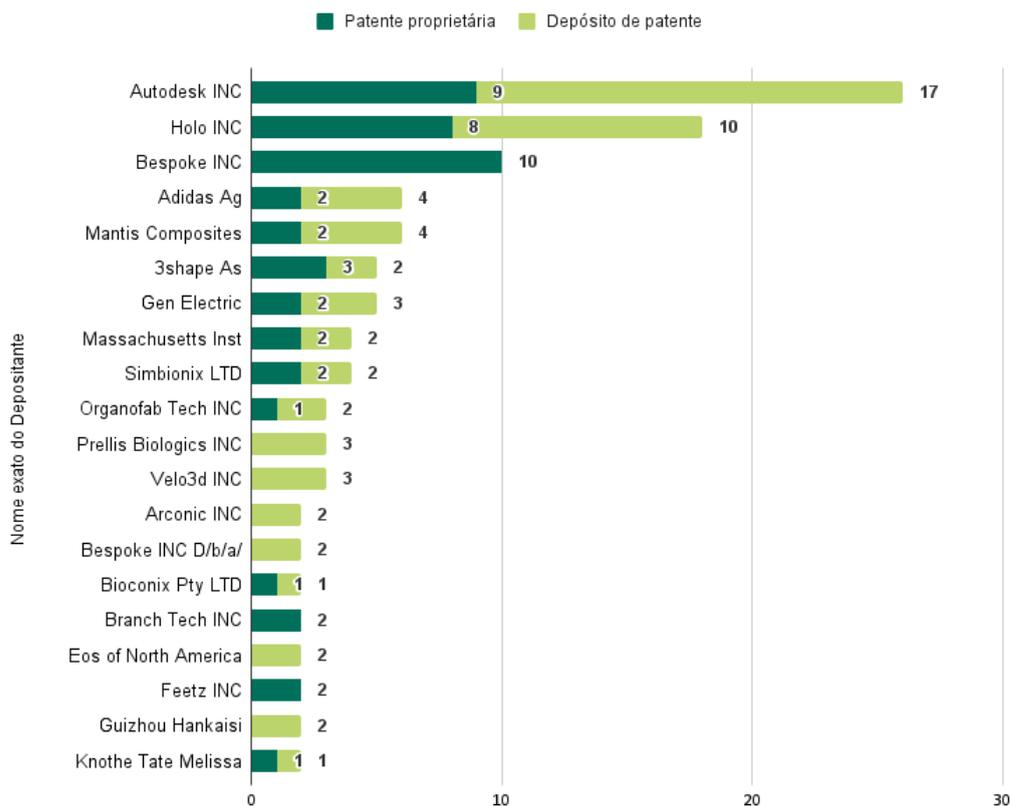
Por outro lado, é claro o esforço dos Estados Unidos em desenvolver e patentear novas tecnologias no tema, ponto que pode também revelar oportunidades para que mais patentes sejam desenvolvidas por outros países. É possível considerar, por exemplo, que os EUA tenham descoberto a chance de garantir a sua hegemonia em um mercado de baixa competitividade internacional com amplo potencial de crescimento nos anos que seguem.

Para uma análise mais objetiva dos desmembramentos tecnológicos no campo, investigou-se comparativamente o acumulado das patentes proprietárias e

depósitos de patentes dos 20 maiores depositantes identificados (gráfico 15). Entende-se como “depositante” uma pessoa física ou jurídica que, caso deferido o pedido, tenha a propriedade da patente garantida.. A análise comparativa dos dois documentos, é essencial para descobrirmos não só os detentores, mas os potenciais protagonistas no mercado nos próximos anos.

Com nove registros proprietários, a empresa norte-americana *Autodesk*¹⁹ acumula 17 depósitos e um total de 26 documentos, seguida da *Holo INC*²⁰, subsidiária também da *Autodesk*, com 18. A americana *Bespoke INC*, em terceiro lugar é a que possui maior quantidade de registros proprietários (10) e dois depósitos sob o nome “*Bespoke INC D/b/a Topology Eyewear*²¹”, solução de modelagem e simulação virtual de armações para óculos.

Gráfico 15: Design Computacional e Manufatura Aditiva | Análise comparativa dos 20 principais depositantes de patentes por tipos de documentos patentários



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

¹⁹ Disponível em <<https://www.autodesk.com.br/>> Acesso em 28/09/2022

²⁰ Disponível em: <<https://holoam.com/company/>> Acesso em 28/09/2022

²¹ Disponível em: <<https://www.topologyeyewear.com/>> Acesso em 28/09/2022

Com posicionamento de “capacitar inovadores com design e tecnologias para que eles possam alcançar o novo possível”, a *Autodesk* é conhecida por tecnologias aplicadas à engenharia, arquitetura e design, em especial os *softwares* de projeto e modelagem como o *Fusion 360*²², software 3D baseado na nuvem para o design de produtos, e o *Netfabb*²³, software de manufatura-aditiva.

Já a *Holo*, empresa do Vale do Silício com fundadores que são ex-membros da *Autodesk*, trabalha com diversas frentes relacionadas à manufatura aditiva, desde ciência e materiais, desenvolvimento de impressoras, design para engenharia mecânica e aditiva e até a entrega de peças de produção aos clientes. Com tecnologia proprietária de nome *Pure Form (TM)*, a empresa viabiliza a fabricação digital em escala para metais, ligas e cerâmicas, permitindo geometrias complexas de impressão 3D para produtos de alto desempenho.

Para um entendimento objetivo da localização, setor e área de atuação, foi realizada uma análise dos *websites* de cada uma das empresas listadas, para a coleta qualitativa de informações que foram disponibilizadas na tabela 6 que segue. Essas informações facilitarão o entendimento e consulta do posicionamento de cada uma das empresas listadas.

Tabela 6 - Design Computacional e Manufatura Aditiva: Registros dos 20 principais depositantes de patentes por tipos de documentos patentários

Depositante	Endereço Eletrônico	País de origem	Setor resumido
Autodesk INC	https://www.autodesk.com.br/	Estados Unidos	Software
Holo INC	https://holoam.com/	Estados Unidos	Indústria
Bespoke INC	https://www.topologyeyewear.com/	Estados Unidos	Saúde
Adidas AG	https://www.adidas-group.com/en/	Estados Unidos	Vestuário
Mantis Composites INC	http://www.mantiscomposites.com/	Estados Unidos	Indústria

²² Disponível em <<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>> Acesso em 28/09/2022

²³ Disponível em: < <https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview>> Acesso em 28/09/2022

3shape As	https://www.3shape.com/	Dinamarca	Saúde
Gen Electric	https://www.ge.com/br/	Estados Unidos	Indústria
MIT	https://www.mit.edu/	Estados Unidos	Universidade
Simbionix LTD	https://simbionix.com/	Israel	Saúde
ORgano fab Tech INC	https://www.organofab.us/	Estados Unidos	Saúde
Prellis Biologics INC	https://www.prellisbio.com/	Estados Unidos	Saúde
Velo 3D INC	https://velo3d.com/	Estados Unidos	Indústria
Arconic INC	https://www.arconic.com/	Estados Unidos	Indústria
Bespoke INC D/b/a/Topology	https://www.topologyeyewear.com/	Estados Unidos	Saúde
Bioconix Pty LTD	-	Austrália	Saúde
Branch Tech INC	https://branchtechnology.com/	Estados Unidos	Arquitetura e Engenharia Civil
EOS of North America INC	https://www.eos.info/en	Alemanha	Indústria
Feetz INC	https://www.feetz.co/	Estados Unidos	Vestuário
Guizhou Hankaisi Intelligent Tech	https://www.pixmoving.com/	Estados Unidos	Indústria Automotiva
Knothe Tate Melissa	https://scholar.google.com.au/citations?user=YVTHvu8AAAAJ&hl=en	Austrália	Saúde

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A partir dessas informações, é evidente o amplo interesse de empresas e organizações norte-americanas nos avanços do tema, em destaque para a indústria, que vem desenvolvendo diversas soluções de fabricação personalizadas, utilizando materiais alternativos e de alta performance, e também na saúde, com soluções que vão desde a fabricação de órgãos *in vitro* à simuladores de procedimentos cirúrgicos. Tal avanço pode estar relacionado também ao apoio do governo

americano, materializado na gestão Obama a partir do programa *America Makes*²⁴ e do recente lançamento, pelo presidente Joe Biden, do *AM Forward*²⁵, dedicado a apoiar pequenas e médias empresas no mercado de impressão 3D. Empresas como *GE Aviation*²⁶, *Honeywell*²⁷, *Lockheed Martin*²⁸, *Raytheon*²⁹ e *Siemens Energy*³⁰, em apoio com programas federais, darão suporte para que fabricantes de menor porte passem a utilizar tecnologias de impressão 3D no país.

Com perspectivas de crescimento no setor que vão de US \$12.6 bilhões (2021) para US \$34.8 bilhões em 2026 (MARKETS AND MARKETS, 2021), o segmento foi acelerado pela demanda de ventiladores durante a pandemia da COVID-19. Além disso, parcerias estratégicas entre empresas como *Autodesk*, *HP (Hewlett Packard)*³¹ e *GE (General Electric)*, para a implementação de funcionalidades de *software* compatíveis com impressoras 3D, são fatores estratégicos de relevância.

Outros temas como “modelagem tridimensional a partir de dados de imagens”, em especial aquelas em que utilizam-se sistemas computacionais para realizar mapeamentos volumétricos tridimensionais a partir de fotografias, foram identificadas, tendo suas aplicações no varejo, com o desenvolvimento de armações para óculos pela *Bespoke INC | Topology Eyewear* e nos projetos tridimensionais de roupas ou sapatos pela *FEETZ INC*³². O mesmo tema também tem aplicações na saúde, com *Prellis Biologics INC*³³ e *Simbionix LTD*³⁴, empresas que têm utilizado dados de imagens para modelar tridimensionalmente órgãos humanos para impressão biológica a partir da manufatura aditiva.

Produtos específicos como tacos de golfe, máscaras faciais, máscaras de respiradores, modelos de manicure ou até mesmo urnas funerárias, têm utilizado tais tecnologias de Design Computacional e Manufatura Aditiva para a sua

²⁴ Disponível em: < <https://www.americamakes.us/> > Acesso em 28/09/2022

²⁵ Disponível em: < <https://www.astroa.org/amforward> > Acesso em 28/09/2022

²⁶ Disponível em: < <https://www.geaerospace.com/> > Acesso em 28/09/2022

²⁷ Disponível em: < <https://www.honeywell.com/br/pt> > Acesso em 28/09/2022

²⁸ Disponível em: < <https://www.lockheedmartin.com/en-us/index.html> > Acesso em 28/09/2022

²⁹ Disponível em: < <https://www.rtx.com/> > Acesso em 28/09/2022

³⁰ Disponível em: < <https://www.siemens-energy.com/br/pt.html> > Acesso em 28/09/2022

³¹ Disponível em: < <https://www.hpe.com/br/pt/home.html> > Acesso em 28/09/2022

³² Disponível em: < <http://www.feetz.com> > Acesso em 28/09/2022

³³ Disponível em: < <https://www.prellisbio.com/> > Acesso em 28/09/2022

³⁴ Disponível em: < <https://symbionix.com/> > Acesso em 28/09/2022

implementação, que também possui aplicações para próteses dentárias, modelagens virtuais de gengivas, aparelhos dentários e talas médicas mais leves e personalizadas. A lista completa de documentos patentários analisados pode ser consultada no apêndice A, disponibilizado para consulta.

O potencial pode ser maior ainda a partir de tecnologias conectadas à nuvem por meio de sistemas de aprendizado profundo (*deep learning*) como no caso da *General Electric* e a *Siemens*, empresas interessadas em armazenar e processar dados para a construção de sistemas computacionais cada vez mais inteligentes, que criem designs a partir não só de uma perspectiva relacionada ao projeto que está sendo executado, mas considerando o aprendizado contínuo de cada nova solução gerada pela comunidade.

Outro tema que vale a atenção para os anos que seguem é a impressão de tecidos e de vestuário, com modelos de impressão de tênis pela *Adidas*, tecidos com propriedades mecânicas (movimento, por exemplo) da *BIOCONIX*, malhas têxteis para antenas ou controle térmico pela *California Institute of Technology* e até mesmo roupas inteligentes, como é o caso da proposta tecnológica da *CASCA DESIGNS INC*, que promete ofertar roupas repletas de sensores de monitoramento de atividades para diagnósticos e fins terapêuticos, o que pode expandir o potencial de atuação do campo.

Por fim, aplicações voltadas à Engenharia Civil, Arquitetura, Engenharia Automotiva e Aeroespacial, viabilizam construções de edifícios residenciais ou comerciais, peças e chassis automotivos inteligentes e até mesmo métodos e sistemas de fabricação pensados para acontecerem fora da Terra, com usos em naves espaciais.

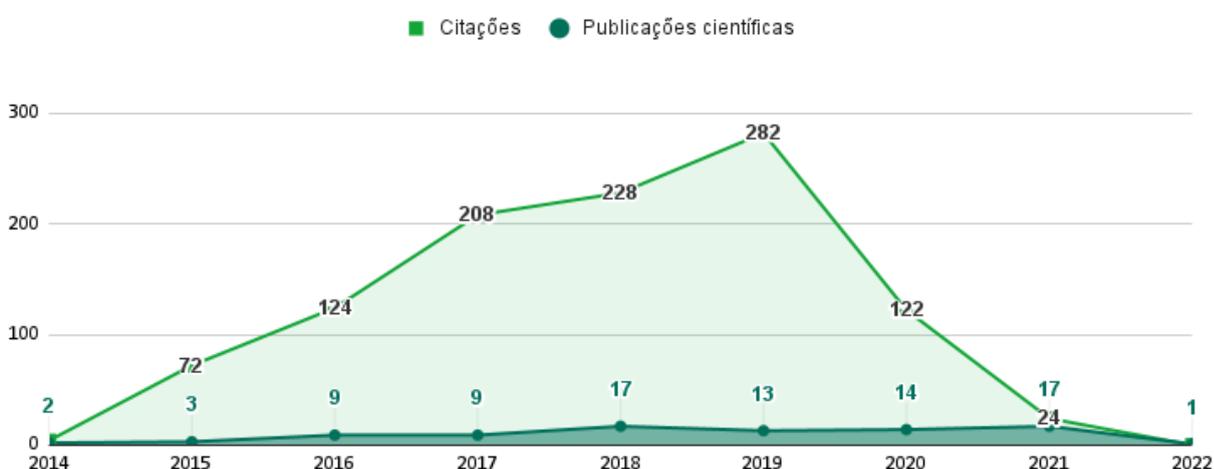
Dado o contexto, é evidente que as tecnologias do Design Computacional relacionadas à Manufatura Aditiva encontram ambiente fértil para seu desenvolvimento nos próximos anos. Com investimentos consistentes de empresas e organizações, além de inúmeras parcerias de colaboração, há a expectativa de que novas soluções apareçam mais rapidamente, o que favorece também o contexto da pesquisa, que encontra nesse cenário oportunidades para o seu avanço. No tópico a seguir, investiga-se a evolução da produção científica no tema.

4.6 MAPEAMENTO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS NO ÂMBITO DO DESIGN COMPUTACIONAL COM AMPLA RELAÇÃO COM A MANUFATURA ADITIVA

Visando identificar descobertas e esforços científicos relacionados ao campo do Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva, investigou-se aspectos quantitativos e qualitativos das publicações científicas da amostra.

Em termos de busca filtrada, utilizou-se o mesmo critério de busca apresentado anteriormente na tabela 4, que considerou os dados de artigos de periódicos (*journal articles*), artigo de anais de congresso (*conference proceedings article*) e capítulos de livros (*book chapters*) porém agora com os filtros vinculados ao campo *field of study*: com tópicos “3d printing³⁵”, “3 d printing³⁶” e “Design for additive manufacturing³⁷” selecionados na plataforma Lens. Foram retornadas 85 publicações científicas que tiveram seus meta-dados analisados individualmente.

Gráfico 16: Evolução anual do número de publicações científicas e citações



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Em termos de evolução da produção científica no campo, pode-se perceber no gráfico 16, apresentado acima, que em termos de produção, há indicadores praticamente constantes, enquanto as citações têm crescido consideravelmente a

³⁵ “Impressão 3D” - traduzido pelo autor (2022)

³⁶ O termo escrito com espaço foi identificado na plataforma LENS, sendo incluído por sua similaridade e quantidade significativa de registros.

³⁷ “Design para Manufatura Aditiva” - traduzido pelo autor (2022)

partir de 2015, o que indica uma alta relevância e interesse da comunidade científica nos temas relacionados.

A publicação *“Review on design and structural optimisation in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures”*³⁸ (PLOCHER; PANESAR, 2019) é aquela com maior volume de citações (204), o que indica um alto interesse da comunidade em investigar a respeito de estruturas e métodos de otimização de formas, ou seja, aspectos técnicos de viabilização.

Tendências a respeito de técnicas de impressão 3D relacionadas com o campo da biomedicina (GHILAN et al., 2020) e modelos de conhecimento compartilhados em comunidades virtuais (KYRIAKOU; NICKERSON; SABNIS, 2017) são amplamente citadas, com 62 e 58 citações, respectivamente, ocupando o segundo e terceiro lugar. Outros temas como uso de materiais alternativos como o uso do ácido polilático (POH et al., 2016) (51 citações), modelos de impressão em larga escala para engenharia (IZARD et al., 2017) (50 citações) e estudos sobre os aspectos profissionais de designers (PRADEL et al., 2018) (45 citações) seguem na lista dos mais relevantes.

Destaca-se também o interesse pelos aspectos educacionais do tema, com a publicação *Digital Design and 3D Printing in Technology Teacher Education*³⁹ (VERNER; MERKSAMER, 2015), em oitavo lugar com 38 citações. O estudo relata alterações nos cursos de formação de professores de tecnologia e mecânica como forma de aprimorar o conhecimento e as habilidades no ensino de design e fabricação digital. Há um enfoque pela estrutura e investimentos em softwares e em maquinário, bem como os aspectos pedagógicos de tais mudanças.

É evidente, pela concentração de 204 citações da publicação de maior impacto, um interesse correspondente a 19,17% do total de citações, o que indica que no âmbito científico os aspectos técnicos e de viabilização são pauta recorrente. A busca por novos materiais ou fabricações em escalas diferentes, unificados aos aspectos profissionais e educacionais da comunidade são fatores de ampla relevância, visto que as aplicações das tecnologias e descobertas no design

³⁸ “Revisão sobre design e otimização estrutural em manufatura aditiva: Rumo a estruturas leves de próxima geração” - traduzido pelo autor (2022)

³⁹ “Design Digital e Impressão 3D na Formação de Professores de Tecnologia” - traduzido pelo autor (2022)

computacional com ampla relação com a manufatura aditiva são diversas e com demandas de profissionais e educadores com possibilidade de crescimento nos anos que seguem.

Dado o contexto, entende-se como essencial a identificação de padrões e cenários projetados de crescimento para os próximos anos no âmbito científico e tecnológico no tema. Tal entendimento nos permitirá enxergar áreas de maior predominância e potencial impacto, favorecendo processos decisórios e de planejamento. Na seção a seguir, investiga-se um conjunto de perspectivas de curto, médio e longo prazo, no âmbito do Design Computacional e Manufatura Aditiva.

4.7 PERSPECTIVAS DE CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO NA PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO NO DESIGN COMPUTACIONAL E MANUFATURA ADITIVA

Analisar e identificar a perspectiva de curto, médio e longo prazo é uma tarefa que pode ser viabilizada com o uso de técnicas inspiradas em modelos de Roadmap Tecnológico ou *Technology Roadmap - TRM*. Com amplo destaque no campo da Prospecção Tecnológica, esse modelo nos ajuda a estabelecer tendências de mercado e estudo de trajetórias tecnológicas ao longo do tempo, para a identificação de oportunidades (TAVARES; BORSCHIVER, 2021)

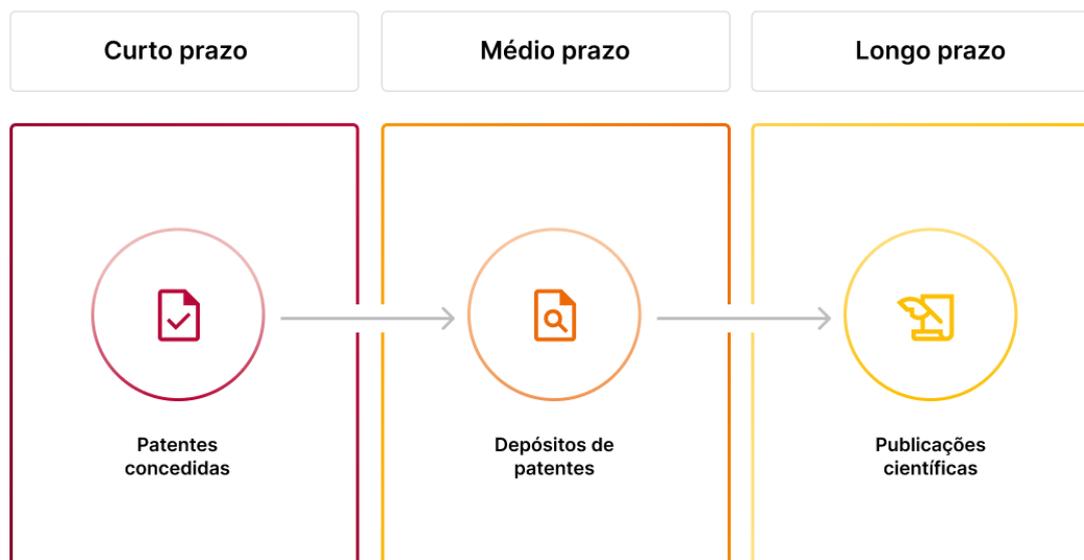
A partir das análises previamente apresentadas nas seções 4.5 e 4.6, realizou-se uma análise qualitativa de todos os títulos, resumos e metadados de todos os 144 documentos patentários e 85 publicações científicas da amostra. A análise realizada identificou 17 temas de convergência, considerados aqui como frentes de desenvolvimento científico e tecnológico. São eles:

1. Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem;
2. Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados;
3. Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação;

4. Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens;
5. Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde;
6. Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos;
7. Moda, impressão têxtil e de vestuário;
8. Indústria automotiva;
9. Design de produto orientado à impressão 3D;
10. Direitos autorais;
11. Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura;
12. Engenharia Aeroespacial;
13. Formação profissional e educacional;
14. Eco-Design e sustentabilidade;
15. Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva;
16. Gastronomia e engenharia alimentar;
17. Aspectos estéticos e sensoriais.

A escolha pela categorização dentre as 17 frentes de desenvolvimento apresentadas, justifica-se pelo olhar orientado às rotas de desenvolvimento e não aos movimentos individuais de organizações no campo. Ou seja, a abordagem utiliza um modelo adaptado de Roadmap Tecnológico em que se consideram os 17 temas macro de interesse científico e tecnológico nas perspectivas de curto, médio e longo prazo. Vale ressaltar que, em alguns casos, um mesmo documento patentário ou publicação científica foi vinculado a mais de uma frente de desenvolvimento, para que fosse mantida a acurácia da classificação.

Figura 14 - Perspectivas de curto, médio e longo prazo e seus respectivos materiais de análise

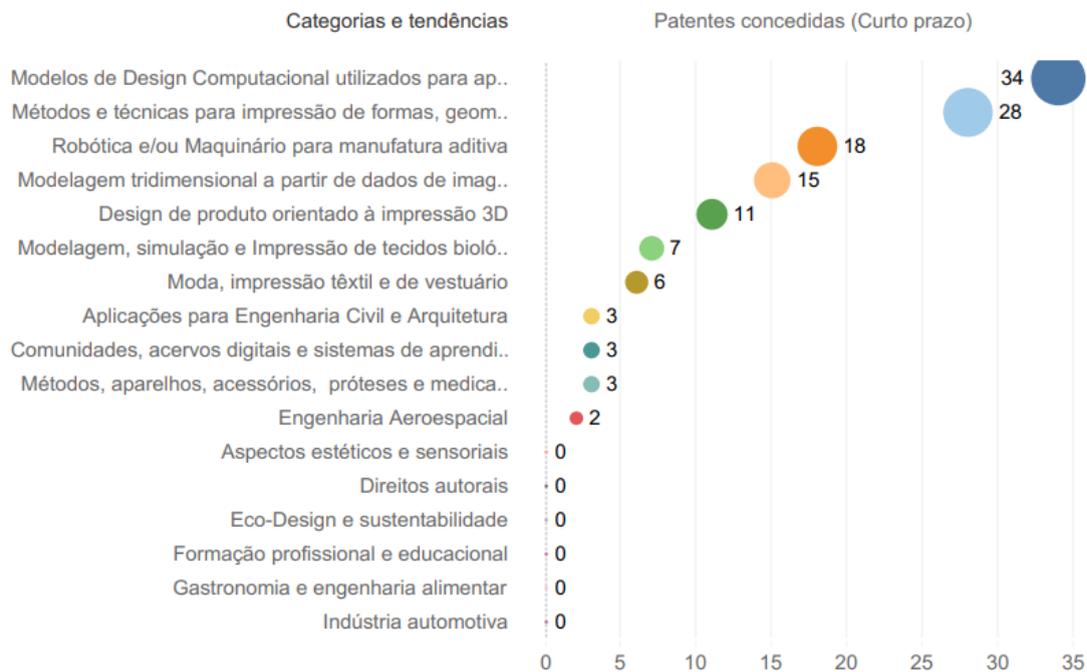


Fonte: elaborado pelo autor (2022) a partir da visão de TAVARES; BORSCHIVER (2021).

De uso recorrente nas técnicas de Roadmap Tecnológico, a análise de números de patentes concedidas e depósitos de patentes representam perspectivas de curto e médio prazo, respectivamente, enquanto para o longo prazo a análise é contemplada por publicações científicas (figura 14). As últimas, consideradas enquanto soluções em fase de elaboração e testes de bancada, apresentam desmembramentos que podem vir a acontecer mas ainda estão em fase de descoberta (TAVARES; BORSCHIVER, 2021). Nos gráficos 17, 18 e 19, realizou-se o estudo das 17 categorias de acordo com a análise qualitativa de cada um dos tipos de documentos.

A partir da análise das patentes concedidas, indicador aqui utilizado para representar impactos de curto prazo, identificou-se um maior protagonismo das frentes “Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação” (34), Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados” (28) e “Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva” (18), o que demonstra que os impactos mais imediatos estão voltados para ferramentas e métodos que otimizem e viabilizem técnicas de modelagem e fabricação.

Gráfico 17: Número de registros de patentes concedidas (curto prazo) de acordo com as 17 frentes de desenvolvimento científico e tecnológico



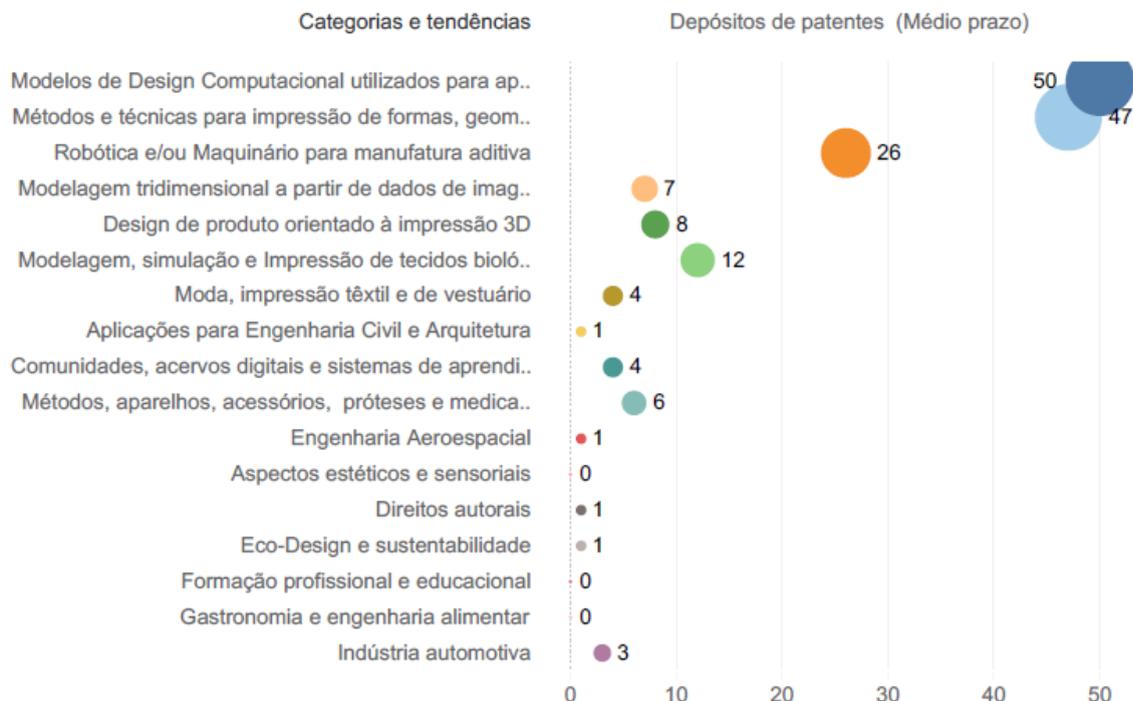
Fonte: elaborado pelo autor (2022)⁴⁰.

Tal protagonismo também é verificado nas perspectivas de médio prazo (depósitos de patentes) como também de longo prazo (publicações científicas), muito pelo interesse do ecossistema em desenvolver formas mais baratas, eficazes, precisas e que permitam a viabilização em materiais diversos ou com designs complexos. O Design Computacional aqui assume papel essencial por ser o ambiente em que os parâmetros dos projetos são gerados e configurados, tendo responsabilidade identificada não só no design, mas no funcionamento dos dispositivos de impressão.

⁴⁰ Disponível em: <

<https://public.tableau.com/app/profile/matheus.almeida1807/viz/DesignComputacionaleManufaturaAditivaPerspectivasdecurtomdioelongoprazo/Sheet14#1>> Último acesso em 24/08/2022

Gráfico 18: Número de registros de depósitos de patentes (médio prazo) de acordo com as 17 frentes de desenvolvimento científico e tecnológico

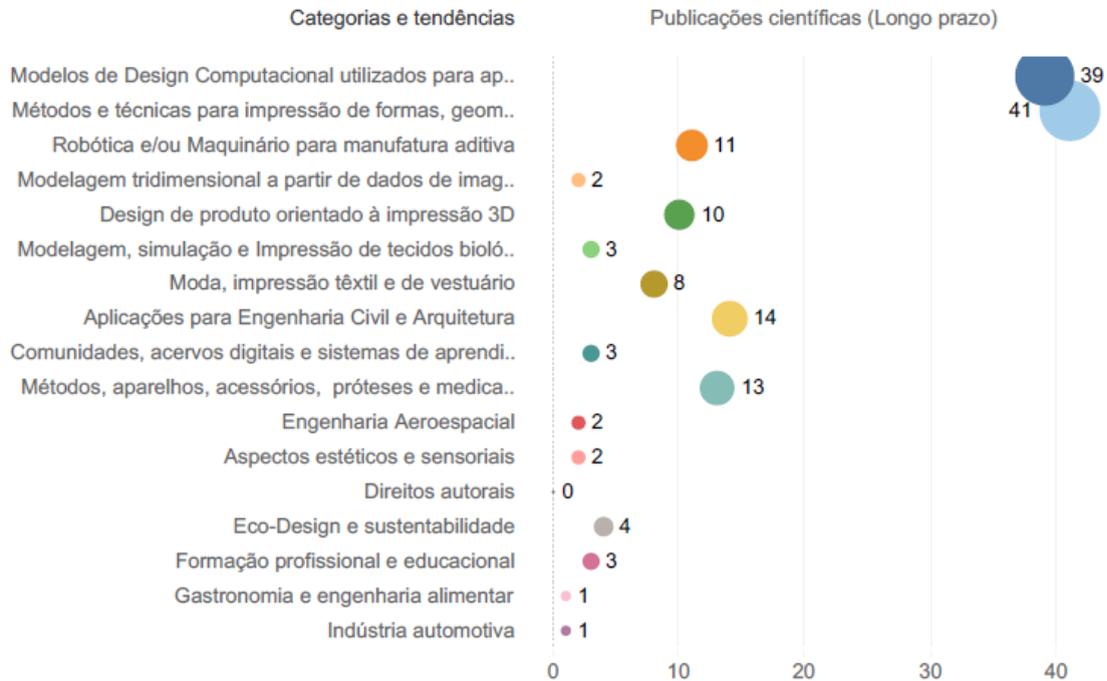


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Projetos e técnicas de “Design de Produto orientado à impressão 3D” mantiveram-se constantes na perspectiva do curto ao longo prazo, fator que não foi observado nos mecanismos e técnicas de “modelagem tridimensional a partir de dados de imagens”, que, por outro lado, apresentaram maior incidência no curto prazo, sendo menores os depósitos e novas publicações científicas identificadas na amostra.

Temas como “modelagem, simulação e impressão de tecidos biológicos”, demonstraram avanço significativo no médio prazo, diferentemente dos “métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde”, com indicadores progressivamente maiores em direção ao longo prazo.

Gráfico 19: Número de registros de publicações científicas (longo prazo) de acordo com as 17 frentes de desenvolvimento científico e tecnológico



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Relativamente constantes, as aplicações relacionadas à “moda, impressão têxtil e de vestuário”, “comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem” e “engenharia aeroespacial” mantiveram crescimento tímido na perspectiva temporal, oposto ao identificado nas “aplicações para engenharia civil e arquitetura”, com expectativa de maiores avanços no longo prazo.

Por fim, temas como “Direitos autorais”, “Ecodesign e Sustentabilidade”, “Formação profissional e educacional”, “Aspectos estéticos e sensoriais”, “Gastronomia e engenharia alimentar” e “Indústria Automotiva”, demonstraram indicadores significativamente menores, vinculados ao médio e longo prazo. Esses resultados demonstram que torna-se necessário que a comunidade do Design avance, não somente sob o aspecto técnico-mercadológico do desenvolvimento de soluções, como também no debate relacionado a temas sensíveis com destaque para os de natureza ética relacionados à impressão de tecidos biológicos e aos temas de Ecodesign e Sustentabilidade e de formação profissional e educacional.

Dentre as 85 publicações científicas da amostra, quatro possuem afinidade temática alinhada ao tema “Ecodesign e Sustentabilidade”. A primeira delas consiste em um sistema de conexão removível de bio-composto 3D para estruturas espaciais de bambu (VAN WASSENHOVE; DE LAET; VASSILOPOULOS, 2021), solução desenvolvida para aplicação em engenharia, arquitetura ou design de produtos. O modelo consiste em uma estrutura que funciona como um conector adaptado entre peças de bambu, viabilizando a construção de formas aplicadas a móveis e estruturas de cobertura temporária, como barracas, por exemplo.

A segunda publicação, por outro lado, aborda o enfoque de eficiência energética na manufatura Aditiva (YI et al., 2021) a partir da aplicação de métodos de avaliação de desempenho energético (EPA⁴¹) de diferentes alternativas de manufatura, sendo identificado o método de fusão a laser (SLM⁴²) como aquele com maior eficiência, fator relevante para designers interessados em métodos mais alinhados com perspectivas de Ecodesign aplicado à Manufatura Aditiva.

A terceira, alinhada ao design de moda e a critérios estéticos, considera a perspectiva do design computacional enquanto fator essencial na redução de impactos ambientais (KAM, 2021). A partir da modelagem de texturas inspiradas em formas naturais presentes na cultura coreana, a solução proposta consiste na conexão emocional como fator para a extensão da vida útil das peças desenvolvidas.

Por fim, a quarta e última publicação científica (KROMOSER; PACHNER, 2020) identificada na amostra também possui aplicação direcionada à engenharia e à arquitetura. O estudo considera a utilização de modelos computacionais para a otimização da eficiência e diminuição do desperdício existente na produção de “nós”, estruturas utilizadas na conexão de eixos utilizados na formação de estruturas tridimensionais, além de propor um construto em forma de concha.

Por outro lado, dentre os 144 documentos patentários, somente um depósito de patente com afinidade relacionada ao tema da Economia Circular foi identificado na amostra. O invento aborda um método de design e fabricação de urnas funerárias a partir de métodos de menor utilização de resíduos, gerando assim menor impacto.

⁴¹ *Energy performance assessment ou “Avaliação do desempenho energético” - traduzido pelo autor*

⁴² *Selective Laser Melting ou “Fusão Seletiva a Laser” - traduzido pelo autor*

Os resultados das análises da amostra, com relação ao curto, médio e longo prazo, em especial ao tema “Ecodesign e Sustentabilidade” tornam evidente que há um interesse ainda pouco significativo de tecnologias e descobertas científicas com aspectos alinhados com princípios sustentáveis, o que confirma a perspectiva de PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN (2019) e corrobora com a expectativa de que impactos ambientais sejam mais prováveis e presentes no curto e médio prazo.

A intensidade desses impactos está diretamente relacionada com as decisões tomadas hoje pela comunidade, o que pode revelar cenários distintos de maior e menor impacto. A projeção desses cenários a partir da perspectiva de Cones de Futuro é apresentada na seção a seguir.

4.8 CENÁRIOS FUTUROS E PERSPECTIVAS PARA UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO DESIGN COMPUTACIONAL E MANUFATURA ADITIVA

Imaginar futuros é uma das formas de ampliar o rol de possibilidades de um dado ambiente, favorecendo processos decisórios que no presente apresentam potencial de modelar o amanhã. Observar movimentos que favoreçam o desenvolvimento e que considerem aspectos sustentáveis torna-se tarefa essencial para garantirmos que o retorno dessas iniciativas não só aconteça hoje, mas no curto, médio e longo prazo.

Como exercício prospectivo, a imaginação de cenários futuros interconecta-se com o pilar da antecipação (pensamento prospectivo), que estimula a visualização de cenários. Estes, viabilizam o desenvolvimento de estratégias, promovendo a ação, e a apropriação da comunidade, que se mobiliza coletivamente (GODET, 2006).

Como campo, o Design encontra vantagem ao aproximar-se da prospecção tecnológica, muito por já possuir uma inclinação natural à imaginação e à criatividade, que pode materializar-se no design de futuros possíveis. É a partir dessa visão, em conjunto com o referencial teórico e resultados das análises, que propõe-se a projeção de expectativas de desenvolvimento no setor.

Como ponto de partida, toma-se como base os seis pilares propostos por DESPEISSE et al. (2017), a partir do entendimento de que esses podem ser

compreendidos enquanto cenários desejáveis. Imaginou-se, portanto, cada um dos pilares a partir de sua perspectiva oposta, ou seja, não desejável, como pode ser verificado abaixo na tabela 7.

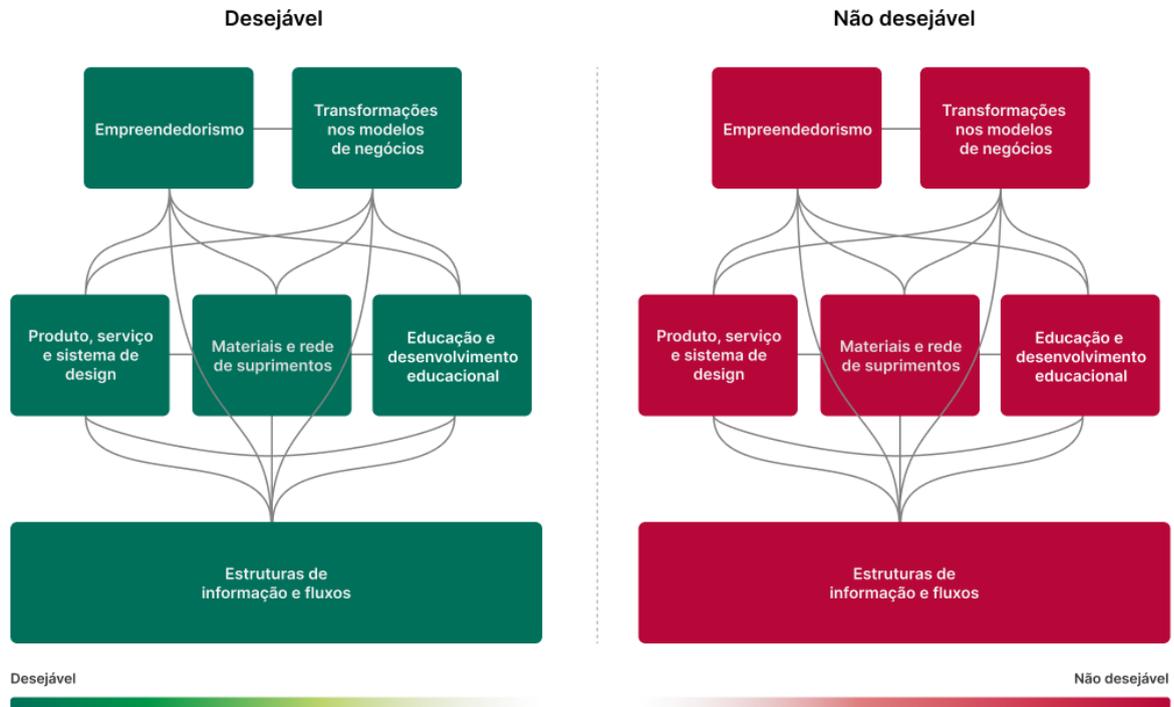
Tabela 7 - Perspectivas não desejáveis no âmbito da Economia Circular sob a perspectiva da manufatura aditiva

Pilares	Cenário não desejado
1. produto, serviço e sistema de design	Não há ou não é suficiente o interesse pela Investigação de características dos processos e produtos de impressão 3D que viabilizam aspectos da economia circular como reuso, modularidade, atualização (<i>upgrade</i>), reforma e remanufatura, bem como a preocupação em capacitar designers em princípios de Economia Circular, para que tais conceitos sejam implementados também na fase de design;
2. materiais e rede de suprimentos	Realizam-se mapeamento de impactos econômicos, mas aspectos sociais e de sustentabilidade das cadeias de suprimentos são deixados de lado, não há interesse pela investigação de como as tecnologias de menor escala podem contribuir para cadeias suprimentos locais (distribuídas) e só há um aumento pelo interesse em dados relevantes à medida que a cadeia de suprimentos local passa a demandar mais matéria prima;
3) estruturas de informações e fluxos	Não há ou não são suficientes os estudos dos tipos de dados e informações necessárias para a gestão de uma Economia Circular de impressão 3D e do favorecimento de padrões mais eficazes de consumo;
4) empreendedorismo	Não há o interesse na identificação de como os empreendedores têm desenvolvido soluções que viabilizem oportunidades na Economia Circular e quais barreiras e desafios para tal;
5) transformações nos modelos de negócios	Não há interesse significativo em como as organizações agregam valor na utilização de métodos e técnicas de impressão 3D na implementação de conceitos de Economia Circular e como o uso de dinâmicas de reparo e remanufatura podem abrir portas para modelos de negócio baseados em serviço;
6) educação e desenvolvimento educacional	Temas como: unificação de habilidades, força de trabalho e indústria para uma transição em prol de uma Economia Circular e formação de designers e engenheiros a respeito dos benefícios e aplicações são deixados de lado;

Fonte: elaborado pelo autor (2022) a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017) - tradução livre

Para fins didáticos, utilizou-se o *framework* criado em duas cores, sendo o cenário desejável aplicado em cor verde e o não desejável na cor vermelha, como mostra a figura 15, que segue. O objetivo é o de tornar fácil a visualização e a análise comparativa entre cada cenário imaginado. Vale ressaltar que os títulos de cada cartão, seja no ambiente desejável como no não desejável são iguais, variando somente o descritivo de acordo com a cor atribuída.

Figura 15 - Framework de blocos e interdependências das frentes de pesquisa, desenvolvimento e inovação para um futuro sustentável na manufatura aditiva - Perspectivas visuais desejáveis (verde) e não desejáveis (vermelho)



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017).

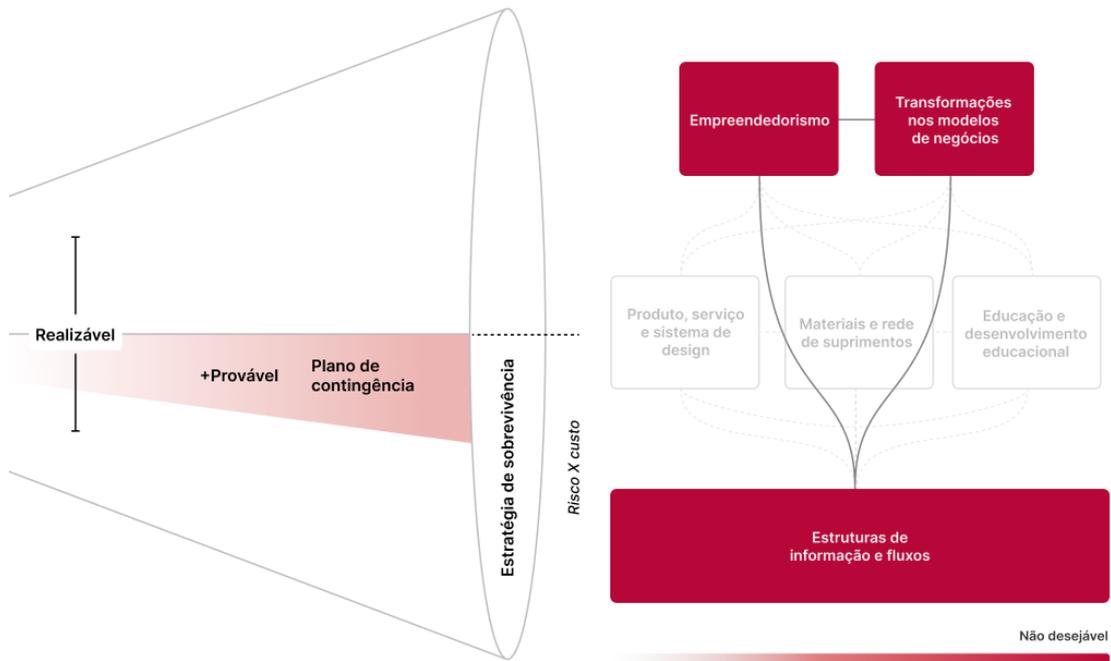
Com base nas categorias propostas no Cone de Futuros, divididas em cenários realizáveis, irrealizáveis, desejáveis e indesejáveis, a presente pesquisa apresenta o detalhamento do cone proposto, bem como a apresentação de projeções possíveis de futuros. É importante reforçar que os cenários consideraram prioritariamente como referência a probabilidade de sua realização no curto prazo, pelo entendimento de que no longo prazo todas as alternativas propostas seriam viáveis.

4.8.1 ESTRUTURAÇÃO DE CENÁRIOS A PARTIR DO CONE DE FUTUROS

A partir da perspectiva abordada por MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY (2015), no modelo adaptado de Cone de Futuros, realizou-se o detalhamento de cada uma das frentes desejáveis, indesejáveis, realizáveis e irrealizáveis, a partir das descobertas coletadas na presente pesquisa. Cada cenário pode ser consultado de modo detalhado nos tópicos a seguir.

a) Realizável, indesejável, com alta probabilidade de ocorrência no curto prazo - *Design Computacional viabiliza progressivamente novas técnicas de manufatura aditiva em uma evolução gradual*

Figura 16 - Esquema ilustrativo do cenário A: realizável e indesejável com alta probabilidade de ocorrência no curto prazo.



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017) e MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY, (2015) .

No cenário em questão, considerado como de alta probabilidade de ocorrência no curto prazo, há uma expectativa por uma manutenção do contexto já observado nos dias de hoje no âmbito do Design Computacional e Manufatura Aditiva, que desenvolvem-se gradualmente.

Observa-se nesse cenário, desafios para o desenvolvimento da Manufatura Aditiva em termos de Economia Circular, conforme proposto por PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN (2019), muito pela dificuldade técnica e econômica identificada nas alternativas recicláveis. Isso faz com que usuários, universidades e modelos de negócios tendam, naturalmente, a

aderir soluções de manufatura aditiva que fazem uso de matéria prima virgem, em oposição à reciclada.

Como é esperada uma evolução gradual, os impactos ambientais são mais "silenciosos", ou seja, podem ser identificados mas não possuem adesão suficiente para que entrem na pauta de grandes organizações, empresas ou centros de pesquisa. Há um interesse por estruturas e fluxos de informação, que auxiliam no monitoramento de desmembramentos no tema, mas como não há o enfoque significativo dos aspectos da Economia Circular, poucos são os debates realizados.

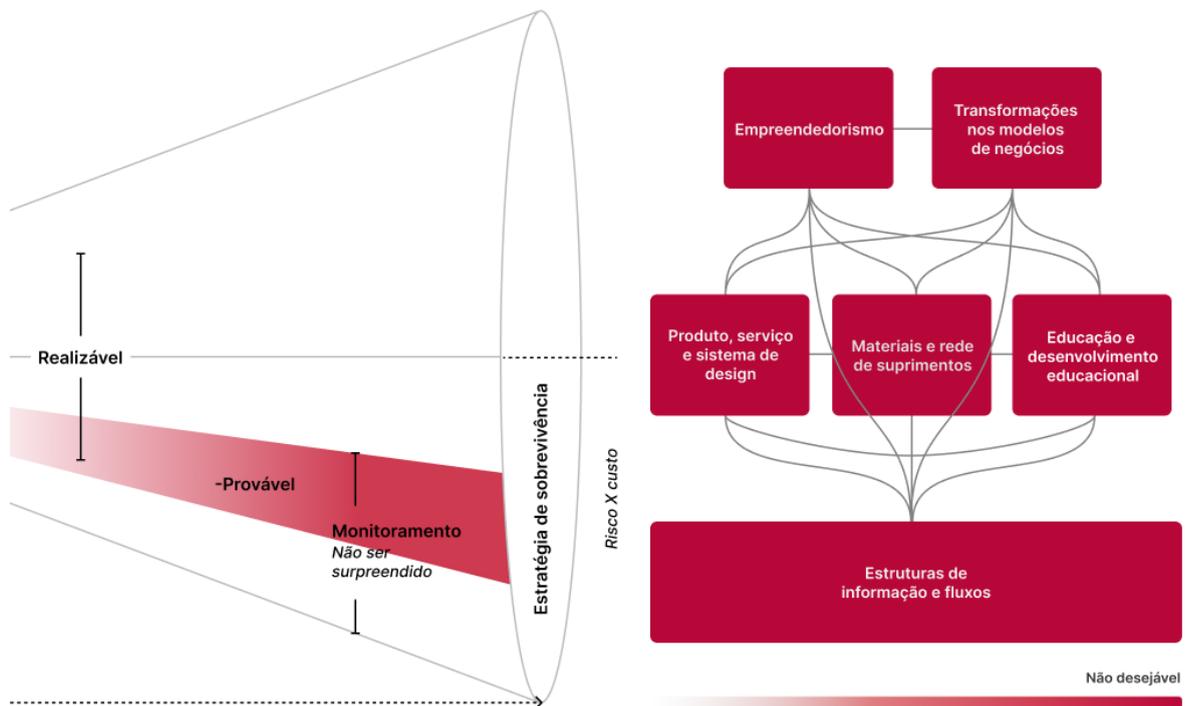
Como ilustrado na figura 16, a estruturação do campo dá-se muito a partir de uma perspectiva "não desejável", demonstrada a partir do uso da cor vermelha e também pela maior opacidade dos pilares "produto, serviço e sistema de design", "materiais e rede de suprimentos" e "educação e desenvolvimento educacional", por serem embrionários tanto nos aspectos desejáveis (verde) como não desejáveis (vermelho).

Nesse futuro, como não há um volume considerável de tecnologias e ações educacionais, dado identificado no *roadmap* tecnológico apresentado no gráfico 17, há um aumento gradual do *gap* entre o número de soluções sustentáveis e as não sustentáveis, sendo as últimas muito maiores e mais presentes.

Uma eventual transformação significativa, a partir do surgimento de descobertas e inovações no Design Computacional de caráter exponencial e disruptivo, pode transformar o setor, desfavorecendo ainda mais as soluções não sustentáveis no curto prazo. Tal cenário imaginado foi descrito no tópico B, disponível a seguir.

- b) Realizável, indesejável, com baixa probabilidade de ocorrência no curto prazo - Design Computacional viabiliza exponencialmente técnicas de manufatura aditiva que hoje fazem uso de Matéria Prima virgem, fator que acelera a poluição no curto e médio prazo**

Figura 17 - Esquema ilustrativo do cenário B: realizável e indesejável com baixa probabilidade de ocorrência no curto prazo.



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017) e MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY, (2015).

Similar ao cenário apresentado no tópico A, o avanço de modelos de negócios, bem como a viabilização de técnicas de Design Computacional e impressão 3D sem considerar em nenhum aspecto a formação e o desenvolvimento educacional de designers ou os impactos econômicos, sociais e de sustentabilidade, tende a gerar menos espaço para o desenvolvimento de um futuro alinhado com conceitos de Economia Circular.

A aparição de tecnologias e descobertas científicas que viabilizam com baixo custo, ampla acessibilidade e performance, são mais raras no curtíssimo prazo, mas não improváveis, fator que dificulta sua identificação e

monitoramento. Deste modo, o surgimento de tecnologias que gerem um aumento significativo (exponencial) das soluções de manufatura aditiva que fazem uso de matéria prima virgem pode aumentar o número de resíduos despejados na natureza. No curto prazo os resíduos são difíceis de serem recuperados, por falta de técnicas ou políticas, gerando impactos ambientais sem precedentes.

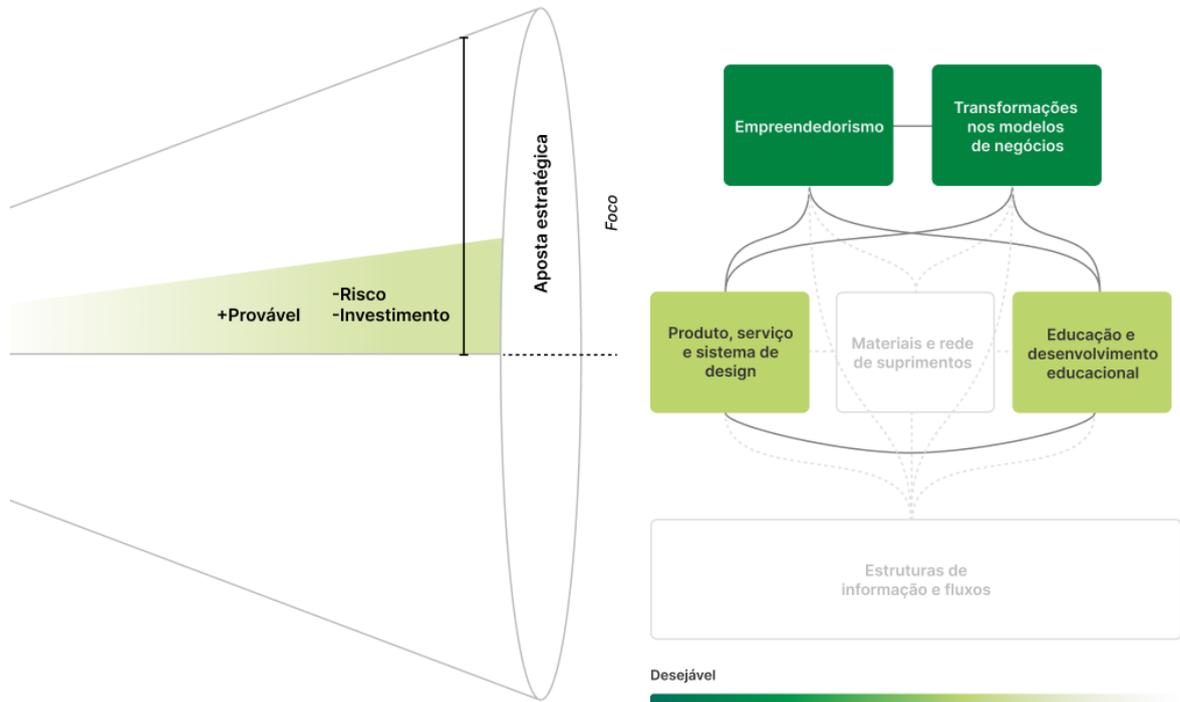
Por outro lado, pelo impacto ser tão significativo, há uma tendência maior por uma pressão da sociedade civil e de organizações para que iniciativas, regulamentações ou programas surjam em prol da economia circular. Como há também um aumento do uso de soluções de matéria prima virgem no curto prazo, é possível encontrar resistência de empresas e usuários na adesão de alternativas mais sustentáveis, em especial pelas soluções disponíveis não possuírem aspectos de qualidade e viabilidade econômica atrativas.

Entende-se que a reversão desse cenário pode ser alcançada no médio e longo prazo a partir de mais investimentos educacionais e de fomento à alternativas sustentáveis, o que aumentaria a probabilidade de surgimento e viabilização de técnicas recicláveis mais atrativas. Entende-se que educar é essencial, mas educar sem considerar princípios de Economia Circular pode ser mais desfavorável, acelerando impactos ambientais.

Apesar de desfavorável e não desejável, há uma expectativa natural de que o cenário B evolua naturalmente para um cenário mais desejável em termos de Economia Circular, como o descrito no cenário C, a seguir. No entanto, a velocidade de tal transição está alinhada com o quanto de esforço é empregado pela sociedade, o que demanda investimentos e mais risco.

c) Realizável, desejável, com alta probabilidade de ocorrência no curto prazo - Empreendedorismo e olhar educacional para práticas de design a partir da economia circular

Figura 18 - Esquema ilustrativo do cenário C: realizável e desejável com alta probabilidade de ocorrência no curto prazo.



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017) e MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY, (2015).

O aumento do debate acerca da responsabilidade das empresas, como no caso do crescente segmento dos termos relacionados à sigla ESG (*environmental, social and governance*), traz à pauta a importância do olhar para práticas ambientais, sociais e de governança.

Criada em 2004, a sigla surge a partir da provocação do até então secretário-geral da ONU Kofi Annan e 50 CEOs de grandes instituições financeiras sobre alternativas de integração dos três pilares ao mercado de capitais a partir da inclusão dessa tríade nas análises de riscos e decisões de investimentos. O conceito busca ampliar a solidez de empresas, custos mais

baixos, melhor reputação e mais resiliência em meio às incertezas e vulnerabilidades (PACTO GLOBAL REDE BRASIL, 2022).

Em um cenário em que as empresas atuantes no mercado de impressão 3D considerem tais aspectos, o desenvolvimento de modelos de negócios acelera o mercado tornando mais viável economicamente e aquecido o investimento em pesquisa científica e patentes no âmbito da impressão 3D e Economia Circular.

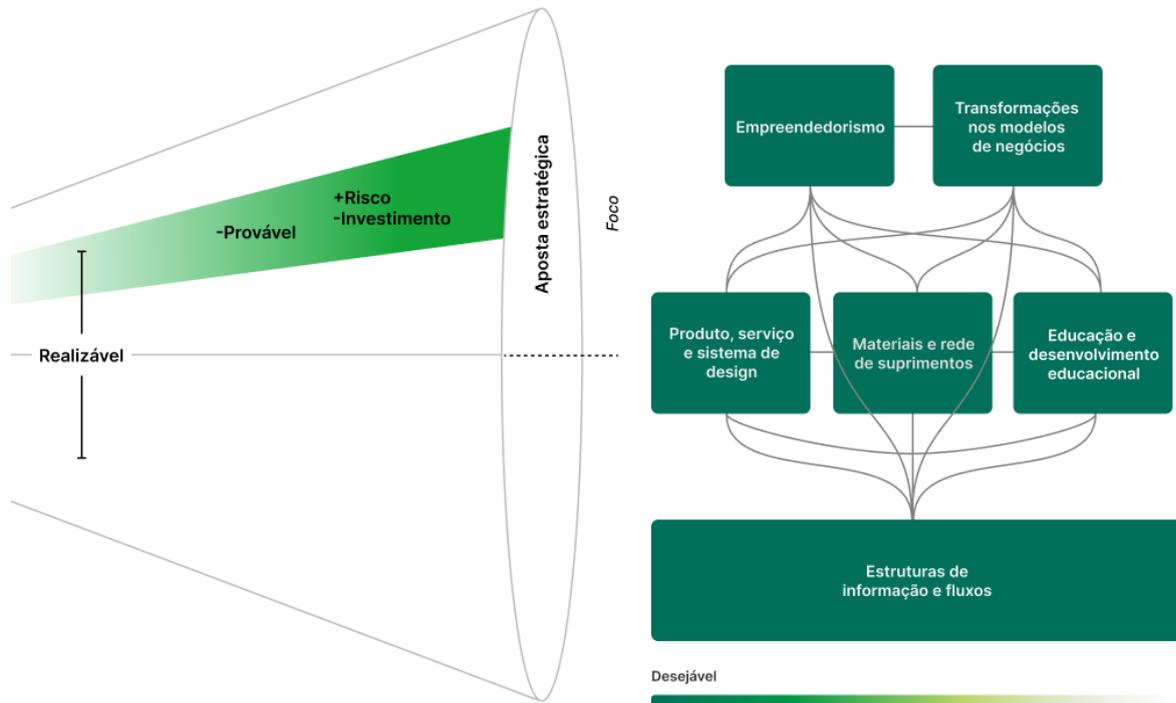
Novas empresas, centros de pesquisa e inovação surgem e viabilizam soluções recicláveis, disponibilizadas à população, que passa a aderir com mais abertura a essas alternativas. Com a melhoria técnica dos inventos, mais pessoas se interessam em se capacitar no tema, o que favorece ações educacionais que formam novos designers, que trazem conceitos de economia circular desde o início dos projetos.

O aumento de interesse e a viabilização econômica de tecnologias modifica as dinâmicas socioeconômicas, que passam a demandar mais análises e estudos de mercado. Com a maior demanda por dados para a tomada de decisão e viabilização desses fluxos de informação, o setor passa a cada vez mais ser monitorado por estruturas que trazem um olhar mais claro sobre as mudanças.

A transição, mais gradual, apresenta menos riscos para as empresas e para os produtores individuais, mas ainda traz impactos ambientais altos no curto e médio prazo até que soluções recicláveis tenham alcançado níveis maiores de viabilidade e maturidade tecnológica. Vale ressaltar que, nesse caso, é esperado que a curva de impacto ambiental tenha indicadores reduzidos em amplitude e até mesmo em duração, em comparação com outros cenários menos favoráveis, fazendo com que exista a possibilidade de evolução para um cenário de maior desejabilidade em termos de Economia Circular (cenário D).

d) Realizável, desejável, mas com baixa probabilidade de ocorrência no curto prazo - Equilíbrio e desenvolvimento complementar de todas as áreas

Figura 19 - Esquema ilustrativo do cenário D: realizável e desejável com baixa probabilidade de ocorrência no curto prazo.



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017) e MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY, (2015).

Amplamente desejável, mas com baixa probabilidade de ocorrência no curto prazo, no cenário D, estruturas de informação e fluxos ajudam no entendimento consolidado de como o setor se desenvolve, favorecendo o mapeamento, troca de informações e uma maior consciência e poder de ação sobre as mudanças que se apresentam.

A gestão de uma Economia Circular de impressão 3D e do favorecimento de padrões mais eficazes de consumo é viabilizada a partir dessas informações, promovendo ações educacionais, informações sobre materiais e rede de suprimentos, em um contexto de mapeamento econômico e social contínuo.

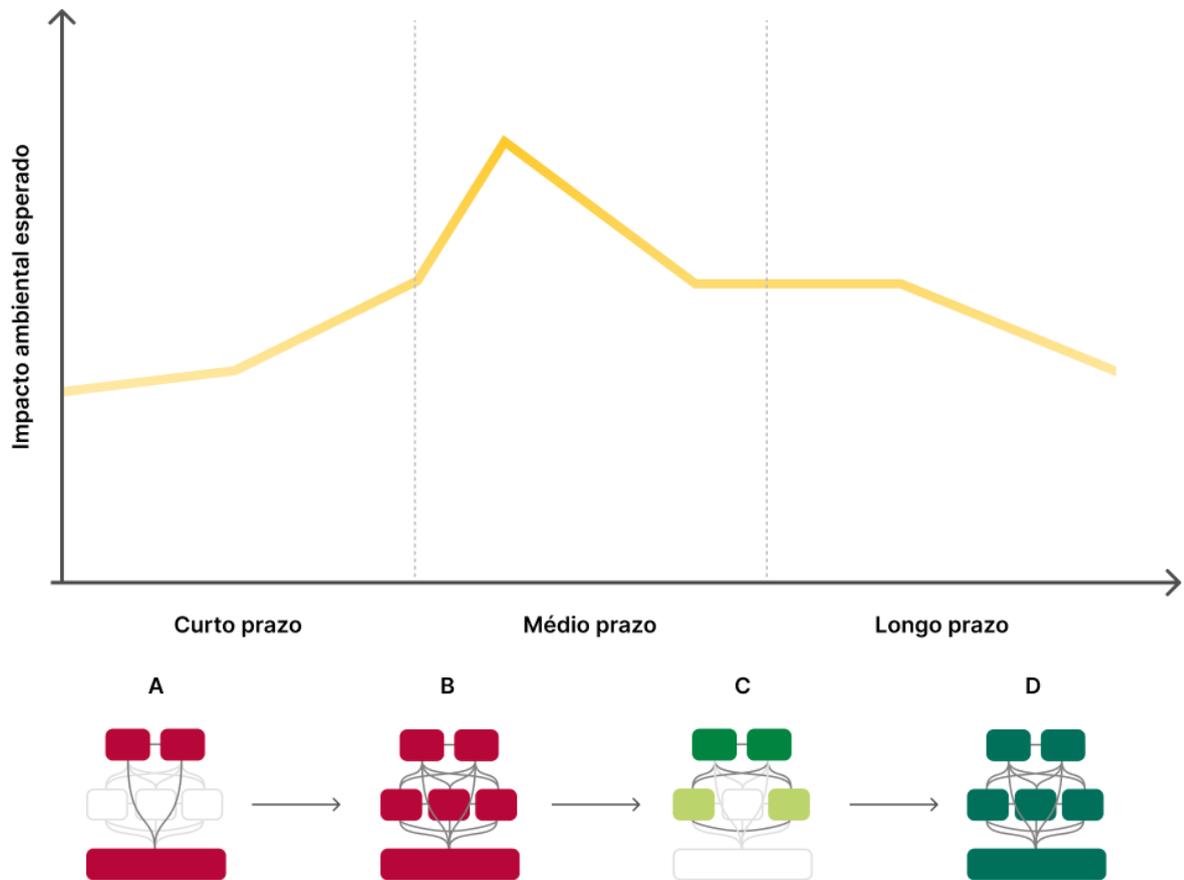
Nesse ambiente, designers, capacitados para pensar designs alinhados com princípios de economia circular, ajudam a viabilizar ações empreendedoras e transformações nos modelos de negócios, que retroalimentam a economia e todas as demais áreas. Com o aumento progressivo e até exponencial de técnicas recicláveis, o uso de matérias primas virgens perde seu espaço, tornando o cenário ainda mais favorável. No novo paradigma alcançado, há uma diminuição significativa das taxas de impacto ambiental do setor, viabilizados por uma cadeia de recuperação de resíduos descentralizada e eficaz.

Há, porém, o entendimento de que tal cenário só pode ser alcançado a partir de um volume maior de investimentos em ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento de alternativas recicláveis e de reciclagem na Manufatura Aditiva. Estabelecer também critérios de Economia Circular já configurados nos sistemas de Design Computacional, além da capacitação de designers é tarefa que tende a acelerar o setor, no entanto há pelo menos 22 desafios a serem superados (PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN, 2019) o que torna este um cenário esperado para o longo prazo.

Apesar da pesquisa apresentar individualmente cada alternativa de futuro⁴³, é possível imaginar também a evolução gradual e temporal de cada cenário em conjunto com seus impactos ambientais esperados. Entendido aqui como de maior probabilidade de ocorrência, a representação temporal na cor amarela (figura 20), ilustra uma gradação dos cenários A ao D a partir da expectativa de um impacto ambiental crescente no curto prazo e exponencial no médio prazo, com diminuição progressiva e mais lenta no longo prazo.

⁴³ Tópicos A, B, C e D.

Figura 20 - Esquema ilustrativo da expectativa de impacto ambiental esperado



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Muito dessa expectativa dá-se pelo entendimento de que os avanços nas pesquisas e tecnologias no âmbito da Manufatura Aditiva em conformidade com práticas de Economia Circular ainda são pouco significativas quando comparadas ao número de esforços com uso de matéria prima virgem, o que caberia um nível de investimento e esforço altíssimo, oposto à realidade observada no contexto atual.

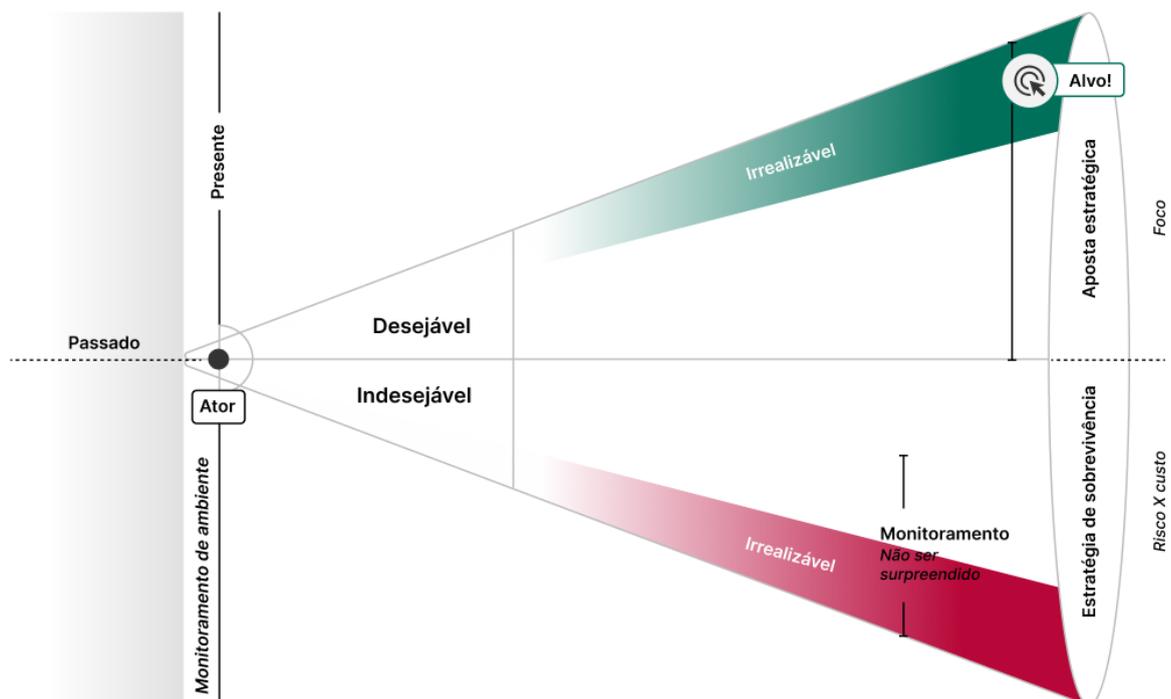
Vale ressaltar que ainda que exista um esforço alto de investimento, a maturidade das tecnologias desenvolvidas demanda tempo até que as soluções viáveis cheguem à população, o que diminui ainda mais a probabilidade de caminhos mais favoráveis se viabilizem no curto e médio prazo.

A reflexão acerca da projeção temporal realizada (figura 20) revela também futuros tão improváveis no curto prazo que, na abordagem do cone de futuros são

denominadas irrealizáveis⁴⁴. Representados nas cores vinho (não desejável) e verde-água (desejável), tais cenários podem servir como olhar inspiracional para modelos inovadores ou para monitoramentos de mudanças de paradigma de altíssimo risco, cabendo o olhar atento a eles (MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY, 2015).

e) Cenários Irrealizáveis não desejáveis e desejáveis

Figura 21 - Esquema ilustrativo dos cenários irrealizáveis não desejáveis e desejáveis



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir da visão de DESPEISSE et al. (2017) e MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY, (2015).

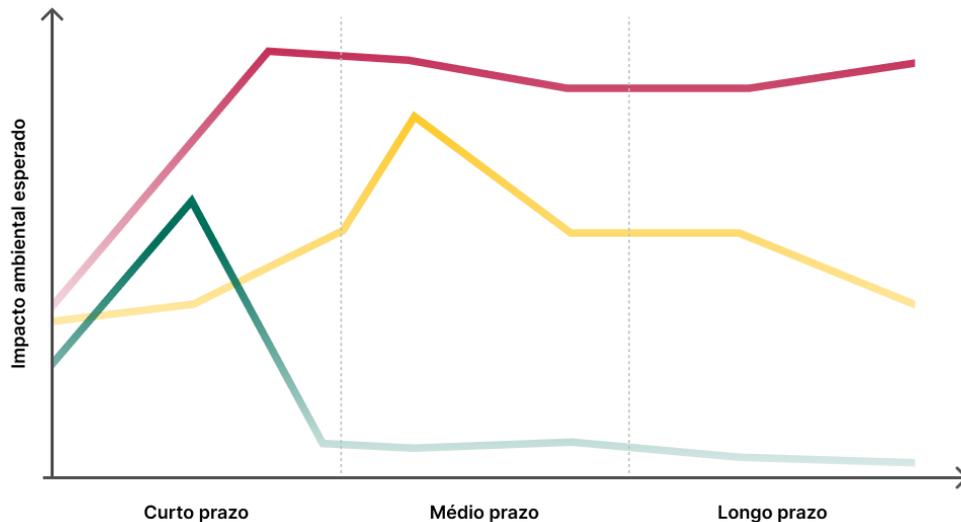
A partir da visão demonstrada na representação da figura 20, o cenário irrealizável e não desejável (cor vinho), apresenta baixíssima probabilidade e altíssimo risco. Nesse contexto, pode-se esperar um crescimento exponencial do impacto ambiental ainda no curto prazo, sem expectativas de diminuição no longo e médio prazo (figura 22).

⁴⁴ O uso do termo irrealizável não assume uma perspectiva determinista, mas um entendimento de baixa probabilidade de existência.

É possível, nesse caso, que uma nova tecnologia ou descoberta na manufatura aditiva ou design computacional insira exponencialmente no curto prazo novas técnicas e materiais de alto impacto ambiental, de custo baixo de produção e baixa barreira de entrada.

Muitos entrantes, individuais e muitas vezes anônimos, ao atuarem *in loco*, podem gerar impactos positivos e negativos, modificando o ambiente macroeconômico. Por estarem descentralizados, são difíceis de serem controlados ou, pelo menos, direcionados. O impacto ambiental é altíssimo e os desafios para uma Economia Circular não encontram precedentes. Ainda que exista uma mobilização social e governamental em prol de sanções ou alternativas sustentáveis, é difícil mapear ou agir de forma eficaz.

Figura 22 - Esquema ilustrativo da projeção temporal do impacto ambiental na perspectiva de curto, médio e longo prazo no âmbito do Design Computacional e Manufatura Aditiva na perspectiva do autor. Cenários irrealizáveis desejáveis e não desejáveis.



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

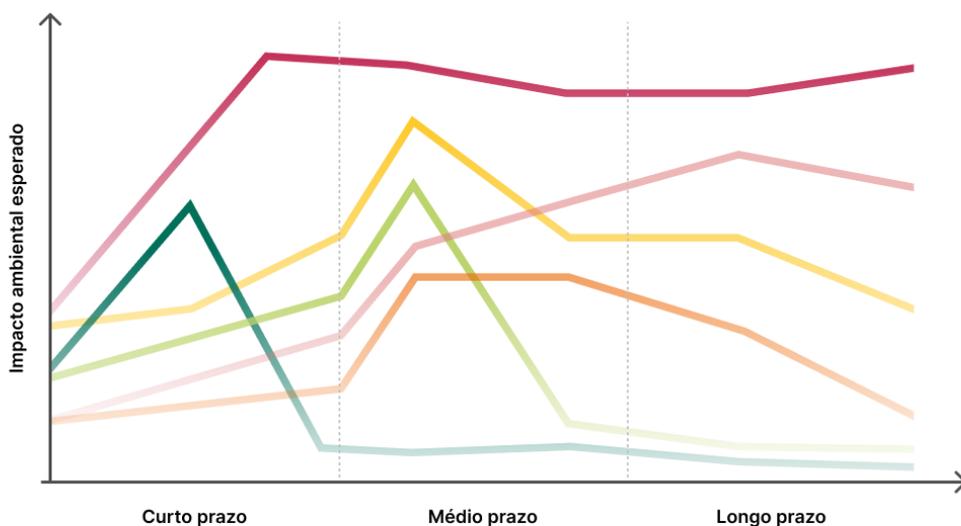
Em contraponto à representação temporal na cor vinho, a verde-água, considerada irrealizável e desejável, pode ser entendida como a de menor impacto ambiental, ou seja, a alternativa alvo. Para alcançá-la seria necessário um esforço iniciado no curto prazo com colaboração intensiva entre Universidades, Centros de PD&I, Empresas, Organizações da Sociedade Civil e de usuários individuais por todo mundo em prol da viabilização e aceleração de um ambiente de cooperação mútua.

Nesse cenário, Iniciativas de inovação aberta e educação em prol de descobertas sustentáveis de modelos de Design Computacional e Manufatura Aditiva alinhadas com práticas de economia circular embutidas, podem favorecer novas pesquisas, novos protótipos e níveis de maturidade tecnológica cada vez mais elevados, aumentando a competitividade das alternativas recicláveis em em comparação com as de matéria prima virgem.

O impacto ambiental nessa projeção ainda é esperado no curto prazo, porém é menor, o que, aliado ao aumento de depósitos de patentes, favorece também indicadores mais baixos no médio e longo prazo.

A variação nas curvas temporais apresentadas nos permite simular a existência de outros cenários, demonstrados na figura 23 nas cores rosa, laranja e verde. No primeiro, de cor rosa, é esperado que o crescimento exponencial de tecnologias de Design Computacional acelere significativamente o avanço de soluções não sustentáveis de manufatura aditiva, tornando ainda menos atrativas e menos vantajosas as alternativas recicláveis.

Figura 23 - Esquema ilustrativo da projeção temporal do impacto ambiental na perspectiva de curto, médio e longo prazo no âmbito do Design Computacional e Manufatura Aditiva. Cenários imaginados pelo autor.



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

O Impacto ambiental, nesse exemplo, é progressivamente alto no médio, se estendendo para o longo prazo. Com a consolidação de uma economia assim, as ações da economia circular são pouco prováveis ou viáveis em um cenário além do longo prazo. O impacto é tão grande que é provável que a sociedade atue com regras mais rígidas na tentativa de priorizar alternativas sustentáveis, mas ainda assim muita resistência é esperada.

Já na projeção de cor laranja, o crescimento exponencial de tecnologias de Design Computacional acelera significativamente o avanço de soluções não sustentáveis de manufatura aditiva, tornando menos atrativas e menos vantajosas as alternativas recicláveis no médio prazo. No entanto, há uma viabilização e maior interesse progressivo de soluções recicláveis no médio e longo prazo, cada vez mais viáveis, o que resulta em mais impacto ambiental por mais tempo, com decréscimo a passos largos.

Por fim, no de cor verde, o avanço das tecnologias de Design Computacional, pelo contexto atual, também viabiliza no médio prazo mais soluções que fazem uso de matéria prima virgem na manufatura aditiva. Porém, por termos desenvolvido desde já ações educacionais, pensamento orientado a dados e fomento a ações empreendedoras sustentáveis, algumas dessas descobertas viabilizam soluções sustentáveis sem precedentes, o que gera uma queda drástica no impacto ambiental esperado no médio prazo, fazendo com que não faça mais sentido priorizar soluções de matéria prima virgem. Isso faz com que a sociedade passe a aderir soluções sustentáveis quase que naturalmente, favorecendo o desenvolvimento do setor com menos impacto ambiental.

Diante dos resultados e discussões desenvolvidos no decorrer da pesquisa, encaminha-se para a consolidação das conclusões, que farão o apanhado das descobertas identificadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa articulou e analisou publicações científicas e documentos patentários para a investigação de tendências relacionadas ao âmbito do Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva. O estudo aprofundado dessas descobertas científicas e tecnológicas foi fator revelador de oportunidades e desafios para a implementação de um contexto mais favorável ao desenvolvimento Economia Circular.

Foi identificada na análise de *data and text mining* uma relação clara entre o crescimento das publicações científicas e documentos patentários no Design Computacional, fator que demonstra que o campo evolui a partir de uma perspectiva convergente entre ciência e inovação. Marcos temporais nos picos de desenvolvimento do campo foram relacionados a uma maior viabilização de performance e acessibilidade a tecnologias de processamento e armazenamento na nuvem, em conjunto com a viabilização comercial a uma maior parcela de pessoas, especialmente a partir dos anos 2000.

Verificou-se também um volume maior de registros científicos vinculados ao tema do Design Algorítmico e Paramétrico, e menor do Design Generativo. No entanto, sob a ótica tecnológica ficou evidente que o Design Generativo tem alcançado níveis de desenvolvimento elevados, similares aos do Design Algorítmico, avanço que não tem sido acompanhado da mesma forma pelo Design Paramétrico.

Dentre os dados de depósitos e patentes proprietárias, foi possível perceber uma predominância muito significativa dos Estados Unidos. Tal indicador foi interpretado como fator de alerta para a competitividade no ecossistema de Pesquisa e Inovação global, uma vez que técnicas de impressão 3D tendem a depender por definição de sistemas computacionais para o seu funcionamento e performance. Conclui-se que a hegemonia de países, como no caso apresentado, pode aumentar o esforço de novos entrantes e também a diminuição da competitividade no setor.

Ficou evidente o amplo interesse de empresas e organizações norte-americanas nos avanços do tema, em destaque para a indústria, que vem desenvolvendo diversas soluções de fabricação personalizadas, utilizando materiais

alternativos e de alta performance, e também na saúde, com soluções que vão desde a fabricação de órgãos *in vitro* à simuladores de procedimentos cirúrgicos. Tal protagonismo foi relacionado ao esforço do governo americano em conjunto com o setor empresarial a partir do programa *America Makes* e do recente lançamento, pelo presidente Joe Biden, do *AM Forward*, dedicado a apoiar pequenas e médias empresas no mercado de impressão 3D.

A partir do estudo qualitativo das patentes, foi possível identificar 17 temas de convergência, considerados no estudo como frentes de desenvolvimento científico e tecnológico. Cada um dos 17 temas foi analisado sob as perspectivas de curto, médio e longo prazo presentes nas técnicas de *Roadmap* Tecnológico.

Os resultados encontrados demonstram uma predominância de interesse sob os aspectos técnicos no curto prazo das soluções de Design Computacional e Manufatura Aditiva, o que revelou uma necessidade de maior debate sobre temas como Ética, formação profissional e educacional e Ecodesign e Sustentabilidade.

Sob a ótica da Economia Circular, o uso de matéria prima virgem, como polímeros, por exemplo, ainda é tema sensível, o que demanda maior presença de ações de fomento ao desenvolvimento de alternativas recicláveis de melhor viabilidade e performance.

Dentre a variedade de futuros possíveis, utilizou-se a perspectiva de **DESPEISSE et al. (2017)** para o desenvolvimento de um *framework* interativo que foi utilizado para desenhar e permutar cenários do mais desejável ao não desejável. O *framework* foi aplicado em conjunto com o Cone de Futuros desenvolvido a partir da visão de **MARCIAL; WOSGRAU; CHERVENSKY (2015)**, sendo detalhadas cada uma das frentes desejáveis, indesejáveis, realizáveis e irrealizáveis, a partir das descobertas coletadas na presente pesquisa.

Na perspectiva do Cone de Futuros, o estudo levanta à pauta possíveis riscos de que uma estrutura descentralizada de manufatura possa aumentar consideravelmente a destinação incorreta de resíduos plásticos na natureza, caso não observado os aspectos da Economia Circular em seu desenvolvimento. Identifica-se o momento presente como ponto de inflexão, um momento em que cenários muito favoráveis ou muito desfavoráveis podem desmembrar-se.

Em todos os futuros imaginados espera-se um aumento dos impactos ambientais no curto e médio prazo, porém é possível que a intensidade e a duração desses possíveis impactos possa ser minimizada ou intensificada pelo surgimento de mais pesquisas e tecnologias alinhadas aos princípios de Economia Circular.

Identificou-se como essencial o surgimento de mais estruturas de informações capazes de analisar e monitorar com dados como o setor evolui, o desenvolvimento de ações de caráter educacional para a comunidade e para os profissionais de design, bem como a formação técnica e teórica de designers em aspectos de projeto alinhados à Economia Circular.

Para a mitigação de impactos ainda no curto prazo, identificou-se como oportunidades a estruturação de coalizões entre empresas, governos, universidades e organizações da sociedade civil em prol da cooperação e desenvolvimento de soluções para a produção, coleta e recuperação de resíduos recicláveis na Manufatura Aditiva.

Ficou claro também que é preciso que as soluções recicláveis existentes evoluam em termos de maturidade tecnológica, cabendo o investimento intensivo em pesquisa, desenvolvimento e inovação, bem como a criação de políticas, programas governamentais e benefícios para soluções inovadoras, em especial para empresas interessadas no tema.

A utilização de alternativas de matéria prima de origem biológica na Manufatura Aditiva, também foi identificada como oportunidade para que a utilização de matéria prima virgem seja cada vez menos presente. Porém tomou-se como fator de risco o possível surgimento de novas matérias primas de alto impacto ambiental, de custo baixo de produção e baixa barreira de entrada, o que gera a necessidade de que a comunidade monitore o ambiente para que cenários muito desfavoráveis não virem uma realidade irremediável no curto e médio prazo.

Conclui-se que o investimento em tecnologias de Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva que considerem aspectos de Economia Circular não é só necessário para que tenhamos um futuro mais sustentável, mas também uma oportunidade sem precedentes para alcançarmos níveis de

reciclabilidade nunca antes vistos, fator que pode resolver problemas centrais na nossa sociedade atual.

O estudo contribui para fortalecer a importância do mapeamento tecnológico no âmbito do Design, como ferramenta capaz de aumentar o poder decisório da comunidade. Como perspectivas futuras, espera-se que novos estudos como esse sejam mais presentes no campo, em especial aqueles que considerem os aspectos da Economia Circular ainda nas fases iniciais de design.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TOP500 SUPERCOMPUTER DATABASE. **Computational capacity of the fastest supercomputers**. Disponível em:

<<https://ourworldindata.org/grapher/supercomputer-power-flops>>. Acesso em: 28 set. 2022.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. [s.l.] Abrelpe - Associação de Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 27 set. 2022.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. [s.l.] Abrelpe - Associação de Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2021. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Acesso em: 27 set. 2022.

ANTUNES, A. M. DE S. et al. Métodos de Prospecção tecnológica, inteligência competitiva e Foresight: principais conceitos e técnicas. In: **Série Prospecção Tecnológica**. [s.l.] Ifba, 2018. p. 19–108.

ARIDA, S. **Contextualizing Generative Design**. Tese de Doutorado—[s.l.] Massachusetts Institute of Technology, 2004.

ASTM INTERNATIONAL. **Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, (Withdrawn 2015)**. Disponível em:

<<https://www.astm.org/f2792-12a.html>>.

BARBIERI, J. C. **Produção e transferência de tecnologia**. 1990: Ática, 1990.

BORGES, G. C. et al. Estudo Prospectivo sobre Sistema de Controle e Aceleração em Elevadores. **Cadernos de Prospecção**, v. 12, n. 3, p. 602, 13 set. 2019.

BOWER, J. L.; CHRISTENSEN, C. M. Disruptive technologies: catching the wave. **Long Range Planning**, v. 28, n. 2, p. 155, abr. 1995.

BURRY, M.; GAUDÍ, A. **Expiatory Church of the Sagrada Família: Antoni Gaudí**. [s.l.] Phaidon Incorporated Limited, 1993.

CAETANO, I.; SANTOS, L.; LEITÃO, A. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. **Frontiers of Architectural Research**, v. 9, n. 2, p. 287–300, jun. 2020.

CANONGIA, C.; PEREIRA, M. DE N. F.; ANTUNES, A. Modelo de estratégia de prospecção de setores intensivos em P&D: sinergias entre Inteligência Competitiva (IC), Gestão do Conhecimento (GC), e Foresight (F)[*]. **DataGramaZero**, v. 7, n. 1, fev. 2006.

DESPEISSE, M. et al. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 115, p. 75–84, fev. 2017.

ESPACENET. **International Patent Classification (IPC)** **International Patent Classification (IPC)**. Disponível em: https://is.espacenet.com/help?locale=en_IS&method=handleHelpTopic&topic=ipc. Acesso em: 28 set. 2022.

FISCHER, T.; HERR, C. M. **Teaching Generative Design**. The Proceedings of the Fourth International Conference on Generative Art 2001. **Anais...** In: THE PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GENERATIVE ART 2001. Generative Design Lab, DiAP Politecnico di Milano University, 2001. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/2015%20+dave=2:/Show?c78f>. Acesso em: 26 set. 2022

FLUSSER, V. **O mundo codificado: por uma filosofia do design e da comunicação**. [s.l.] Editora Cosac Naify, 2007. p. 222

FLUSSER, V. **O universo das imagens técnicas: elogio da superficialidade**. [s.l.] Imprensa da Universidade de Coimbra / Coimbra University Press, 2012. p. 206

FOLLETT, J. AI, Architecture, and Generative Design. **Towards Data Science**, 13 nov. 2020.

FRAZER, J. Parametric Computation: History and Future. **Architectural Design**, v. 86, n. 2, p. 18–23, mar. 2016.

GEBLER, M.; SCHOOT UITERKAMP, A. J. M.; VISSER, C. A global sustainability perspective on 3D printing technologies. **Energy Policy**, v. 74, p. 158–167, nov. 2014.

GHILAN, A. et al. Trends in 3D Printing Processes for Biomedical Field: Opportunities and Challenges. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 28, n. 5, p. 1345–1367, 31 mar. 2020.

GILLE, B. **Les ingénieurs de la Renaissance**. [s.l.] Seuil, 1978a.

GILLE, B. **Encyclopédie de la Pléiade: Histoire Des Techniques : Technique Et Civilisations [et] Technique Et Sciences**. [s.l.] Gallimard, 1978b.

GILLE, B. **Les mécaniciens grecs: la naissance de la technologie**. [s.l.] Seuil, 1980.

GODET, M. **Creating Futures: Scenario Planning as a Strategic Management Tool**. [s.l.] Economica Limited, 2006.

HARVARD BUSINESS REVIEW ANALYTIC SERVICES. **The next Wave of Intelligent Design Automation**. [s.l.] Harvard Business School Publishing, 2018.

IZARD, J.-B. et al. Large-scale 3D printing with cable-driven parallel robots. **Construction Robotics**, v. 1, n. 1–4, p. 69–76, 30 ago. 2017.

JOINT RESEARCH CENTRE (EUROPEAN COMMISSION) et al. **AI watch, historical evolution of artificial intelligence : analysis of the three main paradigm shifts in AI**. Disponível em:

<https://op.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_KJNA30221ENN>.

JOINT RESEARCH CENTRE (EUROPEAN COMMISSION); HERNÁNDEZ-ORALLO, J.; MARTÍNEZ-PLUMED, F. **AI watch, methodology to monitor the evolution of AI technologies**. Disponível em:

<https://op.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_KJNA30119ENN>.

KAM, S. Three-Dimensional Printing Fashion Product Design with Emotional Durability Based on Korean Aesthetics. **Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 240, 27 dez. 2021.

KING, A. A.; BAATARTOGTOKH, B. How Useful Is the Theory of Disruptive Innovation? **MIT Sloan Management Review**, v. 57, n. 1, p. 77–90, 15 set. 2015.

KROMOSER, B.; PACHNER, T. Optiknot 3D—Free-Formed Frameworks out of Wood with Mass Customized Knots Produced by FFF Additive Manufactured Polymers: Experimental Investigations, Design Approach and Construction of a Prototype. **Polymers**, v. 12, n. 4, p. 965, 21 abr. 2020.

KRUM, R. **Cool Infographics: Effective Communication with Data Visualization and Design**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2013. p. 368

KURZWEIL, R. **The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology**. [s.l.] Penguin, 2005. p. 672

KYRIAKOU, H.; NICKERSON, J. V.; SABNIS, G. Knowledge Reuse for Customization: Metamodels in an Open Design Community for 3D Printing. **MIS Quarterly**, v. 41, n. 1, p. 315–332, 1 jan. 2017.

LEE, S.; PARK, Y. Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 72, n. 5, p. 567–583, jun. 2005.

LEPORE, J. What the Gospel of Innovation Gets Wrong. **The New Yorker**, 16 jun. 2014.

LEROI-GOURHAN, A. **Évolution et techniques I: L'homme et la matière**. [s.l.] Albin Michel, 1943.

LEROI-GOURHAN, A. **Le Geste et la Parole - tome 1: Technique et langage**. [s.l.] Albin Michel, 1992.

LEUNG, Y.-S. et al. Challenges and Status on Design and Computation for Emerging Additive Manufacturing Technologies. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v. 19, n. 2, 18 mar. 2019.

LIN, F. et al. **Deriving Technology Roadmaps with Tech Mining Techniques**. PACIS 2008 Proceedings. **Anais...** In: PACIS 2008 PROCEEDINGS. Association for Information Systems - AIS Electronic Library (AISeL), jul. 2008. Disponível em: <<https://aisel.aisnet.org/pacis2008/255>>

MARCIAL, E. C.; WOSGRAU, A. C.; CHERVENSKY, V. M. B. Cone de futuro: alternativas concebíveis por autor. **Revista Brasileira de Planejamento e Orçamento (RBPO)**, v. 5, n. 1, p. 28–38, 15 maio 2015.

MARIANO, A. M.; ROCHA, M. S. **Revisão da literatura: apresentação de uma abordagem integradora**. AEDEM International Conference. **Anais...** In: AEDEM INTERNATIONAL CONFERENCE. 2017.

MARKET DATA FORECAST. **Generative Design Market Research Report - Segmentation By Application (Product Design & Development and Cost Optimization), Component (Software and Services), End-User (Automotive, Aerospace & Defense, Industrial Manufacturing), and Region - Forecast to 2027**. Disponível em: <<https://www.marketdataforecast.com/market-reports/generative-design-market>>.

MARKETS AND MARKETS. **3D Printing Market Share, Size, Trends - [2021-2026]**. Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/3d-printing-market-1276.html>>

MARTÍNEZ-PLUMED, F.; GÓMEZ, E.; HERNÁNDEZ-ORALLO, J. Futures of artificial intelligence through technology readiness levels. **Telematics and Informatics**, v. 58, p. 101525, maio 2021.

MEIRELLES, I. **Design for Information: An Introduction to the Histories, Theories, and Best Practices Behind Effective Information Visualizations**. [s.l.]

Rockport Publishers, 2013. p. 224

MOURA, A. M. M. DE. **A Interação Entre Artigos e Patentes: um estudo cientométrico da comunicação científica e tecnológica em Biotecnologia**. Tese de doutorado—[s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação, Programa de Pós- Graduação em Comunicação e Informação, 2009.

NORTON, W. B. **DrPeering White Paper - Internet Transit Prices**. Disponível em: <<https://drpeering.net/white-papers/Internet-Transit-Pricing-Historical-And-Projected.php>>.

PACTO GLOBAL REDE BRASIL. **Pacto Global**. Disponível em: <<https://www.pactoglobal.org.br/pg/esg>>. Acesso em: 28 set. 2022.

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**, v. 241, p. 118313, dez. 2019.

PETTERSSON, R. **INFORMATION DESIGN: Information Design Theories**. [s.l.] IIID Public Library, 2016. p. 286

PLOCHER, J.; PANESAR, A. Review on design and structural optimisation in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures. **Materials & Design**, v. 183, p. 108164, dez. 2019.

POH, P. S. P. et al. Polylactides in additive biomanufacturing. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 107, p. 228–246, dez. 2016.

PRADEL, P. et al. Investigation of design for additive manufacturing in professional design practice. **Journal of Engineering Design**, v. 29, n. 4–5, p. 165–200, 22 mar. 2018.

QUINTELLA, C. M. et al. **Captura de CO2 (overview): Mapeamento Tecnológico da Captura de CO2 baseado em patentes e artigos**. [s.l.] Edufba - Universidade Federal da Bahia, 2011. v. 1

RIBEIRO, N. M.; PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA A INOVAÇÃO, P.

Coleção Profnit: Série Prospecção Tecnológica. [s.l.] Ifba, 2018. v. 1

ROSER, M.; RITCHIE, H. Technological Change. **Our World in Data**, 2013.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. 3. ed. [s.l.] Pearson, 2010. p. 1132

SAFFO, P. Six Rules for Effective Forecasting. **Harvard Business Review**, 1 jul. 2007.

SCHEPS, R. **O império das técnicas**. [s.l.] Papirus, 1996. p. 230

SINGH, V.; GU, N. Towards an integrated generative design framework. **Design Studies**, v. 33, n. 2, p. 185–207, mar. 2012.

TAVARES, A. S.; BORSCHIVER, S. Elaboração de Roadmap Tecnológico e de Modelo de Negócios de Economia Circular. **Cadernos de Prospecção**, v. 14, n. 3, p. 810, 1 jul. 2021.

U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS. **Producer Price Index by Industry: Semiconductor and Other Electronic Component Manufacturing**. Disponível em: <<https://fred.stlouisfed.org/series/PCU33443344>>.

VAN WASSENHOVE, R.; DE LAET, L.; VASSILOPOULOS, A. P. A 3D printed bio-composite removable connection system for bamboo spatial structures. **Composite Structures**, v. 269, p. 114047, ago. 2021.

VERIFIED MARKET RESEARCH. **Global Generative Design Market Size By Type, By Components, By Application, By Geographic Scope And Forecast**. Disponível em: <<https://www.verifiedmarketresearch.com/product/generative-design-market/>>.

VERNER, I.; MERKSAMER, A. Digital Design and 3D Printing in Technology Teacher Education. **Procedia CIRP**, v. 36, p. 182–186, 2015.

WALLSTEN, S. **Cloud Computing: Co-Invention for the Masses - Publications**. Disponível em: <<https://techpolicyinstitute.org/publications/miscellaneous/cloud-computing-co-invention-for-the-masses/>>.

WANDERLEY, E. Entrevista especial: Hartmut Rosa. **Diário de Pernambuco**, 14 abr. 2014.

WIPO - WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. **International Patent Classification (IPC)**. Disponível em: <<https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>>. Acesso em: 28 set. 2022.

YI, L. et al. A case study on the part optimization using eco-design for additive manufacturing based on energy performance assessment. **Procedia CIRP**, v. 96, p. 91–96, 2021.

YU, R.; GU, N.; OSTWALD, M. J. **Computational Design: Technology, Cognition and Environments**. [s.l.] CRC Press, 2021. p. 242

APÊNDICE A - ACERVO DE DOCUMENTOS PATENTÁRIOS E PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS: ATRIBUIÇÕES DENTRE OS 17 TEMAS DE CONVERGÊNCIA

O presente apêndice tem como objetivo apresentar o acervo de 144 documentos patentários e 85 publicações científicas analisadas na amostra, bem como disponibilizar para consulta as classificações atribuídas dentre os 17 temas de convergência identificados.

Em termos de identificação dos temas de convergência, utilizou-se um caminho de análise que compreendeu três etapas principais: i) segmentação dos documentos patentários em depósitos de patentes e patentes garantidas, bem como de publicações científicas ii) leitura de todos resumos de cada documento patentário e publicação científica, iii) atribuição de uma primeira listagem de temas de convergência entre todos os registros, iv) revisão da lista de temas de convergência, o que resultou nos 17 temas identificados. Cada registro teve até três temas de convergência atribuídos, pelo fato de que cada registro pode apresentar intersecções entre temas distintos.

i. Depósitos de patentes

Nas tabelas 8 e 9, disponibilizadas a seguir, é possível consultar o nome do

depositante, o título do invento, o *link* de acesso e os temas de convergência atribuídos na análise.

Tabela 8 - 87 registros de depósitos de patentes identificadas nas tecnologias no Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva

Depositante	Título	Link	Temas de convergência atribuídos na análise	
3SHAPE AS	Designing A Virtual Preparation And A Virtual Gingival	https://lens.org/083-497-926-579-587	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos
3SHAPE AS	Designing A Virtual Preparation And A Virtual Gingival	https://lens.org/101-704-875-427-144	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos
ADIDAS AG	Uv Curable Lattice Microstructure For Footwear	https://lens.org/104-649-727-902-572	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
ADIDAS AG	Uv Curable Lattice Microstructure For Footwear	https://lens.org/002-686-750-973-007	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
ADIDAS AG	Uv Curable Lattice Microstructure For Footwear	https://lens.org/008-901-546-414-184	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
ADIDAS AG	Uv Curable	https://lens.org/104-649-727-902-572	Moda,	Métodos e

	Lattice Microstructure For Footwear	19-419-000-526-95X	impressão têxtil e de vestuário	técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
ADVANCED MFG LLC	System And Method For Continuous Fabrication Of Graded Structured Units Using Additive Manufacturing	https://lens.org/005-223-098-430-236	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
ALLIANCE SUSTAINAB LE ENERGY	Additive Design And Manufacturing For Electric Machines	https://lens.org/086-410-458-671-001	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	
AMPHIBIO LTD	Wearable Artificial Gill	https://lens.org/020-570-118-837-210	Design de produto orientado à impressão 3D	
ARCONIC INC	Systems And Methods For Additive Manufacture	https://lens.org/114-269-964-051-626	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
ARCONIC INC	Systems And Methods For Performing Calibration In Additive Manufacture	https://lens.org/118-754-602-454-588	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
AUTODESK INC	3d Geometry Generation For Computer Aided Design Considering Subtractive Manufacturing	https://lens.org/075-838-173-442-756	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados

	Forces		criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	3d Geometry Generation For Computer Aided Design Considering Subtractive Manufacturing Forces	https://lens.org/043-884-131-598-53X	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
AUTODESK INC	Combining Additive And Conventional Manufacturing Techniques To Improve Manufacturability	https://lens.org/080-753-242-789-437	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Computer-Imple mented Method For Space Frame Design, Space Frame Construction Kit And Space Frame	https://lens.org/180-185-412-890-777	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Computer-Imple mented Method For Space Frame Design, Space Frame Construction Kit And Space Frame	https://lens.org/173-486-112-992-590	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Conversion Of Generative Design Geometry To Editable And Watertight Boundary Representation In	https://lens.org/190-409-522-902-612	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos	

	Computer Aided Design		criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Conversion Of Mesh Geometry To Watertight Boundary Representation	https://lens.org/042-907-655-392-543	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
AUTODESK INC	Conversion Of Mesh Geometry To Watertight Boundary Representation	https://lens.org/148-954-036-533-189	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
AUTODESK INC	Generative Design Shape Optimization With Controlled Convergence For Computer Aided Design And Manufacturing	https://lens.org/075-212-552-773-294	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Generative Design Shape Optimization With Singularities And Disconnection Prevention For Computer Aided Design And Manufacturing	https://lens.org/186-318-538-692-041	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Generative Design Shape Optimization With Size Limited Fatigue Damage For Computer Aided Design	https://lens.org/163-821-822-771-533	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos	

	And Manufacturing		criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Hybrid Surface Modelling With Subdivision Surfaces And Nurbs Surfaces	https://lens.org/055-820-261-330-382	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Macrostructure Topology Generation With Physical Simulation For Computer Aided Design And Manufacturing	https://lens.org/000-106-521-280-294	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
AUTODESK INC	Macrostructure Topology Generation With Physical Simulation For Computer Aided Design And Manufacturing	https://lens.org/054-673-966-524-095	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
AUTODESK INC	Macrostructure Topology Generation With Physical Simulation For Computer Aided Design And Manufacturing	https://lens.org/057-223-382-155-725	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
AUTODESK INC	Method And Apparatus For Continuity Based Smoothing	https://lens.org/127-821-304-449-661	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados

			criativos, modelagem e fabricação		
AUTODESK INC	Topology Optimization Of Structure With Multiple Targets	https://lens.org/022-336-729-713-951	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
BESPOKE INC D/B/A/ TOPOLOGY EYEWEAR	Method And System To Create Custom, User-Specific Eyewear	https://lens.org/091-776-257-661-71X	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BESPOKE INC D/B/A/ TOPOLOGY EYEWEAR	Method And System To Create Custom, User-Specific Eyewear	https://lens.org/093-594-545-917-383	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BIOCONIX PTY LTD	Smart Composite Textiles And Methods Of Forming	https://lens.org/059-391-384-005-611	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	
CUI QIANG;;ZHA NG MING;;YU CHUAN;;PA WAR SIDDHARTH SUHAS	Frame Structure Optimization Method Based On 3d Printing	https://lens.org/015-955-786-872-042	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	

DIVERGENT TECH INC	3-D Printed Metrology Feature Geometry And Detection	https://lens.org/160-067-019-712-023	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	-	-
EOS OF NORTH AMERICA INC	Customized Face Mask Made Using Additive Manufacture	https://lens.org/109-317-551-366-673	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Design de produto orientado à impressão 3D	-
EOS OF NORTH AMERICA INC	Flexible Contoured Respirator Mask Made Using Additive Manufacture	https://lens.org/170-542-361-432-310	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens
GALLINARO LAUREN	Funeral Urn And Methods Of Producing Funeral Urns	https://lens.org/080-436-311-447-205	Design de produto orientado à impressão 3D	Eco-Design e sustentabilidad e	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
GEN ELECTRIC	Framework For Rapid Additive Design With Generative Techniques	https://lens.org/170-255-894-033-994	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	-
GEN ELECTRIC	Optimizing Support Structures For Additive Manufacturing	https://lens.org/025-524-532-653-171	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	-
GEN ELECTRIC	Optimizing Support Structures For Additive	https://lens.org/157-865-517-385-027	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem	Modelos de Design Computacional utilizados para	-

	Manufacturing		conectados à nuvem	apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
GUIZHOU HANKAISI INTELLIGENT TECH CO LTD	Electric Arc Fuse Additive Manufacturing Chassis Structure Design Method	https://lens.org/057-170-400-721-318	Indústria automotiva	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
GUIZHOU HANKAISI INTELLIGENT TECH CO LTD	Frame Structure Optimization Method Based On 3d Printing	https://lens.org/022-110-813-431-605	Indústria automotiva	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
HOLO INC	Compositions And Methods For Particle Three-Dimensional Printing	https://lens.org/101-642-001-542-482	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	-
HOLO INC	Methods And Systems For Stereolithography Three-Dimensional Printing	https://lens.org/159-544-574-920-124	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	-
HOLO INC	Methods And Systems For Stereolithography Three-Dimensional Printing	https://lens.org/099-586-090-872-331	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	-
HOLO INC	Methods And Systems For Stereolithography	https://lens.org/002-519-279-423-418	Métodos e técnicas para impressão de	Robótica e/ou Maquinário para	-

	Three-Dimensional Printing		formas, geometrias e materiais especializados	manufatura aditiva	
HOLO INC	Sensors For Three-Dimensional Printing Systems And Methods	https://lens.org/051-639-629-561-858	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	-
HOLO INC	Stereolithography Three-Dimensional Printing Systems And Methods	https://lens.org/176-456-231-839-320	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	-
HOLO INC	Viscous Film Three-Dimensional Printing Systems And Methods	https://lens.org/097-749-622-080-775	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	-
HOLO INC	Viscous Film Three-Dimensional Printing Systems And Methods	https://lens.org/174-365-054-346-122	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	-
HOLO INC	Viscous Film Three-Dimensional Printing Systems And Methods	https://lens.org/009-431-477-188-293	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	-
HOLO INC	Viscous Film Three-Dimensional Printing Systems And Methods	https://lens.org/083-833-723-566-364	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	-
KNOTHE TATE MELISSA	Mechanoactive Materials And Uses Thereof	https://lens.org/156-526-960-285-992	Métodos e técnicas para impressão de	Modelagem, simulação e Impressão de	

			formas, geometrias e materiais especializados	tecidos biológicos
MADE IN SPACE INC	In-Space Manufacturing And Assembly Of Spacecraft Device And Techniques	https://lens.org/14-406-297-618-542	Engenharia Aeroespacial	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
MAGOTTEA UX INT S A	Hierarchical Composite Wear Part With Structural Reinforcement	https://lens.org/031-868-842-136-926	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
MANTIS COMPOSIT ES INC	5-Axis Continuous Carbon Fiber 3d Printing And Meta-Materials, Parts, Structures, Systems, And Design Methods Thereby Enabled	https://lens.org/003-275-415-612-941	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
MANTIS COMPOSIT ES INC	5-Axis Continuous Carbon Fiber 3d Printing And Meta-Materials, Parts, Structures, Systems, And Design Methods Thereby Enabled	https://lens.org/156-100-640-018-280	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
MANTIS COMPOSIT ES INC	Additive Manufacturing Of Composite Materials	https://lens.org/130-229-807-312-312	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
MANTIS COMPOSIT ES INC	Additive Manufacturing Of Composites	https://lens.org/103-261-481-379-074	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva

MARTZ MARTIN G;;MARTZ ANDREW S	Tooth-Positioning Appliance, Systems And Methods Of Producing And Using The Same	https://lens.org/104-450-853-565-206	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
MASSACHU SETTS INST TECHNOLO GY	Methods And Apparatus For Additive Manufacturing With Molten Glass	https://lens.org/159-874-590-066-88X	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	
MASSACHU SETTS INST TECHNOLO GY	Methods And Apparatus For Additive Manufacturing With Molten Glass	https://lens.org/117-557-755-402-579	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	
ORGANOFA B TECH INC	Method And Apparatus For A Tissue Engineering System	https://lens.org/170-110-623-959-173	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
ORGANOFA B TECH INC	Method And Apparatus For A Tissue Engineering System	https://lens.org/088-080-154-520-136	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
PCL CONSTRUC TION ENTPR INC	Digital Fabrication Of Concrete Formwork	https://lens.org/172-098-774-270-430	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em	

				processos criativos, modelagem e fabricação	
POSTPROC ESS TECH INC	Method And Compositions For Modifying An Additively Manufactured Metal Or Metal-Alloy Object	https://lens.org/10-955-995-632-233	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
PRELLIS BIOLOGICS INC	Compositions And Methods For Printing Three-Dimension al Structures Corresponding To Biological Material	https://lens.org/155-947-808-512-395	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
PRELLIS BIOLOGICS INC	Compositions And Methods For Printing Three-Dimension al Structures Corresponding To Biological Material	https://lens.org/043-744-179-595-86X	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
PRELLIS BIOLOGICS INC;;MCGO OGAN MATTHEW	Methods And Systems For Model Generation	https://lens.org/028-126-879-553-028	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos
RAYTHEON TECH CORP	Erodible Support Structure For Additively Manufactured Article And Process Therefor	https://lens.org/138-555-386-785-211	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em	

			especializados	processos criativos, modelagem e fabricação	
RAYTHEON TECH CORP	Erodible Support Structure For Additively Manufactured Article And Process Therefor	https://lens.org/129-808-783-580-697	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
SIEMENS AG;;SIEMENS CORP	3d Object Design Synthesis And Optimization Using Existing Designs	https://lens.org/076-406-970-066-017	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem	
SIMBIONIX LTD	Method And System For Three-Dimensional Print Oriented Image Segmentation	https://lens.org/186-451-481-151-078	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos
SIMBIONIX LTD	Method And System For Three-Dimensional Print Oriented Image Segmentation	https://lens.org/072-203-061-902-30X	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos
STRONG FORCE TX PORTFOLIO 2018 LLC	Systems And Methods For Controlling Rights Related To Digital Knowledge	https://lens.org/199-571-407-459-478	Direitos autorais	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em	

				processos criativos, modelagem e fabricação	
THE ALGORITHM MIC DESIGN CORP	Systems, Devices, And Methods For Designing And Manufacturing Custom Respirator Masks	https://lens.org/024-073-638-435-387	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	
UNIV BATH	Generating An Object Representation To Be Manufactured	https://lens.org/132-181-062-746-169	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
UNIV CHINA GEOSCIEN CES	Material Design 3d Printing Process Based On Rock And Soil Models	https://lens.org/148-519-969-438-718	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
UNIV GLASGOW COURT	Digital Reactionware	https://lens.org/129-126-867-013-114	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados		
UNIV GLASGOW COURT	Digital Reactionware	https://lens.org/000-190-535-159-609	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados		
UNIV HUAQIAO	Self-Supporting 3d Printing Gradient Elastic Porous Material Microstructure	https://lens.org/182-001-805-680-715	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os	

	Design Method		materiais especializados	designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
UNIV OF NEW SOUTH WALES	Smart Composite Textiles And Methods Of Forming	https://lens.org/059-068-722-953-228	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	
UNIV SHANGHAI JIAOTONG	Personalized Lightweight Medical Splint And Design Method Thereof	https://lens.org/092-336-246-169-057	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
UNIV XIAN TECHNOLOGY	3d Printing Manicure Model Based On Parametric Design And Construction Method Thereof	https://lens.org/129-612-400-008-577	Design de produto orientado à impressão 3D	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
VELO3D INC	Data Assurance In Three-Dimensional Forming	https://lens.org/119-452-179-455-50X	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
VELO3D INC	Manipulating One Or More Formation Variables To Form Three-Dimensional Objects	https://lens.org/052-262-666-037-974	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
VELO3D	Manipulating One	https://lens.org/0	Modelos de		

INC	Or More Formation Variables To Form Three-Dimension al Objects	17-750-002-010-254	Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
VOLKSWAG EN AG;;AUDI AG;;PORSC HE AG	Additively Manufactured Article And Method For Producing An Additively Manufactured Article	https://lens.org/049-424-081-683-509	Design de produto orientado à impressão 3D	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Indústria automotiva

ii. Patentes proprietárias

Na tabela 9, disponibilizada a seguir, disponibiliza-se para consulta os registros das 57 patentes garantidas da amostra. As patentes garantidas, são aqueles documentos com direito garantido de propriedade.

Tabela 9 - 57 registros de patentes garantidas identificadas nas tecnologias no Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva

Depositante	Título	Link	Temas de convergência atribuídos na análise	
3M INNOVATIVE PROPERTIE S CO	DENTAL RESTORATIONS MADE BY ADDITIVE MANUFACTURIN G	https://lens.org/027-651-556-676-962	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
3SHAPE AS	Designing a virtual preparation and a virtual gingival	https://lens.org/093-733-703-446-829	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos

3SHAPE AS	Designing a virtual preparation and a virtual gingival	https://lens.org/068-190-807-530-721	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos
ADIDAS AG	UV curable lattice microstructure for footwear	https://lens.org/00-594-157-860-983	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
ADIDAS AG;;ADIDAS AG	UV curable lattice microstructure for footwear	https://lens.org/023-179-427-502-737	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
AIRBUS OPERATION S GMBH	Sandwich panel with recessed channel network	https://lens.org/008-704-309-746-350	Engenharia Aeroespacial	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
ARCHFORM INC	Tooth-positioning appliance, systems and methods of producing and using the same	https://lens.org/023-717-529-234-468	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
AUTODESK INC	3D geometry generation for computer aided design considering subtractive manufacturing forces	https://lens.org/184-447-392-770-219	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados

			fabricação	
AUTODESK INC	Combining additive and conventional manufacturing techniques to improve manufacturability	https://lens.org/069-429-370-176-560	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Computer-implemented method for space frame design, space frame construction kit and space frame	https://lens.org/138-795-740-629-32X	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Computer-implemented method for space frame design, space frame construction kit and space frame	https://lens.org/101-266-361-023-241	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
AUTODESK INC	Conversion of mesh geometry to watertight boundary representation	https://lens.org/085-446-610-443-694	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
AUTODESK INC	Facilitated editing of generative design geometry in computer aided design user interface	https://lens.org/001-023-318-381-535	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados

fabricação					
AUTODESK INC	Facilitated editing of generative design geometry in computer aided design user interface	https://lens.org/197-852-720-625-135	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
AUTODESK INC	Topology optimization of structure with multiple targets	https://lens.org/023-864-081-889-553	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
BESPOKE INC	Method and system to create custom, user-specific eyewear	https://lens.org/119-170-273-241-932	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BESPOKE INC	Method and system to create custom, user-specific eyewear	https://lens.org/160-452-843-788-019	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BESPOKE INC	Method and system to create custom, user-specific eyewear	https://lens.org/012-163-323-027-93X	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e

					fabricação
BESPOKE INC	Method and system to create custom, user-specific eyewear	https://lens.org/030-596-478-877-302	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BESPOKE INC	Method and system to create custom, user-specific eyewear	https://lens.org/165-911-190-092-664	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BESPOKE INC	Method and system to create custom, user-specific eyewear	https://lens.org/010-765-981-763-360	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BESPOKE INC	Method and system to create custom, user-specific eyewear	https://lens.org/168-713-657-679-445	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BESPOKE INC	Method and system to create custom, user-specific eyewear	https://lens.org/020-157-599-215-447	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e

					fabricação
BESPOKE INC	Method and system to create custom, user-specific eyewear	https://lens.org/148-158-032-742-680	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BESPOKE INC	Method and system to create products	https://lens.org/068-874-761-630-272	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
BIOCONIX PTY LTD;;KNOTH E TATE MELISSA	ENGINEERED MATERIALS AND METHODS OF FORMING	https://lens.org/011-216-449-170-600	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	
BOYD IV R PLATT	Additive manufacturing of buildings and other structures	https://lens.org/110-304-862-242-267	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
BRANCH TECH INC	Additive manufacturing of buildings and other structures	https://lens.org/050-437-038-581-257	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
BRANCH TECH INC	Cellular fabrication and apparatus for additive manufacturing	https://lens.org/153-291-967-903-519	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e

					materiais especializados
CALIFORNIA INST OF TECHN	Multi-functional textile and related methods of manufacturing	https://lens.org/170-667-728-793-462	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
CALLAWAY GOLF CO	Binder jet printed golf club components with lattice structures	https://lens.org/153-372-614-377-634	Design de produto orientado à impressão 3D	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
CASCA DESIGNS INC	Intelligent, additively-manufactured outerwear and methods of manufacturing thereof	https://lens.org/081-224-434-934-654	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde
ELWHA LLC	Holographic mode conversion for electromagnetic radiation	https://lens.org/005-884-517-469-994	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva		
FACEBOOK INC	Methods for generating 3D printed substrates for electronics assembled in a modular fashion	https://lens.org/148-596-195-210-224	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
FEEZ INC	Customized, additive-manufactured outerwear and methods for manufacturing thereof	https://lens.org/006-299-709-386-113	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e

					fabricação
FEETZ INC	Systems and methods for measuring body parts for designing customized outerwear	https://lens.org/126-951-921-187-133	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Moda, impressão têxtil e de vestuário
FISKER RENE;;NON BOE SVEN;;3SHA PE AS	Designing a virtual preparation and a virtual gingival	https://lens.org/043-254-292-836-707	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	
GEN ELECTRIC	Framework for rapid additive design with generative techniques	https://lens.org/136-417-126-915-704	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
GEN ELECTRIC	Optimizing support structures for additive manufacturing	https://lens.org/148-385-739-824-532	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
HOLO INC	Methods for stereolithography three-dimensional printing	https://lens.org/069-221-225-594-827	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	
HOLO INC	Multi wavelength stereolithography	https://lens.org/128-020-135-640-	Métodos e técnicas para	Robótica e/ou Maquinário	

	hardware configurations	751	impressão de formas, geometrias e materiais especializados	para manufatura aditiva
HOLO INC	Sensors for three-dimensional printing systems and methods	https://lens.org/068-431-325-413-586	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
HOLO INC	Viscous film three-dimensional printing systems and methods	https://lens.org/017-444-169-013-398	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
HOLO INC	Viscous film three-dimensional printing systems and methods	https://lens.org/154-114-946-730-873	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
HOLO INC	Viscous film three-dimensional printing systems and methods	https://lens.org/001-383-112-660-140	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
HOLO INC	Viscous film three-dimensional printing systems and methods	https://lens.org/022-959-391-435-018	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
HOLO INC	Viscous film three-dimensional printing systems and methods	https://lens.org/018-243-027-946-868	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
MADE IN SPACE INC	In-space manufacturing	https://lens.org/105-418-164-660-	Engenharia Aeroespacial	Robótica e/ou Maquinário

	and assembly of spacecraft device and techniques	829		para manufatura aditiva
MANTIS COMPOSITES INC	5-axis continuous carbon fiber 3D printing and meta-materials, parts, structures, systems, and design methods thereby enabled	https://lens.org/095-824-116-347-910	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
MANTIS COMPOSITES INC	Additive manufacturing of composite materials	https://lens.org/104-229-822-496-575	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY	Methods and apparatus for additive manufacturing with molten glass	https://lens.org/119-947-387-582-794	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY	Methods and apparatus for additive manufacturing with molten glass	https://lens.org/041-850-828-774-160	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
MENTOR GRAPHICS CORP	Manufacture of non-rectilinear features	https://lens.org/153-242-562-750-672	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING LLC	Adaptive decimation using 3D video features	https://lens.org/117-270-821-339-531	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos,

				modelagem e fabricação	
ORGANOFA B TECH INC	Method and apparatus for a tissue engineering system	https://lens.org/15-053-258-631-475	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
SIMBIONIX LTD	Method and system for three-dimensional print oriented image segmentation	https://lens.org/96-187-190-359-373	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos
SIMBIONIX LTD;;3D SYSTEMS INC	Method and system for three-dimensional print oriented image segmentation	https://lens.org/16-040-588-334-653	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos

iii. Publicações científicas

Na amostra de 85 publicações científicas disponibilizada na tabela 10, que segue, é possível consultar a listagem de autores, o título e o ano de publicação, bem como os temas de convergência atribuídos na análise.

Tabela 10 - 85 registros de publicações identificadas nas tecnologias no Design Computacional com ampla relação com a Manufatura Aditiva

Autores	Título	Ano	Temas de convergência atribuídos na análise
Angus P. Fitzpatrick; Mazher Iqbal; Mohanned; Paul K. Collins; Ian Gibson	Design of a Patient Specific, 3D printed Arm Cast	2017	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos

				para a área de saúde	
E SabinJenny; null MillerMartin; null CassabNicholas; null LuciaAndrew	PolyBrick: Variegated Additive Ceramic Component Manufacturing (ACCM)	2014	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados		
A. Krimpenis; Vasileios Papapaschos; Evgenios Bontarenko	HydraX, a 3D printed robotic arm for Hybrid Manufacturing. Part I: Custom Design, Manufacturing and Assembly	2020	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva		
Moran Mizrahi; Amos Golan; Ariel Bezaleli Mizrahi; Rotem Gruber; Alexander Zooner Lachnise; Amit Zoran	UIST - Digital Gastronomy: Methods & Recipes for Hybrid Cooking	2016	Gastronomia e engenharia alimentar	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Romain Pascal T van Wassenhove; Lars De Laet; Anastasios P. Vassilopoulos	A 3D printed bio-composite removable connection system for bamboo spatial structures	2021	Eco-Design e sustentabilidad e	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura
Xingxing Wang; Zhou Yuxiang; Hongjun Ni; Shuaishuai Lv; Yu Zhu; Bin Li; Jie Zhang; Zijin Wang	AIAM - Study on Parametric Design and 3D Printing of Bone Gypsum Replacement Plastic Parts	2019	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Jiacheng Xie; Zhaojian Yang; Xuewen Wang; Lai Xiaonan	A cloud service platform for the seamless integration of digital design and rapid prototyping	2018	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em	

	manufacturing			processos criativos, modelagem e fabricação	
Jeongbin Ok; Daniel Scudder	Emotive qualities of parametrically designed and 3D printed surfaces	2016	Aspectos estéticos e sensoriais		
Bert-Jan van der Gaag; Maurice Kardas; Joël van Herwaarden; Kees Van Ijselmuijden; Liesbeth Tromp	Structural bridge design for additive manufacturing	2019	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura		
Luis José Salazar-Serrano; Juan P. Torres; Alejandra Valencia	A 3D Printed Toolbox for Opto-Mechanical Components	2017	Design de produto orientado à impressão 3D		
Sina Mostafavi; Henriette Bier	Materially Informed Design to Robotic Production: A Robotic 3D Printing System for Informed Material Deposition	2016	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
Brandon J. Winters; David Shepler	3D printable optomechanical cage system with enclosure	2018	Design de produto orientado à impressão 3D		
Yinfeng He; Meisam Abdi; Gustavo F. Trindade; Belén Begines; Jean-Frédéric Dubern; Elisabetta Prina; Andrew L. Hook; Gabriel Y. H. Choong; Javier Ledesma; Christopher Tuck; Felicity R. A. J. Rose; Richard J.M. Hague; Clive J. Roberts; Davide S.A. De Focatiis; Ian Ashcroft; Paul Williams; Derek J. Irvine; Morgan R. Alexander; Ricky D.	Exploiting Generative Design for 3D Printing of Bacterial Biofilm Resistant Composite Devices	2021	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	

Wildman					
Ross E Michaels; Joshua M. Pearce	3-D printing open-source click-MUAC bands for identification of malnutrition.	2017	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde		
Daniela Bertol	The Making of Geometry	2015	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
Lalitrao Amrutsagar; Gaurav Parit; Rupesh Ghyar; Ravi Bhallamudi	Parametric Design and Hybrid Fabrication of Above-Knee Prosthesis	2020	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
James I. Novak; Mark Zer-Ern Liu; Jennifer Loy	Designing Thin 2.5D Parts Optimized for Fused Deposition Modeling	2019	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Patrina S. P. Poh; Mohit Prashant Chhaya; Felix M. Wunner; Elena M. De-Juan-Pardo; Arndt F. Schilling; Jan-Thorsten Schantz; Martijn van Griensven; Dietmar W. Hutmacher	Polylactides in additive biomanufacturing	2016	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos		
Lin-Chien James Lee; Ming-Huang Lin	HCI (8) - Experimental Research in Applying Generative	2014	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os		

	Design and 3D Printers in User Participating Design		designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
S. Saliba; Jackson Kirkman-Brown; Lauren Thomas-Seale	Temporal design for additive manufacturing	2020	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
Jose M. Nadal-Serrano; Adolfo Nadal-Serrano; Marisa Lopez-Vallejo	Democratizing science with the aid of parametric design and additive manufacturing: Design and fabrication of a versatile and low-cost optical instrument for scattering measurement.	2017	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Design de produto orientado à impressão 3D	
Neha Sharma; Daniel Ostas; Horatiu Rotar; Philipp Brantner; Florian M. Thieringer	Design and Additive Manufacturing of a Biomimetic Customized Cranial Implant Based on Voronoi Diagram	2021	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
Yijie Guo; Joost Peters; Tom Oomen; Sandipan Mishra	Control-oriented models for ink-jet 3D printing	2018	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva		
B CoulterFergal; null lanakievAnton	4D Printing Inflatable Silicone Structures	2015	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva
Tristan Briard; Frédéric Segonds;	G-DfAM: a methodological	2020	Indústria automotiva	Métodos e técnicas para	

Nicolo Zamariola	proposal of generative design for additive manufacturing in the automotive industry			impressão de formas, geometrias e materiais especializados
Elizabeth Grace Bishop; Simon J. Leigh	Using Large-Scale Additive Manufacturing as a Bridge Manufacturing Process in Response to Shortages in Personal Protective Equipment during the COVID-19 Outbreak	2020	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	
Naveen Raj Srinivasan; J Chamala Vaishnavi; BL Varun Darshan; D Srajaysikhar; G Sakthivel; N Raghukiran	Enhancement of an electric drill body using design for additive manufacturing	2021	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
Luis José Salazar-Serrano; Gerard Jiménez; Juan P. Torres	How to automate a kinematic mount using a 3D printed Arduino-based system	2018	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	
Hemant Cherkia; Sasmita Kar; Sudhansu Sekhar Singh; Ashutosh Satpathy	Fused Deposition Modelling and Parametric Optimization of ABS-M30	2020	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
Robert W. Eldridge; Tan Phan; Christopher M. James; Steve F. Apirana	Instrumented Hypervelocity Testing using Additive Manufacturing	2021	Engenharia Aeroespacial	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e

				materiais especializados
Harris Kyriakou; Jeffrey V. Nickerson; Gaurav Sabnis	Knowledge Reuse for Customization: Metamodels in an Open Design Community for 3d Printing	2017	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
Luiz Jonatã Pires de Araújo; Ender Özcan; Jason A. D. Atkin; Martin Baumers	Analysis of irregular three-dimensional packing problems in additive manufacturing: a new taxonomy and dataset	2018	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
Marius Hoggenmueller; Luke Hespanhol	PerDis - P+: a test fit platform for generative design of 3D media architecture	2017	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
Kim, Kwan-Bae; Chung, Do-Sung; Jangjungsik	A Study on the Parametric Design Product of the 3D Printing	2018	Design de produto orientado à impressão 3D	
Li Yi; Svenja Ehmsen; Moritz Glatt; Jan C. Aurich	A case study on the part optimization using eco-design for additive manufacturing based on energy performance assessment	2021	Eco-Design e sustentabilidade	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
Roberto Naboni; Stefano Sartori Pezzi	Embedding auxetic properties in designing active-bending gridshells	2016	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e

					fabricação
Adolfo Nadal; Juan Pavón; O. Liébana	Impresión 3D para la construcción: un enfoque basado en el procedimiento y los materiales	2017	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	
Hugo Lhachemi; Ammar Malik; Robert Shorten	Augmented Reality, Cyber-Physical Systems, and Feedback Control for Additive Manufacturing: A Review	2019	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
Ferdinando Auricchio; Andrea Bacigalupo; Luigi Gambarotta; Marco Lepidi; Simone Morganti; Francesca Vadalà	A novel layered topology of auxetic materials based on the tetrachiral honeycomb microstructure	2019	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Martin Pollák; Jozef Török	Use of Generative Design Tools in the Production of Design Products using 3D Printing Technology	2022	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Prashil Raj Shrestha; Dipak Timalina; Sabal Bista; Bim Prasad Shrestha; Tejesh Man Shakya	Generative design approach for product development	2021	Design de produto orientado à impressão 3D	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
Xingxing Wang; Hongjun Ni; Yu Zhu;	Parametric Design and	2016	Design de produto	Modelos de Design	

Mingyu Huang; Deng Jiawen	Rapid Prototyping of Installation Box for Vehicle Terminal PCB		orientado à impressão 3D	Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Mihails Delmans; Jim Haseloff	µCube: A Framework for 3D Printable Optomechanics	2018	Design de produto orientado à impressão 3D		
Davin Jankovics; Hossein Gohari; Ahmad Barari	Constrained Topology Optimization For Additive Manufacturing Of Structural Components In Ansys	2018	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Thomas P. Morley; Sravanthi Sashikumar; Julfikar Haider; Weizhuo Wang	Structural Strength Improvement of 3D Printing Parts from Topology Optimised Design Using Anisotropic Material Modelling	2021	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Design de produto orientado à impressão 3D
Massimiliano Fantini; F. De Crescenzo; Lorenzo Brognara; Nicola Baldini	Design and Rapid Manufacturing of a customized foot orthosis: a first methodological study	2016	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	
Lingyun Sun; Jiaji Li; Yu Chen; Yue Yang; Zhi Yu; Danli Luo; Jianzhe Gu; Lining Yao; Ye Tao; Guanyun Wang	CHI - FlexTruss: A Computational Threading Method for Multi-material, Multi-form and Multi-use Prototyping	2021	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	

Yinfeng He; Meisam Abdi; Gustavo F. Trindade; Belén Begines; Jean-Frédéric Dubern; Elisabetta Prina; Andrew L. Hook; Gabriel Y. H. Choong; Javier Ledesma; Christopher Tuck; Felicity R. A. J. Rose; Richard J.M. Hague; Clive J. Roberts; Davide S.A. De Focatiis; Ian Ashcroft; Paul Williams; Derek J. Irvine; Morgan R. Alexander; Ricky D. Wildman	Exploiting Generative Design for 3D Printing of Bacterial Biofilm Resistant Composite Devices (Adv. Sci. 15/2021)	2021	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	
Masy'ari Masy'ari; Edi Karyadi; Rusadi Rusadi	Penerapan teknik digital prototyping dalam perancangan dan pembuatan model produk berbasis generative design	2020	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
Miguel Davia-Aracil; Juan José Hinojo-Pérez; Antonio Jimeno-Morenilla; Higinio Mora-Mora	3D printing of functional anatomical insoles	2018	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Odysseas Kontovourkis; Marios C. Phocas; George Tryfonos; Christos Georgiou	Multi-axis 3D printing of material reduced shell structures on a reconfigurable supporting system using topology optimization principles	2020	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados

Yaususi Kanada	3D printing of generative art using the assembly and deformation of direction-specific parts	2016	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	
Massimiliano Fantini; F. De Crescenzo; Lorenzo Brognara; Nicola Baldini	MANUFACTURING OF CUSTOMISED FOOT ORTHOSES BY 3D SCANNING AND 3D PRINTING TECHNOLOGIES	2017	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelagem tridimensional a partir de dados de imagens	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
Vittoria Laghi; Michele Palermo; Giada Gasparini; Tomaso Trombetti	Optimization studies on diagrid columns realized with wire-and-arc additive manufacturing process	2019	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
Mohamed Gomaa; Jim Carfrae; Steve Goodhew; Wassim Jabi; Alejandro Veliz Reyes	Thermal performance exploration of 3D printed cob	2019	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
János Plocher; Ajit Panesar	Review on design and structural optimisation in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures	2019	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Seonju Kam	Three-Dimensional Printing Fashion Product Design with Emotional	2021	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Eco-Design e sustentabilidade	Aspectos estéticos e sensoriais

Durability Based on Korean Aesthetics					
Nicolas Alberto Sbrugnera Sotomayor; Fabrizia Caiazzo; Vittorio Alfieri	Enhancing Design for Additive Manufacturing Workflow: Optimization, Design and Simulation Tools	2021	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação		
Lingyun Sun; Jiaji Li; Mingming Li; Yitao Fan; Yu Chen; Deying Pan; Yue Yang; Junzhe Ji; Ye Tao; Guanyun Wang	UIST (Adjunct Volume) - 3DP-Ori: Bridging-Printing Based Origami Fabrication Method with Modifiable Haptic properties	2021	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Benjamin Kromoser; Thomas Pachner	Optiknot 3D-Free-Formed Frameworks out of Wood with Mass Customized Knots Produced by FFF Additive Manufactured Polymers: Experimental Investigations, Design Approach and Construction of a Prototype	2020	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Eco-Design e sustentabilidade e	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
Alina Ghilan; Aurica P. Chiriac; Loredana E. Nita; Alina Gabriela Rusu; Iordana Neamtu; Vlad Mihai Chiriac	Trends in 3D Printing Processes for Biomedical Field: Opportunities and Challenges	2020	Modelagem, simulação e Impressão de tecidos biológicos	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	
Jennifer Loy	3D printing interdisciplinary learning for complex problems	2019	Formação profissional e educacional		
James I. Novak	A boolean	2019	Moda,	Modelos de	Métodos e

	method to model knit geometries with conditional logic for additive manufacturing		impressão têxtil e de vestuário	Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
Martin Pollák; Monika Töröková; Marek Kočíško	Utilization of Generative Design Tools in Designing Components Necessary for 3D Printing Done by a Robot	2020	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Sven Maričić; Iva Mrsa Haber; Ivan Veljovic; Ivana Palunko	IMPLEMENTATION OF OPTIMUM ADDITIVE TECHNOLOGIES DESIGN FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE TAKE-OFF WEIGHT INCREASE	2020	Engenharia Aeroespacial	Design de produto orientado à impressão 3D	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
Jiwoon Jeong; Hyein Park; Yoojeong Lee; Jihye Kang; Jaehoon Chun	Developing parametric design fashion products using 3D printing technology	2021	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
Yorgos Berdos; Asterios Agkathidis; Andre Brown	Architectural hybrid material composites: computationally enabled techniques to control form generation.	2019	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
Kyung Soo Lee; Young In Kim	A Design Study on Fashion	2018	Moda, impressão têxtil	Modelos de Design	

	Product Prototype Using 3D Printing and Generative Design Methodology		e de vestuário	Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Jun Morita; Yoshihiko Ando; Komatsu Satoshi; Kazuki Matsumura; Taisuke Okazaki; Yoshihiro Asano; Masashi Nakatani; Hiroya Tanaka	Mechanical Properties and Reliability of Parametrically Designed Architected Materials Using Urethane Elastomers.	2021	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Ingrid Paoletti; Lorenzo Ceccon	The Evolution of 3D Printing in AEC: From Experimental to Consolidated Techniques	2018	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura		
Asterios Agkathidis; Yorgos Berdos; Andre Brown	Active membranes: 3D printing of elastic fibre patterns on pre-stretched textiles:	2018	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Moda, impressão têxtil e de vestuário
Qiang Cui; Fei Yue	Parametric Design of Personalized 3D Printed Sneakers	2019	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
Juan Carlos Guillen-Salas; Neander Furtado Silva; Luana Miranda Esper Kallas	BIO-FADEN 2.0 Pavilion: Experimental Study of Algorithmic-Generative Design and Digital Fabrication with 3D Printing of a Bionic Pavilion Prototype in the Midwest Region	2021	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	

of Brazil						
Tihomir Dovramadjiev	Computational Parametric Design of Fullerene C60, Graphene and Nanotube, and Realistic Visualization of Carbon Nanostructures by 3D Printing	2019	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados			
Lingyun Sun; Jiaji Li; Danli Luo; Ziqi Fang; Yitao Fan; Zhi Yu; Yu Chen; Deying Pan; Yue Yang; Yijun Zhao; Jianzhe Gu; Lining Yao; Ye Tao; Guanyun Wang	CHI Extended Abstracts - Fashion Design with FlexTruss Approach	2021	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	
Yejin Seomoon; Hee Young Ju; Young In Kim	The Development of Fashion Detail Prototype Using 3D Modeling SW Based on Parametric Design	2020	Moda, impressão têxtil e de vestuário	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Comunidades, acervos digitais e sistemas de aprendizagem conectados à nuvem	
Alberto Sibileau; Alberto García-González; Ferdinando Auricchio; Simone Morganti; Pedro Díez	Explicit parametric solutions of lattice structures with proper generalized decomposition (PGD). Applications to the design of 3D-printed architected materials	2018	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados			
Igor M. Verner; Amir Merksamer	Digital Design and 3D Printing in Technology Teacher Education	2015	Formação profissional e educacional			

Patrick Pradel; Zicheng Zhu; Richard J. Bibb; James Moultrie	Investigation of design for additive manufacturing in professional design practice	2018	Formação profissional e educacional		
Matěj Novák; Tereza Boleslavská; Zdeněk Grof; Adam Waněk; Aleš Zdražil; Josef Beranek; Pavel Kovačík; František Štěpánek	Virtual Prototyping and Parametric Design of 3D-Printed Tablets Based on the Solution of Inverse Problem	2018	Métodos, aparelhos, acessórios, próteses e medicamentos para a área de saúde	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados
Wang Xichang; Lu Sheng	The Landscape Sculpture Design and Manufacturing Research Based on Parametric Design and 3D Printing	2016	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	
Numan M. Durakbasa; Jorge M. Bauer; Osman Bodur; Günther Poszvek	Challenges of Miniaturizing a Precision Gear	2018	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados		
Lingyun Sun; Jiaji Li; Yu Chen; Yue Yang; Jianzhe Gu; Ye Tao; Lining Yao; Guanyun Wang	UIST (Adjunct Volume) - WireTruss: A Fast-Modifiable Prototyping Method Through 3D Printing	2020	Métodos e técnicas para impressão de formas, geometrias e materiais especializados	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação	
Jean-Baptiste Izard; Alexandre Dubor; Pierre-Elie Hervé; Edouard Cabay; David Culla; Mariola Rodriguez; Mikel Barrado	Large-scale 3D printing with cable-driven parallel robots	2017	Aplicações para Engenharia Civil e Arquitetura	Robótica e/ou Maquinário para manufatura aditiva	

Can Mert Al; Ulas Yaman	An automated design and fabrication pipeline for improving the strength of 3D printed artifacts under tensile loading	2018	Modelos de Design Computacional utilizados para apoiar os designers em processos criativos, modelagem e fabricação
-------------------------	---	------	--