



**PGDESIGN** | Programa de Pós-Graduação  
Mestrado | Doutorado



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Brendon Willian Guedes Barbosa

**STEAM, DESIGN E TECNOLOGIA: USO DE MICROSCOPIAS COMO VEÍCULO DE  
COMUNICAÇÃO VISANDO A POPULARIZAÇÃO DA CIÊNCIA**

Mestrado

Porto Alegre

2024

**BRENDON WILLIAN GUEDES BARBOSA**

**STEAM, DESIGN E TECNOLOGIA: uso de microscopias como veículo de comunicação visando a popularização da ciência**

Defesa de dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Kindlein Junior

Coorientador: Rosinei Batista Ribeiro

Porto Alegre

2024

### CIP - Catalogação na Publicação

BARBOSA, BRENDON WILLIAN GUEDES  
STEAM, DESIGN E TECNOLOGIA: USO DE  
MICROSCOPIAS COMO VEÍCULO DE COMUNICAÇÃO VISANDO A  
POPULARIZAÇÃO DA CIÊNCIA / BRENDON WILLIAN GUEDES  
BARBOSA. -- 2024.

146 f.

Orientador: WILSON KINDLEIN JÚNIOR.

Coorientador: ROSINEI BATISTA RIBEIRO.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de  
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Popularização da Ciência. 2. STEAM. 3.  
Criatividade. 4. Comunicação e linguagem. 5. Design &  
Tecnologia. I. KINDLEIN JÚNIOR, WILSON, orient. II.  
RIBEIRO, ROSINEI BATISTA, coorient. III. Título.

**Brendon Willian Guedes Barbosa**

**STEAM, DESIGN E TECNOLOGIA: uso de microscopias como veículo de comunicação visando a popularização da ciência**

Esta defesa de dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, vinte e nove de Janeiro de dois mil e vinte e quatro.

---

**Fábio Pinto da Silva**

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

---

Orientador: **Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior**

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign/UFRGS

---

Coorientador: **Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro**

Centro Universitário Teresa D'Ávila (UNIFATEA), Programa de Pós-graduação em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS,

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Dra. Carolina Bustos Raffainer**

ESPM - Escola de Publicidade e Marketing – Examinador Externo

---

**Prof. Dra. Annelise Kopp Alves**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais UFRGS – Examinador Externo

---

**Prof. Dra. Léia Miotto Bruscato**

Pós-Graduação em Design – Examinador Interno

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao eterno que proveu toda a minha capacidade de cumprir esse propósito e me amar sempre. Gostaria de fazer agradecimentos especiais à minha mãe Thais Guedes Barbosa e minha família a quem eu dedico toda minha carreira acadêmica pelo seu apoio incondicional para minha trajetória. Dedico também às minhas finadas avós Maria Benedita Monteiro e Mauríci Aurélia Guedes, minhas raízes, que tinham orgulho de mim, minhas raízes que demonstraram felicidade genuína por minhas conquistas e que vão poder celebrar mais essa do céu.

Agradeço aos colegas de laboratório que me deram suporte e a equipe LDSM (Laboratório de Design e Seleção de Materiais), sou grato aos professores e todos os colegas que de alguma forma me auxiliaram no meu trabalho até aqui. Agradecimentos à Natália, uma grande amiga que o mestrado me proporcionou, a quem também me deu muito suporte tanto nas disciplinas quanto na dissertação, fazendo parte desta jornada. Agradeço ao Pedro Arthur e seu pai e sua mãe, Tio David e Tia Rosária que foram as primeiras pessoas que me acolheram em minha chegada em Porto Alegre, vocês se transformaram em minha família. Agradeço aos meus amigos Pedro e Raul pelo suporte e apoio, especialmente à minha companheira Letícia Rodrigues por me apoiar emocionalmente, por me incentivar e por reconhecer todo meu esforço, pois ela viu e acompanhou tudo o que eu doe para que isso fosse possível. Agradeço especialmente ao São Paulo Futebol Clube pela conquista da Copa do Brasil, a única que faltava e que me deixou num estado de felicidade que me ajudou a criar muito empenho para minha produção.

Um agradecimento mais que especial ao meu querido coorientador Rosinei Batista Ribeiro, a pessoa que acreditou em mim desde o início e que me acompanha até aqui e também ao meu mestre, mentor e a pessoa que me deu suporte para conduzir esse trabalho, o orientador Wilson Kindlein Junior que me deu combustível, me permitiu pensar além e construir um trabalho qual muito me orgulho.

Meus agradecimentos à Escola Superior de Publicidade e Marketing de Porto Alegre (ESPM) por ceder o espaço, maquinário e materiais para realização das peças de vestuário, e também pelo apoio em acreditar na proposta e no potencial do trabalho.

Agradeço também ao Wilbur Trajano, profissional do Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAR), por me auxiliar e me ensinar sobre o desenvolvimento das metalografias.

Agradeço à banca do exame de qualificação de mestrado por sua disponibilidade e considerações muito pertinentes que agregaram muito para o resultado final do trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

São muitos agradecimentos mas faço questão de demonstrar essa gratidão pois eu não realizei o trabalho sozinho, todas essas pessoas são parte de algo muito maior que por acaso me ajudaram a criar um trabalho tão marcante pra mim.

## EPÍGRAFE

***A arte é uma força que arranca todas as paredes***

- Criolo

## RESUMO

BARBOSA, B. W. G. **DESIGN E TECNOLOGIA: uso do STEAM como linguagem visando a popularização da ciência**. 2023. 146 f. Dissertação (defesa de Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

O STEAM sigla para Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática é uma abordagem transdisciplinar que envolve conhecimentos diversos para a criação de um conhecimento mais completo, essa abordagem tem se mostrado uma ferramenta transdisciplinar de conexão de saberes e competências diversas em campos de conhecimento (aparentemente) diferentes, criando a possibilidade de construir conhecimentos e competências acerca da vida e da ciência. Conhecimentos relacionados à ciência e suas tecnologias apresentam uma certa restrição de divulgação com a população em geral, talvez algumas tecnologias e conhecimentos são de difícil acesso até mesmo para a comunidade acadêmica. Pensando nisso, o presente trabalho identifica uma problemática de "como popularizar esse conhecimento restrito com a sociedade e como conectar o público geral a esse conhecimento e a essas tecnologias?". Com a finalidade de responder a problemática, esse estudo recorreu ao Design & Tecnologia para aplicação do STEAM como uma ferramenta de popularização da ciência de forma lúdica e criativa, utilizando da construção de artefatos como linguagens de uma comunicação de fácil compreensão e que possa estar presente no dia-a-dia do público em geral, para isso foi aplicado uma amostra visual da ciência, o universo microscópico, mais especificamente as micrografias metalográficas e microscopias cerâmicas, transformando-as em artefatos que exploram o lúdico visando disseminar a ciência. Objetivos como aplicar metalografias e microscopias cerâmicas em outras formas com outras aplicações, como artigos de moda, jogos interativos, texturas tridimensionais e obras de arte foram alcançados devido a aplicação do STEAM nesta pesquisa. Os resultados dos artefatos mostraram a possibilidade de entrelaçar arte e ciência para gerar substratos que apresentam e comunicam a ciência de maneira criativa e inovativa, explorando técnicas e materiais, criando arte com a ciência e expandindo o seu potencial de alcance.

**Palavras-chave:** Popularização da Ciência. STEAM. Criatividade. Comunicação e linguagem. Design & Tecnologia.



## ABSTRACT

BARBOSA, B. W. G. **STEAM as a science popularization tool**. 2023. 146 p. Thesis (Master in Design Qualification) – Engineering School / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

The STEAM acronym, representing Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics, embodies a transdisciplinary approach that integrates diverse knowledge to create a more comprehensive understanding. This approach serves as a transdisciplinary tool for connecting various fields of knowledge and competencies, seemingly disparate, allowing the construction of knowledge and skills related to life and science. However, dissemination of knowledge related to science and its technologies often faces challenges, with certain technologies and information remaining inaccessible even within the academic community. This study addresses the issue of how to popularize this restricted knowledge within society and establish connections between the general public and these technologies. To tackle this challenge, the research employs Design & Technology to apply STEAM as a tool for making science more accessible in a playful and creative manner. This involves constructing artifacts as languages for easy comprehension, intending to integrate into the everyday lives of the general public. The study showcases a visual representation of science, specifically microscopic images such as metallography and ceramic microscopy, transforming them into artifacts that explore the playful aspect to disseminate science. The objectives include applying metallography and ceramic microscopy to other forms with different applications, such as fashion articles, interactive games, three-dimensional textures, and works of art. These objectives were successfully achieved through the application of STEAM in this research. The results of the artifacts demonstrate the possibility of intertwining art and science to generate substrates that creatively and innovatively present and communicate science. By exploring techniques and materials, creating art with science, and expanding its potential reach, this approach establishes an inspiring bridge between science and the broader community.

**Keywords:** Science Popularization. STEAM. Creativity. Visual language. Design & Technology.

## LISTA DE FIGURAS

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 1</b>  | Estrutura da dissertação: Introdução  | 19 |
| <b>Figura 2</b>  | Estrutura da dissertação: Fundamentação teórica   | 26 |
| <b>Figura 3</b>  | Representação do STEAM visando a comunicação para a popularização da ciência a partir de micrografias | 28 |
| <b>Figura 4</b>  | Design como fio condutor do STEAM   | 29 |
| <b>Figura 5</b>  | Exemplo de uma nanoarte que se assemelha com a natureza   | 31 |
| <b>Figura 6</b>  | Estrutura da dissertação: Materiais e métodos   | 46 |
| <b>Figura 7</b>  | Classificação da pesquisa.  | 47 |
| <b>Figura 8</b>  | Etapas da aplicação do DSR.   | 49 |
| <b>Figura 9</b>  | Tipos de artefato.  | 51 |
| <b>Figura 10</b> | Adaptação do DSR  | 52 |
| <b>Figura 11</b> | Processo de embutimento a quente da amostra   | 54 |
| <b>Figura 12</b> | Metalografia do FOFO adquirida para realização do estudo  | 55 |
| <b>Figura 13</b> | Etapas do tratamento digital da metalografia  | 55 |
| <b>Figura 14</b> | Imagens da morfologia do material KNbO <sub>3</sub> adquiridas via MEV                                | 57 |
| <b>Figura 15</b> | Moodboard desenvolvido para gerar insights na criação das nanoartes                                   | 58 |
| <b>Figura 16</b> | Nanoartes criadas a partir das imagens de MEV do material KNbO <sub>3</sub>                           | 59 |
| <b>Figura 17</b> | Código do Grasshopper de aplicação da metalografia em uma base plana como textura                     | 61 |
| <b>Figura 18</b> | Componente Image Sampler utilizado no código  | 62 |
| <b>Figura 19</b> | Modelo sólido da peça desenvolvida no Grasshopper   | 62 |
| <b>Figura 20</b> | Impressora MSLA Creality Halot-one  | 63 |
| <b>Figura 21</b> | Impressão <b>N1</b> da metalografia como textura  | 64 |
| <b>Figura 22</b> | Impressão <b>N2</b> da metalografia como textura  | 64 |
| <b>Figura 23</b> | Impressão <b>N3</b> da metalografia como textura  | 65 |
| <b>Figura 24</b> | Imagens macro da análise das peças N1, N2 e N3  | 66 |
| <b>Figura 25</b> | Impressão FDM - ABS da metalografia como textura  | 69 |

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 26</b> | Imagens macro da análise da peça em FDM - ABS   | 69 |
| <b>Figura 27</b> | Estrutura utilizada para realização do acabamento na impressão FDM - ABS                      | 70 |
| <b>Figura 28</b> | Registros da peça após passar pelo vapor de acetona para acabamento da impressão              | 71 |
| <b>Figura 29</b> | Registros macro da peça após passar 30 min pelo vapor de acetona para acabamento da impressão | 72 |
| <b>Figura 30</b> | Forma catenóide sólida que foi impressa   | 73 |
| <b>Figura 31</b> | Forma catenóide sólida impressa pela impressora 3D  | 73 |
| <b>Figura 32</b> | Equipamento de corte a laser  | 74 |
| <b>Figura 33</b> | Primeiros testes de gravação a laser CO2  | 75 |
| <b>Figura 34</b> | Parâmetros utilizados nos testes com destaque na combinação ideal                             | 76 |
| <b>Figura 35</b> | Construção virtual do tangram para corte e gravação a laser CO2                               | 78 |
| <b>Figura 36</b> | Tangram gravado a laser com metalografia  | 78 |
| <b>Figura 37</b> | Análise de MEV das peças gravadas a laser CO2   | 79 |
| <b>Figura 38</b> | Diversas montagens do Tangram   | 80 |
| <b>Figura 39</b> | Construção virtual do díptico   | 81 |
| <b>Figura 40</b> | Construção virtual do díptico   | 82 |
| <b>Figura 41</b> | Tratamento da micrografia cerâmica  | 83 |
| <b>Figura 42</b> | Parâmetro ideal para gravação a laser CO2 no denim  | 84 |
| <b>Figura 43</b> | Teste de gravação a laser CO2 em denim  | 84 |
| <b>Figura 44</b> | Teste de gravação a laser CO2 em denim com os cubos destacados                                | 85 |
| <b>Figura 45</b> | MEV do teste de gravação a laser CO2 em denim   | 86 |
| <b>Figura 46</b> | Impressora EPSON SureColor F6070  | 88 |
| <b>Figura 47</b> | Sublimadora Metalnox PTA 12000  | 88 |
| <b>Figura 48</b> | Testes de sublimação  | 89 |
| <b>Figura 49</b> | Segunda rodada de sublimação  | 90 |
| <b>Figura 50</b> | Análise de MEV dos tecidos com e sem sublimação   | 91 |
| <b>Figura 51</b> | Modelo digital da arte para a sublimação das Echarpes   | 93 |

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Figura 52</b> | Echarpes finalizadas                              | 93  |
| <b>Figura 53</b> | Variação de medida da echarpe de cetim            | 94  |
| <b>Figura 54</b> | Variação de medida da echarpe em voil             | 94  |
| <b>Figura 55</b> | Modos como exemplo de se utilizar a echarpe       | 95  |
| <b>Figura 56</b> | Máquina Balancim                                  | 96  |
| <b>Figura 57</b> | Matriz e materiais para construção do botão       | 97  |
| <b>Figura 58</b> | Criação do botão                                  | 98  |
| <b>Figura 59</b> | Balancim pressionando matriz                      | 99  |
| <b>Figura 60</b> | Primeiro botão construído                         | 99  |
| <b>Figura 61</b> | Entretela de tecido plano de malha                | 100 |
| <b>Figura 62</b> | Aplicação da entretela de tecido plano de malha   | 100 |
| <b>Figura 63</b> | Botão com entretela de malha                      | 101 |
| <b>Figura 64</b> | Laços para cães                                   | 102 |
| <b>Figura 65</b> | Camisa finalizada                                 | 104 |
| <b>Figura 66</b> | Bolso da camisa                                   | 105 |
| <b>Figura 67</b> | Camisa vestida em espaços abertos                 | 106 |
| <b>Figura 68</b> | Estrutura da dissertação: Resultados e discussões | 108 |
| <b>Figura 69</b> | Mockup do encarte de aplicação do STEAM           | 111 |
| <b>Figura 70</b> | Estrutura da dissertação: Conclusão               | 113 |
| <b>Figura 71</b> | Contato do público em geral com os artefatos      | 114 |

## LISTA DE QUADROS

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Quadro 1</b> | Estabelecimento de critérios para escolha de amostra | 63 |
|-----------------|--|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>2D</b>           | Bidimensional  |
| <b>3D</b>           | Tridimensional   |
| <b>CAD</b>          | <i>Computer-Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)  |
| <b>DLP-SLA</b>      | <i>Digital Light Processing</i> (Estereolitografia por Processamento Digital de Luz)                               |
| <b>DSR</b>          | <i>Design Science Research</i>   |
| <b>ESPM</b>         | Escola Superior de Propaganda e Marketing  |
| <b>FDM</b>          | <i>Foundation Deposition Material</i> (Modelagem de Deposição Fundida)   |
| <b>FOFO</b>         | Ferro Fundido  |
| <b>HDR</b>          | <i>High Dynamic Range</i>  |
| <b>LACAR</b>        | Laboratório de Caracterização de Materiais   |
| <b>LASER-SLA</b>    | Estereolitografia a Laser  |
| <b>LDSM</b>         | Laboratório de Design e Seleção de Materiais   |
| <b>MA</b>           | Manufatura Aditiva   |
| <b>MDF</b>          | <i>Medium Density Fiberboard</i> (Painel de Fibras de Média Densidade)   |
| <b>MS</b>           | Manufatura Subtrativa  |
| <b>MSLA/LCD-SLA</b> | <i>Liquid Crystal Display e Masked SLA</i> (Estereolitografia Mascarada por Tela de Cristal Líquido)               |
| <b>MEV</b>          | Microscópio Eletrônico de Varredura  |
| <b>SLA</b>          | <i>Stereolithography</i> (Estereolitografia)   |
| <b>STEM</b>         | <i>Science, Technology, Engineering and Mathematic</i> (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática)              |
| <b>STEAM</b>        | <i>Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematic</i> (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática) |
| <b>STL</b>          | <i>Standard Triangle Language</i> (Linguagem Padrão de Triângulos)   |

**UFRGS**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**USP**

Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

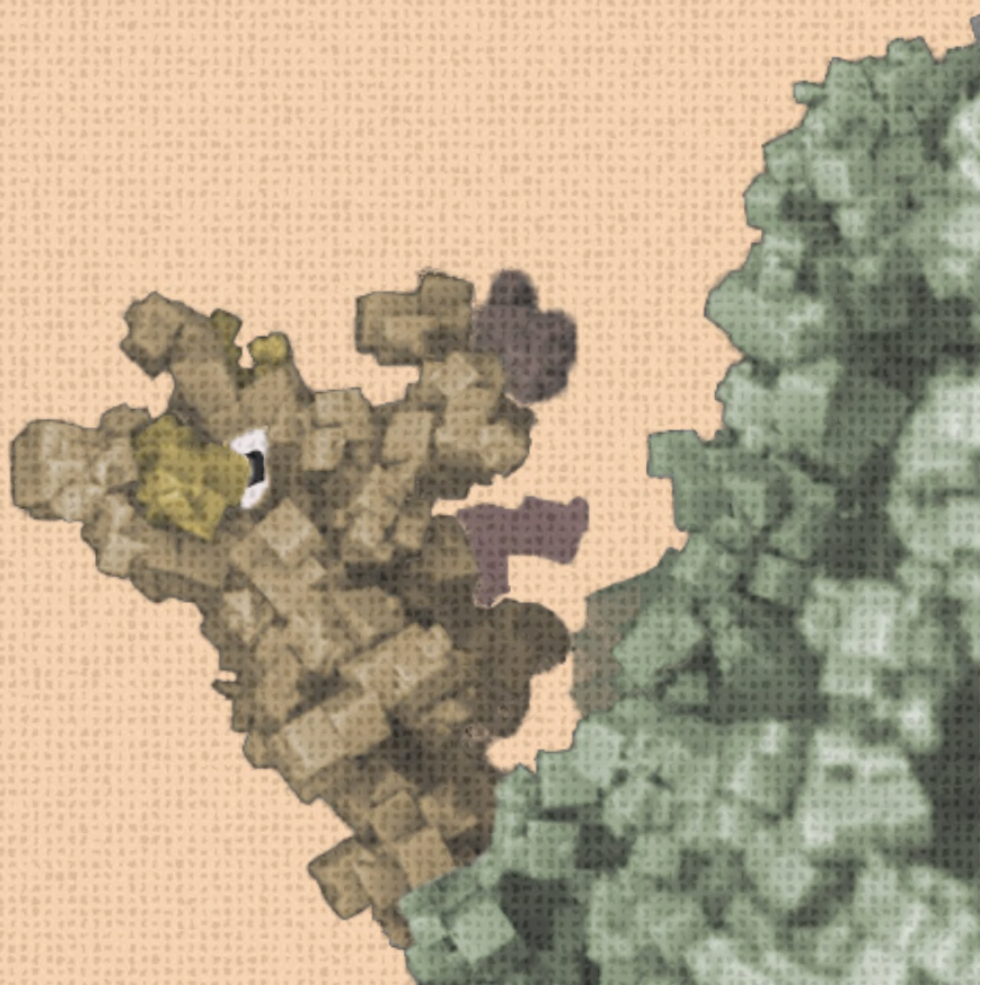
|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>  | <b>19</b> |
| 1.1       | Problema   | 19        |
| 1.2.      | Hipótese   | 21        |
| 1.3.      | Objetivos  | 22        |
| 1.4.      | Justificativa e relevância                                   | 23        |
| <b>2.</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                                 | <b>26</b> |
| 2.1.      | <b>STEAM como elo lúdico e criativo entre ciência e arte</b> | <b>26</b> |
| 2.2.      | <b>Nanoarte sob ótica do STEAM</b>                           | <b>30</b> |
| 2.3.      | <b>Comunicação e linguagem</b>                               | <b>33</b> |
| 2.4.      | <b>Manufatura aditiva</b>                                    | <b>36</b> |
| 2.4.1     | Modelagem de deposição fundida (FDM)                         | 37        |
| 2.4.1.1   | Ácido Polilático (PLA)                                       | 37        |
| 2.4.1.2   | Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)                       | 38        |
| 2.4.2     | Estereolitografia (SLA)                                      | 38        |
| 2.4.2.1   | Laser-SLA  | 39        |
| 2.4.2.2   | DLP-SLA  | 39        |
| 2.4.2.3   | MSLA   | 40        |
| 2.5.      | <b>Manufatura subtrativa</b>                                 | <b>40</b> |
| 2.5.1     | Corte e gravação a laser CO2                                 | 41        |
| 2.5.1.1   | MDF (Painel de Fibras de Média Densidade)                    | 42        |
| 2.5.1.2   | Acrílico   | 42        |
| 2.5.1.3   | Tecidos de algodão e denim                                   | 43        |
| 2.6.      | <b>Sublimação</b>  | <b>43</b> |
| <b>3.</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>                                   | <b>46</b> |
| 3.1.      | <b>Caracterizações da pesquisa</b>                           | <b>47</b> |
| 3.2.      | <b>Design Science Research (DSR)</b>                         | <b>48</b> |
| 3.3.      | <b>Delineamento do estudo</b>                                | <b>51</b> |



|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>3.4.</b> | <b>Desenvolvimento das Micrografias e Nanoartes</b>   | <b>53</b>  |
| 3.4.1       | Metalografia  | 53         |
| 3.4.2       | Microscopia Cerâmica  | 56         |
| <b>3.5.</b> | <b>Testes da manufatura aditiva e artefatos construídos</b>                                       | <b>60</b>  |
| 3.5.1       | Impressões 3D   | 60         |
| <b>3.6.</b> | <b>Testes de manufatura subtrativa e artefatos construídos</b>                                    | <b>74</b>  |
| 3.6.1       | Gravações e corte a laser   | 74         |
| 3.6.2       | Tangram   | 76         |
| 3.6.3       | Díptico   | 80         |
| 3.6.4       | Gravação em denim   | 82         |
| <b>3.7.</b> | <b>Testes de sublimação e artefatos construídos</b>   | <b>87</b>  |
| 3.7.1       | Echarpe   | 92         |
| 3.7.2       | Botões Bombê  | 95         |
| 3.7.3       | Laços para cães   | 102        |
| 3.7.4       | Aplicação em vestuário  | 103        |
| <b>4.</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>  | <b>108</b> |
| <b>5.</b>   | <b>CONCLUSÃO</b>  | <b>113</b> |
|             | <b>REFERÊNCIAS</b>  | <b>116</b> |
|             | <b>APÊNDICE A: Códigos da construção das peças realizados no Grasshopper</b>                      | <b>130</b> |
|             | <b>APÊNDICE B: Modelos sólidos das peças construídas virtualmente</b>                             | <b>135</b> |
|             | <b>APÊNDICE C: Construção digital do encarte, versão para impressão e versão digital para PDF</b> | <b>130</b> |

# INTRODUÇÃO

## CAPÍTULO 1



## 1. INTRODUÇÃO

Esta seção da pesquisa irá abordar alguns pontos introdutórios acerca do tema da dissertação, apontando os problemas, hipóteses, justificativas e objetivos para com a pesquisa, como ilustra a figura 1.

**Figura 1 – Estrutura da dissertação: Introdução**



Fonte: Autor.

Esta figura foi elaborada para representar e apresentar as etapas da pesquisa a qual evidencia em qual etapa o capítulo está e, conseqüentemente, mostra as etapas anteriores e posteriores com a finalidade de desenvolver uma leitura fluida e de boa compreensão do que aqui está presente.

### 1.1. Problema

Transmitir conhecimento pode ser uma tarefa complicada, existem variáveis que cobrem o ensinamento para o seu êxito ou o seu insucesso. Mediante as novas gerações altamente tecnológicas que recebem informações e conteúdos de forma simples e rápida, métodos de ensino tradicionais apresentam dificuldades em alcançar as pessoas, mais precisamente o seu interesse, levando em consideração a abordagem de conteúdos complexos e muitas vezes com vocabulários técnicos que dificultam o entendimento. Compreender essa dicotomia é um ponto vital para se popularizar a ciência. A dificuldade de acesso científico por parte da população em geral está muito mais relacionada com a linguagem utilizada na comunicação do que com uma falta de capacidade intelectual de quem a recebe.

Um estudo apresentado por Park et al. (2016) mostra como a educação sul-coreana, com sucesso internacional, enfrenta problemas no que diz respeito ao interesse de seus alunos de ensino básico e fundamental em relação às matérias escolares, relatando a importância da aplicação de recursos e novas abordagens para a melhora do ensino e para gerar interesse por parte dos alunos. Os autores demonstraram que os resultados após a aplicação dos métodos de STEAM são muito eficazes e observaram uma clara melhora em diversos aspectos na formação destes alunos. Não somente no ensino básico e fundamental, Kindlein Junior (2022) salienta como é importante a formação acadêmica transmitir conhecimentos agregados principalmente para a quebra de paradigmas encontrados neste ambiente, propondo métodos não convencionais de convergir os saberes para colegas de áreas diferentes para que se possa combinar e agregar inteligências. Visto as complicações e adversidades no que tange o compartilhar ciência dentro das academias e escolas, esse intercâmbio com a população em geral se mostra um caminho ainda mais árduo recobrando o questionamento que engloba a comunicação e linguagem que envolvem essa questão, pensar sobre o que pode ser feito para reduzir e encurtar essas dificuldades.

A ciência é um universo de muitas possibilidades tanto para a produção e obtenção de conhecimento quanto para sua apreciação, sobretudo o mundo microscópico, um ambiente que desperta curiosidade sobre quanta “coisa” cabe em “coisas” de micro e nano escalas (CDMF, 2023). Este recorte pode instigar na observação da ciência e da tecnologia sob um olhar lúdico e criativo que tem um grande potencial de alcance, porém não muito explorado por essa perspectiva. Mesmo que haja divulgação científica por meio de competições que premiam imagens científicas em micro e nano escala (NANOARTOGRAPHY, 2022; CNPq, 2022) e desenvolvimento científicos desse mundo ligado a arte (CDMF, 2023), isto ainda é pouco para a vasta gama de possibilidades que esse imenso mundo micro e nanoscópico oferece para ser investigado e pesquisado.

Esta lacuna entre a produção científica e o consumo científico da sociedade em geral põe em perspectiva alguns fatores que resultam a centralização destas produções em ambientes acadêmicos e, evidenciando estes fatores, sendo alguns deles a concentração geográfica, difícil acesso a equipamentos científicos, questões

culturais, sobretudo uma linguagem acessível e chamativa, validam a falta de engajamento e distorcem a percepção da sociedade. Comunicar a ciência está muito vinculado à artigos, dissertações e teses, entretanto, a linguagem utilizada mediante essas saídas pouco se fazem convidativas à população em geral e uma vez acessível para aproveitar outras linguagens como aliadas, esse quadro pode ser revertido, utilizando como exemplo as diversas tecnologias que pouco se têm acesso, mas que contém grande interesse por parte da população, o que passa a gerar o início de um interesse e diálogo entre cientistas e comunidade (MORAES, 2019; ROCHA, et al., 2020; BEVILAQUA, et al., 2021).

A abordagem integrativa STEAM (do inglês Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática) é um método transdisciplinar de envolver múltiplas áreas do saber que explora toda a potencialidade das tecnologias. Aplicando arte em seu conceito, ela possibilita trazer conhecimentos e experiências distintas para diferentes campos de atuação, um artifício que permite o alcance e a junção de inteligências de diferentes grupos, incluindo grupos de fora da esfera acadêmica, gerando curiosidade e aproximação ao utilizar linguagens não tão técnicas mas sim amigáveis (KINDLEIN JUNIOR, 2021; BARBOSA, et al., 2022).

Desta forma, a ciência e a tecnologia conduzidas por uma rota de popularização, feita através de ferramentas que possibilitam sua expressão por meio de novas linguagens, se mostra como um encurtador da distância entre a produção acadêmica, bem como científica-tecnológica, e a população que pouco têm acesso à ela. Entendendo a necessidade de conectar sociedade e conhecimento acadêmico por meio de linguagens criativas e lúdicas, é importante ilustrar como a abordagem STEAM pode ampliar o alcance da ciência.

## **1.2. Hipótese**

Transformar a comunicação científica em uma linguagem atrativa, lúdica e menos técnica pode aumentar o interesse da população em geral no consumo de conhecimento e a transformação dessa linguagem pode se dar através da relação da ciência com novas saídas e novos artefatos que possam obter este alcance, com a proposta de utilizar abordagens que se originam desse intuito.

O STEAM tem como natureza a multidisciplinaridade e a transdisciplinaridade, o diálogo entre diversos campos que permitem o enriquecimento do conhecimento. Através dele, é possível utilizar diferentes técnicas, como a nanoarte, e explorar o universo microscópico das metalografias e microscopias cerâmicas. Com a nanoarte, podem-se descortinar aspectos da ciência e da tecnologia para a população em geral, tornando-as mais tangíveis e visíveis.

A gravação a laser e a sublimação de micrografias em materiais diversos cooperam na coexistência entre a ciência e o cotidiano, tornando a informação científica mais relevante e significativa para as pessoas. As impressões 3D também são ferramentas que permitem criar artes e texturas e, com isso, trazem a ciência para a vida cotidiana, uma vez que aproximam as pessoas da arte urbana, com o tocar e sentir dos objetos, sendo isto muito eficaz para despertar o interesse e a curiosidade na ciência.

### **1.3. Objetivos**

O trabalho tem por objetivo geral propor algumas formas de difundir e popularizar a ciência sob o viés da abordagem integrativa STEAM, utilizando linguagens abrangentes com o auxílio de elementos microscópicos, mais especificamente metalografias e imagens microscópicas cerâmicas, no desenvolvimento de substratos e artefatos que possam ser de uso cotidiano e que estejam presentes no dia-a-dia, criando conexão fora das academias, para assim, ampliar o seu alcance além de contribuir com a união de áreas do saber agrupando suas competências.

Para atingir o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- A. Criar nanoartes e artefatos artísticos a partir de micrografias;
- B. Criar um jogo interativo com micrografias fazendo uso de gravação a laser;
- C. Criar peças de vestuário com as micrografias como estampa;
- D. Criar texturas tridimensionais a partir de micrografias com manufatura aditiva;
- E. Colaborar com a interação transdisciplinar na proposta STEAM.

#### 1.4. Justificativa e relevância

A desconexão entre a população e a ciência produzida na academia é algo latente. A produção acadêmica centralizada em universidades e círculos restritos de especialistas pode interromper o curso do conhecimento diante o foco de interesse amplo em democratizar a ciência, e disseminá-la para um público que normalmente têm menos acesso, de forma tangível e criativa, se tornando um importante desejo a se alcançar. Para democratizar a ciência e torná-la mais acessível, tangível e criativa, é necessário buscar novas formas de divulgação científica que sejam eficazes e capazes de envolver diferentes públicos, por meio de novas linguagens, mais claras e simples, que sejam capazes de transmitir informações de maneira compreensível e agradável para todos (TORRES, 2007; ROCHA, et al., 2020; PEREIRA, 2022; DA SILVA, et al. 2022).

A abordagem STEAM estabelece um vínculo transdisciplinar entre diversos campos do saber, promovendo integração e diálogo entre ciência, tecnologia e artes e suas subcategorias. Apesar de serem áreas aparentemente separadas e independentes, a abordagem STEAM apresenta como elas podem trabalhar de maneira complementar, ficando clara a cooperação existente entre elas dentro da ferramenta. Isso permite a abordagem de problemas de forma criativa e lúdica, incorporando diferentes perspectivas e habilidades para encontrar soluções inovadoras (FREITAS; MORIN & NICOLESCU, 1994; KINDLEIN JUNIOR, et al., 2021). A inclusão da arte por parte do STEAM também ajuda a tornar as disciplinas técnicas mais atraentes e acessíveis, especialmente para estudantes que podem se sentir intimidados por áreas que exigem mais cálculos e fórmulas (REIS, et al., 2006).

Há relevância em investir em iniciativas que possam levar a ciência para fora das universidades e laboratórios, descentralizá-la de poucos grupos e levá-la para o dia a dia das pessoas (BEVILAQUA, et al., 2021). O STEAM se mostra como um estímulo criativo que pode despertar a curiosidade e o interesse das pessoas pela ciência, o que fortalece sua relação com a sociedade. Este fortalecimento da ciência pode ser feito ao aplicá-la em produtos do cotidiano, como criar gravações a laser de micrografias em diferentes materiais, como MDF, acrílico, rochas e tecidos; criar artigos de vestuários, como botões, bolsos de camisa, laços e lenços. Isto traz outra perspectiva em relação à ciência, revelando sua usabilidade em contextos práticos, além de explorar seu

potencial tecnológico ao empregar impressões 3D na criação de texturas de micrografias, um expoente que expande os limites e gera novas possibilidades para as capacidades tecnológicas.

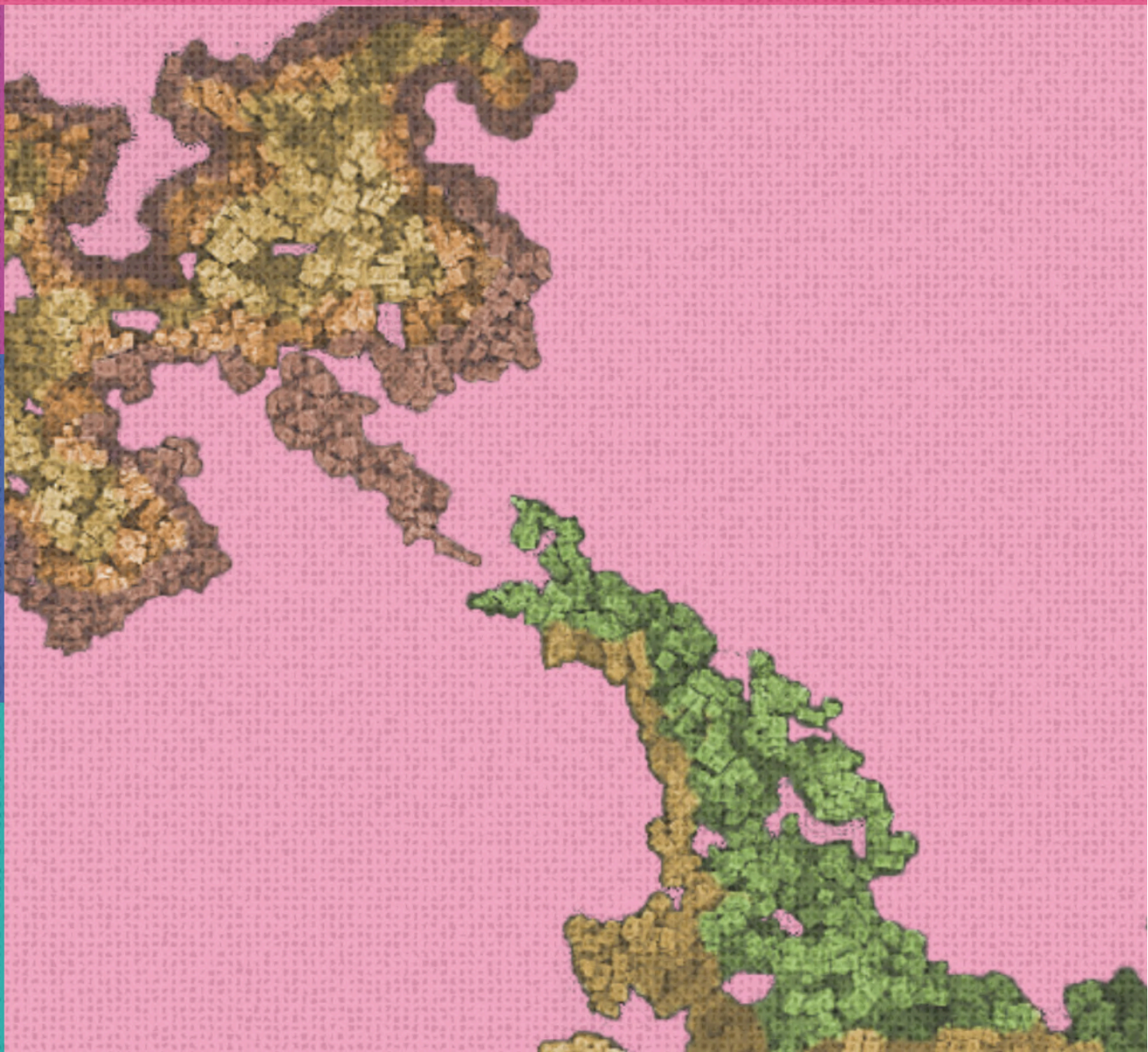
Na próxima seção inicia-se a etapa de fundamentação teórica, abordando os temas da dissertação, investigando-as e, assim, servindo de base para sua construção.



# FUNDAMETAÇÃO

# TEÓRICA

## CAPÍTULO 2



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção é apresentado o material bibliográfico que auxiliou na condução do presente estudo. Aqui é afunilado o conteúdo desde o conceito maior (abordagem integrativa STEAM) até os processos, técnicas e ferramentas utilizadas na criação dos artefatos utilizados para alcançar os objetivos. Com o propósito de criar uma linha linear e coerente para melhor entendimento, a seção conta com conceitos da abordagem STEAM e técnicas utilizadas em conjunto do STEAM que tornam a abordagem transdisciplinar, como a “nanoarte” e a “comunicação” juntamente da “linguagem”. Em seguida, são apresentados conceitos de técnicas, ferramentas e materiais que foram explorados na construção do artefato. A Figura 2 apresenta a estrutura da dissertação onde é evidenciado a fundamentação teórica.

**Figura 2 – Estrutura da dissertação: Fundamentação teórica**



Fonte: Autor.

Logo após as seções de número “2”, o trabalho aborda os “**Materiais e métodos**”, assim aplicando o conteúdo presente nesta seção.

### 2.1 STEAM como elo lúdico e criativo entre ciência e arte

Responsável por quebrar paradigmas na ciência, rompendo barreiras do conhecimento, Leonardo da Vinci foi uma das maiores personalidades já existentes. Há certa dificuldade de apresentá-lo, seja ele como cientista, como um inventor de tecnologias, engenheiro, artista ou matemático, mas certamente foi uma pessoa "multifacetada" (OLIVEIRA, 2016).

Leonardo da Vinci pode ser reconhecido tanto como um grande artista quanto como um grande cientista, nos campos da fisiologia, estudo da luz, entre outros, o que resultou em diversas obras, invenções e em seus designs, sendo ele brilhante em seus estudos e produções:

Leonardo da Vinci (1452-1519) desfruta de uma reputação como uma das pessoas mais talentosas de todos os tempos na história da ciência e das artes...Um de seus principais interesses era a engenharia, e ele ficava fascinado por problemas estruturais e pelos padrões de fluxo de líquidos. Ele também produziu uma grande quantidade de designs engenhosos para a guerra e uma variedade de máquinas voadoras altamente originais (WEST, 2016, tradução nossa)

O artista pode ser encarado como multidisciplinar, envolto de saberes de diversas fontes, da Vinci construiu conhecimentos e pensamentos advindos do cruzamento dessas fontes, muitas vezes traduzidas em suas obras e invenções. O resultado da visão artística com seus conhecimentos em engenharia, matemática, ciências, além de suas invenções tecnológicas juntamente da arte, permite que possa ser simbolizado como um resumo do que vem a ser a abordagem STEAM, que permite a contribuição de campos de saber diferentes na criação de novos conhecimentos, da mesma forma que da Vinci aplicou seus saberes. Da mesma maneira que a arte pode auxiliar e influenciar a ciência, o inverso também acontece, como exemplificado pelo escultor e professor Felix Bressan (2018) que produziu artes utilizando de meios científicos como tecnologias e materiais, bem como os estudos, evidenciando a “via de mão dupla” que o STEAM proporciona.

Alunos norte-americanos são avaliados no *test Sat*, algo equivalente ao Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) no Brasil, e uma pesquisa apontou que, nos anos 1990, por dez anos, os alunos com as melhores notas cursaram disciplinas que envolviam artes. No Brasil, a arte é relacionada às ciências por alguns estudiosos da Universidade de São Paulo (USP), atuando nos campos da física, dança, estética, história, entre outros. A arte é tratada como algo que aflora a imaginação, a intuição, a originalidade e até mesmo inspiração para a ciência, que por sua vez se torna mais rica na medida que ambos os campos se entrelaçam (KIYOMURA, 2019).

Anos antes da pesquisa sobre o *test Sat* nos anos 1990, foi desenvolvida nos anos 1970 uma metodologia de ensino chamada STEM (Science, Technology,

Engineering and Mathematic - em português: Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) que previa facilitar o ensino dessas disciplinas de forma multidisciplinar. Após este caminho trilhado, a pesquisadora chamada Georgette Yakman desenvolveu uma outra metodologia advinda do STEM, o STEAM (Figura 3). O acréscimo do “A” (Artes) foi uma mudança muito significativa para a melhora na aprendizagem e nos resultados da aplicação da metodologia. O STEAM tem a capacidade de auxiliar no desenvolvimento de “capacidade de expressão, percepção estética e, mais importante para os tempos atuais, inovação”, além de ser um instrumento motivador por tornar a ciência mais atrativa, e com isso, as competências e habilidades adquiridas com a união da ciência e da arte é algo muito importante na atualidade (KIYOMURA, 2019; BARBOSA, MARIANO, KINDLEIN, RIBEIRO, 2022).

**Figura 3 – Representação do STEAM visando a comunicação para a popularização da ciência a partir de micrografias**



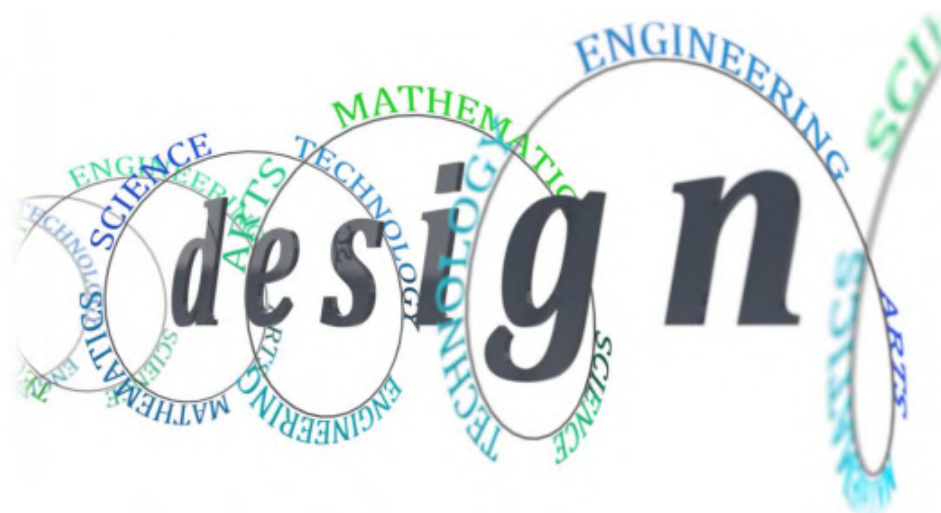
Fonte: Autor.

Adotando o termo “transdisciplinaridade” às aplicações do STEAM, Kindlein Junior et al. (2021) mostra um olhar sobre sua influência na área da pós-graduação, profissional e também em ambientes de trabalho, sobretudo relacionados ao design, pois demonstra a capacidade do design em se mostrar transdisciplinar ao se envolver em vários campos dos saberes e profissionais, além de tudo efetivo, e ainda ressalta que isso só complementa as habilidades do profissional, o estimulando a amplificar seus conhecimentos:

Ter uma visão transdisciplinar significa ultrapassar o campo das ciências e integrar no projeto o imaginário vindo das artes visuais, da literatura, da poesia, da música e de quaisquer outros saberes e competências que possam agregar conceitos que contemplem um olhar holístico, com todas as suas especificidades e sensibilidades.

Ribeiro e Kindlein Junior (2022) enxergam o STEAM como uma bússola para adentrar no universo da ciência, sobretudo do Design e Design & Tecnologia, que é campo que mais explora essa abordagem, pois mediante a muitos desafios encontrados na ciência, principalmente barreiras sociais, a bússola STEAM é um rompedor de paradigmas uma vez que o seu estímulo a aprender e se desenvolver alcança desde jovens e crianças até pessoas mais desenvolvidas, sempre empenhada na transdisciplinaridade, envolvendo tecnologias juntamente de saberes e competências diversas, surge uma comporta para aflorar a criatividade e a inovação dentro da pesquisa científica (KINDLEIN JUNIOR, BRESSAN, PALOMBINI, 2021). A figura 4 ilustra o design como fio condutor do STEAM.

**Figura 4 – Design como fio condutor do STEAM**



Fonte: KINDLEIN JUNIOR, BRESSAN, PALOMBINI (2021).

O Design pode ser esse fio condutor que conecta todas as pontas do STEAM, porém, para que este fio possa conduzir ele precisa estar energizado, e uma das formas de se energizar o fio condutor é a comunicação, uma vez que mesmo unindo a ciência às artes por si só, sem transmitir esse conhecimento, de nada vale. Por isso, pensar a comunicação e suas formas de linguagem como uma maneira de energizar o Design, contribuindo com sua transmissão e seu alcance, se torna algo relevante não

somente para a academia, mas para o público em geral. Isso pode ser refletido no entendimento da ciência, tecnologia, engenharia, artes e matemática por uma perspectiva lúdica e criativa, tornando-as palatáveis e acessíveis no quesito comunicação, que por sua vez se dará na criação de saídas artísticas ou até mesmo de artefatos.

## **2.2 Nanoarte sob ótica do STEAM**

Uma quebra de paradigma introduzida na arte, trajando harmonia entre arte contemporânea e principalmente com os impulsos tecnológicos (DANTO, 2006; KAC, 2006), a nanoarte é uma recente esfera da arte que tece a tecnologia e o mundo microscópico (CABRERA, 2022). Uma inovação na ciência e na arte, a nanoarte “[...] poderia estar para o século 21 o que a fotografia foi para o século 20, pois vivemos numa sociedade tecnológica, em um novo renascimento” (ORFESCU, 2011, p.1 apud STRAMBI, 2015, p.120), por conseguinte, da nanoarte origina-se uma gama de possibilidades a serem exploradas sob ligação entre arte e tecnologia. Dentre suas definições sobre o termo, uma é apresentada de um ponto de vista morfológico e técnica:

Nano significa “excessiva pequenez” e nanoarte: nova disciplina no campo da artes, que atua nos encontros da arte/ciência/tecnologia. Formada pela manipulação da matéria em escala atômica molecular, cuja visão é apenas possível com o uso de microscópios de varredura, é constituída por nano “esculturas” (constructos) e nanopaisagens. (STRAMBI, 2015, p.116)

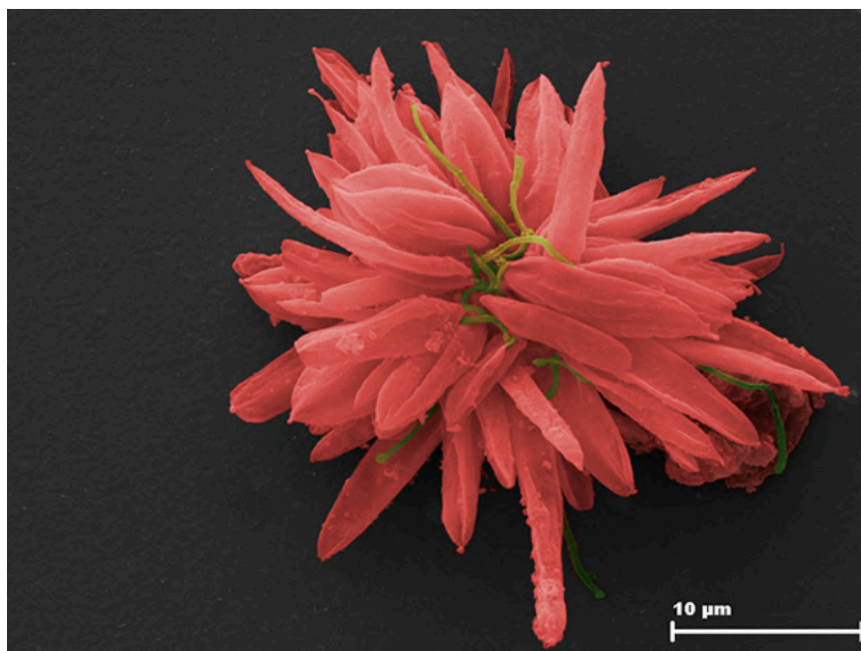
Além da dimensão reduzida, a nanoarte se destaca por sua estética e pela capacidade de representar elementos e estruturas que normalmente não são visíveis a olho nu. Ela é capaz de capturar a complexidade e a beleza da natureza em escalas microscópicas ao mesmo tempo em que desafia os limites da percepção humana. Esse conceito não define somente arte e tecnologia como componentes que envolvem a nanoarte, inclui-se também a ciência, compondo uma tríade estrutural dessa ocupação científica artístico-tecnológica quase que invisível do universo nanométrico. A palavra “exploração” pode ser considerada um expoente da proposta identificada nesse mundo tão pequeno, oculto, poético e com perspectivas de encontrar novas possibilidades ao

desenvolver novas tecnologias, na ampliação científica e para a projeção da subjetividade humana de forma artística. (STRAMBI, 2015; BARBOSA et al., 2019).

Os estudos sobre nanociência e nanotecnologia propiciaram a geração de inúmeras descobertas tecnológicas (DINIZ & OLIVEIRA, 2015), a busca pela compreensão de fenômenos em nanoescala permitiu o desenvolvimento em aparatos atuais como chips, computadores, dispositivos, a manipulação atômica de materiais (STRAMBI, 2015), contudo, sua exploração desbravou não apenas o caminho da ciência, mas igualmente a manifestação do subjetivo, manifestação do oculto, desbravou o caminho onde a tríade: ciência, arte e tecnologia pensam de forma crítica a filosofia, o cotidiano, a estética, obras, a representação da vida, da natureza, trabalho e afins. (BARBOSA et al., 2019).

O diálogo com a realidade, metamorfose da vida, natureza e seu entorno, estão presentes entre cientistas e artistas contemporâneos, adotando as nanotecnologias como uma linguagem visual em seus trabalhos, como ferramenta para externalizar o estado da arte presente na ciência sob a ótica artística (CABRERA, 2022), como demonstrado na Figura 5.

**Figura 5 – Exemplo de uma nanoarte que se assemelha com a natureza**



Fonte: MORAES & PRÊMIO CNPQ DE FOTOGRAFIA (2015).

As “pinceladas” de uma nanoarte são construídas de análises, reflexões e aplicações técnicas, para Barbosa et al (2019), uma obra se caracteriza pelo sumo de algumas camadas, tais como a utilização de microscópios eletrônicos de varredura (MEV), equipamento emissor de elétrons em amostras sob ambiente a vácuo, equipado de lentes, que produz imagens digitais chamadas de “micrografias eletrônicas de varredura”. Uma micrografia é a representação macro de microescalas. Outra camada é a reflexão difundida sobre a imagem, pontos de vistas filosóficos, referências artísticas, representações e até mesmo releituras o que tornam-se essenciais para o tratamento digital e a aplicação de cores, tonalidades, camada responsável por evidenciar as pinceladas e todo o arcabouço e conceitos revestidos da obra finalizada (DINIZ & OLIVEIRA, 2015; STRAMBI, 2015).

Dentro da nanoarte e do universo micro, a micrografia é estabelecida com um nome geral para imagens geradas em micro escalas, porém há categorias de micrografias conforme o material utilizado, sendo elas: metalografia, ceramografia entre outras. A ceramografia, por exemplo, apresentada por Bragança e Bergmann (2004) se estuda as microestruturas de materiais cerâmicos, porcelana, com ou sem ataques químicos, com a finalidade de compreensão de suas características estruturais, “proporção e composição das fases presentes, e pela forma, tamanho, distribuição e orientação dos grãos.” (BRAGANÇA & BERGMANN, 2004). Esse estudo é possível por meio da utilização de microscopia óptica e também de microscopia eletrônica de varredura (MEV), que analisando o material, permite observar grãos presentes na amostra, o tamanho desses grãos, análise de poros e também as fases vítreas presentes.

O destaque que a arte denota à ciência se tornou algo eficaz ao longo de suas aplicações, conforme demonstrado na fundamentação teórica até aqui, e mais do que um suporte, a arte pode ser encarada como uma forma de comunicar a ciência ou até mesmo uma linguagem da própria, que diferente dos termos técnicos, livros, explicações, artigos e seminários, a linguagem que a arte pode oferecer é algo que mexe com o imaginário, com o subjetivo, com a assimilação, uma ferramenta de comunicação que pode ser explorada no meio acadêmico, e é sobre isso que a seção (2.3) aborda.



## 2.3 Comunicação e linguagem

Pode-se afirmar que a semiótica é o estudo mais complexo da comunicação. Na busca pela consciência de todos os sistemas de comunicação presentes numa sociedade, ela se esbarra nas representações sociais e empenha-se em alcançar o entendimento dos significados desses sistemas. Estudos como a semiótica social investiga a lucidez sobre sobre códigos e signos verbais e não verbais dentro de contextos sociais específicos e a escolha de recursos e suas utilizações, como em um texto são analisadas suas representações e potencial histórico compreende o contexto e a aborda as características semióticas encontradas neste texto (SILVA & RODRIGUES, 2022). As representações sociais têm um forte vínculo com a comunicação e com a linguagem sendo essenciais para a representação social uma vez que sua forma de linguagem, seja ela escrita, imagética ou sonora é um atributo de conexão aos sentidos que uma linguagem toma e são “formadas, mantidas e mudadas por meio da linguagem e da comunicação...”(MARKOVÁ. 2017), ou seja, dependendo do formato da comunicação e o tipo de linguagem a se utilizar pode representar algo diferente.

A comunicação é um tema que transcende as fronteiras das disciplinas. Materializada no cinema, vídeos, literatura, arte, fotografia, entre outros campos, ela abrange uma complexidade do que diz respeito a sua definição (SANTAELLA & NÖTH, 2004). Ela exerce um papel de troca entre pelo menos duas entidades para que haja conexão, como explanado por SANTAELLA & NÖTH (2004, p.36):

O ponto de vista que elege os processos de comunicação como campo de estudos coloca ênfase na comunicação como relação, transmissão, agenciamento, influência, troca e interação. Para que qualquer um desses fatores seja realizado, é preciso que existam pelo menos duas entidades e um meio de conexão entre ambas. Vem dessa necessidade a condição básica para a ocorrência da comunicação: a tríade do emissor, mensagem e receptor.

Sua função pode ser revestida de sentidos para além do seu entendimento nos primórdios, como por exemplo a escrita, a comunicação compõe a intrínseca capacidade comunicativa e unificando-se a linguagem, comporta uma grande influência de inocular e transmitir algo distinto de somente informações. Aplicado à arte e na poética, “[...] a Comunicação instaura ambiências, modos de ser e fazer, que vem a ser

testados e contestados por discursos artísticos, capazes de tornarem visíveis as engrenagens de funcionamento e significação dos objetos e tecnologias midiáticos” (ABREU, p.64, 2018), essas ambiências que criam espaços de relações interpessoais que proporcionam atenção acolhedora juntamente da comunicação e da linguagem, não exploram somente a expressividade, também buscam o domínio da subjetividade.

Bem como investigado por SANTANELLA & NÖTH (2004), a comunicação respeita a condição básica da tríade “emissor, mensagem e receptor”, porém cada uma das etapas pode se desmembrar sobre diversos componentes que constituem cada uma das etapas da tríade, como por exemplo a mensagem com profusas alternativas de se fazer entendível, alternando entre mensagens verbais e não verbais, gestuais, corporais ou até sinais, sendo ressaltado aqui um componente de enorme multiplicidade que são as linguagens, adotadas e desenvolvidas de formas particulares para utilizações versáteis. A linguagem pode ser tecnológica, técnica, coloquial, visual, auditiva, são inúmeras formas de se utilizar a linguagem, dentre essas formas a artística tem um grande poder que abarca não somente a transmissão de uma informação, mas também a comunicação do subjetivo, como sentimentos e emoções, tornando-os “visíveis” quase que palpável (ABREU, 2018). Ampliando a discussão do subjetivo, Pontes-Ribeiro (2020, p,32) aborda em um estudo que “em suas várias linguagens, a arte transmite desejos, aflições, regozijos que, embora particularizadas no processo de construção, ao se socializarem, repercutem no outro uma adesão”, isso conduz a linguagem artística a uma perspectiva de compartilhamento também. Quando a autora menciona “repercutem no outro uma adesão”, ela conota a arte como um composto de sintonia e aproximação sustentando que “[...] essas linguagens da arte externam maneiras plurais de pensar o mundo, o que lhes confere uma perspectiva essencialmente educativa”, incubindo à arte e às suas linguagens um papel importante na construção e formação do ser humano, acompanhados de estímulos a contemplações, reflexões, construções de saberes. A linguagem interligada a arte comunica não somente informações, mas também questões intrínsecas ao ser humano.

Como dito anteriormente, esta harmonia linguagem-arte ou arte-linguagem contém uma capacidade comunicativa e educativa de relação construtiva muito importante na formação humana, e no que diz respeito à formação, isto ressoa também

na formação infantil e se faz indispensável ressaltar como o desenvolvimento humano não pode ser apenas um único formato levando em consideração as individualidades existentes, seja na capacidade de aprendizagem até mesmo em relação às experiências ímpares, então alguns fatores como genética, experiências, influências sociais podem gerar respostas em como uma criança corresponde um estímulo sobre algum tipo de formação (PINO, 2005). Levando em consideração essa afirmação, a arte pode desempenhar um papel relevante na formação de uma criança, sendo estruturada essa formação em três principais pontos: cognição, motricidade e afetividade sem a possibilidade de desassociá-los, com isso, as questões sobre a formação de base de um ser humano podem ser trabalhadas uma vez que integrar a essas três dimensões a arte constitui uma gama de linguagens que possibilitam o seu desenvolvimento de maneira dinâmica se despreendendo de “abordagens reprodutivistas”, isso levando em consideração que:

Toda forma de arte tem uma dimensão cognitiva (conhecimentos, técnicas, modos de fazer), afetiva (sentimentos, escolhas, intenções) e motora (gestual, seja esse gesto mais explícito, como nas artes cênicas, ou mais implícito, como na música e nas artes plásticas) (SCHROEDER, p.84, 2012).

A comunicação foi uma vital aliada da evolução humana, o seu desenvolvimento se deu ao longo de todos esses anos e mesmo hoje ainda há descobertas sobre todas suas potencialidades. Juntamente da fala e da escrita, a comunicação transformou o modo de transmitir informações, sobre tudo conhecimento, e conforme o desenvolvimento do ser humano se deu a comunicação o acompanhou, sua capacidade de linguagem se tornou extremamente versátil se aprimorando a partir de inúmeros elementos que auxiliam no entendimento do literal e também do não literal, o material e o imaterial, destacando a utilização da arte que pode propiciar uma trilha multidisciplinar influenciando no entendimento e na compreensão de temas acadêmicos e científicos sob os recursos da linguagem artística (RIBEIRO & KINDLEIN JUNIOR, 2023).

A seção “**2.4**” aborda um dos processos junto de suas técnicas e materiais exploradas no trabalho e irá explicar suas etapas e funcionalidades bem como suas possibilidades de aplicação.

## 2.4 Manufatura aditiva

Com início entre as décadas de 1970 e 1980, a manufatura aditiva, também conhecida como MA ou AM (do inglês *Additive Manufacturing*) (DESPEISSE & FORD, 2015), é um processo de prototipagem ou criação de objetos, na qual é aplicada camada sob camada de material continuamente, construindo peças, objetos e protótipos.

O método resultante de uma necessidade encontrada nas empresas para acelerar os processos de prototipagem rápida de produtos, tornando-se, a princípio, algo de uso único das grandes empresas e no universo da indústria, porém foi se popularizando para o público em geral que adequou a técnica para si e, utilizou para que o indivíduo pudesse “fabricar, reparar e modificar as mais diversas ‘coisas’ com as próprias mãos” (BERMAN, 2012; PENZ, 2022).

Ocorre que a técnica MA é discorrida por algumas denominações como fabricação *desktop*, prototipagem rápida, fabricação automatizada, porém, o nome popularmente aceito é o de impressão 3D (RIBEIRO, 2018). O desenvolvimento de uma impressão 3D exige a criação da peça em *software* de desenho assistido por computador (CAD), uma representação geométrica virtual do objeto que foi impressa. Logo em seguida, essa representação geométrica é transferida para um *software* de fatiamento (Slicer), um sistemas que “corta”/“fatia” a peça em inúmeras camadas, gerando coordenadas para a sua fabricação. (BERMAN, 2012; CALIGNANO & MERCURIO, 2023).

A MA atualmente está muito presente em diversas áreas, ainda operante na indústria, a técnica já atua em setores da moda, entretenimento, produção de jóias, em construções de edifícios, artes, sendo aplicada até mesmo na indústria automotiva, aeroespacial e até mesmo na saúde, como a biomédica e no campo da oftalmologia, demonstrando a vasta capacidade de aplicações e de possibilidades que a técnica permite (BARCZEWSKI et. al, 2022), isso devido à sua enorme possibilidade e facilidade de projeções, sobre tudo sua capacidade de produzir peças com geometrias mais complexas, ao mesmo tempo que processos tradicionais e ferramentas são

dispensáveis, em simultâneo o custo deixa de ser elevado, sendo capaz de criação e maior escala, em menor tempo, com menor custo (RIBEIRO, 2018).

Nas seções a seguir, são apresentadas técnicas utilizadas na manufatura aditiva e os materiais utilizados nestas técnicas respectivamente.

#### **2.4.1 Modelagem de deposição fundida (FDM)**

Uma das principais técnicas de manufatura aditiva é a FDM (*Fused Deposition Modeling*). Essa técnica utiliza resina termoplástica (filamento) que é derretida por um extrusor chamado de "cabeçote de extrusão" ou apenas "cabeçote", que vai derretendo o filamento sob uma plataforma que compõem a impressora, juntamente do cabeçote de extrusão, construindo o objeto desejado. (ABREU, 2015). As impressoras de FDM convencionais básicas funcionam da seguinte forma, com o cabeçote agindo nos eixos "x" e "y" enquanto a plataforma age no eixo "z" (ABREU, 2015 e SILVA, 2022).

##### **2.4.1.1 Ácido Polilático (PLA)**

O PLA é um material com propriedades biodegradáveis, sendo este termoplástico um derivado do amido de milho, conjunto a esta propriedade e a sua biocompatibilidade, o PLA se torna um recurso inesgotável (HAGHSEFAT, 2022 e ABREU, 2015). Além de sua biocompatibilidade, este polímero apresenta uma vantagem em seu processo de impressão que é a não necessidade de ter uma mesa quente, alta velocidade de impressão, superfície com mais detalhes, mais suaves e brilhantes. Porém, também há pontos negativos como sua baixa resistência térmica que em contato com temperaturas maiores que o material aguenta, o PLA pode apresentar distorções na superfície (ABREU, 2015), levando em conta que o bico de extrusão atua em 180~200°C, temperatura que gera o derretimento para construção de impressão (HAGHSEFAT, 2022).

Atualmente com as preocupações ambientais que envolvem a poluição plástica e o esgotamento dos combustíveis fósseis, a produção de PLA se torna praticável colocando em perspectiva de superar polímeros à base de petróleo, como um bioplástico de produção com as emissões de carbono reduzidas, as discussões que a

cercam se mostram positivas, trazendo em pauta sua compatibilidade ambiental (SWETHA et al., 2023).

#### **2.4.1.2 Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)**

O ABS é um material rígido e leve, com certa flexibilidade e resistência, ele apresenta fatores de absorção de impacto, facilitando sua manipulação e possibilitando sua utilização em diversas aplicações (ABREU, 2015). O material é composto por acrilonitrila, butadieno e estireno (ABS) (PESTANO et. al, 2023), apresentando boas propriedades mecânicas. A temperatura necessária do bico de extrusão atua em 210~240°C e necessita do aquecimento da plataforma para impressão, sendo a temperatura equivalente a 80°C (HAGHSEFAT, 2022).

Este filamento também apresenta característica amorfa, gerando possibilidade de acabamento na peça com auxílio de acetona (dimetil-acetona), estando apenas o vapor em contato com a impressão a superfície fica suavizada, assim tornando a peça com aspecto mais liso (PESTANO et. al, 2023).

#### **2.4.2 Estereolitografia (SLA)**

Esse processo de impressão 3D constrói as peças por meio da fotopolimerização, também conhecida como estereolitografia (SLA), um sistema para gerar peças e objetos tridimensionais com um padrão de seção transversal, técnica executada em resinas líquidas fotossensíveis pela incidência de um feixe de laser ultravioleta que a solidifica, o que formam as peças impressas, executadas com alta precisão, essa técnica permite criar peças complexas, especialmente peças mais finas com alta qualidade (MA, 2013; SCHMIDLEHNER & KALASKAR, 2018; PAIVA & NOGUEIRA, 2021).

A impressão por SLA se dá por conta de sua ação somente no eixo "Z" (para cima e para baixo), movimentando apenas por sua base chamada de "mesa", sendo mergulhada em um recipiente chamado de "cuba", onde é despejada a resina fotossensível, assim, a base é mergulhada nesse recipiente e, logo em seguida, há a emissão de luz UV. O processo SLA ainda requer algumas etapas após a construção

das camadas, entre elas está a lavagem da peça para retirada de excesso de materiais, esse banho químico é realizado com álcool isopropílico (IPA), seguida da cura ultravioleta, responsável em tornar as peças firmes e estáveis (HULL, 1986; SCHMIDLEHNER & KALASKAR, 2018; PAIVA & NOGUEIRA, 2021.).

Entretanto, há três técnicas dentro do campo da estereolitografia, sendo elas: Laser-SLA, DLP-SLA e MSLA.

#### **2.4.2.1 Laser-SLA**

A impressão por laser-SLA é conduzida mediante a varredura de um laser UV em cada camada que forma as peças/impressões, solidificando os pontos de maneira seletiva e precisa (HULL, 1986; SCHMIDLEITHNER & KALASKAR, 2018; PENZ, 2022). Um espelho, parte da construção do equipamento, direciona o laser UV para os pontos das camadas e, esse processo de varredura configura as camadas, compatível para formas e estruturas mais orgânicas. O diâmetro mais usual varia entre 100 a 250µm, entretanto, existe a relação entre diâmetro do laser com a qualidade das impressões, quanto mais finas, mais qualidade, mais detalhes, estruturas com melhores acabamentos, porém, o lado negativo é o tempo de impressão, quanto menor o diâmetro do feixe de luz, mais tempo requer para a fabricação de uma peça, pois o deslocamento linear irá mover-se por toda extensão da superfície.

#### **2.4.2.2 DLP-SLA**

O processamento de Luz Digital ou, do inglês, *Digital Light Processing* (DLP) utiliza luz emitida por um projetor, com o auxílio de espelhos microscópicos e, assim como a técnica MSLA, constrói suas camadas a partir do uso de pixels para formar os eixos X e Y. Essa técnica, diferente da SLA, apresenta menores tempos de impressão em sua mais vasta possibilidade de peças e, isso se dá pelo fato de expor camadas inteiras em apenas uma vez (BORRELLO et al., 2018; PAIVA & NOGUEIRA, 2021; PENZ, 2022).

### 2.4.2.3 MSLA

Assim como o DLP, e diferente do Laser-SLA, esse método atua na exposição da luz UV em *pixels* sobre toda a peça. A exposição seletiva mascarada por LCD (MSLA), mascara a luz UV por meio de um LCD (ecrã), atuando nos eixos X e Y, por meio de múltiplos *pixels*, todos os pontos da camada são curados de forma conjunta, igualmente o DLP, porém, ao invés de um projetor, a fonte da luz é um LCD (PENZ, 2022).

Há vantagens dessa técnica em relação às anteriores. O aumento na qualidade e resolução das peças não afeta o tempo de sua fabricação, pelo contrário, por conta do fato do LCD mascara todos os *pixels* de uma só vez nas camadas, faz com que o tempo de impressão seja menor, estando sujeito apenas ao tamanho transversal da peça. Além disso, o custo da LCD é menor em relação ao dispositivo de projeção DLP, obtendo também outras vantagens. Esse método de impressão conta com mais uma fonte de luz e, a tela LCD elimina distorções de caráter oblíquo, também servindo de filtro bloqueando a passagem de luz individual da intensidade de cada *pixel*, isso evita possíveis efeitos de serrilhado na peça e deixa-a com um formato orgânico e natural (NOWACKI et al., 2021).

Tal qual a seção anterior, a seção seguinte corresponde a um outro processo explorado no trabalho, trazendo os conceitos e aplicação das técnicas e materiais.

## 2.5 Manufatura subtrativa

Como dito anteriormente, a MA é a construção de peças e objetos camada por camada, porém, a manufatura subtrativa (do Inglês *Subtractive Manufacturing*) ou MS (JAYAWARDENE, 2023) é o inverso, ela age removendo material, em blocos ou placas, por técnicas diferentes para transformar em produto acabado. A remoção de material pode ser definida por diversas formas estabelecidas por quem a opera, tanto quanto a sequência e também as coordenadas. A capacidade de produzir peças e objetos com uma série de materiais é uma vantagem evidente da manufatura subtrativa, pois consegue criar com MDF, madeira, materiais plásticos, alumínio, entre outros materiais (CHOI et al., 2001; NISHIMURA, et al. 2016, POSADA et al., 2019).



A prototipagem rápida por manufatura subtrativa ainda é um assunto inovador, visto sua abrangência em uma variedade de áreas desde “área industrial, aeronáutica, automobilística, no setor da saúde auxiliando em técnicas cirúrgicas, odontológicas, entre outros inúmeros segmentos diferentes” (CHEIRAM, 2020) e, classificada como competitiva mesmo com as desvantagens de intervenção humana no processo maior consumo de energia elétrica, depender de um grande espaço, a necessidade de equipamentos para projetar em CAM (Manufatura assistida por Computador) e a grande quantidade de resíduos que esse processo gera (CHEIRAM, 2020).

### **2.5.1 Corte e gravação a laser CO<sub>2</sub>**

A manufatura subtrativa opera em geral significativamente mais na usinagem CNC (Controle Numérico Computadorizado), devida a tecnologia CAD/CAM (Desenho Assistido por Computador/Manufatura Assistida por Computador, do inglês *Computer - Aided Design/Computer - Aided Manufacturing*) a que impulsiona o uso dessa técnica de manufatura subtrativa para a fabricação de peças e objetos com modelos mais complexos a um tempo mais curto, todavia, há restrições geométricas em sua construção, levando em consideração a quantidade de material removido é somente o que a ferramenta alcança, ângulos internos não podem ser adquiridos, assim como há um esforço maior para fixação de peças com suas paredes delgadas (CHOI et al., 2001; VOLPATO et al., 2007).

Os processos de gravação a laser estão presentes no campo da usinagem CNC e, com o passar do tempo, foram se popularizando e evoluindo a ponto de substituir e/ou se adequar às maneiras habituais dentro dos processos de produção de produtos (CIDADE et al., 2016). A tecnologia de gravação a laser CO<sub>2</sub>, criada em 1960, fora desenvolvida para inúmeros fins de utilização industrial, um fluxo de elétrons é transmitida em uma mistura de gás de baixa pressão, uma mistura gasosa de CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/He (Nitrogênio e Hélio) com proporções variando em 1: 5: 20 e 8: 1: 7, a intenção é que os elétrons passem energia para as moléculas dessa mistura e colisão crie um feixe puro de luz infravermelha. (POWELL, 1998; STEEN & MAZUMDER, 2010).

Com sua alta precisão geométrica, o laser possibilita muitas operações em todas as áreas do conhecimento, mesmo que sua investigação científica ainda esteja sendo galgada, o laser está transitando o industrial, presente no design de jóias (CIDADE,

2012) e até mesmo o divertimento (BAGNATO, 2008), além da possibilidade de se usar inúmeros tipos de materiais diferentes seja na gravação quanto no corte (NARESH, 2022).

### **2.5.1.1 MDF (Painel de Fibras de Média Densidade)**

Os painéis de média densidade (MDF) são um material com um custo orçamentário acessível, constituído de fibras de madeira, eles contém atributos e características homogêneas e isotrópicas (TORQUATO et al., 2008). Os painéis de fibra de madeira tiveram sua utilização originária como divisórias internas no Japão durante o século VI A.C. e, conforme o progresso das tecnologias em seu desenvolvimento, sua utilização passou a ser implementada em outras áreas, com isso, como um exemplo no Brasil, que obteve destaque na criação deste produto com foco no MDF (TORQUATO et al., 2008, p.19 apud IWAKIRI, 2005).

Presente no mercado em diversas aplicações, o MDF pode ser um grande contribuinte na formação e no aprimoramento de conhecimentos na criação de jogos e atividades lúdicas, jogos pedagógicos sobre línguas e sobre comunicação, sendo fabricados digitalmente e depois gravados e cortados a laser, pode-se despertar o interesse a aprender e desencadear conhecimentos, além de habilidades sociais muito importantes no convívio interpessoal (DA SILVA, et al. 2022).

### **2.5.1.2 Acrílico**

O acrílico possui qualidades e propriedades que permitem sua aplicação na construção de diversos produtos como fachadas, artigos domésticos, displays e luminosos. Com características translúcidas e transparentes, ele se apresenta como um material rígido inflamável, entretanto, com baixa emissão de fumaça (ILAC, 2015).

A gravação e corte a laser CO<sub>2</sub> obtém a capacidade de marcar ou cortar desenhos bidimensionais, padronagens, texturas com uma ótima qualidade sobretudo no acrílico, não ocorrendo nenhum contato mecânico, o que possibilita essa ação do laser no acrílico (SANTOS, et al., 2012). O acrílico e sua relação com corte a laser estão presentes em experimentos e estudos acadêmicos explorando seu potencial de

utilização, sendo possível a realização da técnica de kerf (KHOSHAIM, et al., 2021) e aplicação na indústria com a criação de microcanais (PRAKASH & KUMAR, 2021).

### **2.5.1.3 Tecidos de algodão e denim**

A gravação a laser CO<sub>2</sub> está presente em tecidos, com enfoque na moda, sobretudo na moda sustentável, a gravação é uma “...alternativa para a indústria têxtil que, em busca de um caminho de menor impacto” (ASSUNÇÃO et al., 2021), levando em consideração o alto volume de resíduos e descartes que esse processo gera, a gravação pode gerar resultados interessantes ao transcrever estampas em vestuários de forma viável para escalas industriais.

Essa tecnologia de laser é ainda pouco usual na indústria têxtil, porém, surge como uma alternativa para realizar corte em diversos têxteis com sucesso futuramente (YUSOFF, et al., 2010), além disso, permite a gravação e a marcação em tecidos auxiliando em sua personalização, como por exemplo no veludo de algodão, atuando na variação de sua altura (JUNG & LAMAR, 2021), também para tratamento de desbotamento de denim (KAN, 2014), assim como na estilização de tênis, jaquetas entre outras peças e materiais têxteis (NEMES, 2018). Estes exemplos mostram a multiplicidade de atuação do laser CO<sub>2</sub> na área da confecção

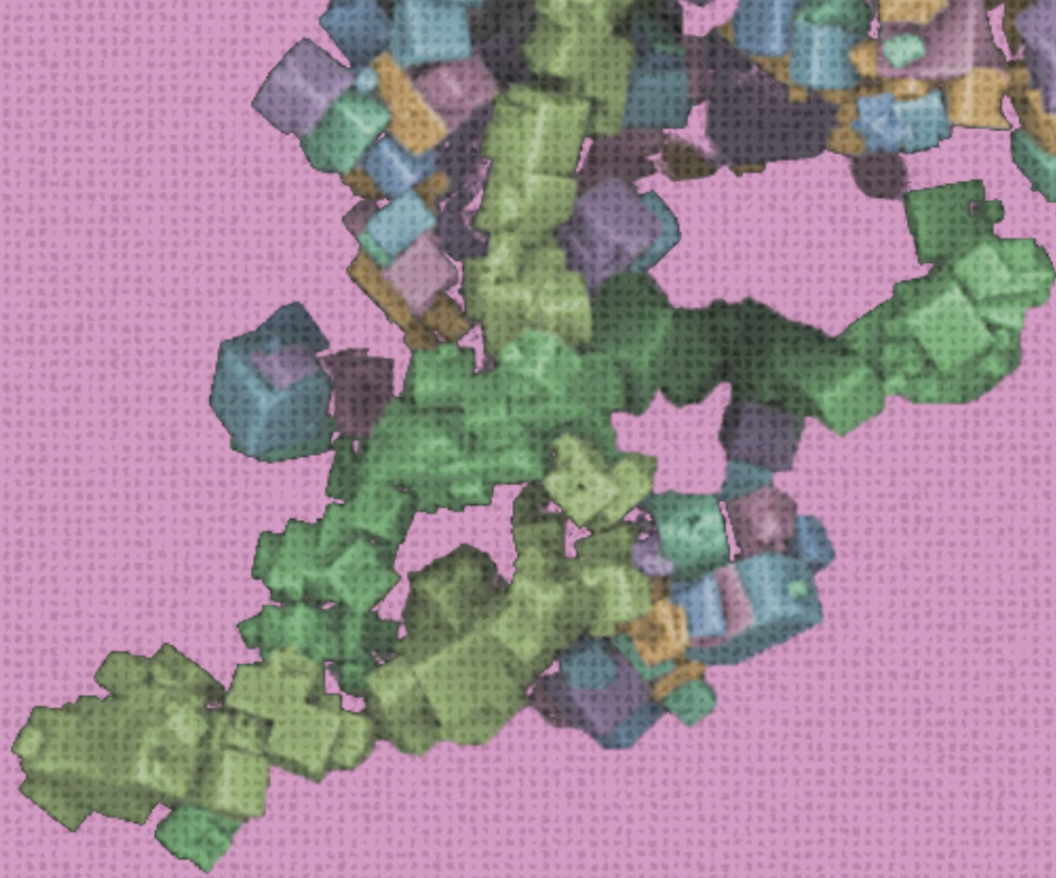
Na próxima seção são apresentados os conceitos do último processo utilizado neste estudo antes de abordar os materiais e métodos.

## **2.6 Sublimação**

Vestuário e moda, por meio de produtos e peças estampadas, obtém um espaço de influência no dia a dia das pessoas, que muitas das vezes são atingidas por um estímulo de consumo com preços acessíveis. Um dos processos de estamparia é a sublimação, desenvolvida na década de 1970, desempenhando um processo de transferir desenhos impressos em fitas por meio de calor e pressão. A técnica tem por objetivo transferir o corante impresso em papéis específicos para um material têxtil, fazendo a mudança do corante de estado físico para estado gasoso sem passar para o estado líquido, isso permite a transposição para o têxtil (CARVALHO, 2016).

A técnica de sublimação foi desenvolvida inicialmente para ser aplicada em tecidos 100% poliéster, por garantirem melhor solidez nas cores, entretanto, tecidos com composições mistas com diversas estruturas diferentes podem obter “funcionalidade e efeitos visuais interessantes para o embelezamento da superfície”, além da utilização de tecidos de fibra celulósica (naturais) que não conseguem a mesma qualidade, tanto na solidez da sublimação quanto na nitidez das cores. (BETTINI & LASCHUK, 2014; CARVALHO, 2016).

A partir da seção seguinte, o trabalho adentra em uma nova etapa, etapa essa responsável pelos testes e aplicação dos processos, das técnicas e dos materiais apresentados até aqui.



# MATERIAIS E MÉTODOS

CAPÍTULO 3

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção da dissertação explora as técnicas e materiais apresentados na seção anterior, bem como os testes dos mesmos, estudando seu comportamento e viabilidade. Esses testes foram realizados em conjunto com a microscopia, tornando-as substratos empregados em novas formas para gerar artefatos que buscam alcançar os objetivos desejados, como exemplificado pela Figura 6.

**Figura 6 – Estrutura da dissertação: Materiais e métodos**



Fonte: Autor.

O presente capítulo tem por objetivo estruturar e conseqüentemente apresentar os materiais e métodos adotados na realização desta pesquisa, representado pela Figura 7 que demonstra a realização da pesquisa neste capítulo, traçado pela metodologia *Design Science Research* (DSR) de Dresch et. al. (2015). Em seguida é apresentado o processo e descrição da aplicação do método e o detalhamento da execução das etapas propostas no método.

**Figura 7 – Classificação da pesquisa.**



Fonte: Autor.

Esta classificação ilustra o caminho percorrido na pesquisa, iniciando na definição do tema (relacionado ao STEAM e a popularização da ciência explorando o universo microscópico e tecnologias), a escolha dos objetivos (definição dos objetivos gerais e específicos), a justificativa do trabalho (apresentar importância da realização da pesquisa), a leitura flutuante dos temas (análise da literatura que abordam os temas do trabalho), análise do material bibliográfico (analisar a bibliografia que cerca o tema do trabalho e construir a fundamentação teórica deste), testes das técnicas apresentadas (testar as técnicas encontradas na análise do material bibliográfico), escolhas das técnicas e materiais (escolha de quais técnicas e em quais materiais foram aplicadas as técnicas), a construção dos artefatos (o desenvolvimento completo dos artefatos) e por fim, a análise dos resultados e conclusão.

### **3.1 Caracterizações da pesquisa**

A estrutura para condução desta pesquisa se enquadra como pesquisa aplicada, motivada por ordem prática a fim de propor soluções para problemas pontuais, como a forma de linguagem da ciência com o público em geral, “dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais” (GERHARDT, et al., 2009). O principal interesse desta estrutura é compreender o fenômeno da

comunicação científica, buscar respostas e compartilhar essas informações. (DRESCH, et al, 2015).

Num primeiro momento, a pesquisa se configura como exploratória e descritiva, objetivando maior compreensão e proximidade com o tema e seu problema de estudo, relacionado ao objetivo geral no que diz respeito ao seu ponto de conclusão. Logo após, para a resolução dos objetivos específicos, a pesquisa passa a se qualificar como propositiva, pois ao identificar e descrever os problemas de pesquisa qualifica a geração de proposições na resolução de problemas.

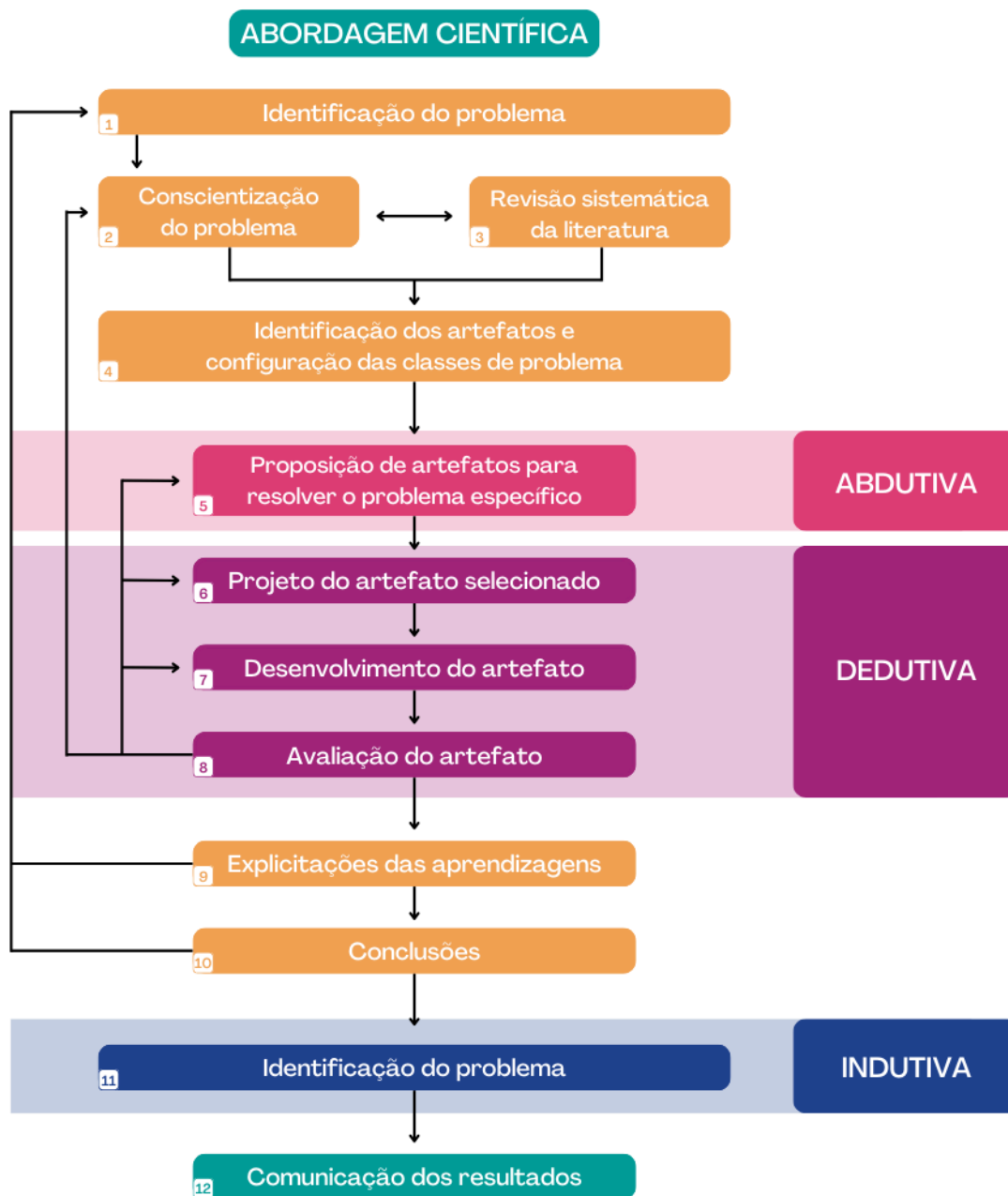
Estruturado pelo método de pesquisa *Design Science Research* (DSR), a pesquisa assume uma abordagem qualitativa, orientada à solução de problemas e ao entender esses problemas, construir e avaliar artefatos que possibilitam a transformação de seu estado atual para condições desejáveis. Desse modo, a utilização do método de pesquisa tem por objetivo desenvolver artefatos e propor soluções, conforme elucidado no problema de pesquisa e objetivos na introdução.

### **3.2 Design Science Research (DSR)**

Este método que tem por definição a procura na consolidação sobre projeto e conseguir desenvolver soluções para a melhoria de sistemas já existentes, a resolução de problemas e desenvolver novos artefatos, estes que por sua vez proporcionam uma área compartilhada entre ambiente interno e externo de um determinado sistema, com o propósito de gerar soluções aplicáveis no contexto em questão. Não somente aplicar, mas também idealizar conhecimentos sobre como projetar um artefato. A aplicação do *Design Science Research* não tem por finalidade compreender ou descobrir leis universais sobre o objeto de estudo, mas sim contribuir no desenvolvimento de melhora, criar soluções pontuais, criar artefatos que contribuam na sua realização (DRESCH, et al., 2015). Aqui é salientado as características da pesquisa e seu desenvolvimento, representado pela Figura 8.



**Figura 8 – Etapas da aplicação do DSR.**



Fonte: Adaptado de Dresch et al. (2015).

No capítulo "5" do livro de Dresch et al. (2015), sua proposta para a condução de pesquisas utilizando a *design science research* contempla doze etapas. A primeira etapa, identificação do problema (1). Logo em seguida a conscientização do problema (2), responsável por tornar consciente do problema com base em várias informações que o cerca. Na próxima etapa os autores sugerem uma revisão sistemática de literatura (3) para a análise do que já foi abordado sobre o tema em outras pesquisas e

as soluções propostas e realizadas. A conjuntura destas etapas possibilita a identificação de artefatos e configuração das classes de problemas (4).

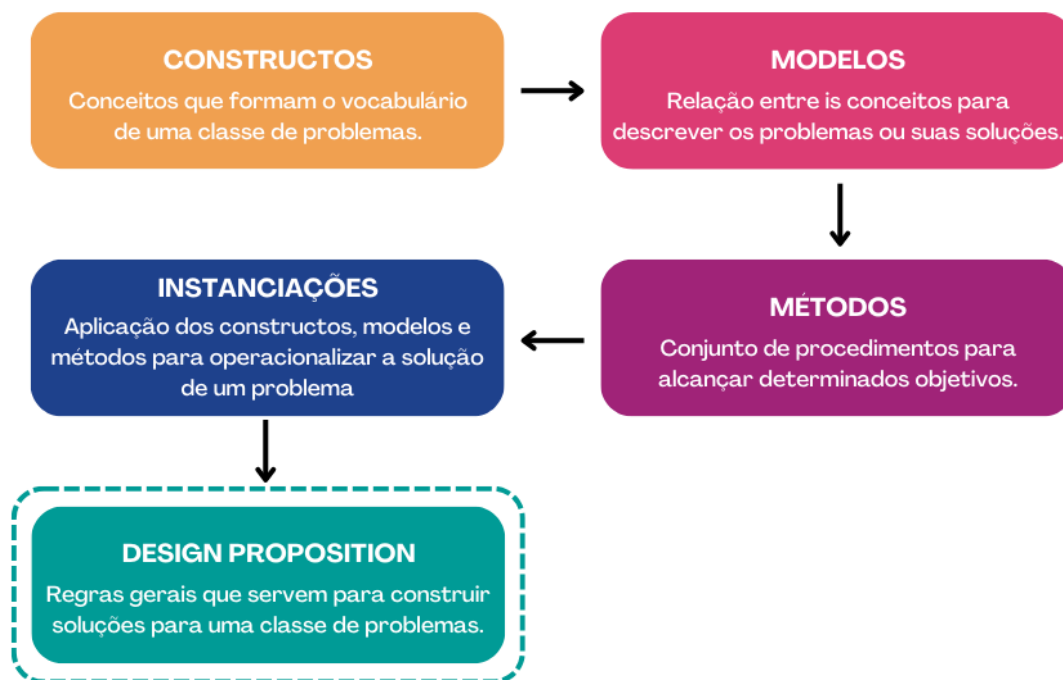
Sobre a criação de artefato na DSR, os autores propõem cinco classes que podem ser resultados do método: constructos, são elementos conceituais que descrevem os problemas e categorizar soluções; modelos, conjunto de proposições ou declarações que expressam relações entre os constructos; métodos, são conjunto de passos necessários para desempenhar uma tarefa; instanciações, aplicação de constructos, modelos e métodos para operacionalizar a solução de um problema e *design propositions*, generalização de uma solução para uma determinada classe de problemas.

As próximas etapas, proposição de artefatos para resolver o problema específico (5), projeto de artefato solucionado (6) e desenvolvimento do artefato (7) se envolvem na relação de criação de e desenvolvimento dos artefatos que, logo após, irão passar por uma etapa de avaliação do artefato (8).

A avaliação do artefato desenvolvido pode ser negativa ou positiva. Caso negativa, não atingindo níveis de satisfação desejados, retoma-se etapas anteriores para maiores detalhamentos ou até mesmo na conscientização do problema. Já sua avaliação sendo positiva, as próximas etapas são continuadas qual o pesquisador faça a explicitação das aprendizagens (9) da pesquisa, apresentando erros e acertos do processo de desenvolvimento, sucedendo as conclusões (10), etapa que o pesquisador formaliza seus resultados e conclusões, processos e sugestões para trabalhos futuros. A penúltima etapa, generalização para uma classe de problemas (11) generaliza o artefato criado e desenvolvido, junto das heurísticas de construção para que o conhecimento gerado a partir desse artefato possa ser aplicado em outros contextos. Por fim, a última etapa é a comunicação dos resultados (12), presume o acesso das descobertas e dos conhecimentos gerados por meio de publicações e apresentações, podendo ser aproveitado em outras pesquisas e outros contextos.

É importante ressaltar que existem cinco categorias que definem um artefato: constructos, modelos, métodos e instanciações que são propostos por March & Smith (1995) e *design proposition*, proposto por Dresch et al. (2015), como representa a Figura 9.

**Figura 9 – Tipos de artefato.**



Fonte: Adaptado de Mazzarotto Filho (2018).

O presente trabalho irá se basear na categoria definida por Dresch et al. (2015), o **design proposition**, uma vez que essa categoria reflete às contribuições teóricas da DSR e permite sua aplicação em diversos outros casos e problemas. Ela atende classes de problemas aplicando métodos e modelos de soluções possíveis, soluções essas sobre problemas mais generalizados e maior nível de validade.

### 3.3 Delineamento do estudo

Para instrumentalização da DSR na pesquisa, utilizou-se a adaptação de Dresch et al.(2015) feita por Mazzarotto Filho (2018). Nesta adaptação o autor apresenta quatro etapas derivadas das doze originalmente apresentadas, sendo elas: problema; artefato; avaliação e aprendizagem, como demonstrado na Figura 10 a seguir.

**Figura 10 – Adaptação do DSR**



Fonte: Adaptado de Mazzarotto Filho (2018).

Na “fase 1”, o “Problema” engloba as etapas de identificação (1) e conscientização do problema (2), além da revisão sistemática de literatura (3) e a identificação de artefatos e configuração das classes de problemas (4). Aqui são levantados dados bibliográficos sobre a STEAM, a comunicação científica, tipos de linguagens e objetos interativos. Também é a fase para definição da classe de problemas, estabelecer critérios para a solução proposta com os artefatos, bem como os requisitos que o artefato precisa cumprir.

A “fase 2”, o “Artefato” compreende o problema específico (5), projeto do artefato selecionado (6) e desenvolvimento de artefato (7). Essa é a fase correspondente à proposição, projeto e desenvolvimento do artefato, de modo a cumprir com os requisitos definidos na fase anterior. Aqui também foram utilizados dados recolhidos da revisão de literatura como um auxílio no seu desenvolvimento.

Os artefatos criados e desenvolvidos foram passados pela “fase 3”, a “Avaliação”, fase que compreende a avaliação do artefato (8) da estampa original do DSR, onde foi possível obter informações que constataram a necessidade de sua modificação, voltando a fase anterior e criando interação entre a fase 2 e a fase 3, pois o artefato necessitando de alterações, se faz necessário uma melhor compreensão do processo.

A “fase 4”, “Aprendizagem”, que compreende as etapas explicitação das aprendizagens (9), conclusões (10), generalização para uma classe de problemas (11)

e comunicação dos resultados (12) das etapas originais do DSR, é atingida após a construção de um artefato atingir uma solução satisfatória, assim evidenciar os resultados alcançados, as heurísticas criadas, limitações encontradas na pesquisa e indicações para futuras abordagens.

A partir desta etapa, o trabalho apresenta a aplicação da metodologia em conjunto dos processos, técnicas e materiais para a criação do *design proposition* dos artefatos.

### **3.4 Desenvolvimento das Micrografias e Nanoartes**

O desenvolvimento de micrografias é um processo que pode variar de acordo com cada tipo de material, alguns materiais precisam de etapas diferentes ou até mesmo o processo das etapas pode variar, com isso, será descrito nos subcapítulos na sequência os processos de aquisição das metalografias e das micrografias cerâmicas e seus processos e etapas.

#### **3.4.1 Metalografia**

O processo de aquisição das micrografias ópticas foi desenvolvido no Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAR) a partir da extração da amostra de diversos materiais ferrosos seguindo as normas ASTM E3 (2001). A título de exemplificação do processo, foram realizados dois tipos de análise, sendo eles a análise transversal e longitudinal. Nessa etapa, foram realizados cortes em diferentes tipos de materiais ferrosos como o aço e o ferro fundido, ambos os tipos de materiais sofreram o mesmo tipo de corte para as mesmas análises transversais e longitudinais.

Logo após o corte das amostras, elas são direcionadas à um equipamento chamado CitoPress-5 da marca Struers (Figura 11 **A**), equipamento esse uma prensa embutidora de preenchimento automática com resina e catalisador, o qual coloca-se as amostras para um processo de embutimento a quente (Figura 11 **B**) e forma um cilindro com as amostras no topo (Figura 11 **C**), que ao final deste processo, chama-se essa peça de baquelite que, na continuidade do seu processo, o baquelite é passado por lixamento por lixas do tipo “Lixa d’água”, para refrigeração, utilizando quatro

granulometrias diferentes: 220, 320, 400 e 1000 e por fim, o polimento que é realizado com politriz metalográfica e panos especiais que são colados em pratos giratórios e, se é aplicado abrasivos de pasta de diamante.

**Figura 11 – Processo de embutimento a quente da amostra**

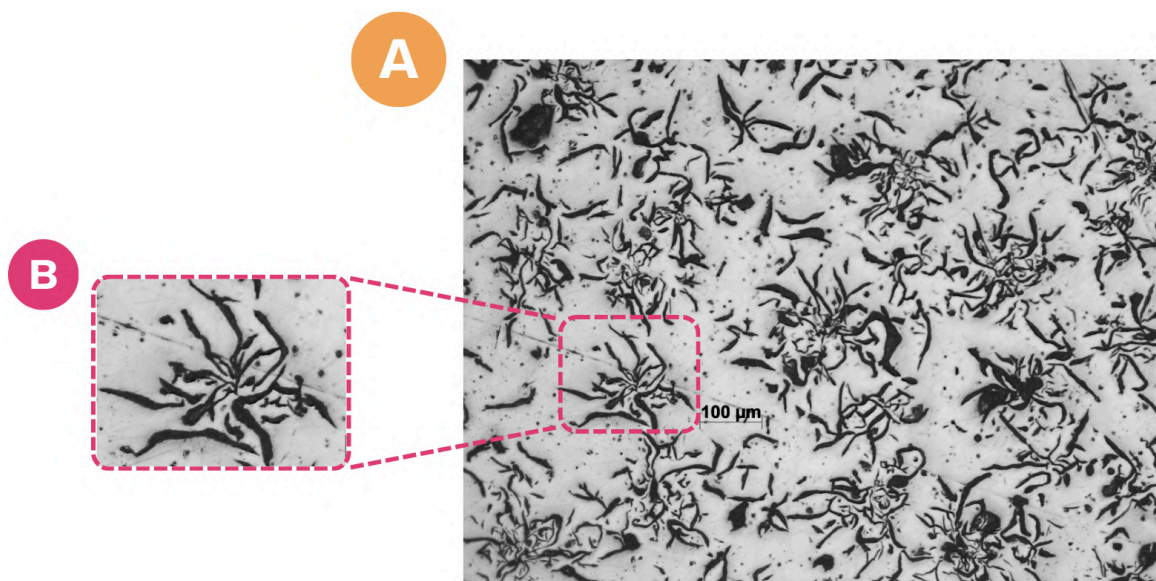


(A) equipamento (B) amostra colocada no equipamento (C) amostra prensada. Fonte: Autor.

Um último processo pode ou não ser aplicado que é o “ataque”, um ataque químico é realizado no material a fim de revelar a microestrutura de uma amostra sob a utilização de reagentes químicos, realizando uma corrosão localizada modificando que a luz irá refletir na superfície da amostra. Com o baquelite pronto, utiliza-se o microscópio óptico metalográfico para captura das metalografias, microscópio este possibilita a análise óptica de metais, medição de componentes mecânicos, controle de superfície, entre outros, que diferente do microscópio biológico, suas funções variam de acordo com o tipo de objetivas, enfoque e aumento.

O microscópio metalográfico utilizado neste estudo é composto por uma torre com quatro objetivas acromáticas que permitem um aumento nas magnificações de 50 ~ 500X e 1000X, ajustes de foco, iluminação de led acoplada, além de uma câmera digital responsável pela captura das micrografias metalográficas (CONSULAB, 2022), o qual permitiu a aquisição das metalografias utilizadas neste trabalho. Das inúmeras imagens realizadas com vários outros materiais metálicos para a sequência do trabalho, foi escolhida a metalografia de um ferro fundido cinzento com grafita tipo B para sua aplicação como artefato (Figura 12 **A**). A utilização desta metalografia se baseia em duas formas de utilização, sendo uma das formas a utilização de toda a imagem e a outra que utiliza apenas um recorte da mesma, destacando apenas uma região (Figura 12 **B**) aplicada em técnicas e materiais diferentes.

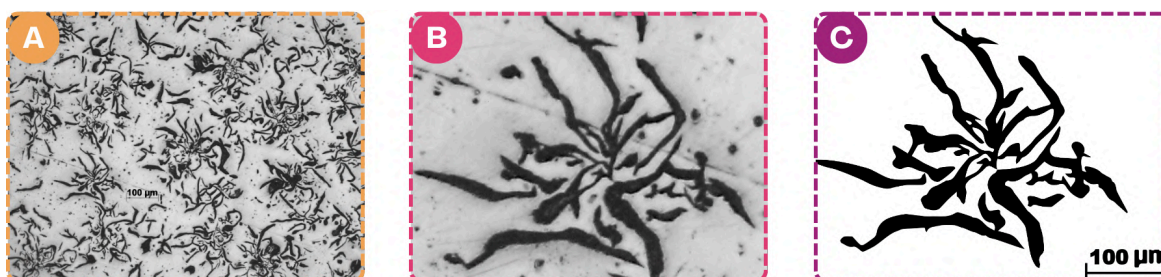
**Figura 12 – Metalografia do FOFO adquirida para realização do estudo**



(A) metalografia inteira (B) recorte da metalografia. Fonte: Autor.

A Figura apresenta as características da metalografia demonstrando pontos pretos, que são grafite. O formato do grafite é um formato não simétrico onde as regiões se diferenciam, apesar de manter sua similaridade, além de que permitem fazer uma analogia com formas encontradas na natureza, mais especificamente flores. E como mencionado anteriormente sobre as duas formas que foram utilizadas as imagens, a Figura 12 B necessitou passar por um processo de tratamento digital com o intuito de adequá-la para sua aplicação nos processos e tecnologias presentes no estudo. Seu processo de tratamento digital foi realizado no *software* Adobe Illustrator, um programa de vetorização que permitiu transformar a imagem da metalografia de uma imagem 2D em JPG, para um vetor (Figura 13), transformando-a em linhas, retirando áreas não interessantes e destacando uma característica presente nessa metalografia, a grafita.

**Figura 13 – Etapas do tratamento digital da metalografia**



(A) metalografia inteira (B) recorte da metalografia (C) metalografia trabalhada. Fonte: Autor.

Agora com a região destacada tratada digitalmente (Figura 13 **C**), se tem uma imagem de alta resolução, sem problemas com pixels ou perda de qualidade, favorecendo a sua aplicação nos processos. A imagem foi salva em três diferentes arquivos: JPG, PNG e BMP, adquirindo assim as duas formas da metalografia que foram aplicadas (Figura 13 **A** e Figura 13 **C**). Com a metalografia tratada, foi utilizada nos processos de impressão 3D e também gravação.

A próxima seção aborda a parte da pesquisa que trata da microscopia cerâmica executada na dissertação.

### 3.4.2 Microscopia Cerâmica

Esta microscopia cerâmica trata-se da captura de micrografias realizadas por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de Niobato de Potássio ( $\text{KNbO}_3$ ) reproduzidas de Wermuth (2019), que apresenta microestruturas com morfologias que permite explorar um quesito de beleza imagética. Para a obtenção do material foram realizados alguns processos são descritos por:

Inicialmente, o H<sub>2</sub>O Mili-Q foi aquecido a 50 °C seguido da adição lenta de KOH. A solução foi homogeneizada em agitador magnético por 30 min. Subsequentemente, foi adicionado o Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e agitado por 30 min para total homogeneização. A suspensão resultante foi inserida em um frasco revestido de teflon e submetida ao microondas (MDS-8G, fabricado pela Shanghai Sineo Microwave Chemistry Technology Co., Ltd). A síntese foi realizada em diferentes tempos (30, 60, 120 e 240 minutos) na temperatura de 200 °C. Estudos preliminares a temperaturas menores não levaram à formação da fase cristalina desejada. O volume máximo das suspensões preparadas foi de 20 ml.

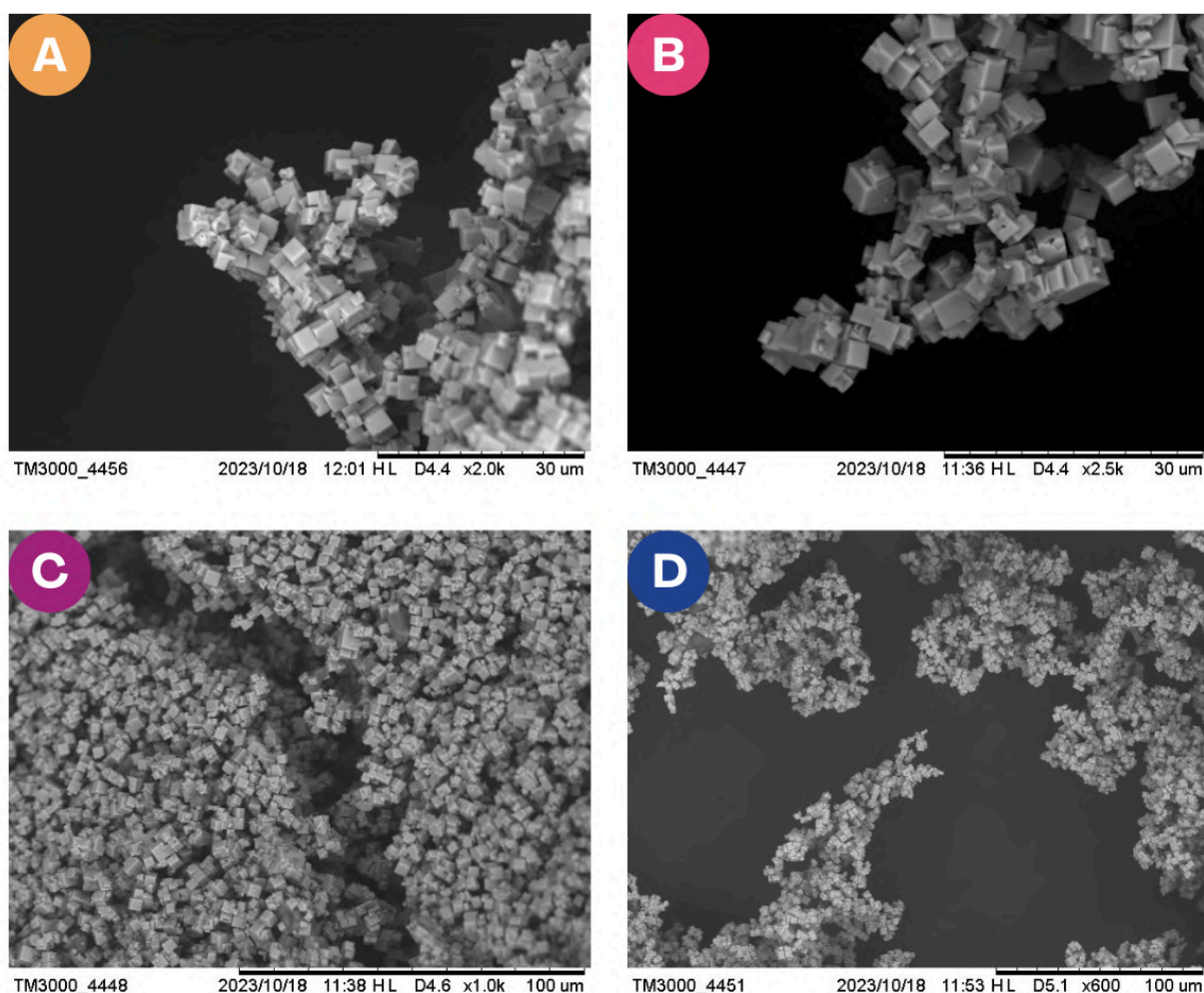
Após a reação, o microondas foi resfriado inercialmente até a temperatura ambiente, e o produto resultante foi centrifugado a 9000 rpm, durante 10 min (centrífuga Quimis H2050R). O precipitado foi lavado com água Milli-Q e álcool etílico até estabilização do pH. Em seguida, foi seco a 60 °C durante 12 horas (estufa Jung, JV 0990) (WERMUTH, p.53, 2019)

Para observar o material, foi preparada uma amostra cedida pela professora Annelise Kopp Alves e que foi desenvolvido no trabalho autor Wermuth (2019) no



Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER-UFRGS), essa amostra foi analisada em um MEV Hitachi o qual permitiu observar a estrutura morfológica do material e também coletar micrografias que posteriormente foram traduzidas em nanoarte. Das diversas imagens adquiridas quatro se destacam (Figura 14).

**Figura 14 – Imagens da morfologia do material  $\text{KNbO}_3$  adquiridas via MEV**



Fonte: Autor.

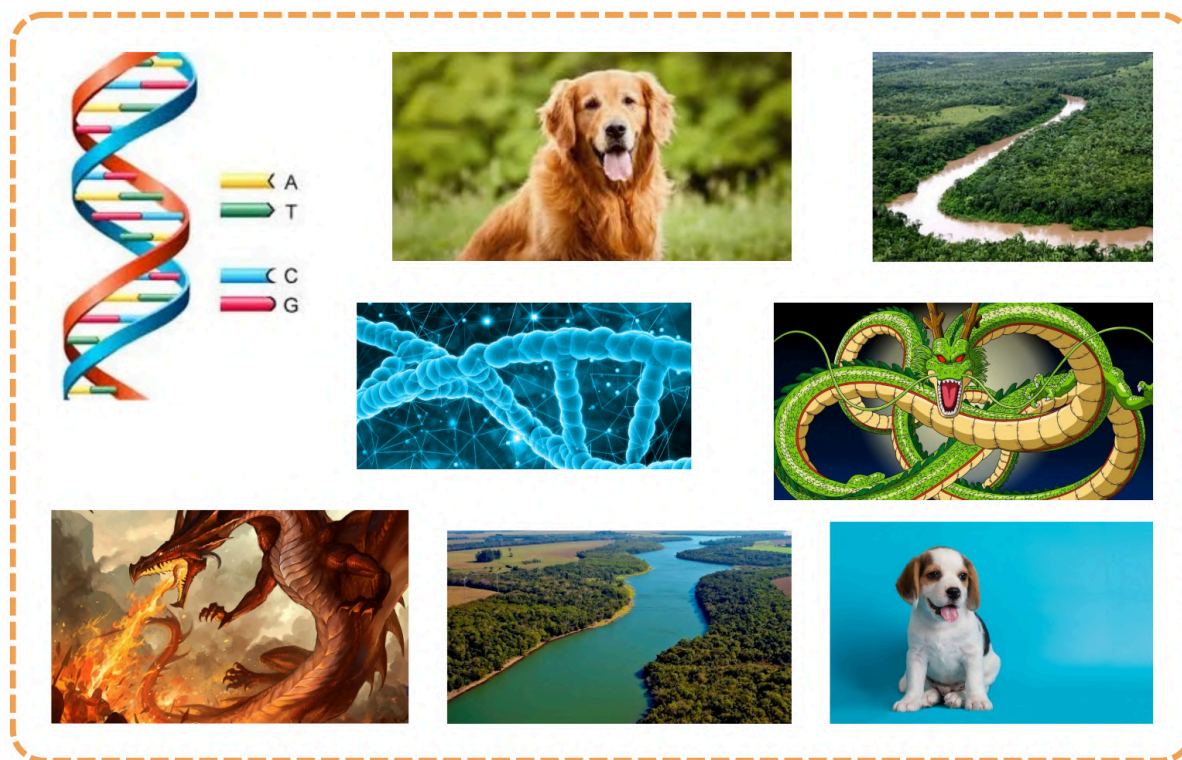
A Figura apresenta um material com uma morfologia em formato de cubos, resultados de “uma variação da razão molar dos precursores e dos tempos de síntese utilizados para a obtenção dos pós de  $\text{KNbO}_3$ ” (WERMUTH, p.65, 2019). Isso mostra que:

partículas maiores crescem à custa de partículas menores. As partículas grandes apresentam uma relação superfície/volume que corresponde a uma energia livre de superfície inferior à energia das partículas pequenas e, à medida que o sistema tenta reduzir sua energia total, os

íons na superfície das partículas menores (altamente energéticas) tendem a se difundir através da solução e se depositam na superfície de partículas maiores (WERMUTH, p.66, 2019).

Após a aquisição das imagens, realizou-se uma reflexão acerca das imagens e aplicou um visual artístico sobre a imagem. Para isso, pensou-se em realizar um *moodboard* como forma de obter *insights* sobre o conceito que foram aplicados nas micrografias, e assim, o *moodboard* foi construído com imagens que poderiam ser representadas em forma de nanoarte, as imagens adicionadas contém traços semelhantes aos encontrados nas micrografias conforme o gosto pessoal, o arcabouço cultural, as vivências e experiências de vida do próprio autor. A figura 15 a seguir é representada pelo *moodboard* construído.

**Figura 15 – Moodboard desenvolvido para gerar insights na criação das nanoartes**



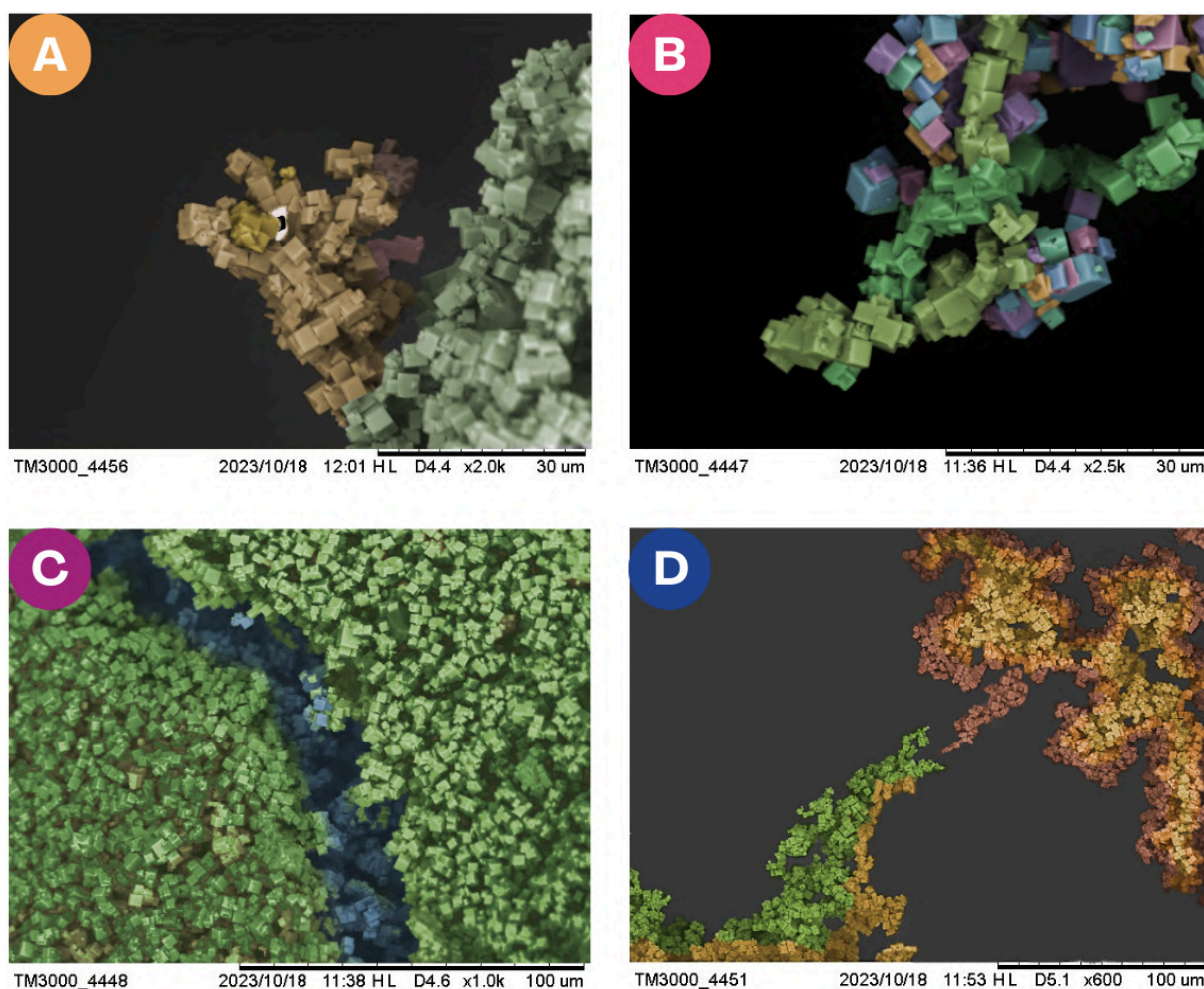
Fonte: Autor.

O *moodboard* apresenta algumas imagens que geraram insights para a criação das nanoartes e também a utilização de elementos presentes nas imagens, como algumas características e cores que foram utilizadas para compor as imagens. As nanoarte foram criadas digitalmente no Adobe Photoshop aplicando as cores que

compõem o *moodboard*, e para essa aplicação foi trabalhado a matiz de saturação das imagens, além de aplicação de filtros que alteram o brilho e o contraste.

Relacionando com o objetivo geral do trabalho em difundir a ciência com uma linguagem mais acessível e atingindo diversos âmbitos, o conceito escolhido pelo autor para a realização das nanoartes foi a de “representação do cotidiano”. A intenção foi a de gerar imagens que contemplassem coisas do cotidiano de fácil assimilação com questões corriqueiras. Com o conceito definido e o *insights*, as quatro imagens da Figura 16 representam respectivamente um cachorro, a estrutura de um DNA, matas ciliares e um dragão.

**Figura 16 – Nanoartes criadas a partir das imagens de MEV do material  $\text{KNbO}_3$**



(A) nanoarte: Cão (B) nanoarte: DNA (C) nanoarte: Mata Ciliar (D) nanoarte: Dragão. Fonte: Autor.

É possível assimilar as imagens com as figuras do cotidiano mencionadas, uma vez que são imagens de cunho científico, a partir desta modificação e transformação

em arte, são inferidas nas imagens um caráter menos acadêmico, o que permite a discussão e o diálogo acerca das imagens que apesar de assemelhar com um cachorro, a estrutura de um DNA, as matas ciliares e um dragão, elas ainda contém características específicas, os cubos, sendo suas formas estranhas mas ao serem coloridas se tornam familiares. E esta etapa se dá por completa a Fase 3 da adaptação do DSR (avaliação) das nanoartes desenvolvidas a partir do niobato de potássio.

A seção seguinte trata dos testes e construção do artefato utilizando a manufatura aditiva em diferentes materiais.

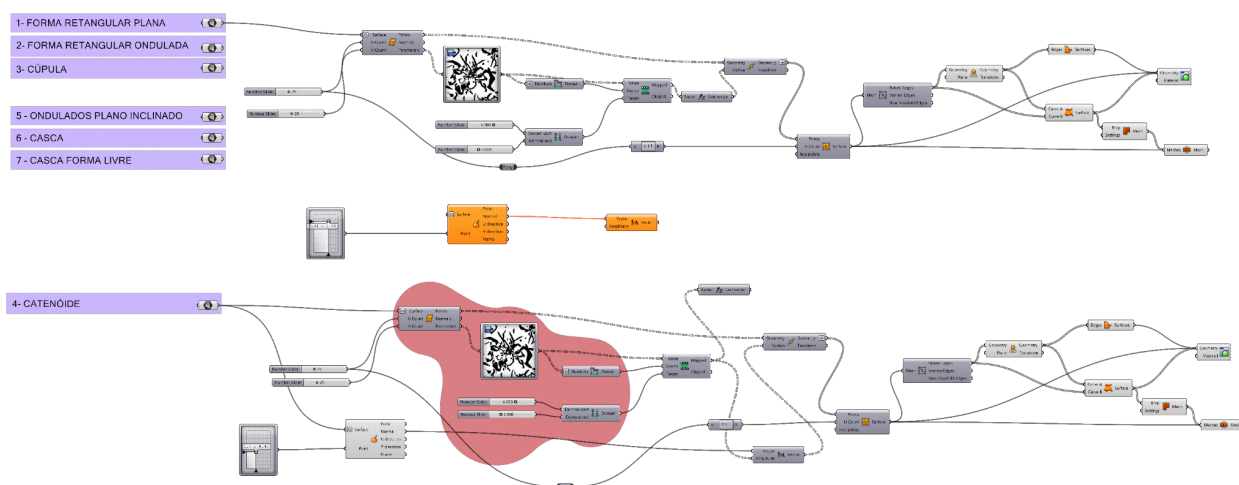
### **3.5 Testes da manufatura aditiva e artefatos construídos**

No presente estudo, a MA está representada nas impressões 3D, responsáveis por transformar a metalografia bidimensional em tridimensional, representando de forma tangível, possibilitando o toque em microestruturas transformando-a em textura, explorando cada vez mais o universo microscópico com diversas linguagens. Para esse tópico foram delineadas duas técnicas de impressão 3D, FDM e MSLA (realizadas nos equipamentos no LDSM), com o auxílio do *software Grasshopper* para a construção tridimensional digital das micrografias.

#### **3.5.1 Impressões 3D**

De início, a micrografia utilizada para o desenvolvimento dos primeiros artefatos foi a metalografia de um ferro fundido (FOFO) cinzento com grafita tipo B. Lançada no *software*, foi feito um recorte da imagem geral e aplicado um código que identificasse a imagem e gerasse um relevo na peça, então, dentro do *Grasshopper* criou-se uma base quadrangular maciça plana para servir de base para a metalografia, e depois junto da imagem, aplicou-se um código que conseguisse atender as expectativas de criar tridimensionalidade à imagem (Figura 17).

**Figura 17 – Código do Grasshopper de aplicação da metalografia em uma base plana como textura**

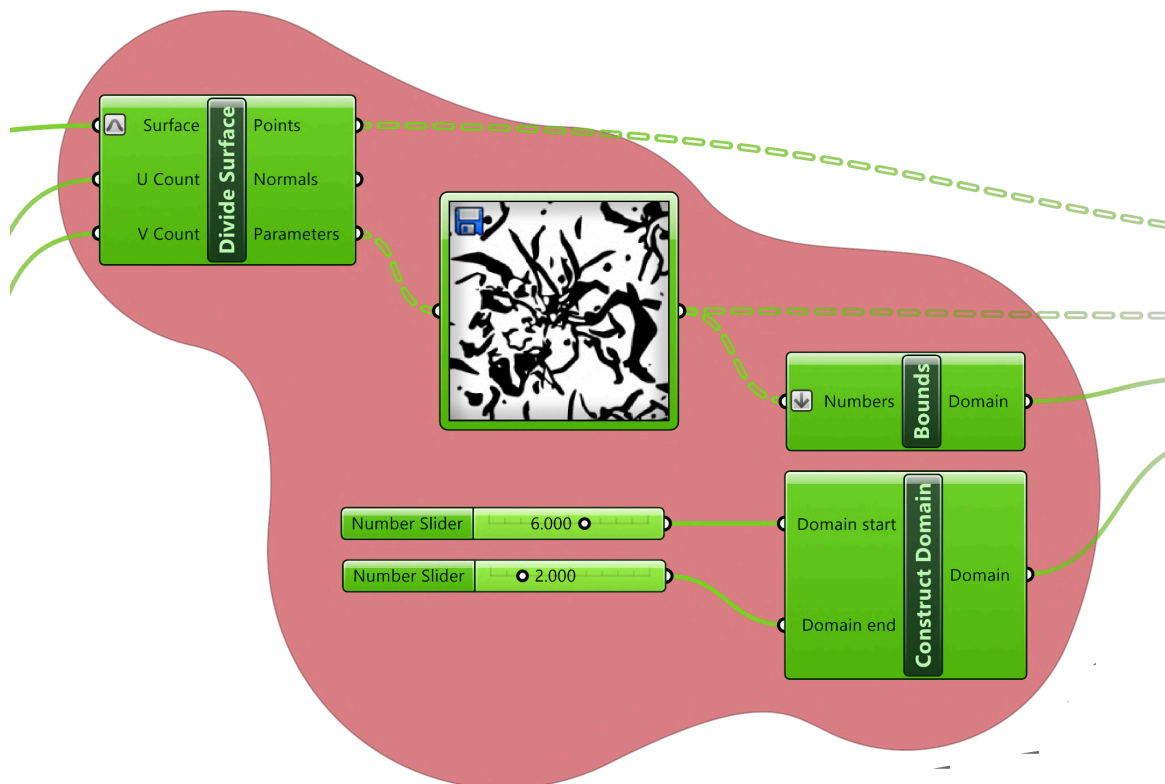


Fonte: Autor.

No Grasshopper gerou-se um código utilizando um componente chamado “*Image Sampler*” (Figura 18), este componente faz parte de um *plug-in*, o *Ladybug Tools*, que é usado para análise de dados e informações de imagens em uma malha ou superfície. O *Image Sampler* possui diferentes modos de operação no *Grasshopper*, um deles é o “*Raytracing*” ou “*Shadow Study*”, que permite utilizar uma imagem com vista aérea ou uma imagem em HDR (*High Dynamic Range*) como entrada para o *Image Sampler*. Em seguida, o componente divide essa imagem em uma grade de pixels, e cada pixel é mapeado para um ponto na malha ou superfície de análise. Para cada ponto na malha, o *Image Sampler* pode realizar várias ações, como coletar informações de cor extraíndo a cor de cada pixel correspondente na imagem de entrada. Isso permite associar informações de cor a pontos específicos na malha, o que pode ser útil para fins de visualização ou análise; calcular valores numéricos com base nas informações de cor dos pixels, levando em consideração a média das cores de uma determinada região na malha ou calcular a intensidade da luz com base na imagem HDR e avaliar sombras determinando quais pontos na malha estão em áreas sombreadas e utilizar nas análises de iluminação natural, avaliação de desempenho energético ou design solar passivo, tudo isso em um contexto paramétrico e de design generativo. Assim foi possível gerar dois padrões de superfície da peça, um positivo (com os aspectos da metalografia com o relevo para cima) e um negativo (com os aspectos da metalografia com o relevo para baixo). A intenção de aplicação destas

duas formas é analisar como ficariam impressas e como seria a textura do seu relevo e também analisar seu aspecto visual.

**Figura 18 – Componente *Image Sampler* utilizado no código**



Fonte: Autor.

Com a intenção de melhor ilustrar a construção virtual das peças, a Figura 19 apresenta o seu processo por meio de modelos sólidos que as representam virtualmente seguinte à aplicação do *Image Sampler*, demais códigos estão disponíveis nos apêndices **A** e **B** deste artigo.

**Figura 19 – Modelo sólido da peça desenvolvida no *Grasshopper***



(A) forma plana (B) forma ondulada (C) aplicação da metalografia positiva (D) aplicação da metalografia negativa. Fonte: Autor.

Após o desenvolvimento tridimensional da metalografia, iniciaram-se os testes de impressão 3D, assim configurando-se na segunda fase da adaptação do DSR, a fase de proposição do artefato, a primeira técnica utilizada foi a MSLA, impressão por fotopolimerização. Para o primeiro teste realizado (impressão **N1**) se escolheu uma impressora MSLA *Creality Halot-one* (Figura 20), que contém um *software* para a preparação e definição dos parâmetros utilizados na peça que foi impressa, o *Creality Halot Box V3.5.0*. Dentro do *software* é importada a imagem em 3D no formato de arquivo stl que é exportado pelo *Grasshopper* e, são aplicados suportes na peça com inclinação de 30° no eixo Y para evitar erros na impressão, além da aplicação dos parâmetros utilizados. Ficou estabelecido um tamanho de 20 mm de largura por 20 mm altura da peça e logo em seguida, foram aplicados os suportes e definidos os parâmetros de impressão e realizando a impressão.

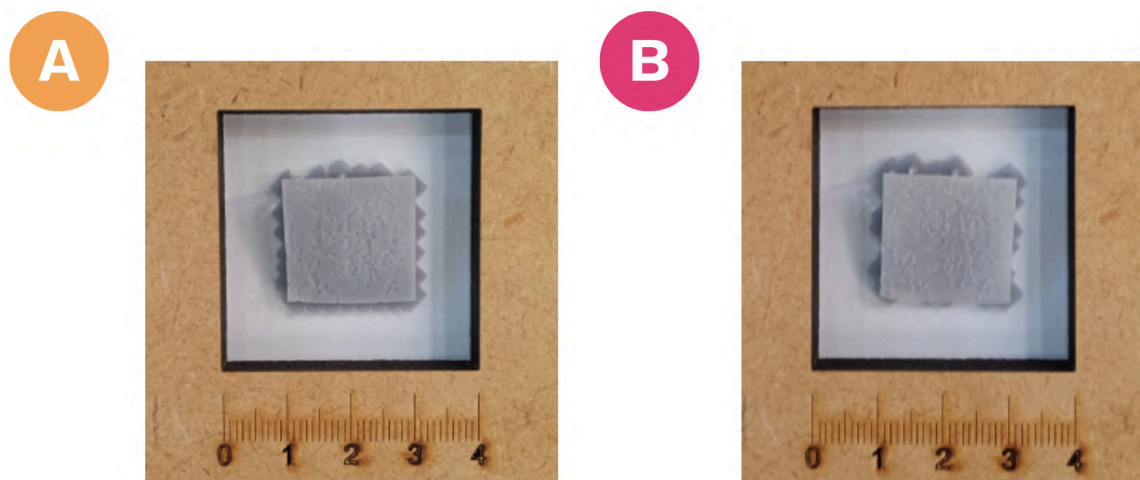
**Figura 20 – Impressora MSLA *Creality Halot-one***



Fonte: Autor.

A Figura 21 ilustra o resultado da impressão das peças em relevo positivo e negativo. Para avaliação da qualidade das impressões, três critérios foram analisados: visuais, táteis e resolução da impressão.

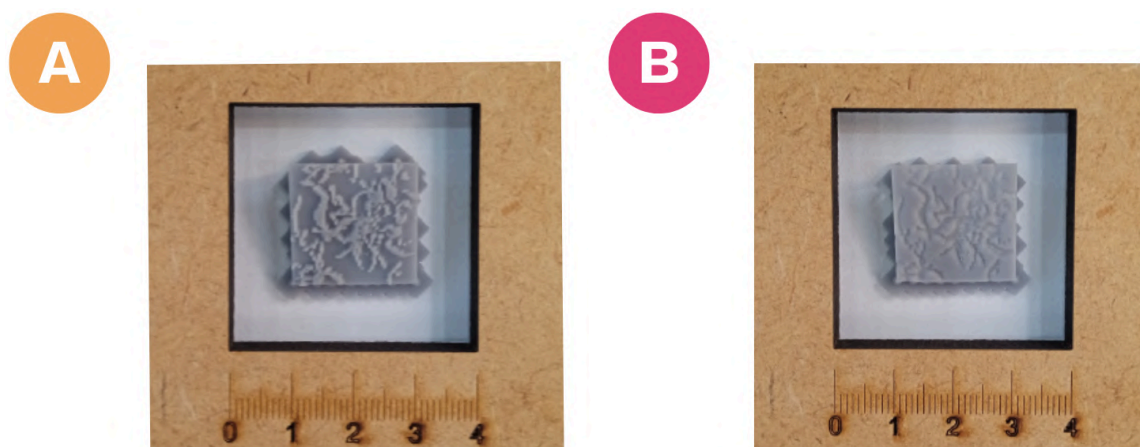
**Figura 21 – Impressão N1 da metalografia como textura**



(A) superfície positiva impressão **N1** (B) superfície negativa impressão **N1**. Fonte: Autor.

A impressão das duas peças (Figura 21 **A** e Figura 21 **B**) obteve resultados irregulares, os relevos, tanto positivo quanto negativo, ficaram superficiais no ponto visual e também no ponto tátil, além de não ficarem totalmente claras as características da micrografia por conta de sua resolução, com isso achou-se necessário a variação do mesmo código para testar outras formas de relevo da peça, mantendo o padrão de superfície positiva e negativa, deste modo aplicou-se a alteração no código do *Grasshopper* na peça para ser testado. O processo de impressão do teste **N2** é semelhante ao primeiro, os mesmos parâmetros e aplicação de suporte, logo a impressão foi realizada (Figura 22). Não houve problemas quanto ao processo desta primeira impressão, os suportes mantiveram a peça firme e assim nenhum erro de impressão foi detectado.

**Figura 22 – Impressão N2 da metalografia como textura**

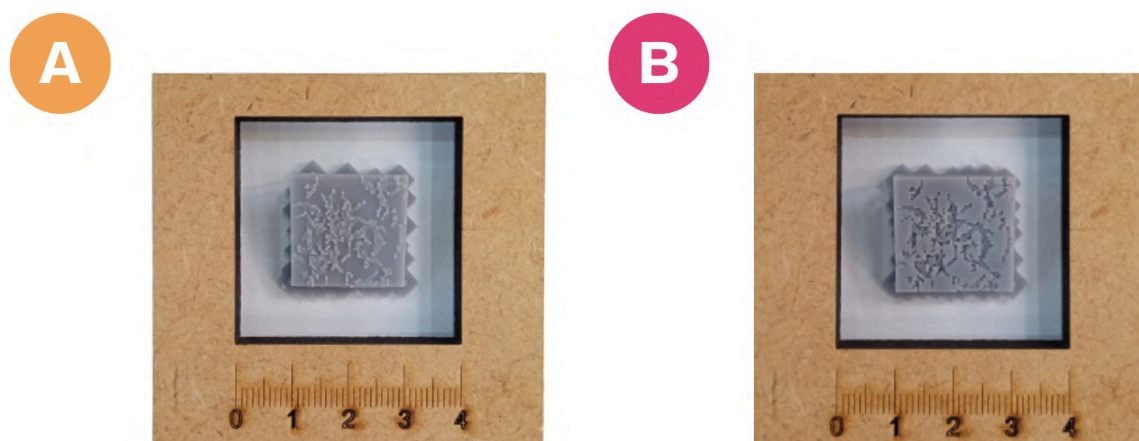


(A) superfície positiva impressão **N2** (B) superfície negativa impressão **N2**. Fonte: Autor.



Este segundo teste obteve melhores resultados, o relevo estruturado de forma mais orgânica tanto do aspecto visual quanto no tátil, com maior altura no relevo positivo e negativo, representando aspectos da imagem com maior fidelidade em comparação com a primeira, ambas as peças também com o mesmo grau de inclinação de 30° e a mesma dimensão de 20 mm x 20 mm. A segunda impressão (N2) também não identificou nenhum erro de impressão, a estrutura da peça se manteve intacta. Mesmo com o resultado satisfatório, optou-se executar uma terceira tentativa (N3) com alterações no mesmo código para fins de comparação de características de cada uma das três técnicas e compatibilidade com a sua aplicação como textura, assim, o terceiro código. A Figura 23 demonstra o resultado desta impressão N3.

**Figura 23 – Impressão N3 da metalografia como textura**



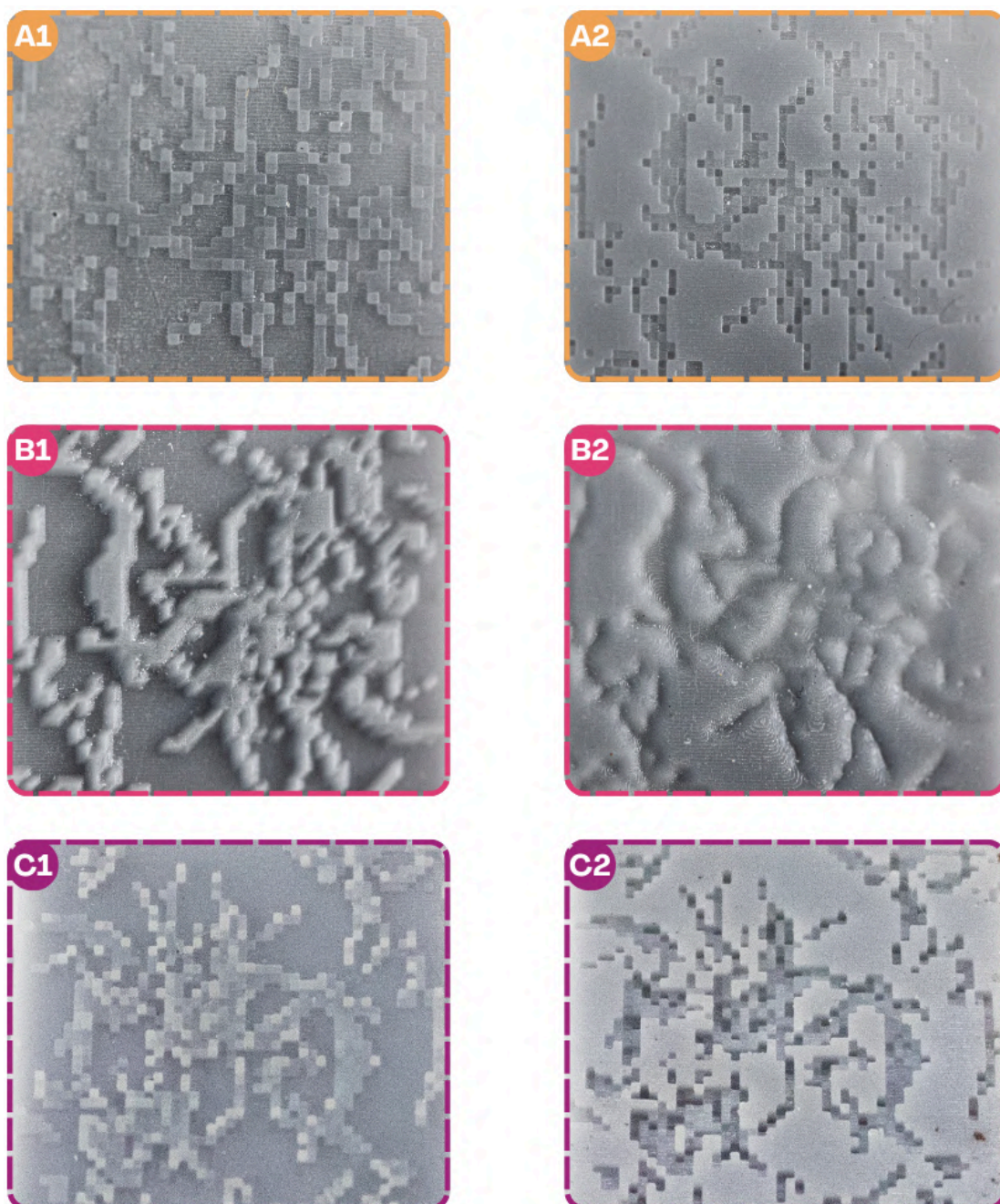
(A) superfície positiva impressão N3 (B) superfície negativa impressão N3. Fonte: Autor.

A impressão com o terceiro código gerou resultados de peças com aspecto pixelado, características “grosseiras” e não orgânicas. A superfície positiva obteve uma altura satisfatória, porém sua resolução insatisfatória visualmente e tátil também, dificultando a identificação dos traços. Já a superfície negativa obteve uma excelente qualidade de resolução, com camada a mais que as peças anteriores, é possível identificar as características e os traços da impressão, entretanto seu aspecto pixelado se mostra insatisfatório, pois esperava-se aspectos naturais, aspectos fluídos para a peça. Assim como as duas anteriores, não houve problemas e nem erros com esta impressão.

Para evidenciar as análises das peças e o critério para a escolha da melhor e assim seguir com sua aplicação, a próxima figura (24) demonstra as peças em

tamanho macro, o que apresenta melhor os detalhes corroborando com os critérios de avaliação.

**Figura 24 – Imagens macro da análise das peças N1, N2 e N3**



(A1) foto macro da impressão **N1** positiva (A2) foto macro da impressão **N1** negativa (B1) foto macro da impressão **N2** positiva (B2) foto macro da impressão **N2** negativa (C1) foto macro da impressão **N3** positiva (C2) foto macro da impressão **N3** negativa. Fonte: Autor.

Observando a Figura 24 **A1** e **A2** é possível notar que a impressão **N1A** e **N1B** se mostraram ineficientes, acompanhando os critérios Visual, Tato e Resolução as

peças não se qualificam no quesito visual, uma vez que há muita dificuldade para conseguir ver os detalhes da impressão, já no critério tato, por conta de sua camada ser muito pequena, o tato é pouco perceptível não possibilitando a identificação tátil da estrutura, e por fim a resolução é baixa, ainda que se possa ver as características da grafita da metalografia.

A impressão **N2A** e **N2B** (Figura 22), apresentam melhores resultados, entrando no critério visual é de fácil visualização os limites e as características dos detalhes, já no tato, diferente da primeira impressão, esta peça apresenta uma identificação tátil muito boa da estrutura da metalografia impressa, e nos critérios de resolução elas apresentam uma impressão com um formato orgânico muito similar a grafita encontrado na metalografia.

Os testes realizados nas impressões **N1** e **N2**, (Figura 21 e 22) tanto seu modelo positivo quanto o negativo apresentam resultados similares, quase não se diferenciam no quesito qualidade, diferente do grupo **N3** (Figura 23) que o teste **N3A** e **N3B** demonstram resultados completamente diferentes entre si, sendo o primeiro teste o que apresentou o pior resultado entre todos os testes realizados nos critérios visual, tato e resolução, entretanto, o segundo teste por conta de sua característica pixelizada foi ineficaz no critério visual gerando dificuldade de se assemelhar com a estrutura da grafita encontrada na metalografia, tanto quanto foi difícil de conseguir identificar tatilmente por conta de suas camadas nada orgânicas e nem fluidas, com seu extremos convertidos em vértices e não curvas, apresentando os cantos quadrados e retos mas, sua resolução está com uma boa qualidade sendo possível observar a impressão sem marcas das linhas de camadas, e por mais que os cantos estejam retos e sem curvas eles estão muito bem definidos.

Os resultados das impressões foram analisados e atribuídos notas entre: insatisfatório, pouco satisfatório, satisfatório e muito satisfatório com o intuito de definir as melhores peças, para isso, foi realizado um quadro (Quadro 1) com as atribuições de notas. Dentre os resultados, a impressão dois se mostrou mais satisfatória entre as três, notas que as qualificam como as melhores opções para futuras aplicações. Importante evidenciar o objetivo dessas peças como propostas de aplicação e não a pretensão de sua validação. Assim a Fase 3 de avaliação da adaptação do DSR se completa nos testes de impressão em MSLA.

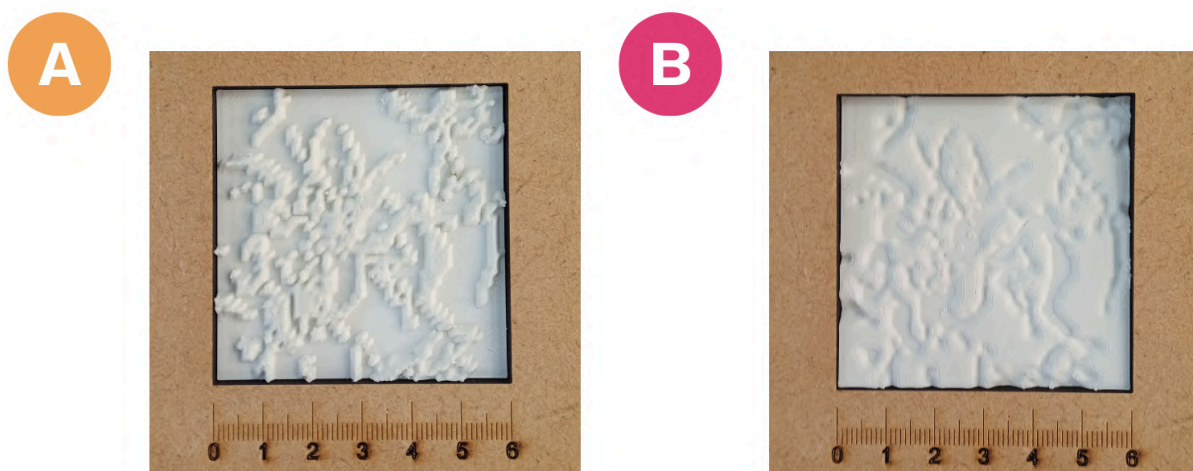
**Quadro 1 – Estabelecimento de critérios para escolha de amostra**

| IMPRESSÃO MSLA | Insatisfatório | Pouco Satisfatório | Satisfatório | Muito Satisfatório | Características |
|----------------|----------------|--------------------|--------------|--------------------|-----------------|
| Impressão 1 A  |                |                    |              |                    | Visual          |
|                |                |                    |              |                    | Tato            |
|                |                |                    |              |                    | Resolução       |
| Impressão 1 B  |                |                    |              |                    | Visual          |
|                |                |                    |              |                    | Tato            |
|                |                |                    |              |                    | Resolução       |
| Impressão 2 A  |                |                    |              |                    | Visual          |
|                |                |                    |              |                    | Tato            |
|                |                |                    |              |                    | Resolução       |
| Impressão 2 B  |                |                    |              |                    | Visual          |
|                |                |                    |              |                    | Tato            |
|                |                |                    |              |                    | Resolução       |
| Impressão 3 A  |                |                    |              |                    | Visual          |
|                |                |                    |              |                    | Tato            |
|                |                |                    |              |                    | Resolução       |
| Impressão 3 B  |                |                    |              |                    | Visual          |
|                |                |                    |              |                    | Tato            |
|                |                |                    |              |                    | Resolução       |

Fonte: Autor.

Da mesma maneira que executados com a técnica MLSA, as impressões em FDM se sucederam com o código que resultou a melhor impressão MSLA, o mesmo utilizado na impressão **N2**, porém se fez necessário a ampliação das dimensões de impressão, já que a impressora utilizada e o métodos de impressão não conseguiram fazer impressões tão pequenas com a qualidade desejada, com isso as dimensões de impressão utilizadas forma 60 mm de altura por 60 mm de largura com altura de camada em 0.2 mm. As impressões foram realizadas em uma impressora Creality CR-200B também no LDSM, o software utilizado para escolha de parâmetros é o UltiMaker Cura, e o primeiro material utilizado na impressão foi o filamento ABS (Figura 25).

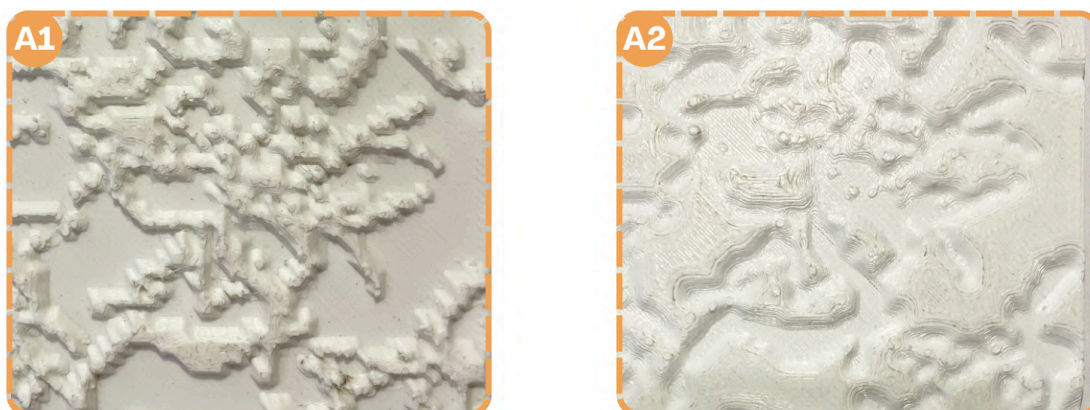
**Figura 25 – Impressão FDM - ABS da metalografia como textura**



(A) superfície positiva impressão FDM - ABS (B) superfície negativa impressão FDM - ABS. Fonte: Autor.

A impressão gerou resultados muito satisfatórios de acordo com o estabelecimento de critérios, a resolução e seu aspecto tátil também são muito satisfatórios em ambas as peças (positiva e negativa), porém o aspecto visual se difere entre positivo e negativo, enquanto o positivo não ficou tão fluido e orgânico, o negativo continuou muito satisfatório, possível observar na imagem macro da peça na Figura 26.

**Figura 26 – Imagens macro da análise da peça em FDM - ABS**



(A1) foto macro da impressão FDM - ABS positiva (A2) foto macro da impressão FDM - ABS negativa.

Fonte: Autor.

Se tratando do material ABS, a etapa seguinte foi realizar o acabamento por vapor de acetona (PESTANO, 2023) na superfície positiva, para melhorar seu aspecto visual, arredondando os traços deixando os traços mais orgânicos para alcançar o resultado muito satisfatório. Com intenção de realizar o acabamento da impressão FDM

- ABS, foi montada uma estrutura que permitisse a peça estar próxima a acetona para que o seu vapor pudesse realizar o acabamento, sendo para essa estrutura adicionado uma fita dupla face na parte traseira da peça (Figura 27 **A**) para que ela pudesse ser fixada em uma tábua de madeira, utilizando um recipiente de PVC onde foi adicionada a acetona (Figura 27 **C**) e onde foi adicionada essa tábua com a impressão fixa virada para dentro do recipiente já com a acetona, sendo adicionado ainda um pedaço de madeira como peso para impedir que o vapor vazasse (Figura 27 **D**). Essa estrutura é ilustrada pela Figura 27.

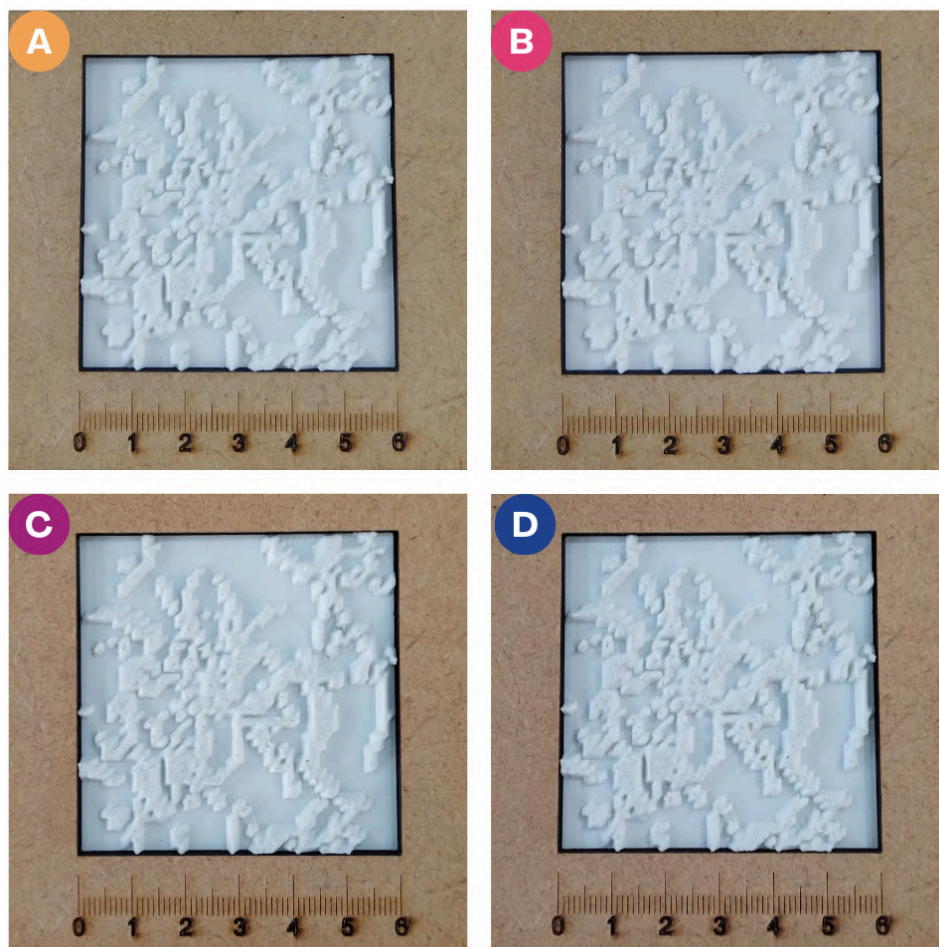
**Figura 27 – Estrutura utilizada para realização do acabamento na impressão FDM - ABS**



(A) peça com fita dupla face (B) acetona utilizada (C) recipiente onde a acetona foi adicionada (D) estrutura realizada para o processo de acabamento da peça. Fonte: Autor.

A partir da estrutura pronta, este processo foi realizado em quatro tempos de permanência da impressão no vapor de acetona. Os três aplicados são 5 min, 10 min, 15 min e 30 min. A primeira permanência foi realizada com os 5 min, foi feito o registro fotográfico de como ficou a impressão (Figura 28 **A**), após isso permaneceu por mais 5 min (totalizando 10 min), fotografado (Figura 28 **B**), após mais 5 min (totalizando 15 min) e novamente fotografado (Figura 28 **C**), e por fim, permaneceu por mais 15 min (totalizando 30 min) e também feito o registro (Figura 28 **D**) para observar as mudanças realizadas nas peças, como representado na Figura 28.

**Figura 28 – Registros da peça após passar pelo vapor de acetona para acabamento da impressão**



(A) peça após 5 min no vapor da acetona (B) peça após 10 min no vapor da acetona (C) peça após 15 min no vapor da acetona (D) peça após 30 min no vapor da acetona.

A figura 28 pouco demonstra os efeitos do vapor da acetona na peça, entretanto, imagens macro realizadas da peça após os 30 min no vapor da acetona (Figura 29) apresentam mais detalhadamente os seus efeitos.

**Figura 29 – Registros macro da peça após passar 30 min pelo vapor de acetona para acabamento da impressão**



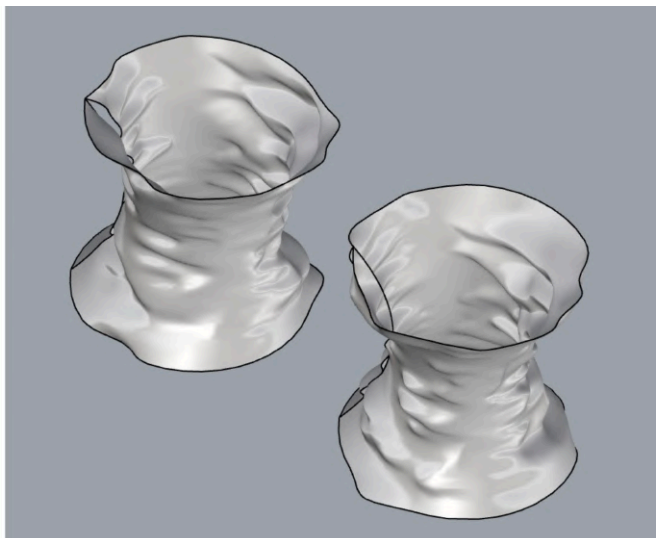
Fonte: Autor.

Com a Figura 29 possível notar o arredondamento de algumas partes da peça, ela já não têm as pontas salientes comparada a ela mesma antes do vapor de acetona (Figura 25 **A** e Figura 26 **A**), deixando um acabamento mais fino visualmente além de deixar o tato mais agradável já que agora não há as pontas tão salientes torna mais fácil na identificação da metalografia impressa.

Havendo já os resultados dos testes, já adquirindo o conhecimento dos códigos, parâmetros de impressão e acabamento da peça, o trabalho com o intuito de demonstrar sua aplicação no cotidiano, aplicou as metalografias em diferentes formas para além da plana e observar seu comportamento, para isso foram desenvolvidas algumas formas virtualmente aplicando as metalografias (Apêndice **B**), sendo possível observar seu comportamento, entretanto, para tangibilizar essa aplicação, a impressão uma das formas foi realizada, representada na Figura 30 por seu modelo sólido.



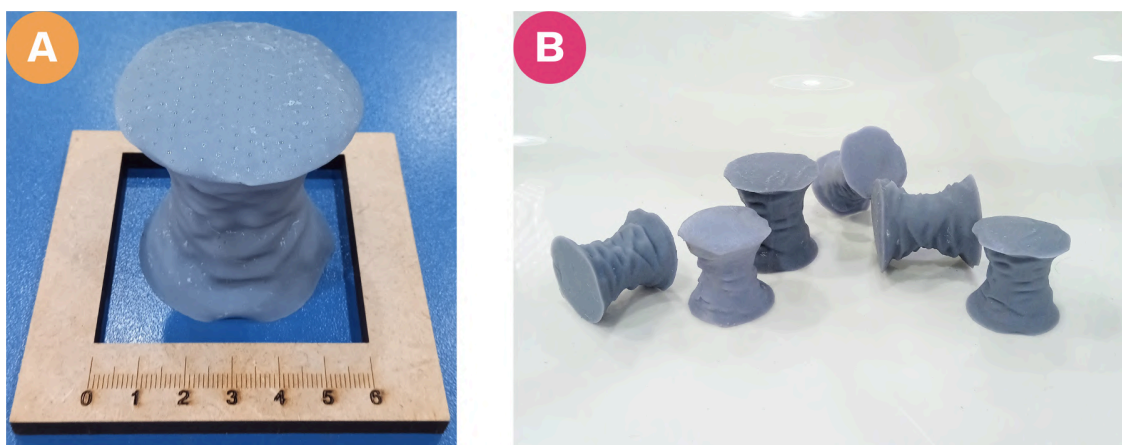
**Figura 30 – Forma catenóide sólida que foi impressa**



Fonte: Autor.

A forma catenóide foi impressa em MSLA inicialmente realizando alguns testes, sendo para sua peça final aplicada a metalografia em forma positiva e negativa em um tamanho de 100 mm de altura e 50 mm de largura em sua base, preenchida e maciça, tanto seu topo quanto sua base foram fechados para realizar a impressão. A figura 31 apresenta a forma sólida impressa com a metalografia positiva e negativa.

**Figura 31 – Forma catenóide sólida impressa pela impressora 3D**



(A) forma catenóide impressa (B) testes e impressão final. Fonte: Autor.

Foi possível constatar que a metalografia passada pelo código do *Grasshopper* e transformada em 3D pode se adequar em formas e curvas, comprovando a capacidade de sua aplicação em formas não somente planas, o que abre um leque de aplicações. Esta etapa teve o papel de testar a proposta de tangibilizar uma micrografia, transformar o 2D em 3D e utilizar essa linguagem para fins de

popularização. Esses resultados permitem validar a possibilidade de criar texturas a partir da metalografia, sendo essas impressões (FDM e MSLA) uma amostra de como a manufatura aditiva se mostra eficaz na ampliação do alcance da informação, e assim pode-se alcançar o objetivo específico D.

### 3.6 Testes de manufatura subtrativa e artefatos construídos

A manufatura subtrativa foi pensada como um disseminador da ciência, a intenção é aliá-la junto das micrografias criando substratos a partir do seu uso, sendo a gravação a laser CO<sub>2</sub> e corte a laser, duas técnicas ainda não muito exploradas além da utilização para cortes e demarcações e materiais.

#### 3.6.1 Gravações e corte a laser

As gravações a laser foram realizadas com um equipamento presente no LDSM, gravação e corte a laser Automatisa, modelo Mira 3007, de 60 Watts de potência com área de trabalho 100 mm x 100 mm (Figura 32). Equipamento este controlado por intermédio de computador com comandos do *software LaserDraw* que orienta a trajetória a ser percorrida pelo laser, atuando nos eixos x e y em um sistema galvanométrico (SOARES, et al.. 2016).

**Figura 32 – Equipamento de corte a laser**

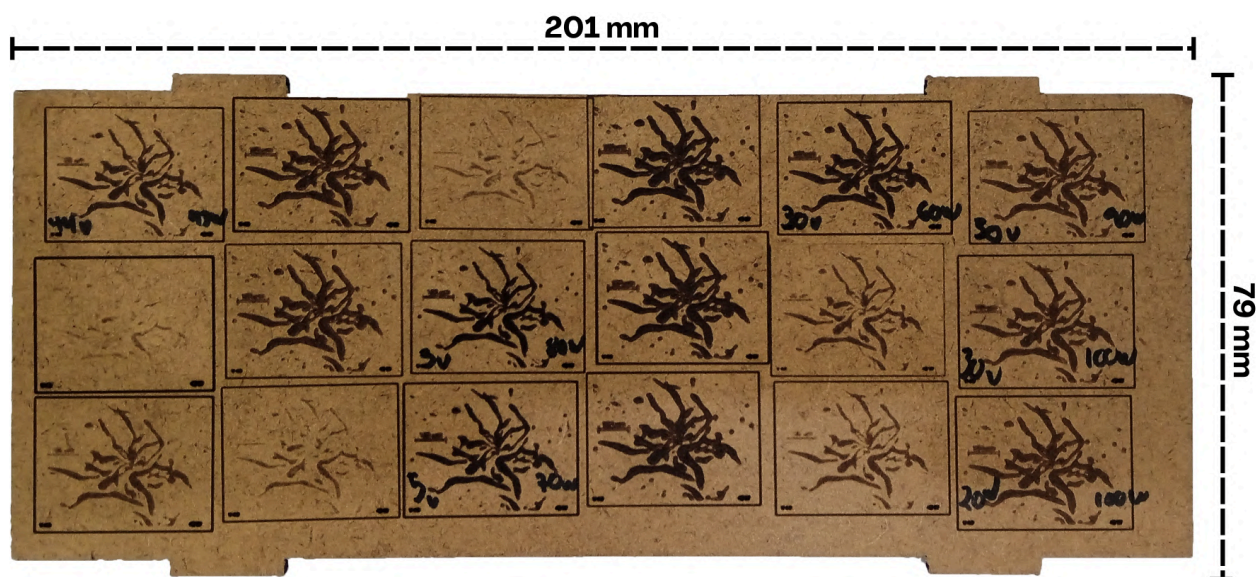


Fonte: Autor.

Foram utilizados dois parâmetros da máquina: potência e velocidade. Como mencionado anteriormente, a máquina tem potência máxima de 60W, então, considerou essa potência de 0% a 100% e, a velocidade, considera a velocidade de 1 m/min a 100 m/min (SOARES et al., 2016).

A princípio, foram aplicados diversas variações dos dois parâmetros (Figura 33) em uma pequena placa de MDF de 201 mm x 79 mm para compreensão do comportamento do equipamento, e entendimento de seu uso, assim, logo pensou-se em desenvolver um gabarito de testes em uma placa de MDF com base nos resultados que os testes aleatórios revelaram.

**Figura 33 – Primeiros testes de gravação a laser CO<sub>2</sub>**



Fonte: Autor.

Os resultados desse primeiro teste foram importantes para compreensão do funcionamento do equipamento e para ter um norteamento de quais parâmetros seriam aplicados no desenvolvimento de novos testes. Parâmetros de variação de potência de 100% a 60% (de 10 em 10) e velocidade de 5m/min a 60m/min (de 10 em 10) (Figura 34) foram aplicados em alguns outros testes para entender melhor sua compreensão no MDF.

**Figura 34 – Parâmetros utilizados nos testes com destaque na combinação ideal**

|                   |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>POTÊNCIA</b>   | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| <b>VELOCIDADE</b> | 5 V  | 10 V | 20 V | 30 V | 40 V | 50 V | 60 V |
| <b>POTÊNCIA</b>   | 90%  | 90%  | 90%  | 90%  | 90%  | 90%  | 90%  |
| <b>VELOCIDADE</b> | 5 V  | 10 V | 20 V | 30 V | 40 V | 50 V | 60 V |
| <b>POTÊNCIA</b>   | 80%  | 80%  | 80%  | 80%  | 80%  | 80%  | 80%  |
| <b>VELOCIDADE</b> | 5 V  | 10 V | 20 V | 30 V | 40 V | 50 V | 60 V |
| <b>POTÊNCIA</b>   | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  |
| <b>VELOCIDADE</b> | 5 V  | 10 V | 20 V | 30 V | 40 V | 50 V | 60 V |
| <b>POTÊNCIA</b>   | 60%  | 60%  | 60%  | 60%  | 60%  | 60%  | 60%  |
| <b>VELOCIDADE</b> | 5 V  | 10 V | 20 V | 30 V | 40 V | 50 V | 60 V |

Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 34, testes com todas as combinações entre 100% a 60% e 5m/min a 60m/min foram realizados, com isso foi capaz de definir o melhor parâmetro para as gravações em MDF que é: 90% da potência máxima com 30m/min, assim após essa definição, a sua aplicação foi iniciada na criação dos artefatos.

### 3.6.2 Tangram

Um dos substratos pensados para a realização de um artefato é um jogo interativo. A opção de jogo interativo realizada foi a do tangram, um quebra-cabeça chinês que diferente de quebra-cabeças comuns, suas peças são formadas por geometrias, que permitem montar uma série de imagens com suas peças.

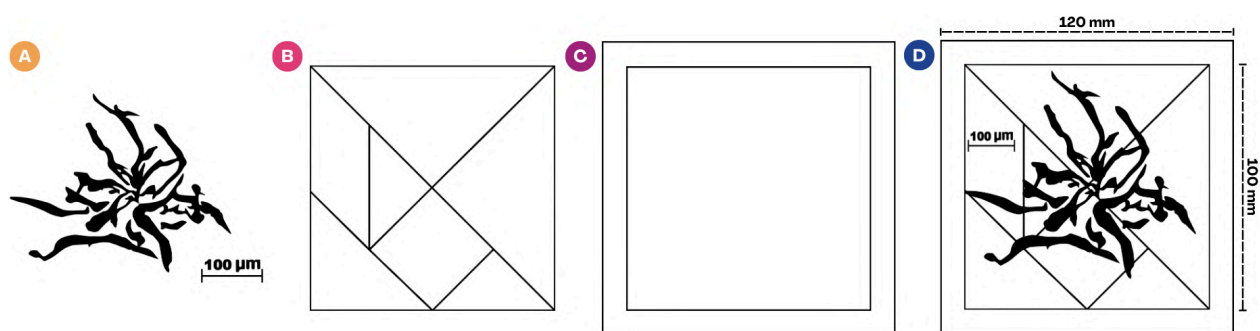
O tangram é um quebra-cabeça chinês que consiste em um tabuleiro quadrado cortado por incisões retas em peças de tamanhos diferentes

(cinco triângulos, um quadrado e um losango) [...] Essas sete peças podem ser combinadas para formar muitas figuras diferentes. (WANG & HSIUNG, p. 596, 1942. Trazido pelo autor).

Em suma, o quebra-cabeça tem o intuito de formar um quadrado com as peças e montar diferentes formas. Apresentado como uma ferramenta didática e interdisciplinar envolvidos pela ciência, história e a matemática. O tangram tem o poder de engajar indivíduos por conta de sua narrativa e seu potencial interativo, um jogo tão antigo que somente há especulações e rumores de sua criação, permite a exploração do usuário do que diz respeito a sua montagem. Há inúmeras possibilidades de montagem de imagens e com isso suas narrativas, desde a montagem de figuras que possam representar a domesticação animal, a montagem de casas que representam as primeiras cidades, no domínio dos mares com a representação de um barco, a figura histórica de cristo representando a fé e a religião, o foguete que permitiu o homem alcançar o extraterrestre e até mesmo contar a história da evolução humana (SILVA & RÊGO, 2012).

A proposta do tangram foi pensada de uma maneira a se aplicar a metalografia sob as peças para que, além de formarem figuras com a geometria das peças, o seu encaixe em formato de quadrado resolveria o quebra-cabeça formando a imagem da metalografia, sendo desenvolvida uma nova linguagem para se comunicar ciência. Como planejado para ser desenvolvido, foi realizado um tangram de MDF cru, aplicando os conceitos de MS com o corte e a gravação a laser. O tangram foi criado em uma escala de 120 mm x 120 mm, 10 mm corresponde a uma borda que cria um quadrado vazado para o encaixe das peças enquanto os 100mm restantes seriam as peças recortadas. A etapa primeira foi a fabricação digital (Figura 35) para o corte e dimensões tanto das peças quanto da imagem em um *software* de vetorização, construindo a área total da quebra-cabeça e depois desenhada suas peças e salvas em arquivo “dxf”, correspondente ao equipamento disponibilizado na maquetaria da Faculdade de Arquitetura da UFRGS.

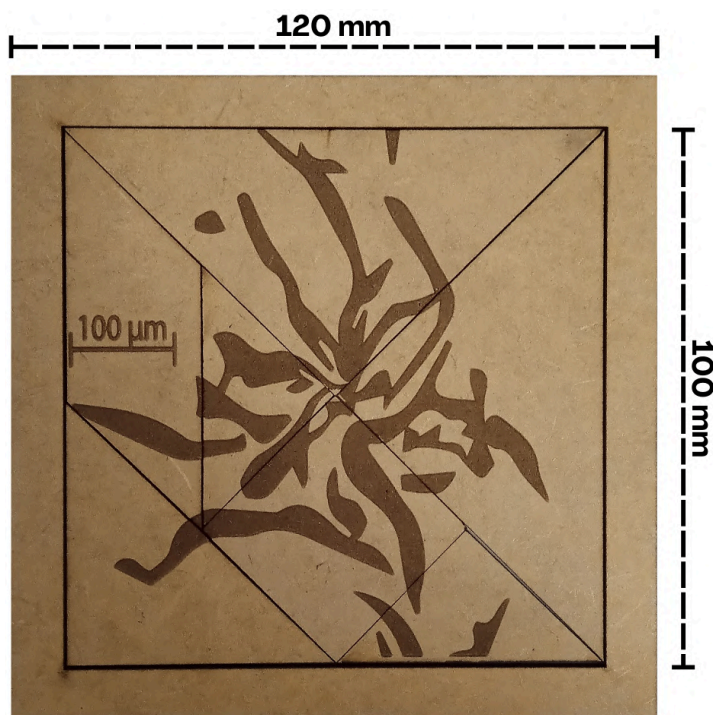
**Figura 35 – Construção virtual do tangram para corte e gravação a laser CO<sub>2</sub>**



(A) metalografia trabalhada (B) linhas das peças do tangram (C) bastidor (D) construção virtual do tangram. Fonte: Autor.

As peças já cortadas, foram levadas à gravadora a laser no LDSM com a metalografia tratada digitalmente pelo mesmo *software*, sendo transformada em vetor, a imagem foi gravada utilizando os parâmetros de gravação em 90% de potência máxima do laser e a velocidade em 30m/min, sendo esses os parâmetros ideais para a gravação de acordo com a Figura 34. A Figura 36 ilustra o tangram finalizado com a metalografia gravada se inserindo na segunda fase da adaptação do DSR, a proposição do artefato.

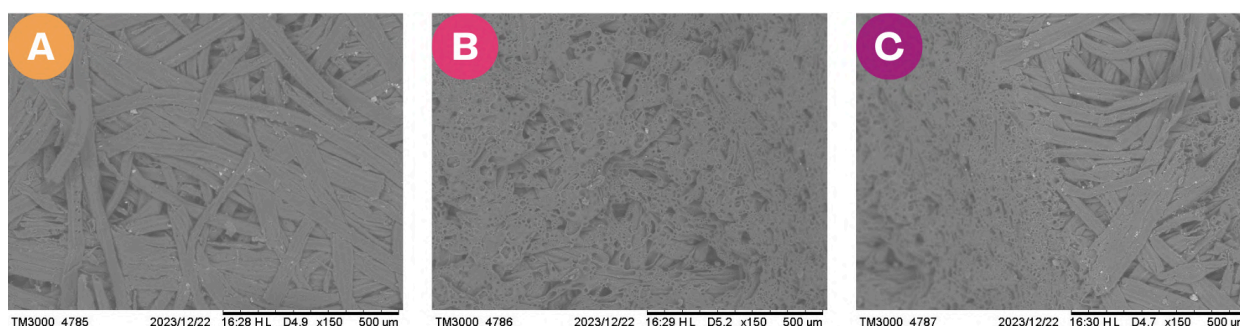
**Figura 36 – Tangram gravado a laser com metalografia**



Fonte: Autor.

Para a etapa de análise desse artefato, foram observados o corte das peças e do bastidor e a gravação. Os cortes tanto das peças quanto dos bastidores foram realizados sem desvios. As linhas e as medidas estão todas de acordo com o modelo virtual. A partir de uma análise superficial e visual da gravação não foi possível constatar erros na gravação, a gravação foi limpa, sem manchas de queima por parte do laser e também estão na proporção correta. Para a realização de uma análise mais aprofundada da gravação, uma análise de MEV foi realizada para estudar o comportamento do material em contato com o laser, conforme demonstrado pela figura 37 a seguir.

**Figura 37 – Análise de MEV das peças gravadas a laser CO<sub>2</sub>**

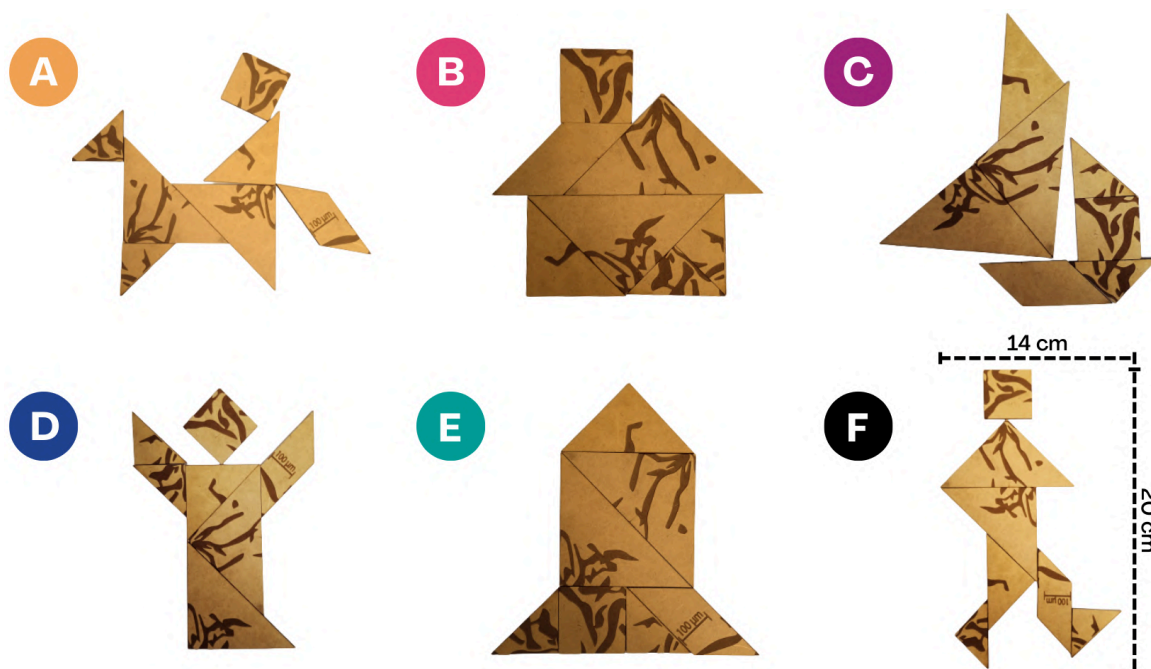


(A) MDF cru (B) ações do laser no MDF (C) contraste do MDF cru com as ações do laser no MDF. Fonte: Autor.

A análise de MEV permitiu concluir que o dano que o laser causa no material é superficial, não havendo problemas em sua aplicação, concluindo que a aplicação da técnica no FDM é uma combinação viável pensando também em até outros tipos de aplicação se demonstrando uma combinação muito versátil.

Como dito anteriormente, por conta do formato geométrico de suas peças, o tangram permite a montagem de outras formas (Figura 38), e assim algumas formas foram montadas com as peças com a gravação da metalografia.

**Figura 38 – Diversas montagens do Tangram**



(A) homem montado em um cavalo (B) uma casa (C) um barco (D) referência a cristo (E) um foguete (F) homem andando. Fonte: Autor.

As figuras montadas foram: Homem montado em um cavalo; uma casa; um barco, referência a cristo; um foguete; homem andando, abordando o trabalho de Silva & Regô (2012) como referência, apresentando uma gama de possibilidades de sua aplicação, gerando valor agregado a peça e até podendo aumentar o tempo de de sua utilização, uma vez que há inúmeras formas de montá-lo o que demanda mais tempo para completá-lo, e atingindo assim o objetivo específico **B** apresentado na etapa 1 da pesquisa.

### 3.6.3 Díptico

Com o intuito de criar um artefato artístico que une a metalografia e a técnica de corte a laser desenvolveu-se um díptico, que segundo o dicionário *Oxford Languages* um díptico pode ter seu significado envolto tanto no campo da bibliologia/história quanto nas artes plásticas que basicamente é um “conjunto de duas tábuas articuladas por dobradiças, com algum motivo (geralmente religioso) pintado ou esculpido em relevo e que se pode fechar ou expor abertas”, ou seja, é uma obra de arte em duas partes que se completam ou se complementam.



Para realizar esta obra, utilizou-se a metalografia representada pela Figura 14 C sob a aplicação do corte a laser em um material que é a fórmica (utilizando as cores branca e preta) definido baseado nas obras de Daniel Acosta na exposição na Ocre Galeria em Porto Alegre, sendo estabelecido um tamanho de 420 mm de largura por 300 mm de altura enquanto a área de preenchimento da metalografia compreende 350 mm de largura por 262 mm de altura estando centralizado. Então a realização do díptico se deu de duas maneiras, a construção onde a primeira parte a metalografia é com a fórmica preta e seu entorno é branco (Figura 39 A) e na segunda parte o contrário, a metalografia branca e o entorno preto (Figura 39 B), já a seguinte forma trabalhará o conceito em que ambas as parte se complementam, ou seja, a parte da esquerda é uma metade da metalografia da cor preta e o entorno branco enquanto a parte da direita é o contrário, a metalografia branca e seu entorno preto (Figura 39 C) que para melhor ilustrar, uma construção virtual dos dois modelos cortados foi realizada e apresentados pela figura 39.

**Figura 39 – Construção virtual do díptico**



(A) primeiro modelo (B) segundo modelo (C) terceiro modelo. Fonte: Autor.

A partir da construção virtual salvo como arquivo dxf, foram realizados os primeiros testes em menores dimensões sendo 35 mm de largura por 26 mm de altura a fim de estudar o comportamento da fórmica e também os encaixes das peças para a construção do díptico, uma vez que necessita-se realizar o encaixe que não haja vão ou espaço entre a metalografia e seu entorno devido ao diâmetro do laser.

Já com os testes realizados e constatando que no encaixe não há vão ou espaços que o prejudique, o díptico foi realizado com tamanho originalmente planejado e após o corte a laser da fórmica para sua construção, foram coladas as peças em uma base de MDF para deixar a estrutura da obra firme. Para demonstrá-lo, o díptico foi

exposto na entrada do LDSM onde ficam os trabalhos realizados no laboratório (Figura 40).

**Figura 40 – Construção virtual do díptico**



Fonte: Autor.

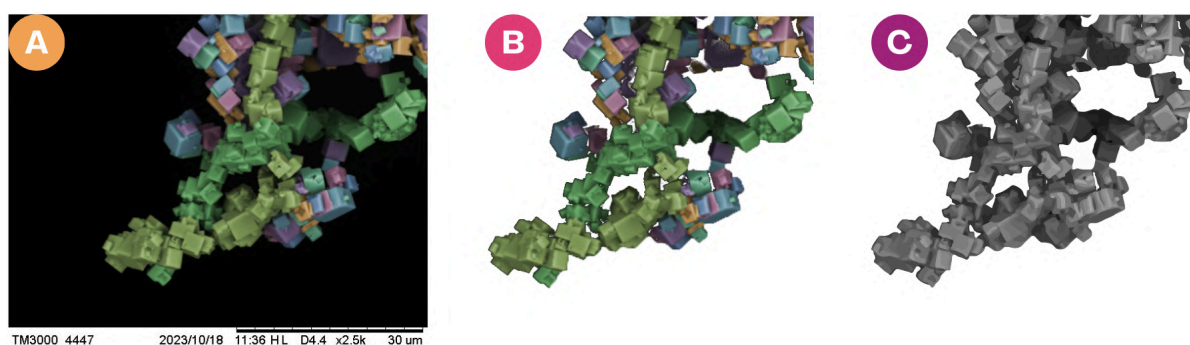
O díptico construído comunica a ciência como uma obra de arte, sendo essa linguagem um substrato, um artefato que há a capacidade de localizar-se em diversos ambientes, estando exposto em diferentes locais, o que permite sua contemplação e até mesmo gerar curiosidades sobre a sua origem. O resultado do artefato díptico corresponde ao objetivo específico **A**.

### 3.6.4 Gravação em denim

Após as gravações e cortes a laser em MDF, foram realizados testes para gravação em denim da microscopia cerâmica presente na Figura 11 **D** assim gerando mais uma alternativa de uso da técnica. A micrografia precisou ser passada por um tratamento digital e transformá-la para manter uma forma com tons de cinza e deixá-la

em um formato compatível com o arquivo aceito pelo equipamento. Para o seu tratamento, a metalografia foi trabalhada no software Illustrator utilizando a função de rasterizar, o que permitiu a conversão da imagem em linhas, evidenciando os tons de cinza (Figura 41 C). Com a imagem finalizada, foi realizado um arquivo em BMP para as gravações, que conforme os testes anteriores, foi o que apresentou melhores resultados na gravação a laser CO<sub>2</sub>.

**Figura 41 – Tratamento da micrografia cerâmica**



(A) nanoarte do niobato de potássio (B) fundo removido (C) micrografia renderizada. Fonte: Autor.

Mesmo com o intuito de gravar a imagem no material denim, foram realizados testes prévios em MDF para analisar como fica a imagem gravada, uma vez que o formato da micrografia cerâmica é diferente da micrografia gravada (renderizada em cor sólida), então analisar e compreender a gravação de uma imagem renderizada em tons de cinza é vital para o sucesso do teste. O teste realizado seguiu os parâmetros ideais encontrados nos primeiros testes que são 90% de potência por 30 m/min, entretanto, adicionou mais uma variável, a potência mínima, por se tratar de tons de cinza em sua escala há tons mais fracos que outros, e para não ocorrer de o tom mais fraco da escala não deixe de ser gravado, em outras palavras, não grave ou fique apagado, o parâmetro de potência mínima se tornou um ponto a ser testado sendo a variação realizada com as potências mínimas em 5%, 10% e 20% que, de acordo com os testes o que mostrou mais eficaz é a potência mínima de 20%, como demonstrado pela Figura 42.

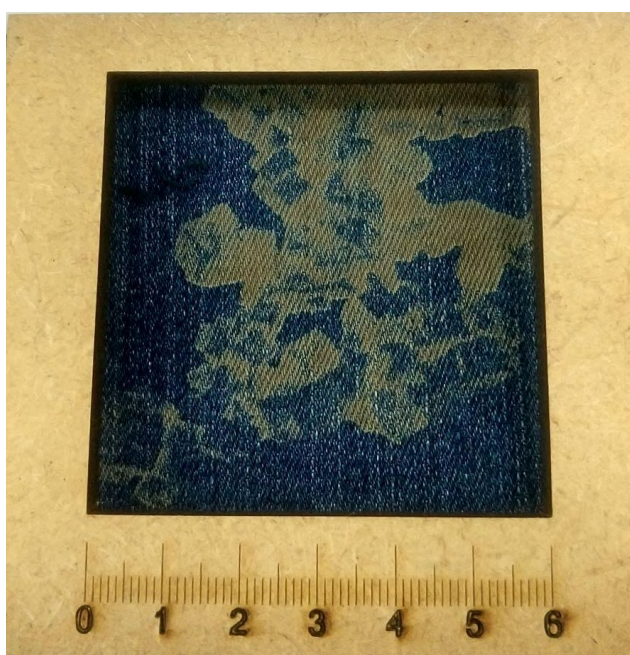
**Figura 42 – Parâmetro ideal para gravação a laser CO<sub>2</sub> no denim**

|                     |             |            |             |
|---------------------|-------------|------------|-------------|
| <b>POTÊNCIA MÁX</b> | <b>90%</b>  | <b>90%</b> | <b>90%</b>  |
| <b>POTÊNCIA MÍN</b> | <b>5%</b>   | <b>10%</b> | <b>20%</b>  |
| <b>VELOCIDADE</b>   | <b>30 V</b> | <b>30V</b> | <b>30 V</b> |

Fonte: Autor

Logo em seguida, iniciou os teste em denim em uma amostra de denim com elastano na cor azul, sendo colocada a amostra e gravada a micrografia (Figura 43) utilizando o equipamento da marca Automatisa, modelo Mira 3007, de 60 Watts de potência com área de trabalho 100 mm x 100 mm, o mesmo utilizado para a gravação do tangram e dos primeiros testes.

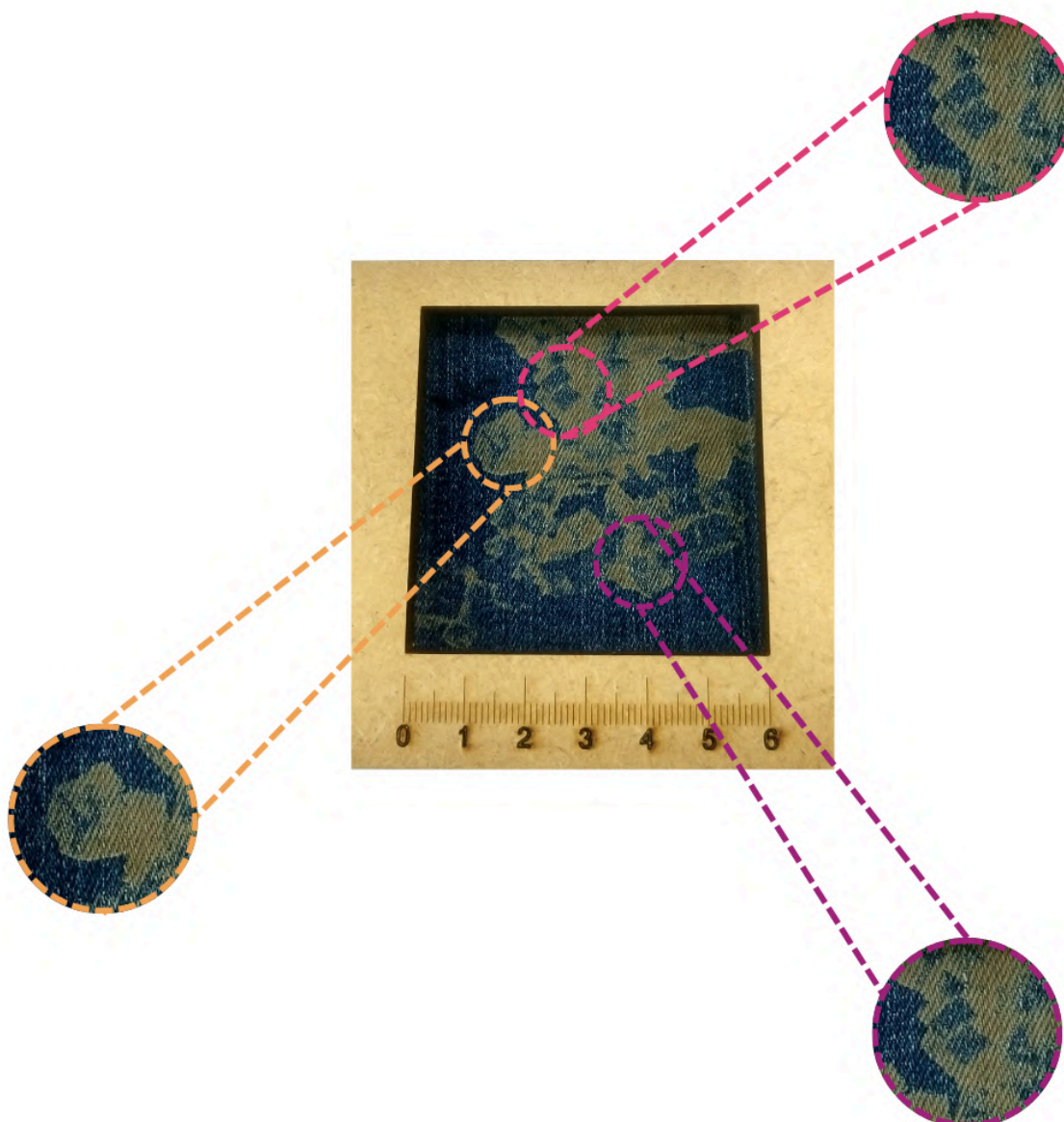
**Figura 43 – Teste de gravação a laser CO<sub>2</sub> em denim**



Fonte: Autor.

Este teste possibilitou notar a similaridade com a Figura 41 C, sendo permissível identificar os cubos e mostrando que é possível realizar gravações a laser no material, como ilustra a figura 44.

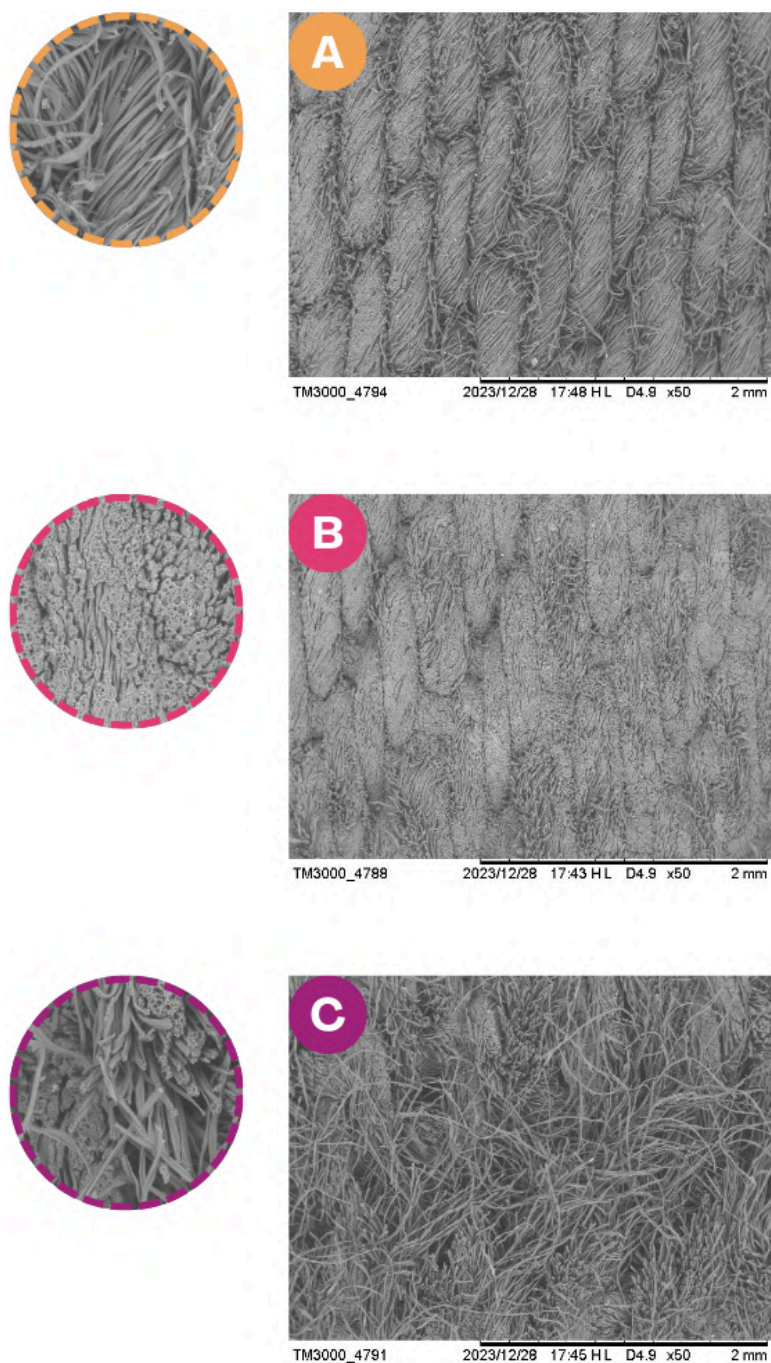
Figura 44 – Teste de gravação a laser CO<sub>2</sub> em denim com os cubos destacados



Fonte: Autor

Realizou-se também uma análise MEV para observar os efeitos do laser no material e estudar se a aplicação da técnica neste material é pertinente ou não. A Figura 45 mostra as imagens do denim adquiridas via MEV, sendo essas imagens nas magnificações de 50x e 250x, as quais permitem sua visualização.

Figura 45 – MEV do teste de gravação a laser CO<sub>2</sub> em denim



(A) região não gravada (B) região gravada (C) região perfurada. Fonte: Autor.

O MEV foi realizado em três áreas para melhor avaliação das condições do tecido após o processo de gravação, sendo uma região do tecido não gravado (Figura 45 **A**), uma região com o tecido gravado (Figura 45 **B**) e por fim uma região onde o laser perfurou o tecido (Figura 45 **C**). Essa análise permitiu observar que o dano causado no tecido pelo laser CO<sub>2</sub> é superficial e não compromete o tecido, mesmo que

em apenas duas regiões o laser tenha perfurado, sabe-se que com ajustes nos parâmetros, seja diminuindo a potência do laser ou aumentando a sua velocidade, não haverá mais perfurações, somente a gravação superficial. Também é importante observar que o uso de denim com elastano pode ser responsável por esse dano, uma vez que o elastano pode ter sofrido danos importantes devido ao calor gerado pelo laser.

Mesmo com os testes realizados da gravação a laser CO<sub>2</sub> em denim, não foi de cunho ou objetivo estudar sistematicamente a interação entre o laser e o denim. O ensaio realizado teve o intuito de demonstrar uma possível saída comunicacional através de um substrato na confecção têxtil como formas de reutilização e aproveitamento desse material, seja um retalho que possa virar uma característica agregada em uma peça ou até mesmo uma peça que possa ganhar nova vida adquirindo novas estampas por meio da técnica.

Seguindo com outra técnica, a seção seguinte trata-se da sublimação das micrografias em tecidos sintéticos, como discorrido pela própria.

### **3.7 Testes de sublimação e artefatos construídos**

As sublimações foram realizadas no ateliê de design de moda, oportunidade concedida pela ESPM de Porto Alegre. Testes realizados em quatro tecidos diferentes, todos sintéticos de materiais diferentes com características diferentes. Escolhidas cinco metalografias, sendo duas metalografias fragmentadas em outras imagens que evidenciam alguns recortes das metalografias, foram preparadas para as estampas de sublimação. O primeiro teste com os quatro tecidos, oxford; cetim; sedalina (ou failete) e voil, foi realizado passando por três etapas: ajuste de dimensão da metalografia, impressão e sublimação. A Figura 46 apresenta a impressora EPSON SureColor F6070.

**Figura 46 – Impressora EPSON SureColor F6070**



Fonte: Autor.

A sublimação em tecidos ocorreu a partir do uso de uma prensa térmica da marca Metalnox modelo PTA 12000 (Figura 47), o equipamento possui uma espécie de “gaveta” qual se é puxada para fora e, onde é colocada a impressão das metalografias com o tecido por cima, a gaveta é fechada e a sublimação é realizada. A prensa atua em 190°C, transferindo a imagem da impressão para o tecido.

**Figura 47 – Sublimadora Metalnox PTA 12000**



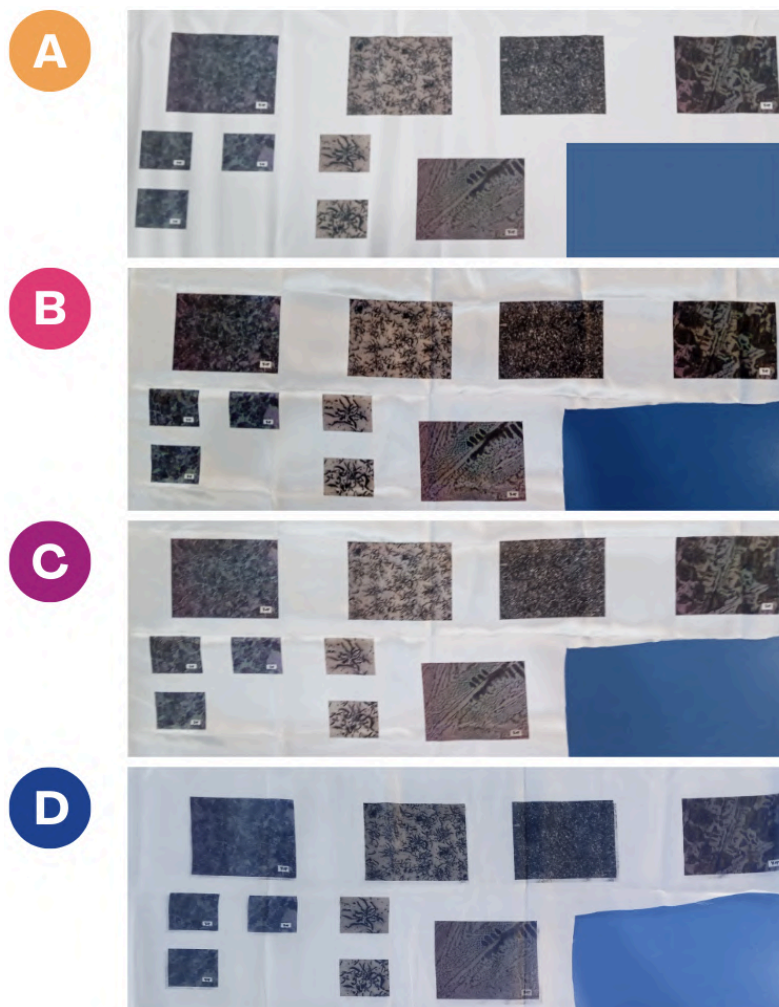
Fonte: Autor.

A sublimação foi realizada a partir de cinco metalografias, sendo que duas delas foram fragmentadas para evidenciar pontos específicos, o que gerou dez imagens sublimadas, e assim, dispostas dentro das dimensões máximas de impressão e no mesmo arquivo para comporem a mesma sublimação. Então, realizando a impressão das metalografias, usa-se a prensa térmica, colocando o tecido e a impressão



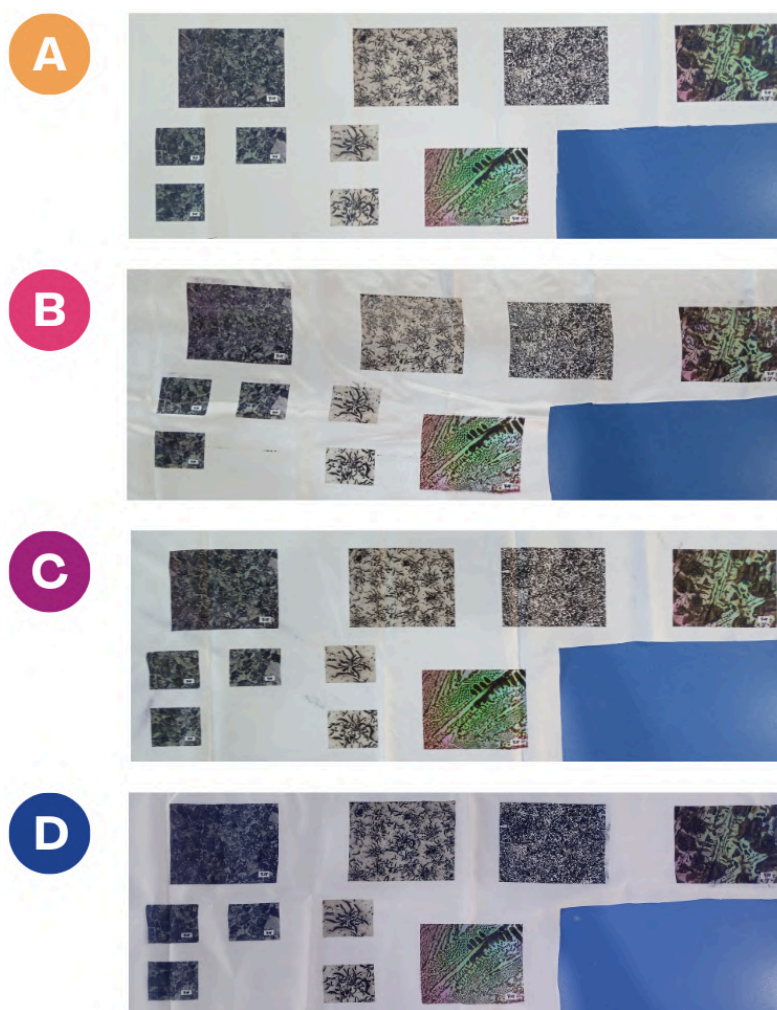
sobrepostos, transferindo a imagem do papel para o tecido, gerando o resultado da sublimação, tipicamente demonstrado na Figura 48.

**Figura 48 – Testes de sublimação**



(A) sublimação com o tecido oxford (B) sublimação com o tecido cetim (C) sublimação com o tecido sedalina (D) sublimação com o tecido voil. Fonte: Autor.

Após as sublimações nos quatro tecidos constatou-se que a coloração das metalografias ficaram escuras e não compatíveis com as imagens originais, dificultando a observação das características das imagens, por consequência, as metalografias passaram por um novo tratamento de imagens, alterando brilho e contraste das micrografias no *software* Adobe Photoshop, deixando-as mais claras para realizar uma nova rodada de sublimação com os mesmos quatro tecidos, agora esperando imagens mais claras e mais fácil de fazer sua leitura. A Figura 49 representa a nova rodada de sublimação com as imagens mais claras.

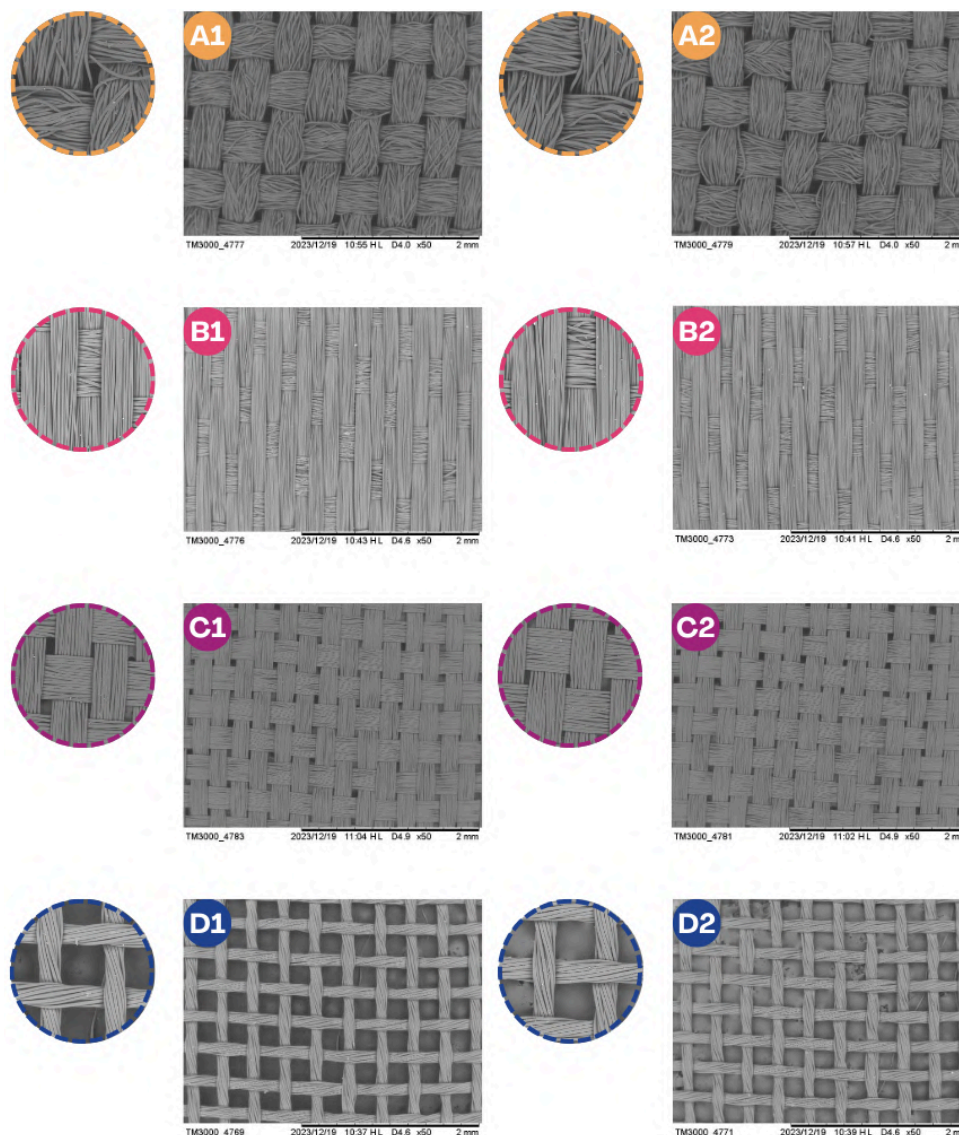
**Figura 49 – Segunda rodada de sublimação**

(A) sublimação com o tecido oxford (B) sublimação com o tecido cetim (C) sublimação com o tecido sedalina (D) sublimação com o tecido voil. Fonte: Autor.

Após o segundo tratamento de imagem das metalografias, a sublimação de cada tecido ficou mais nítida e revelou as cores de duas metalografias que anteriormente eram imperceptíveis, afirmando o êxito da sublimação.

Visualmente a segunda etapa se mostrou satisfatória, contudo achou-se indispensável visualizar os tecidos com e sem sublimação no MEV para observar e analisar o comportamento do material, se há diferenças no material ou se há danos. Para a análise de MEV foram colocadas uma amostra de cada tecido contendo uma região sem sublimação e outra com, sendo capturadas as micrografias com 50x e 150x de magnificação com a aplicação de 15kv de potência, demonstradas na Figura 50.

**Figura 50 – Análise de MEV dos tecidos com e sem sublimação**



(A1) tecido oxford sem sublimação (A2) tecido oxford com sublimação (B1) tecido cetim sem sublimação (B2) tecido cetim com sublimação (C1) tecido sedalina sem sublimação (C2) tecido sedalina com sublimação (D1) tecido voil sem sublimação (D2) tecido voil com sublimação. Fonte: Autor.

A análise de MEV permitiu observar o tecido em micro escalas e visualizar se houve ou não mudanças bruscas no material pré e pós sublimação (mesmo que tenha apresentado uma mudança de cor tecido oxford [Figura 50 **B2**]) e, foi possível constatar que mesmo com a sublimação, o material se manteve da mesma maneira não sendo alterada a organização dos fios, sem danos. Essa análise se fez necessário pois é importante compreender se houve reações no material mediante o processo de sublimação para assim, confirmar a viabilidade da sublimação e uma vez comprovado que a sublimação não gera danos, ela se mostra uma técnica eficiente na

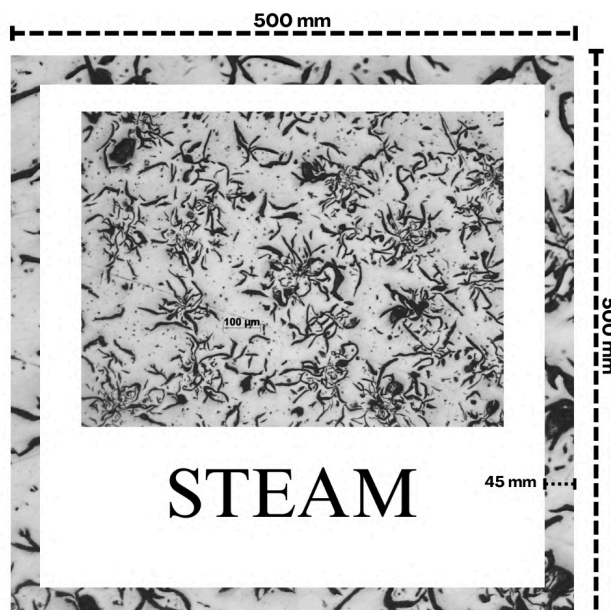
incrementação da micrografia nos tecidos. Finalizando assim a Fase 3 da adaptação do DSR, a avaliação sobre as sublimações.

Posteriormente ao resultado positivo da segunda rodada de sublimação, realizou-se mais dois novos testes agora em maiores dimensões pensando na sua utilização como componentes de vestuário. As imagens utilizadas neste teste foram duas metalografias de um ferro fundido cinzento com grafitas tipo B, com 500 mm x 500mm de dimensões aplicadas. Além da ampliação das imagens, para fins estéticos, introduziu-se uma borda com as próprias metalografias, desempenhando a função de estampa, e também foi aplicada a sigla “STEAM” junto da primeira imagem. Por consequência das sublimações das metalografias, suas saídas abrem facilidades de aplicações das imagens científicas/tecnológicas da ciência como componentes de vestuário, a sua linguagem se insere em outras esferas distintas das acadêmicas e científicas não habitualmente presentes no cotidiano da população em geral, e isso demonstra o potencial de alcance deste trabalho.

### **3.7.1 Echarpe**

Foram realizadas duas sublimações com as dimensões em 500 mm x 500 mm pensadas com a proposta de serem utilizadas como echarpes (fase 2 da adaptação do DSR), proporcionando diversas formas de ser utilizados como um objeto estético. Antes da sublimação, foi necessário a criação digital da arte que compõem o artefato, sendo realizada essa criação de maneira simples. A arte foi desenvolvida no Adobe Photoshop, onde nele foi aberto um arquivo com as dimensões da sublimação (500 mm x 500 mm), adicionando a imagem metalografia de objeto de estudo e após isso, aumentou o seu tamanho em aproximadamente 10x. Este aumento da magnificação foi realizado com o intuito de criar uma borda para o lenço de 45 mm, com a “estampa” da própria metalografia. Em seguida, adicionou-se uma forma quadricular branca de 450 mm centralizada para adicionar a imagem da metalografia na parte superior e, na parte inferior, adicionar a sigla “STEAM” e logo realizar a sublimação. A Figura 51 ilustra a construção digital para a sublimação.

**Figura 51 – Modelo digital da arte para a sublimação das Echarpes**



Fonte: Autor.

Após a sublimação realizada, foram necessários alguns ajustes em seu entorno para obter a peça pronta, como mostra a Figura 52.

**Figura 52 – Echarpes finalizadas**

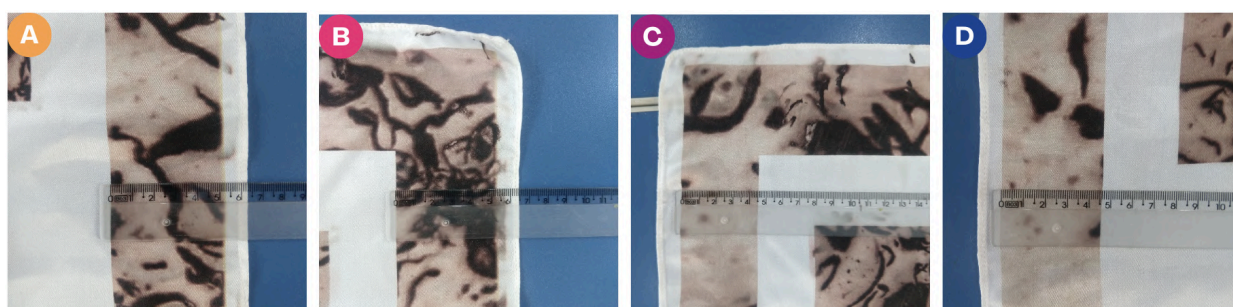


(A) echarpe com tecido de cetim (B) echarpe com tecido voil. Fonte: Autor.

O acabamento nas bordas da sublimação, retirando todo o excesso de tecido anterior, deixa o artefato pronto para utilização de maneiras diversas, agora finalizado, o que era antes apenas uma sublimação com uma metalografia, se torna um acessório de moda.

Analisando as echarpes, foi constatado um pequeno erro na transferência da arte para o tecido, utilizando a borda e a sigla como referências sendo percebido mediante a medição da borda do artefato já sublimado em relação ao modelo digital, enquanto o modelo digital apresenta uma borda de 45 mm, a borda da echarpe sublimada apresenta uma variação de 45 mm a 55,7 mm, como demonstrado na Figura 53.

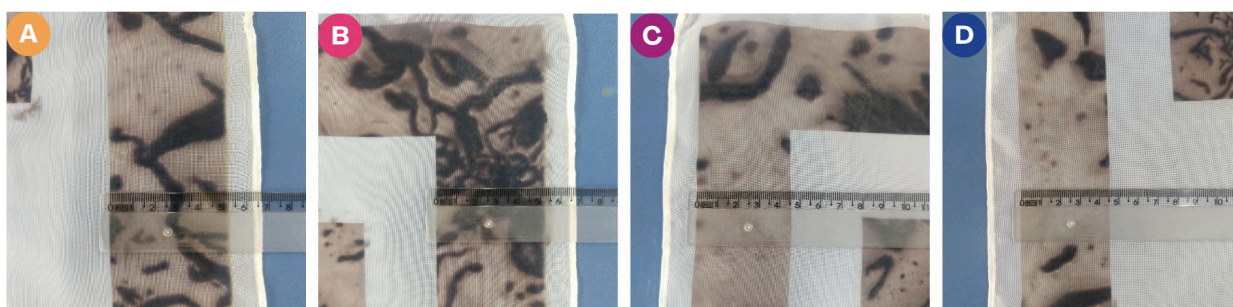
**Figura 53 – Variação de medida da echarpe de cetim**



(A) medida do canto inferior direito (B) medida do canto superior direito (C) medida do canto superior esquerdo (D) medida do canto inferior esquerdo. Fonte: Autor.

As medidas foram feitas nas quatro pontas da echarpe e com a imagem acima, foi possível notar as variações na echarpe em tecido de cetim de 50,3 mm (Figura 53 A), 55,7 mm (Figura 53 B) e 45,1 (Figura 53 D). A Figura 54 a seguir apresenta as variações na echarpe em tecido voil.

**Figura 54 – Variação de medida da echarpe em voil**



(A) medida do canto inferior direito (B) medida do canto superior direito (C) medida do canto superior esquerdo (D) medida do canto inferior esquerdo. Fonte: Autor.

Já na echarpe em tecido de cetim, as variações são de 50,2 mm (Figura 54 A) e 55 mm (Figura 54 B). Apesar desses desvios, não é significativa a variação, não altera a dinâmica para o uso da echarpe e mesmo com a variação, é possível a popularização

da ciência e para melhor ilustrar sua aplicação, a Figura 55 demonstra modos como exemplo de se utilizar a echarpe.

**Figura 55 – Modos como exemplo de se utilizar a echarpe**



(A1) modo 1 tecido cetim (A2) modo 2 tecido cetim (A3) modo 3 tecido cetim (B1) modo 1 tecido voil (B2) modo 2 tecido voil (B3) modo 3 tecido voil. Fonte: Autor.

A Figura 55 apresenta exemplos de possibilidades de uso da echarpe demonstrando sua fácil utilização e a presença evidente da estampa com a metalografia, e mesmo com a variação da sublimação não influenciou no resultado final. Com isso, a aplicação da adaptação do DSR no desenvolvimento do artefato “Echarpe” sai da fase 3 (avaliação) e atinge o objetivo específico **B**, consequentemente passa para a fase 4, a Aprendizagem, que será abordada na seção dos resultados.

### 3.7.2 Botões Bombê

Foram criados botões (Fase 2 da adaptação do DSR) com a utilização das metalografias sublimadas, esse estilo de botão chama-se bombê e, para isso, foi

utilizado um equipamento para preenchimento de botão chamado de Balancim (Figura 56).

**Figura 56 – Máquina Balancim**

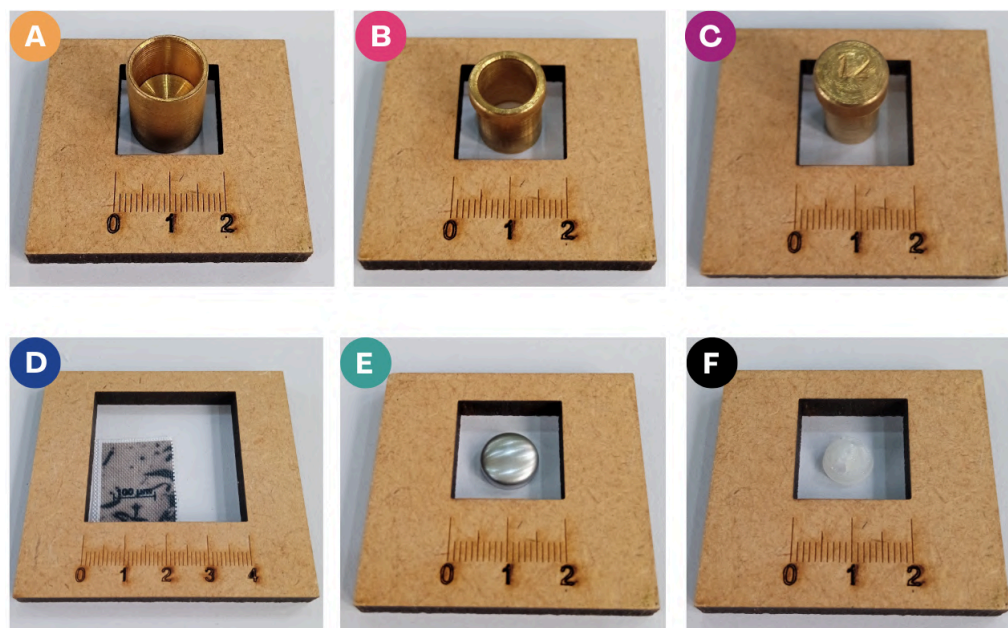


Fonte: Autor.

Sendo seu modo de operação a maneira para unir os materiais do botão com o forro e, ele atua com uma matriz de medida do botão, essa matriz é composta por três peças que auxiliam na fabricação, a base (Figura 57 **A**) onde é colocada a parte da frente do botão junto do forro, a peça central (Figura 57 **B**) que comporta o material e é adicionada a parte de trás do botão e o topo, peça responsável por compactar os materiais (Figura 57 **C**). A matriz auxilia o balancim como um guia, pois como ele atua de forma a pressionar o botão que é composto por três partes: o forro do botão (Figura 57 **D**), a parte da frente do botão (Figura 57 **E**) e a parte de trás do botão (Figura 57 **F**), a matriz serve de recipiente para os três materiais, direcionando e guiando a pressão do equipamento e criando o botão.

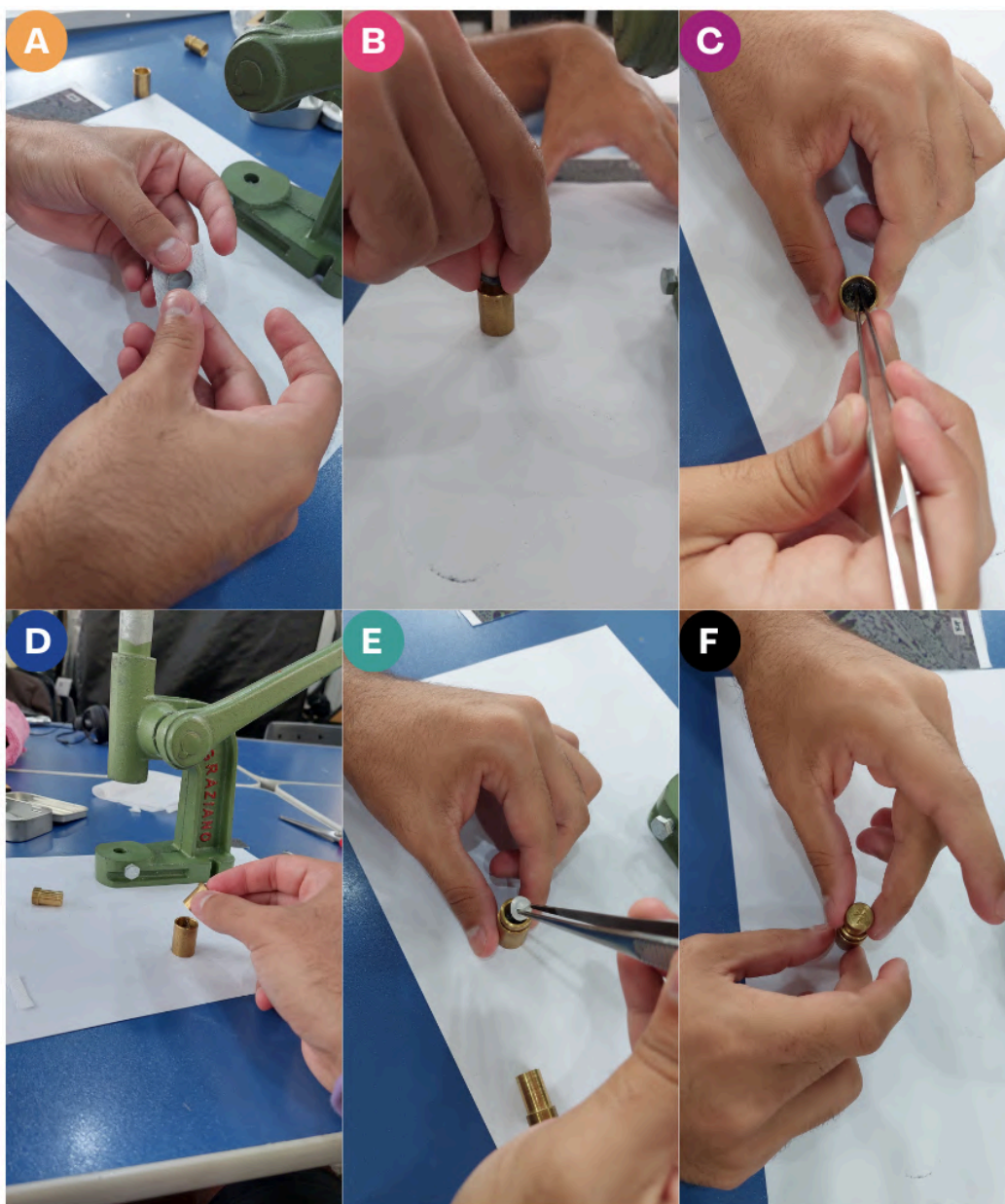


**Figura 57 – Matriz e materiais para construção do botão**



(A) base da matriz (B) centro da matriz (C) pino da matriz (D) metalografia sublimada (E) parte da frente do botão (F) parte de trás do botão. Fonte: Autor.

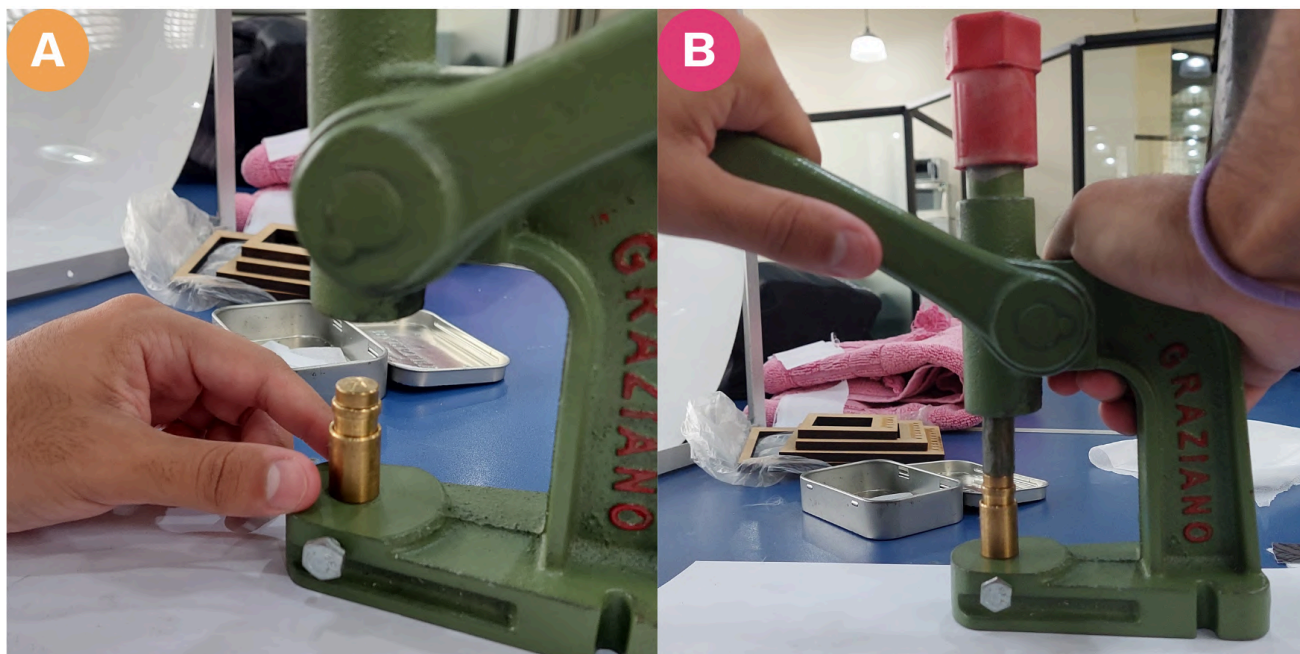
Com isso, a criação dos botões foi realizada a partir de duas metalografias. Iniciaram os testes com a metalografia de um ferro fundido cinzento com grafita tipo B sem ataque químico, assim, o processo se desdobra da seguinte maneira: é necessário uma quantidade adequada de material para o forramento, para a construção do botão (demonstrado na Figura 57 **D**) servindo de forro, esse material fica sobreposto a parte da frente do botão o cobrindo completamente, juntando-o na parte de trás e colocado na base da matriz, importante ressaltar a necessidade de aplicar uma quantidade adequada de tecido pois, um pedaço maior pode ter sobras de tecido e a construção do botão ficar solta por não conseguir comportar todo o tecido, já tecido de menos pode faltar no preenchimento, podendo até “vazar” tecido e não ficar preso e firme no botão, logo em seguida é ajustado o tecido com o auxílio de uma pinça, ajustando as bordas para o encaixe da peça central da matriz, em seguida é adicionada a parte de trás do botão também com o auxílio da pinça e logo após é adicionada o pino da matriz para ser pressionada no balancim. O processo é demonstrado pela Figura 58.

**Figura 58 – Criação do botão**

(A) forramento do botão (B) adição do botão forrado na base da matriz (C) ajustes nas bordas (D) adição da peça central da matriz (E) adição da parte de trás do botão (F) adição do pino da matriz. Fonte: Autor.

Com a matriz preparada, ela é colocada no balancim (Figura 59), acionando a alavanca de forma manual, o balancim pressiona pelo pino da matriz que aperta a parte de trás, o tecido e a parte da frente, fazendo com que a parte da frente seja conformada para dentro, comportando o tecido e formando o botão.

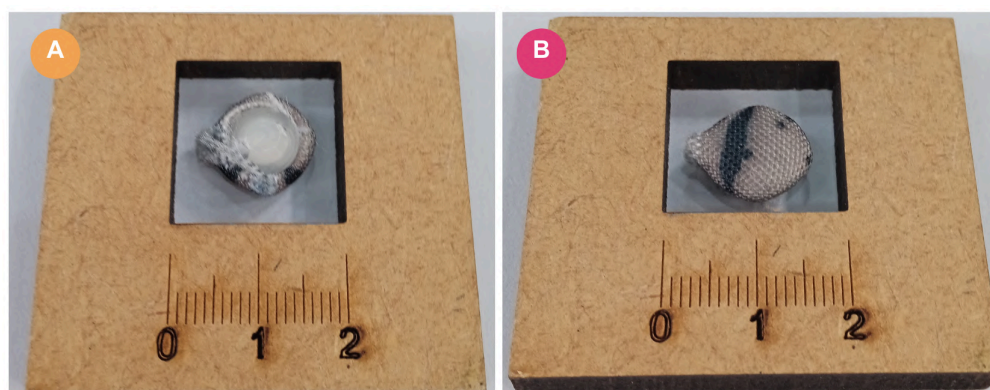
**Figura 59 – Balancim pressionando matriz**



(A) matriz colocada no balancim; (B) balancim pressionando a matriz. Fonte: Autor.

O primeiro botão não saiu de forma satisfatória, o tecido muito flexível não ficou no formato correto para ser compactado, uma parte do tecido ficou conformada na borda e não cobriu completamente o botão. A Figura 60 ilustra a primeira tentativa.

**Figura 60 – Primeiro botão construído**

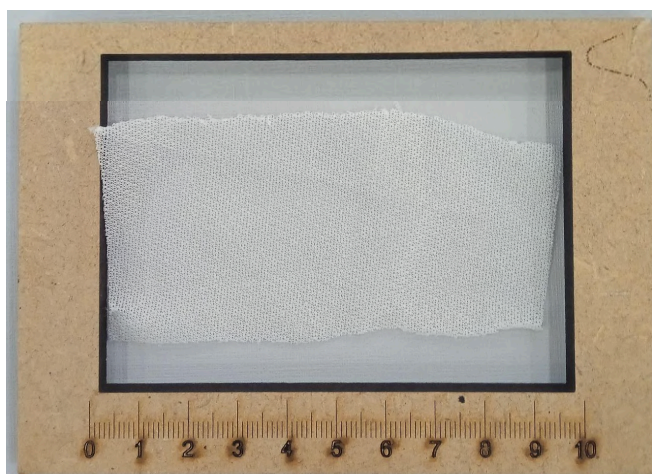


(A) parte de baixo do botão (B) parte de cima do botão. Fonte: Autor.

Avaliando a peça, foi possível constatar que a peça não ficou com uma boa construção, pois sua estrutura muito flexível permitiu que o tecido não se comportasse na estrutura do botão e conseqüentemente “vazou” tecido, e por isso se fez necessário, como previsto na adaptação do DSR que, caso a avaliação do artefato seja negativa, precise voltar a Fase 2 e reconstruir o artefato com adaptações. Após o resultado

insatisfatório por conta de o tecido ser muito flexível, se decidiu adicionar uma entretela tecido plano no tecido (Figura 61) para deixá-lo um pouco mais rígido para realizar outro teste e, optou-se por adicionar uma entretela de malha para manter assim, uma certa flexibilidade.

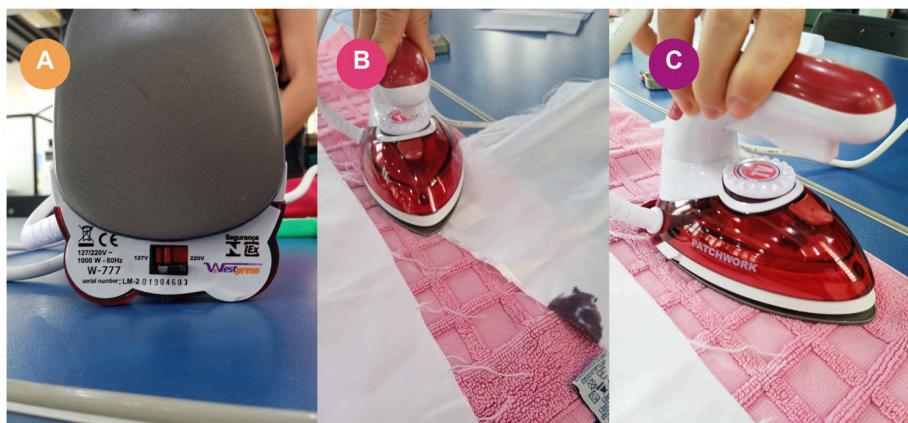
**Figura 61 – Entretela de tecido plano de malha**



Fonte: Autor.

A adição dessa entretela se dá por calor e utilizou-se um mini ferro de 127/220v ~ 1000W - 60Hz para esse processo. A entretela contém dois lados, um rugoso e outro não. O lado rugoso contém cola, com o calor, a entretela é colocada no tecido sublimado, logo a entretela é cortada no tamanho adequado para a imagem, colocando o lado rugoso com cola junto da parte traseira da imagem, assim, passando o mini ferro sobre a parte frontal da imagem pressionando-a junto da entretela por cerca de 30 a 60 segundos, processo demonstrado pela Figura 62.

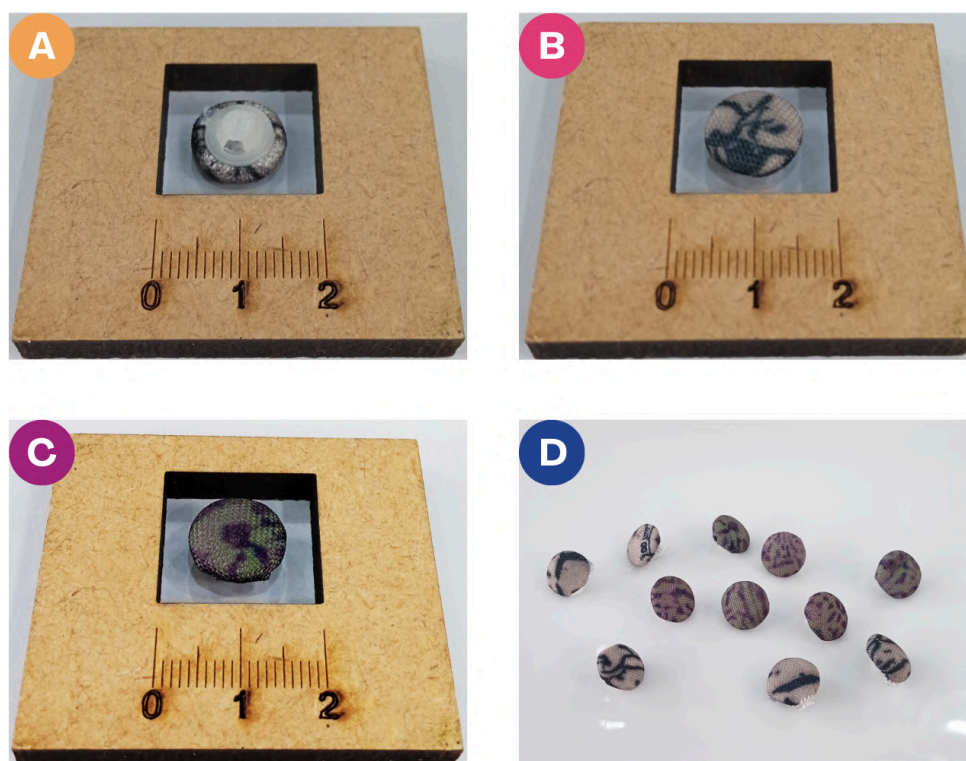
**Figura 62 – Aplicação da entretela de tecido plano de malha**



(A) mini ferro (B) passagem de ferro pelo tecido (C) pressionando tecido com o ferro. Fonte: Autor.

Já com a entretela, foi realizado novamente um teste, desta vez com resultado satisfatório, a construção do botão ficou correta pronto para uso, como demonstrado na Figura 63 **A** e **B**, o tecido sublimado ficou mais firme, porém ainda flexível, preenchendo toda parte frontal do tecido e também o espaço entre a parte frontal e a traseira, sendo feito mais alguns botões com essa primeira imagem. Sabendo da importância da entretela na qualidade do botão, ela foi aplicada em outra imagem para a construção de outros botões com uma metalografia diferente, como apresentado na Figura 62 **C**.

**Figura 63 – Botão com entretela de malha**



(A) parte de baixo do botão (B) parte de cima do botão (C) parte de cima do botão com a segunda imagem (D) todos os botões realizados. Fonte: Autor.

A Figura 63 **D** demonstra a construção dos botões apresentando as metalografias visíveis com uma boa qualidade das imagens, levando em consideração o tamanho de o botão ser menor que dois centímetros, a imagem não fica borrada e nem distorcida, ela apresenta um pequeno recorte fiel da imagem original numa escala maior que a original. Após retornar a Fase 2 (artefato) e passar novamente pela fase de avaliação, o resultado foi satisfatório uma vez que o erro ocorrido anteriormente agora foi solucionado, com sua construção satisfatória, empregou-se as metalografias em botões conforme se era esperado.

### 3.7.3 Laços para cães

O resultado dos botões permitiu a ampliação de seu alcance, laços para cães foram elaborados. A estética canina também pode ser encarada como um canal de linguagem para penetração da ciência em outros públicos alvo. Os botões foram utilizados para compor laços (Figura 64).

**Figura 64 – Laços para cães**



Fonte: Autor.

A construção do laço foi realizada a partir da aquisição primeira do laço, somente sua estrutura, a fita e o elástico com o formato final do laço. Logo em seguida, a aplicação dos botões no laço se dá mediante a aplicação de cola quente, aplicando a cola quente primeiramente na parte de trás do laço e logo em seguida pressionado no centro laço, finalizando-o para uso. Bem como a avaliação dos botões resultaram em uma ótima construção, nos laços não foram diferentes já que a condição para a construção deste artefato foi conectar o botão com a estrutura do laço.

A ascensão do mercado pet está muito presente no Brasil, ocupando a sexta posição no *ranking* de países que mais faturaram com este mercado em 2021, serviços e produtos que atendam essa área está cada vez mais em voga, se tornando uma

possibilidade de introdução dos laços com as metalografias, por se tratar de um mercado que atinge muitas pessoas, não somente no Brasil mas também no mundo, o alcance de pessoas que a ciência possa alcançar se torna muito grande, levando em consideração a preocupação estética canina, adornos e adereços se fazem muito presentes nos cães, que por sua vez acabam tendo uma relevância mundial em eventos e competições que elegem os melhores cães do mundo, e pensar que algo como uma metalografia difundindo a ciência através de objetos de estética canina pode gerar curiosidade, repercussão e uma visibilidade que a ciência por si só talvez não consiga por isso, contribuir com a estética canina e permitir que os pets possam colaborar a difusão e a transmissão da ciência, mesmo que só um recorte (metalografias e universo microscópico), é algo a ser explorado (AFONSO, et al., 2008; QUEIROZ, 2022; BATISTA, 2023).

O laço para cães atinge o objetivo específico **C** proposto na etapa 1 da pesquisa. Na seção seguinte será tratada a aplicação das metalografia em vestuário.

#### **3.7.4 Aplicação em vestuário**

Já com os botões e com as sublimações desenvolvidas, pensou-se em uma aplicação e alguma peça de vestuário. Os botões foram pensados em ter sua aplicação como botão em sua funcionalidade, já a sublimação, mediante as discussões e possibilidades optou por ser aplicado como um bolso de camisa. Pensando nisso, foi adquirida uma camisa branca para ser realizada a troca dos botões originais para os botões bombê com as imagens sublimadas. A princípio, o bolso foi construído inteiramente com o tecido oxford sublimado, porém, com suas dimensões de 125 mm de largura por 90 mm de altura, são inferiores ao tamanho do espaço do bolso original da camisa, assim, foi pensando a sua aplicação como uma camada na superfície do bolso, compondo o bolso original. A Figura 65 ilustra a camisa com os botões e com o bolso com estampas de metalografias (Fase 2 da adaptação do DSR).

**Figura 65 – Camisa finalizada**

Fonte: Autor.

Os botões aplicados na camisa são os das duas estampas (Figura 63 **D** dos botões), intercalados entre um e outro. Como dito anteriormente, as dimensões do bolso eram maiores do que as do tecido sublimado, logo como uma camada da superfície do bolso ele se configura na parte inferior do bolso, estando aparente e evidente.

Então estabelecendo critérios para a fase 3, a análise, para a camisa são basicamente dois pontos a serem analisados: os botões e sua funcionalidade e a construção do bolso com a inserção da sublimação. Os botões ficaram visualmente ajustados e corretos nas posições dos buracos de encaixe, não houve problemas de alinhamento, ficaram fixos na camisa sem maiores problemas, por conta da camisa ser branca ela apresenta um contraste em relação aos botões, sendo por sua vez configurados com cores mais escuras sob um tecido mais claro, gerando um destaque



visual muito perceptível de fácil visualização que apesar dos botões serem pequenos eles são visíveis não ficando camuflados. Seu aspecto visual é positivo, entretanto, o tamanho e o formato dos botões bombê são maiores do que os botões originais na camisa, o que gera um pouco de dificuldade na hora do encaixe do botão nos buracos para fechá-la, necessitando aplicar um pouco de força para que passe pelo buraco encaixando-o, mesmo assim não é considerado um problema visto que encaixado ele não apresenta avarias e se comporta bem. Já o bolso também obteve bons resultados na análise com a metalografia sublimada em tecido oxford sendo adequada ao formato do bolso em sua borda inferior, chamando atenção visualmente sendo possível ver todos os detalhes da metalografia sublimada que está com uma ótima qualidade (Figura 66), cumprindo a fase 3 da adaptação do DSR.

**Figura 66 – Bolso da camisa**



Fonte: Autor

Para complementar a aplicação do artefato em linguagem como veículo de comunicação da ciência, a Figura 67 ilustra a utilização da camisa vestida em espaços abertos representando o seu conceito atingido, uma camisa com elementos provenientes de imagens científicas, atingindo assim o objetivo específico **C** proposto na etapa 1 da pesquisa.

**Figura 67 – Camisa vestida em espaços abertos**

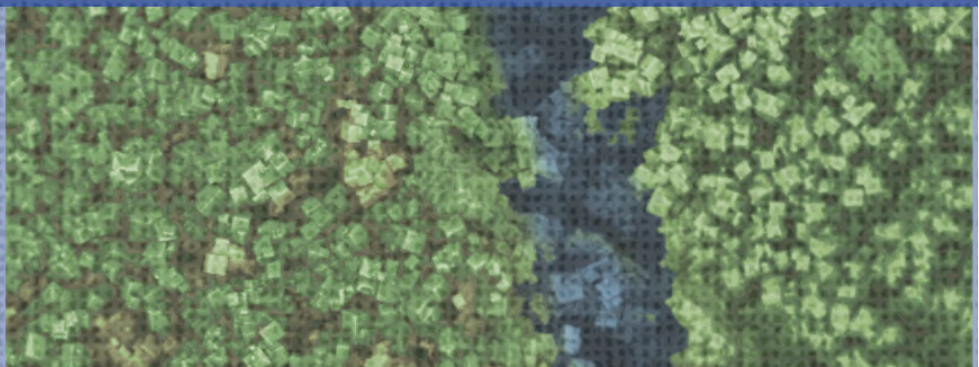
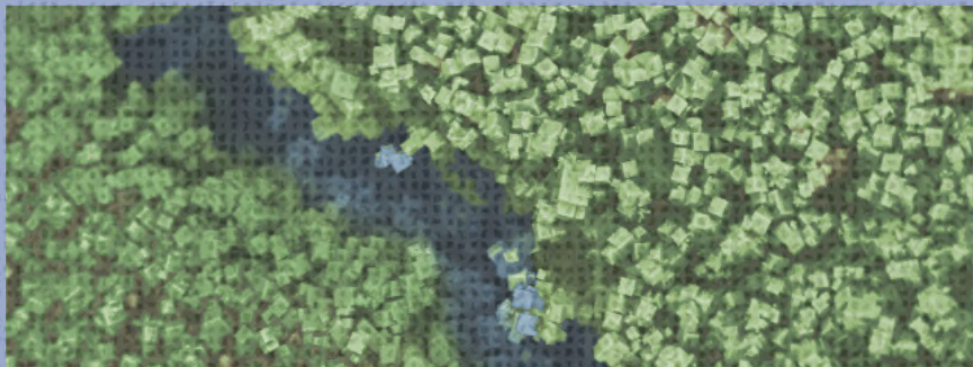


Fonte: Autor.

Finalizando o capítulo de materiais e métodos completando as três primeiras fases da adaptação da adaptação do DSR gerando assim artefatos da classe de *Design Proposition*, o trabalho entra na seção de Resultados que apresenta a Fase 4 (aprendizagem) dos artefatos, bem como os resultados obtidos mediante a pesquisa.

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

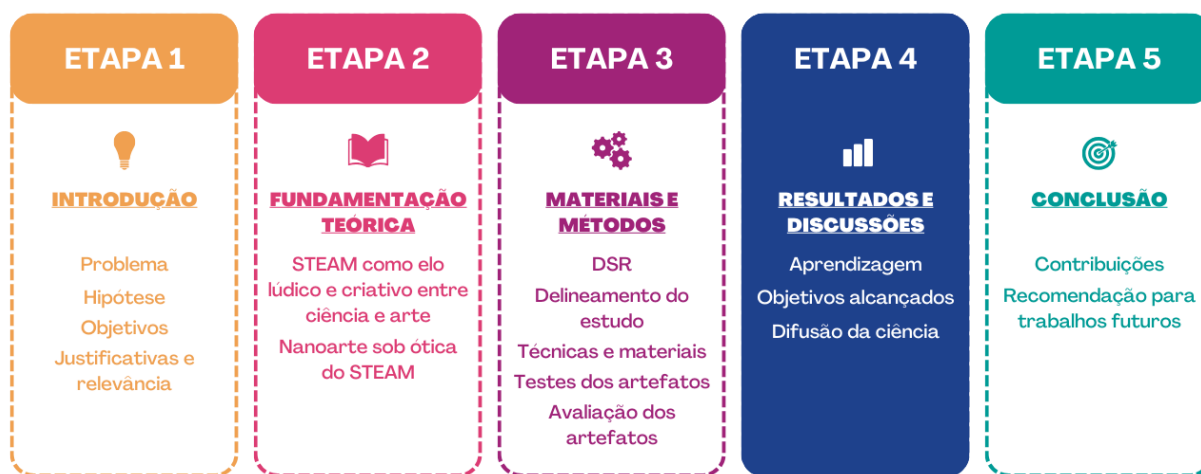
CAPÍTULO 4



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente seção demonstra os resultados da pesquisa após toda a etapa de materiais e métodos onde já foram passadas todas as etapas da adaptação do DSR, desenvolvendo os artefatos, avaliando e obtendo a aprendizagem gerada pelo artefato, aplicando-as em diferentes contextos. A figura 68 mostra a presente etapa da pesquisa neste capítulo.

**Figura 68 – Estrutura da dissertação: Resultados e discussões**



Fonte: Autor.

Examinando todas as etapas da pesquisa desde a etapa 1, o problema da pesquisa foi encontrado no campo da divulgação científica e correlacionado as hipóteses, a etapa 2 integrou a pesquisa como uma investigação do problema abordando os temas que a envolvem. Já a etapa 3 se correlaciona com os objetivos da etapa 1 e com fundamentação teórica referentes às técnicas e materiais estudados e analisados nos materiais e métodos, também executor da metodologia e o delineamento do estudo aplicados no trabalho exibindo suas etapas.

O delineamento do estudo representa uma adaptação do DSR que norteou a construção dos artefatos, compreendendo os processos e etapas, a ferramenta se mostrou muito eficaz no auxílio da criação de artefato, resultando em artefatos da classe de *design proposition* passados por avaliações e conclusões no desenvolvimento dos mesmos. A adaptação do DSR como a metodologia aplicada aqui desempenhou um papel muito relevante na conexão de constructos como linguagens para ser utilizados como uma comunicação, gerando saídas e substratos que por sua vez colaboram com o avanço e a inovação na pesquisa acadêmica, comportando nesta

seção de resultados e discussões a última etapa de cada artefato construído que a aprendizagem (etapa 4).

Os resultados dessa dissertação contemplam como a abordagem STEAM colaborou com a criação de artefatos propostos com a intenção de popularizar a ciência por meio de tecnologias e arte, realizando um recorte da ciência atrativo como porta de entrada para aprofundamentos. De acordo com os objetivos gerais e específicos do trabalho, a dissertação visa apresentar métodos de difundir a ciência sob o viés do STEAM, explorando o universo microscópico como uma linguagem mais atrativa, lúdica e com potência de gerar debates e curiosidade acerca da ciência e com objetivos mais específicos, criar artes a partir de metalografias e microscopias cerâmicas, criar jogos interativos utilizando gravação a laser, criar vestuário a partir de micrografias utilizadas como estampas e colaborar com a transdisciplinaridade do STEAM, ajudando a difundir esse tema que vem crescendo cada vez mais e alcançando cada vez mais pessoas.

Acessando as seções **3.4.1 Metalografia** e **3.4.2 Microscopia cerâmica** é possível identificar como o STEAM foi difundido nesta etapa da pesquisa, obtendo aplicações **S** (*Science*), do **T** (*Technology*), **E** (*Engineering*) e **A** (*Arts*), evidenciando os estudos científicos em relação as microscopias e materiais, a tecnologias utilizadas para a preparação dos materiais e os equipamentos utilizados para fazer sua análise, a engenharia de materiais trabalhando com materiais ferrosos e a arte que aplicou cores e aplicou “vida” nas micrografias, resultando nas nanortes criadas a partir das micrografias do material de estudo, o niobato de potássio, atingindo resultados que alcançam as expectativas do objetivo específico **A**.

A seção **3.6.2 Tangram** bem como a seção **3.6.3 Díptico** apresentam aplicações **S** (*Science*), do **T** (*Technology*), **E** (*Engineering*) e **A** (*Arts*) no que diz respeito à aplicação da técnica do corte e da gravação a laser no MDF compreendendo seu comportamento que partir disso, foi utilizado para a criação de um quebra-cabeça com a possibilidade de montar em diversas formas, inclusive uma das formas é a montagem da metalografia utilizada no trabalho, alcançando assim as expectativas do objetivo específico **A** e **B**, bem como o díptico, uma obra de arte desenvolvida a partir de elementos científicos por meio do Design & Tecnologia, que já exposta em uma área

de alta movimentação (LDSM) pode gerar contemplação pela obra e consequentemente curiosidade sobre o seu conceito.

Visitando as seções **3.7.1 Echarpe**, **3.7.3 laços para cães** e **3.7.4 Aplicação em vestuário**, seções responsáveis por alcançar o objetivo específico **C**, o STEAM também está presente, principalmente na sua transdisciplinaridade realizando conexões de áreas como o design, a arte, a engenharia, a moda e construindo artefatos que expandem os caminhos que a ciência pode atingir, que por estarem na construção de artefatos presentes no cotidiano, mais pessoas eventualmente terão acesso às imagens microscópicas, podendo gerar curiosidade sobre assim iniciando o diálogo a respeito da ciência, difundindo-a.

Responsáveis por corresponderem as expectativas do objetivo específico **D**, a seção **3.5.1 Impressões 3D** apresenta artefatos construídos explorando tecnologias e materiais utilizados nas técnicas de manufatura aditiva, muito importantes para sua construção o que gerou alternativas para a aplicação da metalografias, permitindo sua aplicação em contextos em que se aplicam o design de superfície inovando na criação de texturas, seja para um produto, uma peça ou um artefato, como foi construído na dissertação.

A união dos artefatos correspondem a obtenção do objetivo específico **E**, e o objetivo geral da pesquisa, que conseguiu aplicar o STEAM desenvolvendo artefatos a partir da construção de diferentes áreas de diferentes conhecimentos, explorou o universo microscópico e suas micrografias, foi realizado suas aplicações em diversos materiais a partir de técnicas de se diferem entre si tornando-as uma ferramenta de comunicação da ciência, de difusão, de propagação por meio de linguagens de fácil compreensão, transmutando o conhecimento acadêmico em substratos palpáveis, acessíveis, com a capacidade de gerar curiosidade, de instigar o lúdico a partir da arte. Com o objetivo geral alcançado, essa dissertação atingiu o que foi proposto, desde a colaboração no fomento da ciência e do STEAM até a criação de artefatos inseridos no cotidiano do público geral como forma de linguagem como veículo para a comunicação da ciência.

Com o intuito de corroborar com os artefatos, o autor desenvolveu um modelo de um encarte que os apoia com alguns informativos a respeito do que se trata o material e suas utilizações. Utilizando o site de edições Canva, ele foi produzido com

as dimensões de uma folha A4, projetada para ser dobrada ao meio orientado em paisagem sendo divididos em dois lados e quatro partes: o lado de fora e o lado de dentro, sendo duas partes em cada lado, totalizando quatro partes, assim sua leitura é realizada da mesma maneira a se ler um livro, como demonstrado pela Figura 69.

**Figura 69 – Mockup do encarte de aplicação do STEAM**



Fonte: Autor.

O encarte foi elaborado pensado inicialmente para contemplar o conteúdo presente no lenço, entretanto ele pode ser adaptado para que possa ser introduzido os resultados dos demais artefatos. Nele são encontradas informações sobre a técnica de metalografia utilizada, falando de seu processo, também falando sobre sua aplicação, além de explicar sobre o STEAM. Se tratando de popularização da ciência, a linguagem apresentada no encarte busca atingir diversas camadas de intelecto e compreensão do conteúdo, apresentando falas simples, com analogias fugindo de uma comunicação com termos mais técnicos e mais circulado em âmbito acadêmico, além de disponibilizar dicas de como utilizar o lenço e um QR (ilustrativo) que pode ser adicionado o link com a presente dissertação após sua defesa e consequentemente homologação, sendo possível ser distribuído de forma impressa ou até mesmo um PDF de forma digital. O apêndice C demonstra sua construção.



# CONCLUSÃO

CAPÍTULO 5



## 5. CONCLUSÃO

Nesta etapa da pesquisa (Figura 70) são apresentadas as conclusões do trabalho sob a reflexão recorrente das quatro etapas anteriores.

Figura 70 – Estrutura da dissertação: Conclusão



Fonte: Autor.

Esta pesquisa concluiu que a ciência tem um enorme potencial para disseminá-la através da arte, transformar recortes científicos, como no caso no universo microscópico, em linguagens com formatos de artefatos para comunicar e disseminar a ciência sob o viés do STEAM é algo válido e efetivo visto os resultados encontrados com essa pesquisa. Trabalhar elementos imateriais, subjetivos e lúdicos do ser humano é tão importante quanto questões materiais, objetivas e lógicas, considerando que as maneiras de comunicação são melhores recebidas de formas diferentes por pessoas diferentes – por esse motivo há inúmeras formas de comunicação e linguagem – abordar a pesquisa sob essa perspectiva se torna cada vez mais necessária. Esta conclusão também pode ser observada em diversos encontros e visitas de alunos e pessoas externas à UFRGS ao laboratório LDSM, visitas essas que permitiram o contato destes artefatos com o público em geral possibilitando disseminar a ciência a partir dos artefatos como demonstrado na Figura 71.

**Figura 71 – Contato do público em geral com os artefatos**



Fonte: Autor.

O STEAM é uma abordagem que deve ser cada vez mais estudada para que sua aplicação se torne natural nos meios acadêmicos, mesmo nos dias atuais sua pesquisa sendo relativamente nova no Brasil, a ferramenta é inovadora para o conhecimento. As técnicas de MA e MS ampliaram as suas próprias formas de aplicação e uso, unindo-se a fabricação digital, microscopia, e moda elas expandem ainda mais os seus horizontes. A sublimação apresentou formas de estar presente em contextos acadêmicos científicos de forma inovadora e criativa. As microscopias demonstraram um caminho de popularização da ciência possibilitando a abertura de novos caminhos para a exploração artística da ciência.

A união de todas as técnicas aplicadas, materiais estudados, técnicas exploradas, a construção escrita da dissertação, a construção e aplicação dos artefatos demonstram a proeminente alcance do STEAM principalmente no que diz respeito à

disseminação e difusão da ciência, de conhecimentos e saberes, que por mais que o cunho do trabalho o foco na transmissão, o autor pode notar também a sua própria construção de um repleto arcabouço técnico e cultural.

Conclui-se também que o método DSR apresenta diretrizes para a construção de artefatos muito bem estruturadas influenciando a qualidade dos artefatos criados para esta dissertação, sobretudo o tipo de artefato *Design Proposition* como uma proposta de disseminação da ciência como uma linguagem, efetivando um diálogo simplificado entre quem produz conhecimento para quem irá receber.

Pensando no futuro da pesquisa e suas próximas realizações, como sugestões de trabalhos futuros, pode haver a exploração da microscopia de outros materiais como os materiais petrográficos e materiais orgânicos, por exemplo, a aplicação em outras formas de artefatos na manufatura aditiva e na manufatura subtrativa, a aplicação em outros tipos de vestuário e em outros tecidos, a aplicação das texturas em atividades gamificadas que haja interação, em outras obras de arte que possam expandir ainda mais a ciência, um exemplo é a arte urbana do Graffiti, traz também como sugestão o foco em pessoas com dificuldades sensoriais, trabalhar esse elementos, essas técnicas e a arte para auxiliá-los em sua inserção, e a maior sugestão que pode ser feita para trabalhos futuros é deixar a criatividade fluir nos trabalhos acadêmicos através da arte, explorar novas formas de conexão entre arte e ciência pois essa junção fortalece ambos os campos e contribui para o conhecimento, na sua transmissão e na sua conexão.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Luis Felipe Silveira de. **FRAGMENTOS DE UM DISCURSO BIOGRÁFICO: Poéticas, políticas e devorações do biografema na comunicação contemporânea**. 2018. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Comunicação) - Faculdade de Biblioteconomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/172944>>. Acesso em: 01 de dez. 2023.

ABREU, Sofia Alexandra Chaves. **Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo**. 2015. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto (FEUP). Porto, Portugal. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10216/80019>>. Acesso em: 10 de mar. 2023.

AFONSO, Tatiana; BERDASCO, Lorena; MEDEIROS, Thais; REJOWSKI, Mirian. **Mercado pet em ascensão - hotelaria para cães e gatos em São Paulo (Brasil)**. Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo, v.2, n.4. 2008. DOI: <https://doi.org/10.7784/rbtur.v2i4.120>.

ALMEIDA, Júlia. **O recado controverso do grafite contemporâneo**. 2008. Contemporanea, Revista de Comunicação e Cultura. DOI: <https://doi.org/10.9771/contemporanea.v6i1.3519>.

ASSUNÇÃO, L. F., MARTINEZ, A. K., MARANTES, F. X., DUARTE, L. da C., JACQUES, J. J. de; PIZZATO, G. Z. de A. **Estamparia têxtil aplicada ao design de moda sustentável: caracterização do processo de gravação a laser em tecido de linho**. 2021. Projética, v.12, n.2, 262–291. DOI: <https://doi.org/10.5433/2236-2207.2021v12n2p262>.

ASTM, An American National Standard. **Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens<sup>1</sup>**. 2001. Disponível em: <<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2680/2/ASTM%20E3.pdf>>. Acesso em: 28 de dez. 2023.

BAGNATO, Vanderlei Salvador. **Laser: e suas aplicações em Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Livraria da Física, 2008. Disponível em: <<https://curt.link/itp0os>>. Acesso em: 08 abr. 2023.

BARBOSA, B. W. G.; MARIANO, F. DI L.; KINDLEIN JÚNIOR, W. ; RIBEIRO, R. B. **Uso do STEAM como ferramenta de popularização da ciência**. I Congresso Internacional de Mulheres em STEAM, v. 1, n. 1, 2023. DOI: 10.55592/ICIMESTEAM.2022.3147741.

BARBOSA, B. W. G.; DOMINGOS, B. S. M.; VERNILLI JÚNIOR, F.; RIBEIRO, R.B. **NANOARTE: CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS**. Revista Científica do programa de pós-graduação em Design, Univille, v.2, n.1, p. 7-19, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21726/pl.v2i1.80>.

BARCZEWSKI, B. F.; JUNQUEIRA, L. de A.; RAPOSO, F. J.; BRANDÃO, M. A. F.; RAPOSO, N. R. B. **Aplicações da manufatura aditiva em oftalmologia**. *Rev. bras.oftalmol.* 2022, vol. 81. DOI: 10.37039/1982.8551.20220052.

BATISTA, Eduardo Corrêa. **Mercado pet no Brasil: uma revisão**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Zootecnia) - Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Belém, Brasil. Disponível em: <<http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2951>>. Acesso em 26 de dez. 2023.

BERMAN, Barry. **3-D printing: The new industrial revolution**. 2012. *Business Horizons*. Volume 55, Issue 2, Pages 155-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>.

BETTINI, Ana Maria de Souza & LASCHUK, Tatiana. **A EXPERIMENTAÇÃO DE DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS E ESTRUTURAS TÊXTEIS NOS PROCESSOS SUBLIMÁTICOS**. 2014. 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Gramado - RS. DOI: 10.5151/designpro-ped-01103.

BEVILAQUA, Diego Vaz; BARROS, Heliton da Silva; SILVA, Loloano Claudionor; FERNANDES, Maria Inês Rodrigues; LIMA, Nísia Trindade. **Uma análise das ações de divulgação e popularização da ciência na Fundação Oswaldo Cruz.** 2021. ANÁLISE - Hist. cienc. saude-Manguinhos 28 (1). <https://doi.org/10.1590/S0104-59702021000100003>.

BORRELLO, J.; NASSER, P.; IATRIDIS, J. C.; COSTA, K. D. **3D printing a mechanically-tunable acrylate resin on a commercial DLP-SLA printer.** *Additive manufacturing*, 23, 374-380. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.08.019>.

BRAGANÇA, S. R.; BERGMANN, C. P. **Microestrutura e propriedades de porcelanas.** *Cerâmica*, v.50, n.316, p. 291-299. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132004000400003>.

BRESSAN, Felix. **DESIGN E TECNOLOGIA: ESTRATÉGIAS GENERATIVAS EXPRESSIVAS EM SUPERFÍCIE E VOLUMETRIA.** 2018. Tese (Programa de Pós-Graduação em Design) - Escola de Engenharia; Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/188463>>. Acesso em: 20 de dez. 2023.

CABRERA, Marco, Antonio & BELTRAN, Maria Helena Roxo. **Função e forma de fotomicrografias: entre contexto científico, estético e suas relações.** 2022. Dissertação (Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência) - Mestrado em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). São Paulo, Brasil. Disponível em: <<https://repositorio.pucsp.br/jspui/handle/handle/25986>>. Acesso em: 02 de mai. 2023.

CALIGNANO, Flaviana & MERCURIO, Vincenza. **An overview of the impact of additive manufacturing on supply chain, reshoring, and sustainability.** 2023. *Cleaner Logistics and Supply Chain*. V.7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2023.100103>.

CARVALHO, Nathalia Alborghetti. **Design de superfície: estudo comparativo de processos de estamparia têxtil sob enfoque ambiental**. 2016. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Design) - Escola de Engenharia; Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/142665>>. Acesso em: 30 de jun. 2023.

CDMF, Centro de Desenvolvimento de Materiais Funcionais. **Nanoarte**. 2023. Site. Disponível em:<<http://cdmf.org.br/category/nanoarte/>>. Acesso em: 08 de mai. 2023.

CHEIRAM, Marlon Leandro Henrique. **ANÁLISE DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA POR PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA E SUBTRATIVA UTILIZANDO ABORDAGEM DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**. 2020. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, Brasil. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/21158>>. Acesso em: 03 de abr. 2023.

CHOI, D. S.; LEE, S. H.; SHIN, B.; WHANG, K. H.; SE, K. K.; SARMA, S. E. **A new rapid prototyping system using universal automated fixturing with feature-based CAD/CAM**. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 113, n. 1-3, p. 285-290, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00653-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00653-7).

CIDADE, Mariana Kuhl. **Caracterização padronização do processo de gravação a laser em ágata aplicado ao design de joias**. 2012. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Design - Design e Tecnologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Porto Alegre. Disponível em:<<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/61063>>. Acesso em: 10 de abr. 2023.

CIDADE, M. K.; LIMA, N. F. F.; PALOMBINI, F. L.; DUARTE, L. da C. **Método para determinação de parâmetros de gravação e corte a laser CO2 com aplicação na joalheria contemporânea**. 2016. *Design E Tecnologia*, 6(12), 54-64. DOI: <https://doi.org/10.23972/det2016iss12pp54-64>.

CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Prêmio Fotografia-Ciência & Arte**. 2022. Site. Disponível em: <<http://premios.cnpq.br/web/pfca>>. Acesso em: 08 de mai. 2023.

CONSULAB. **Microscópio Metalográfico Trinocular com Ampliação de 50x, 100x, 200x e 500x ou até 1.000X (Opcional)**. 2022. Disponível em: <<https://www.consulabdistribuidora.com.br/produto/microscopio-metalografico-trinocular-com-ampliacao-de-50x-100x-200x-e-500x-ou-ate-1000x-opcional>>. Acesso em: 12 de jul. 2023.

DA SILVA, S. J.; CUNHA, A. B. da ; SALGADO, A.; INTROÍNI, G. O. ; AMARAL, S. S. **Jogos pedagógicos produzidos digitalmente para aprimorar a comunicação e a integração de crianças vulneráveis**. Revista Brasileira de Extensão Universitária, v. 13, n. 1, p. 27-39. 2022. DOI: <https://doi.org/10.36661/2358-0399.2022v13n1.12476>.

DANTO, Arthur Coleman. **Após o Fim da Arte: A Arte Contemporânea e os Limites da História**. 2006. *Odysseus* Editora Ltda e Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/aptBW>>. Acesso em: 04 de mai. 2023.

DESPEISSE, Mélanie & FORD, Simon. ***The Role of Additive Manufacturing in Improving Resource Efficiency and Sustainability***. 2015. *Part of the IFIP Advances in Information and Communication Technology book series (IFIPACT, volume 460)*. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-22759-7\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-22759-7_15). Acesso em: 25 de abr. 2023.

DINIZ, Luiz Antonio Garcia & OLIVEIRA, Adilson Jesus Aparecido. **MUSEU DIGITAL E NANOARTE: NOVOS SUJEITOS PARA NOVOS CONTEÚDOS**. ARTEFACTUM - Revista de Estudos em Linguagens e Tecnologia. v.11, n.2, 2015. Disponível em: <<http://www.artefactum.rafrom.com.br/index.php/artefactum/article/view/830/0>>. Acesso em: 29 de mar. 2023.



DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. **Design science research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** 2015. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DUVAL, M., SMITH, B.; GAUCHON, C.; MAYER, L.; MALGAT, C. **"I have visited the Chauvet Cave": the heritage experience of a rock art replica.** *International Journal of Heritage Studies*, 1–21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/13527258.2019.1620832>.

FREITAS, Lima de; MORIN, Edgar.; NICOLESCU, Basarab. **Carta da Transdisciplinaridade.** Convento da Arrábida (Portugal), 6 nov. 1994. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/39/39133/tde-21052012-093302/publico/ANEXO\\_A\\_Carta\\_Transdisciplinaridade.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/39/39133/tde-21052012-093302/publico/ANEXO_A_Carta_Transdisciplinaridade.pdf)>. Acesso em: 10 de mai. 2023.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T.; NEIS, I. A.; ABREU, S. P. de.; RODRIGUES, R. S. **Métodos de pesquisa.** 2009. Educação a distância - Ed. da UFRGS. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/52806>>. Acesso em: 16 de mai. 2023.

HAGHSEFAT, Kianoush & TINGTING, Liu. **FDM 3D Printing Technology and Its Fundamental Properties.** *Conference: ICIRES - International Conference on Innovation and Research in Engineering Sciences.* 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/344768624\\_FDM\\_3D\\_Printing\\_Technology\\_and\\_Its\\_Fundamental\\_Properties](https://www.researchgate.net/publication/344768624_FDM_3D_Printing_Technology_and_Its_Fundamental_Properties)>. Acesso em: 13 de mar. 2023.

HULL. Charles W. **Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. US4575330** A. Dep. 08 ago 1984. Pub. 11 Mar 1986. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US4575330>>. Acesso em: 29 Mar. 2023.

ILAC, Instituto Latino-Americano do Acrílico. **Características do Acrílico.** 2015. Disponível em: <<https://www.indac.org.br/caracteristicas-do-acrilico/>>. Acesso em: 18 de abr. 2023.

JAYAWARDANE, H.; DAVIES, I. J.; JOGO, JR.; JHON, M.; FOI, W. K. B. **Sustainability perspectives – a review of additive and subtractive manufacturing.** 2023.

*Sustainable Manufacturing and Service Economics*. V.2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100015>.

JUNG, U. & LAMAR, T. ***The effects of CO<sub>2</sub> laser treatment on a digital velvet printing.*** 2021. *The Journal of The Textile Institute*, 1–11. DOI:10.1080/00405000.2021.1926119.

KAC, Eduardo. **A arte transgênica.** 2006. Entrevistas - Hist. cienc. saude-Manguinhos, v.13, p.247-56. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702006000500015>.

KAN, Chin-wai. ***CO<sub>2</sub> laser treatment as a clean process for treating denim fabric.*** 2014. *Journal of Cleaner Production*, v.11, p. 624-631. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.054>.

KHOSHAIM, A. B.; ELSHEIKH, A. H.; MOUSTAFA, E. B.; BASHA, M.; SHOWAIB, E. A. **Experimental investigation on laser cutting of PMMA sheets: Effects of process factors on kerf characteristics.** 2021. *Journal of Materials research and Technology*, v.11, p.235-246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.012>.

KINDLEIN JUNIOR, Wilson; BRESSAN, Feliz; PALOMBINI, Felipe Luis. **A importância do STEAM frente aos desafios da formação do ensino superior e da pesquisa multidimensional em Design.** 2021. *Estudos em Design*, v.29, n.1. DOI: <https://doi.org/10.35522/eed.v29i1.1152>.

KIYOMURA, Leila. União da arte e ciência é essencial para o saber, dizem pesquisadores. *Jornal da USP* 26 de jul. de 2019. Disponível em: <https://jornal.usp.br/?p=260977>>. Acesso em: 18 de dez. 2023.

MARCH, S. T. & SMITH, G. F. ***Design and natural science research on information technology.*** *Decision Support Systems*, v.15, p. 251-266, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2).

MAZZAROTTO FILHO, Marco André. **Modelo para a promoção do ensino-aprendizagem contextualizado de representação digital em cursos de design**. 2018. Tese (Pós-Graduação em Design) - Setor de Comunicação, Artes e Design, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, Brasil. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/59868>>. Acesso em: 29 de mai. 2023.

MA, Xueliang. **Research on Application of SLA Technology in the 3D Printing Technology**. *Applied Mechanics and Materials*, 401-403, 938–941. *Trans Tech Publications, Switzerland, 2013*. DOI:10.4028/www.scientific.net/amm.401-403.938.

MARKOVÁ, Ivana. **A fabricação da teoria de representações sociais**. *Cadernos de Pesquisa*, v.47 n.163, p.358-375, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/198053143760>.

MORAES, Elaine Cristina Gomes. **Eventos Científicos Presenciais: um estudo sobre o Congresso Nacional da Intercom**. *Revista Multiplicidade*, v. 9, n. 9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.59237/multipli.v9i9.426>.

NANOARTOGRAPHY. **The Art of Capturing Beauty at the Nanoscale**. 2022. Site. Disponível em: <<https://www.nanoartography.org/>>. Acesso em: 08 de mai. 2023.

NANOART21, Art Science Technology. **International Festivals, NanoArt Online Competitions, Art - Science - Technology Conferences, NanoArt 21 Exhibitions**. 2023. Site. Disponível em:<<https://nanoart21.org/>>. Acesso em: 08 de mai. 2023.

NEMES, Ineta Vilumsone. **10 - Automated laser cutting of textile materials**. 2018. *Industrial Cutting of Textile Materials (Second Edition) - The Textile Institute Book Series*, p.151-177. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102122-4.00010-X>.

NISHIMURA, P. L. G.; RODRIGUES, O. V.; BOTURA JÚNIOR, G.; SILVA, L. A. da. **PROTOTIPAGEM RÁPIDA: UM COMPARATIVO ENTRE UMA TECNOLOGIA ADITIVA E UMA SUBTRATIVA**. *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Blucher Design Proceedings*, v. 9, n. 2, p. 4481-4491. 2016. DOI: 10.5151/despro-ped2016-0386.

NOWACKI, B.; KOWOL, P.; KOZIOL, M.; OLESIK, P.; WIECZOREK, J.; WACLAWIAK, K. **Effect of Post-Process Curing and Washing Time on Mechanical Properties of mSLA Printouts**. *Materials*, v. 14, n. 17, p. 4856, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14174856>.

PAIVA, Thiago Neves & NOGUEIRA, Cássio Cipriano. **ESTUDO COMPARATIVO DAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D NO BRASIL**. *JNT - Facit Business and Technology Journal*, v. 1, n. 24 (2021). Disponível em: <http://revistas.faculdefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/901>. Acesso em: 14 de mar. 2023.

PARK, H.; SOO-YONG; B.; SIM, J.; HAN, H.; BAEK, Y. S. **Teachers' Perceptions and Practices of STEAM Education in South Korea**. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, p1739-1753. 2016. DOI: <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1531a>.

PENZ, Ivan de Lima e Silva. **Manufatura aditiva MSLA : estudo da variação do tempo de exposição em parâmetros superficiais e dimensionais visando aplicações em steam**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Engenharia de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/245949>. Acesso em: 10 de mar. 2023.

PEREIRA, Cláudia Sofia Araújo. **Comunicação de Ciência por meio da arte em Portugal: Estudo sobre as instituições científicas**. 2022. Relatório de Estágio (Comunicação de Ciência - Área de especialização em Comunicação de Ciência) Universidade do Minho - Instituto de Ciências Sociais (ISC - UMinho), Gualtar, Braga - Portugal. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/82944/1/Claudia%20Sofia%20Araujo%20Pereira.pdf>. Acesso em: 09 de mai.

PESTANO, Viviane; OLIVEIRA, Mariana Pohlmann de; SILVA, Fábio Pinto da. **Avaliação da suavização da superfície de peças impressas em ABS com vapor de**

**acetona: estudo de caso de textura bioinspirada.** Design em pesquisa : vol 5. Porto Alegre: Marcavisual, 2023. p. 9-21. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/254717>>. Acesso em: 14 de mar. 2023.

PINO, Angel. **As marcas do humano:** às origens da constituição cultural da criança na perspectiva de Lev. S. Vigotski. São Paulo: Cortez, 2005.

PONTES-RIBEIRO, Dulce Helena. **A linguagem das artes.** 2020. Interfaces da LINGUAGEM, Instituto Brasil Multicultural, p.28-38. Disponível em: <<https://brasilmulticultural.org/books/interfaces-da-linguagem/>>. Acesso em 06 de dez. 2023.

POSADA, Angy Michell; RODRIGUEZ, Efrain; ALVARES, Alberto José. **UM MODELO FUNCIONAL DE ATIVIDADES DE APLICAÇÃO PARA MANUFATURA ADITIVA E SUBTRATIVA (MANUFATURA HIBRIDA).** Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas - 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2019. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/333929315\\_A\\_Functional\\_Application\\_Activities\\_Model\\_for\\_Hybrid\\_Additive-Subtractive\\_Manufacturing](https://www.researchgate.net/publication/333929315_A_Functional_Application_Activities_Model_for_Hybrid_Additive-Subtractive_Manufacturing)>. Acesso em: 29 de mar. 2023.

POWELL, J. **CO2 laser cutting.** 2. ed. London: Springer London, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3384-1>.

PRAKASH, Shashi & KUMAR, Subrata. **Determining the suitable CO2 laser based technique for microchannel fabrication on PMMA.** 2021. *Optics & Laser Technology*, v.139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.107017>.

QUEIROZ, Julia. **Shih tzu brasileira vence competição internacional de cães em SP: 'Melhor cão do mundo'.** Estadão 12 de dez. 2022. Disponível em: <<https://www.estadao.com.br/emails/comportamento/shih-tzu-brasileira-vence-competicao-internacional-de-caes-em-sp-melhor-cao-do-mundo/>>. Acesso em: 26 de dez. 2023.

REIS, José Claudio; GUERRA, Andrei; BRAGA, Marco. **Ciência e arte: relações improváveis?**. 2006. *Análise - Hist. cienc. saude-Manguinhos* 13. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702006000500005>.

RIBEIRO, R. & KINDLEIN JUNIOR, W. **Integração das ciências, tecnologias, engenharias, artes e matemática (STEAM) como ferramenta de conexão de conhecimentos visando uma formação equitativa, inclusiva e de alta qualidade**. 2023. I Congresso Internacional de Mulheres no STEAM, v.1 n.1. DOI: <https://doi.org/10.55592/ICIMESTEAM.2022.7214216>.

RIBEIRO, Thiago Rafael Rodrigues. **Design e tecnologia: manufatura aditiva por sinterização de poliestireno em equipamento de gravação e corte a laser**. 2018. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Design) - Escola de Engenharia; Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/180146>>. Acesso em: 27 de mar. 2023.

ROCHA, Danielle; FERNANDES, Eliane; SANTANA, Viviane; MARISCO, Gabriele. **Estratégias de popularização da ciência e da saúde durante pandemia de coronavírus**. *RAÍZES E RUMOS*, 8(2), 240–251. <https://doi.org/10.9789/2317-7705.2020.v8i2.240-251>.

SANTAELLA, Lucia & NÖTH, Winfried. **Comunicação e semiótica**. 2004. São Paulo: Hacker Editores.

SANTOS, Sandra Souza dos. **Design e tecnologia: estudo da aplicação do processo de corte e gravação a laser em couro bovino acabado e semi-acabado**. 2012. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Design) - Escola de Engenharia; Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/75766>>. Acesso em: 19 de abr. 2023.

SCHMIDLEITHNER, Christina; KALASKAR, Deepak M. **Stereolithography**. 2018. In: Cvetković, D, (ed.) *3D Printing*. (pp. 1-22). *IntechOpen: London, UK*. DOI: 10.5772/intechopen.78147.

SOARES, S. de J.; DUARTE, L. C.; ROLDO, L.; DA SILVA, F. P. **DESIGN DE SUPERFÍCIE EM MADREPÉROLA: EFEITO DEGRADÊ POR GRAVAÇÃO A LASER**. *Educação Gráfica*, v.20, n.01. 2016. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149291/001003771.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 de abr. 2023.

SILVA, Alexandre José Da & RÊGO, Rômulo Marinho. **Explorando o tangram numa proposta didática: uma atividade interdisciplinar entre ciências, matemática e história**. 2012. Anais VII EPBEM... Campina Grande: Realize Editora. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/1145>>. Acesso em: 14 de mai. 2023.

SILVA, Felipe. **Desenvolvimento de uma impressora 3D do tipo FFF com sistema multimaterial e multiferramenta**. 2022. Dissertação (Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) - Instituto de Ciências e Tecnologias Exatas, Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM). Uberaba, Brasil. Disponível em: <<http://bdtd.uftm.edu.br/handle/123456789/1239>>. Acesso em: 13 de mar. 2023.

SILVA, Maria Gorette Andrade & RODRIGUES, Linduarte Pereira. **CORES, TEXTURAS E TIPOGRAFIA: DESENVOLVENDO A COMPETÊNCIA LEITORA POR MEIO DE RECURSOS MULTIMODAIS**. *Trabalhos em Linguística Aplicada*, v.61 n.1, p.265-275, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/01031813913511520210121>.

SCHROEDER, Silvia Cordeiro Nassif. **Arte como linguagem: um olhar sobre as práticas na educação infantil**. 2012. *Leitura: Teoria & Prática*, v.30 n.58, p.77-85. Disponível em: <<https://ltp.emnuvens.com.br/ltp/article/view/9>>. Acesso em: 06 de dez. 2023.

STEEN, W. M.; MAZUMDER, J. **Laser material processing**. 4. ed. London: Springer London, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-062-5>.

STRAMBI, M. L. Aurum in connection: investigações em nanoarte. **Revista Visuais, Campinas, SP, v.1, n.1, p. 114–132, 2015.** DOI: <https://doi.org/10.20396/visuais.v1i1.11943>.

SWETHA, T. A.; ANANTI, V.; BORA, A.; SENGOTTUVELAN, N.; PONNUCHAMY, K.; MUTHUSAMY, G. **A review on biodegradable polylactic acid (PLA) production from fermentative food waste - Its applications and degradation.** 2023. *International Journal of Biological Macromolecules*. V.234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123703>.

TORQUATO, Luciane Paes. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil.** 2008. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, Brasil. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/17664>>. Acesso em: 19 de abr. 2023.

TORRES, Adriana Patrícia Galego. **IMAGEN POPULAR DE LA CIENCIA TRANSMITIDA POR LOS CÓMICS.** 2007. *Rev. Eureka. Enseñ. Divul. Cien.*, 4(1), pp. 141-151. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10498/16142>>. Acesso em: 10 de mai. 2023.

VOLPATO, N.; AHRENS, C. H.; FERREIRA, C. V.; PETRUSH, G.; DE CARVALHO, J.; DOS SANTOS, J. R. L.; DA SILVA, J. V. L. **PROTOTIPAGEM RÁPIDA** - Tecnologias e aplicações. Editora Edgard Blücher, São Paulo. 2006. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=1oO6DwAAQBAJ&printsec=copyright&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=1oO6DwAAQBAJ&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 03 de abr. 2023.

WANG, F. T. & HSIUNG, C.-C. **A theorem on the Tangram.** 1942. *The American Mathematical Monthly*, v.49, p.596–599, 2018. DOI:10.1080/00029890.1942.11991289.



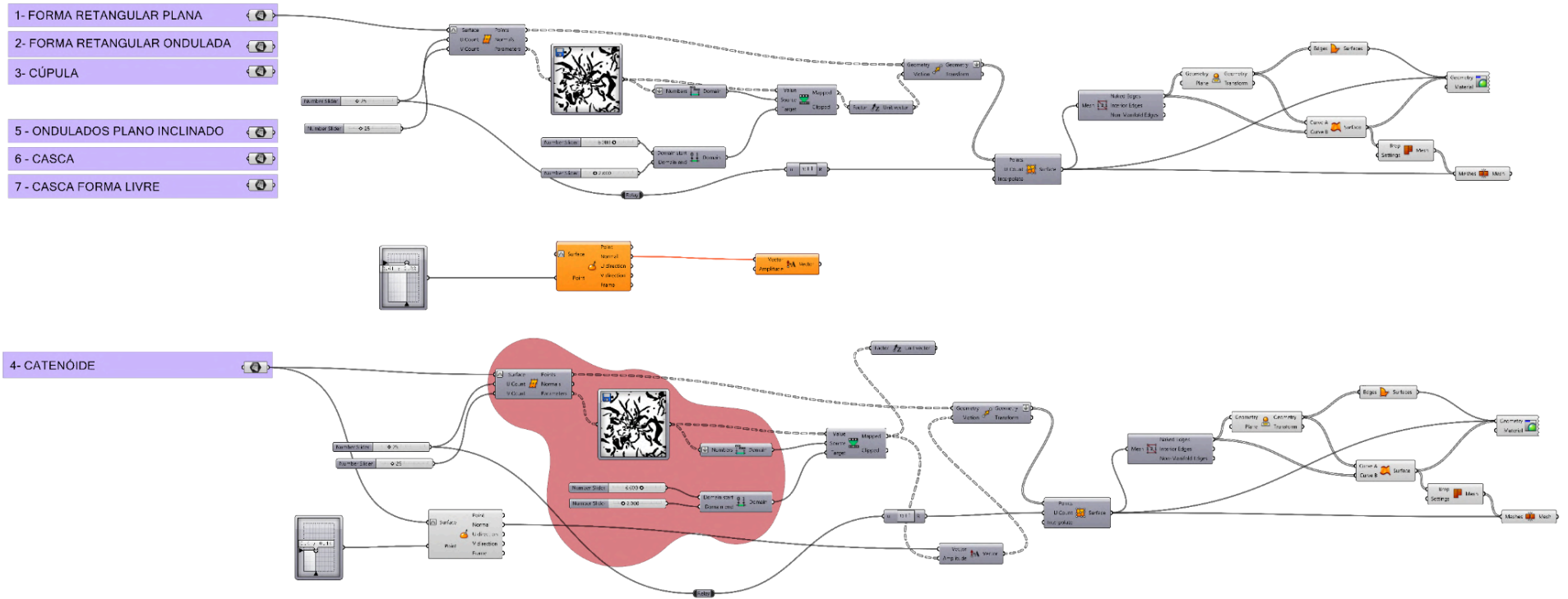
WERMUTH, Tiago Bender. **Síntese hidrotermal assistida por microondas do KNbO<sub>3</sub> e sua caracterização microestrutural e de propriedades ópticas, elétricas e fotocatalíticas.** 2019. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/204088>>. Acesso em: 11 de jul. 2023.

WEST, John B. *Leonardo da Vinci: engineer, bioengineer, anatomist, and artist.* *American Journal of Physiology Lung Cellular and Molecular Physiology*, v.312, n.3, p 392 - 397. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajplung.00378.2016>.

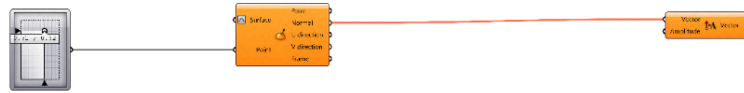
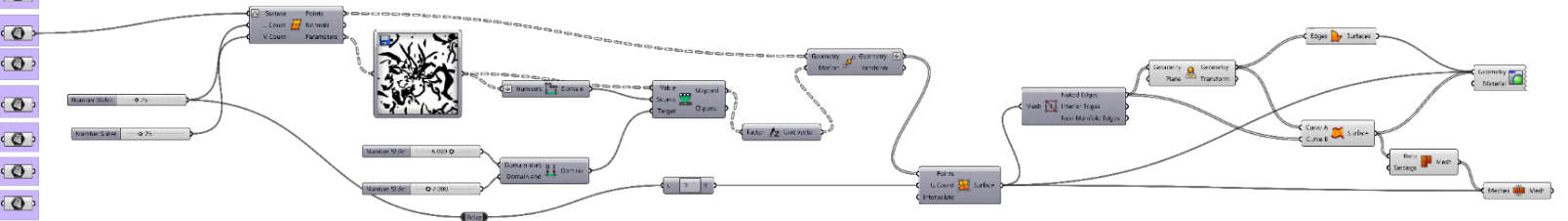
YUSOFF, N.; OSMAN, N. A. A.; OTHMAN, K. S.; ZIN, H. M. **A study on laser cutting of textiles.** Conference: 29th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics, v.103. 2010. DOI: 10.2351/1.5062018

## APÊNDICES

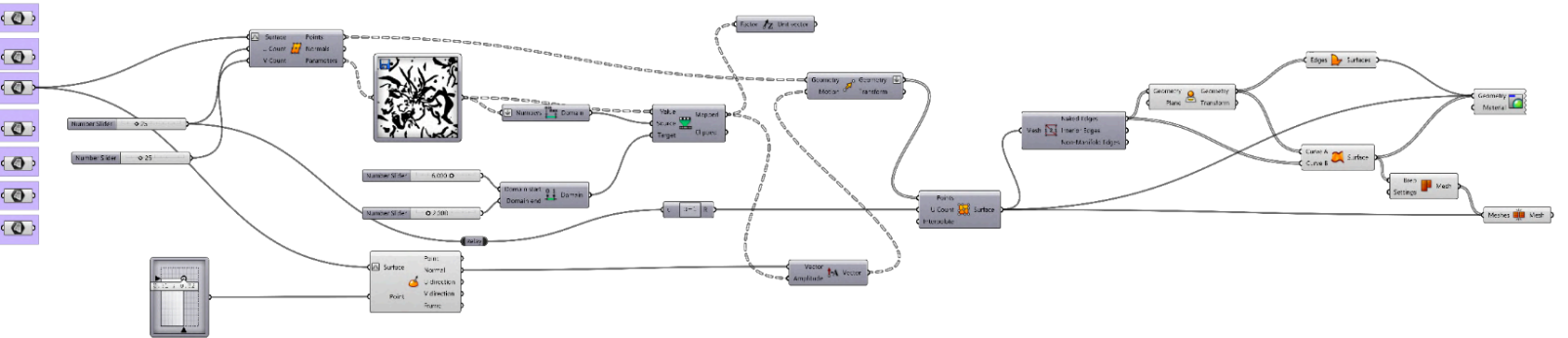
### APÊNDICE A: Códigos da construção das peças realizados no *Grasshopper*



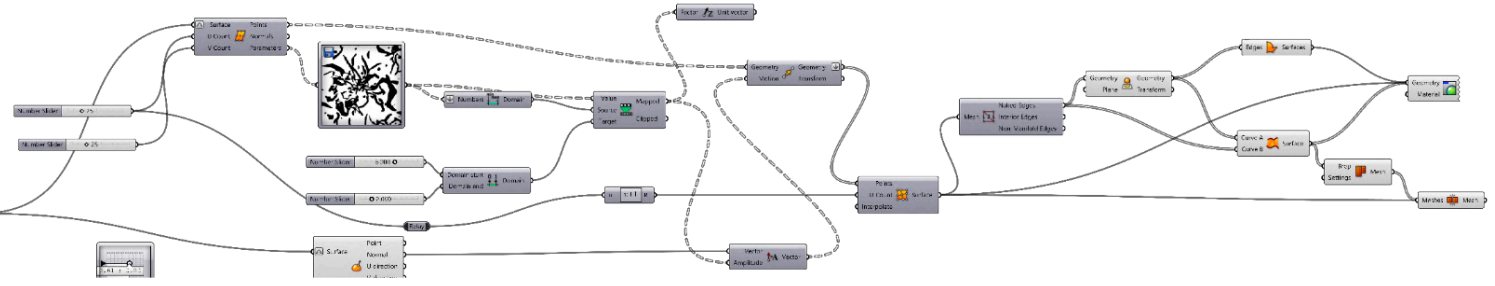
- 1- FORMA RETANGULAR PLANA
- 2- FORMA RETANGULAR ONDULADA
- 3- CÚPULA
- 4- CATENÓIDE
- 5 - ONDULADOS PLANO INCLINADO
- 6 - CASCA
- 6 - CASCA FORMA LIVRE



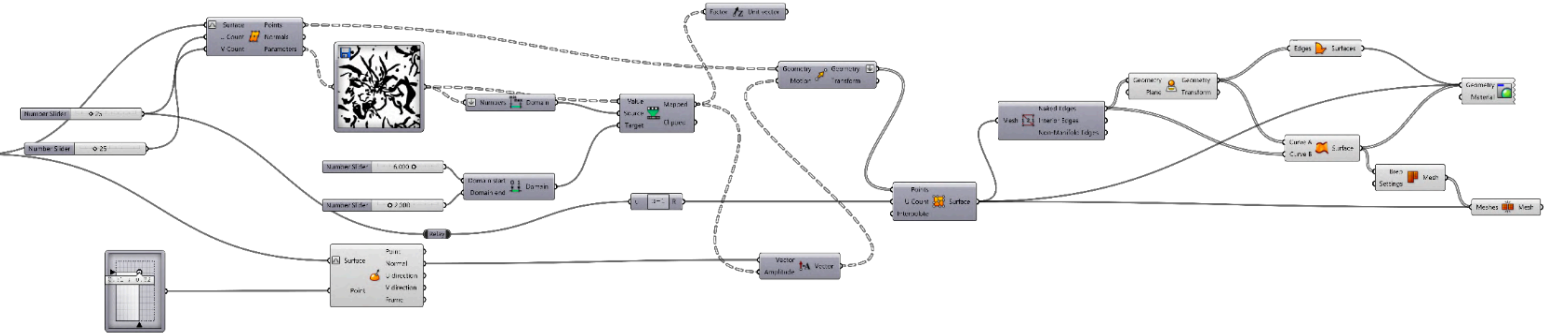
- 1- FORMA RETANGULAR PLANA
- 2- FORMA RETANGULAR ONDULADA
- 3- CÚPULA
- 4- CATENÓIDE
- 5 - ONDULADOS PLANO INCLINADO
- 6 - CASCA
- 6 - CASCA FORMA LIVRE

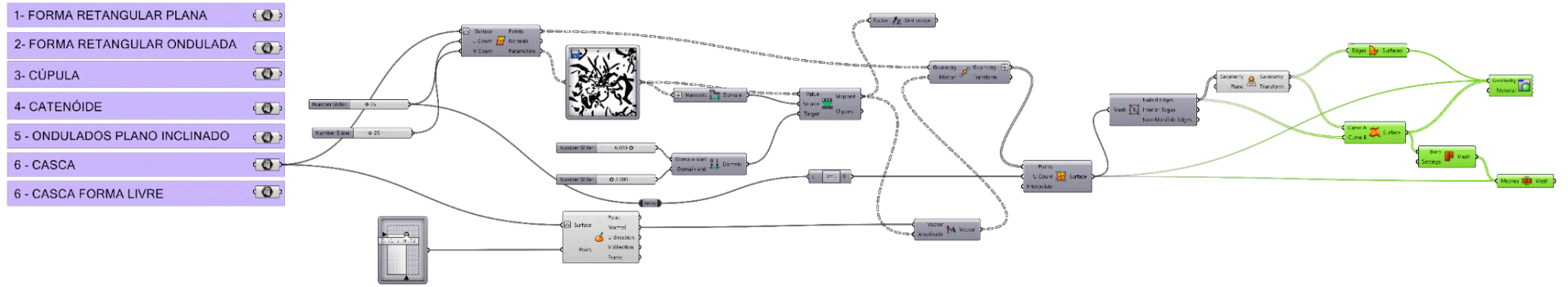


- 1- FORMA RETANGULAR PLANA
- 2- FORMA RETANGULAR ONDULADA
- 3- CÚPULA
- 5- ONDULADOS PLANO INCLINADO
- 6 - CASCA
- 7 - CASCA FORMA LIVRE

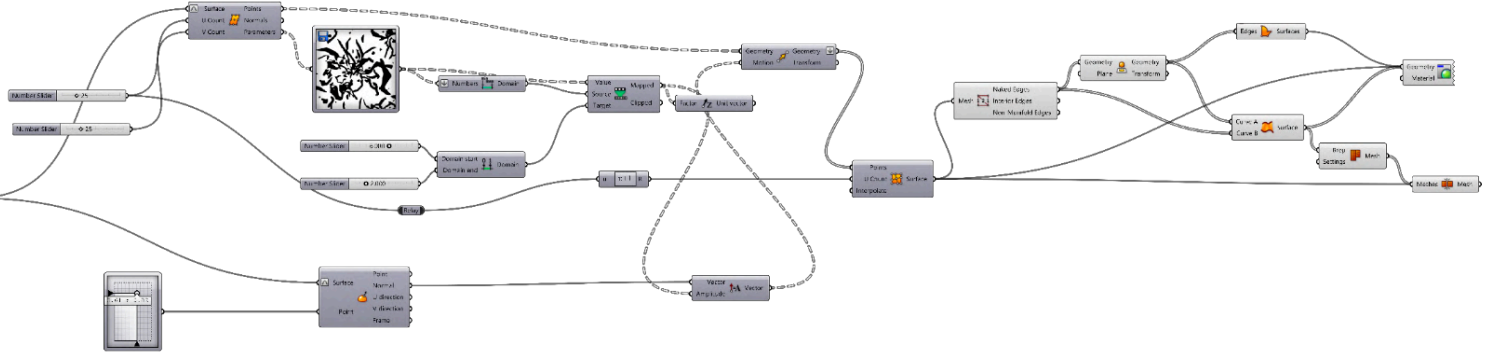


- 1- FORMA RETANGULAR PLANA
- 2- FORMA RETANGULAR ONDULADA
- 3- CÚPULA
- 4- CATENÓIDE
- 5 - ONDULADOS PLANO INCLINADO
- 6 - CASCA
- 6 - CASCA FORMA LIVRE

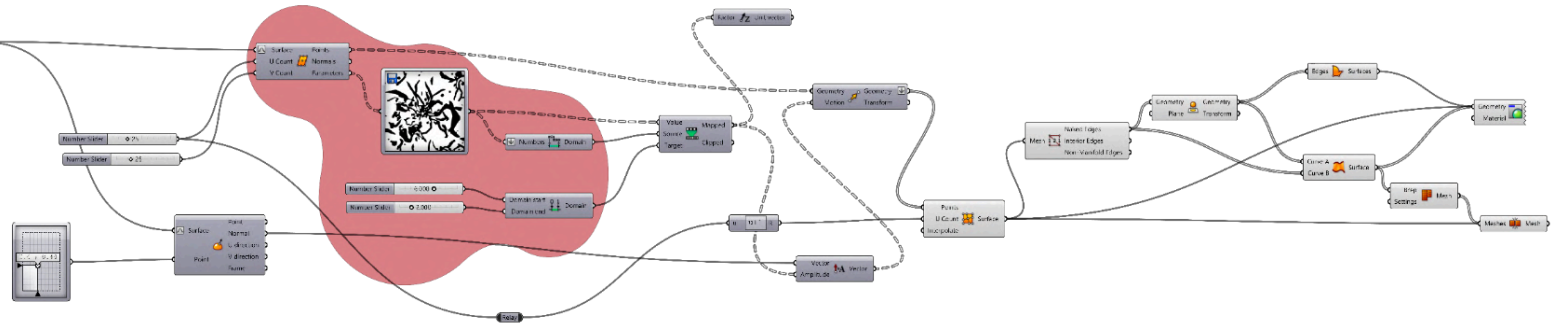


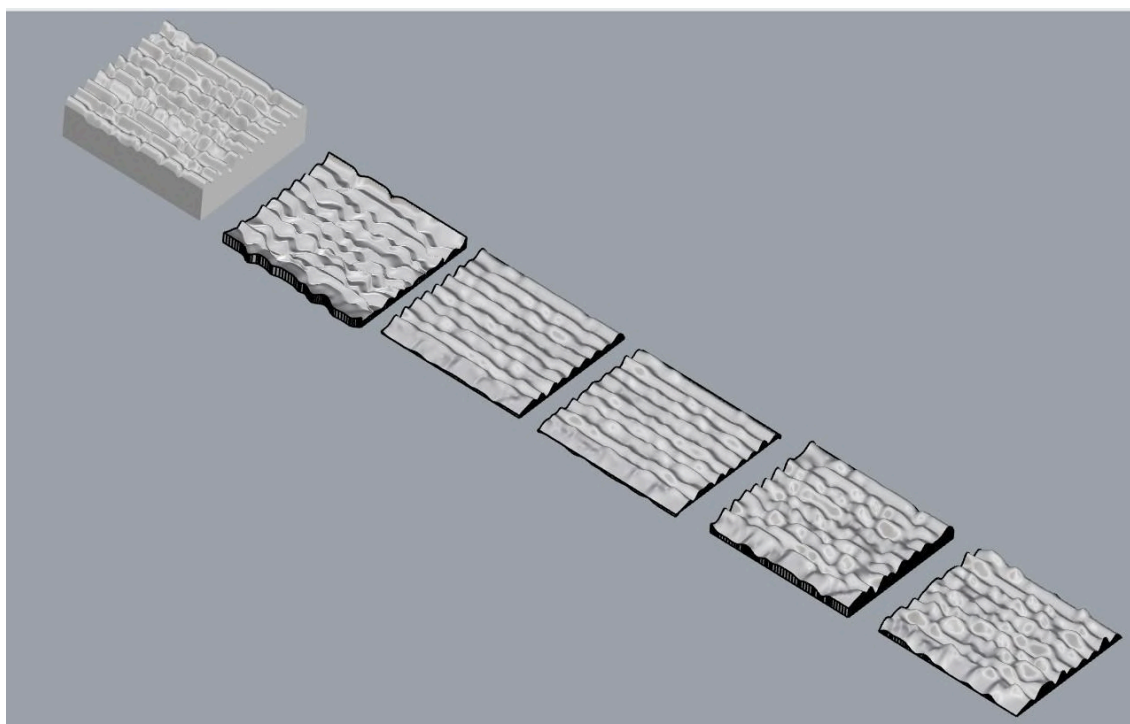
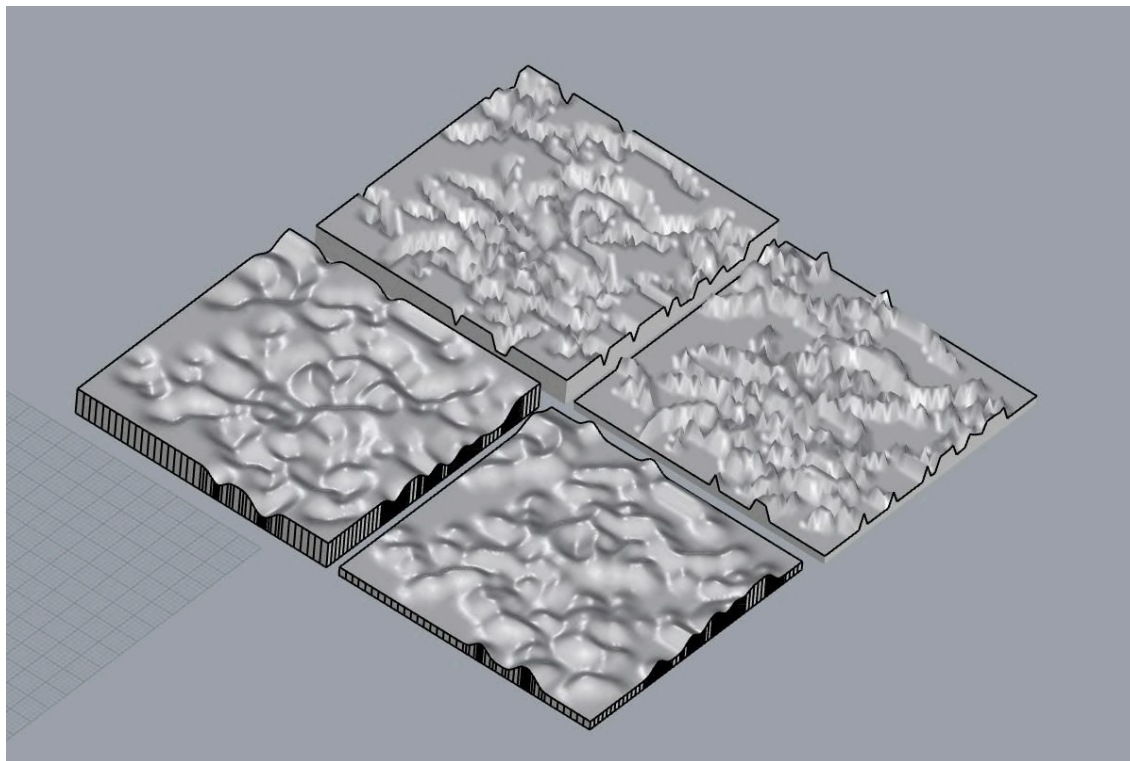


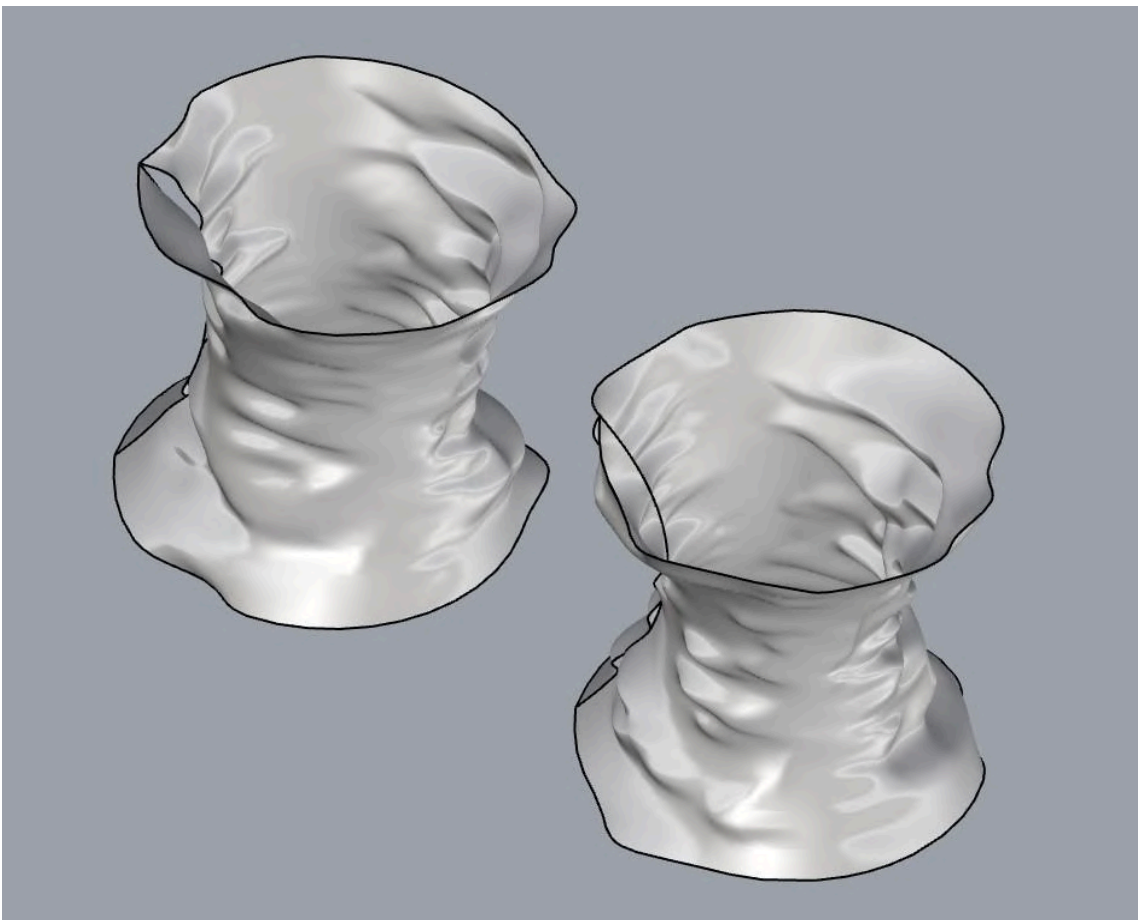
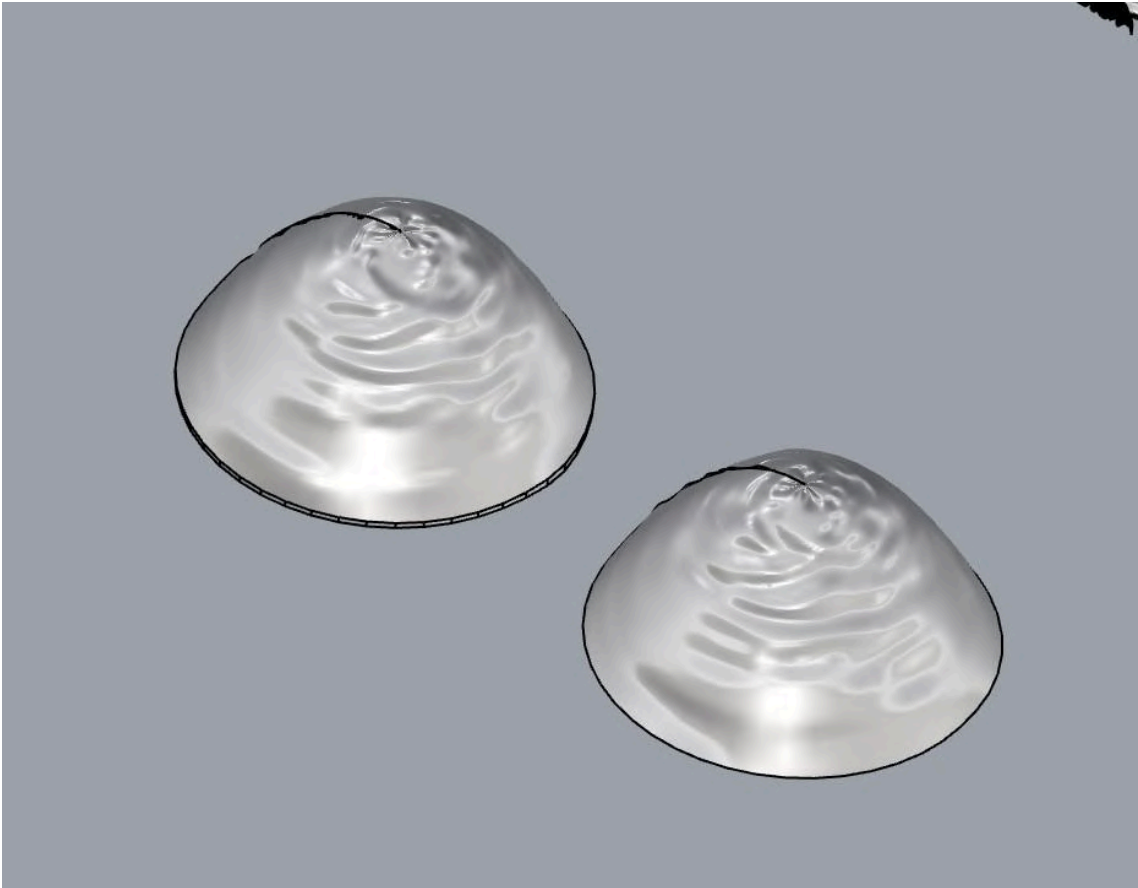
- 1- FORMA RETANGULAR PLANA
- 2- FORMA RETANGULAR ONDULADA
- 3- CÚPULA
- 5- ONDULADOS PLANO INCLINADO
- 6- CASCA
- 7- CASCA FORMA LIVRE



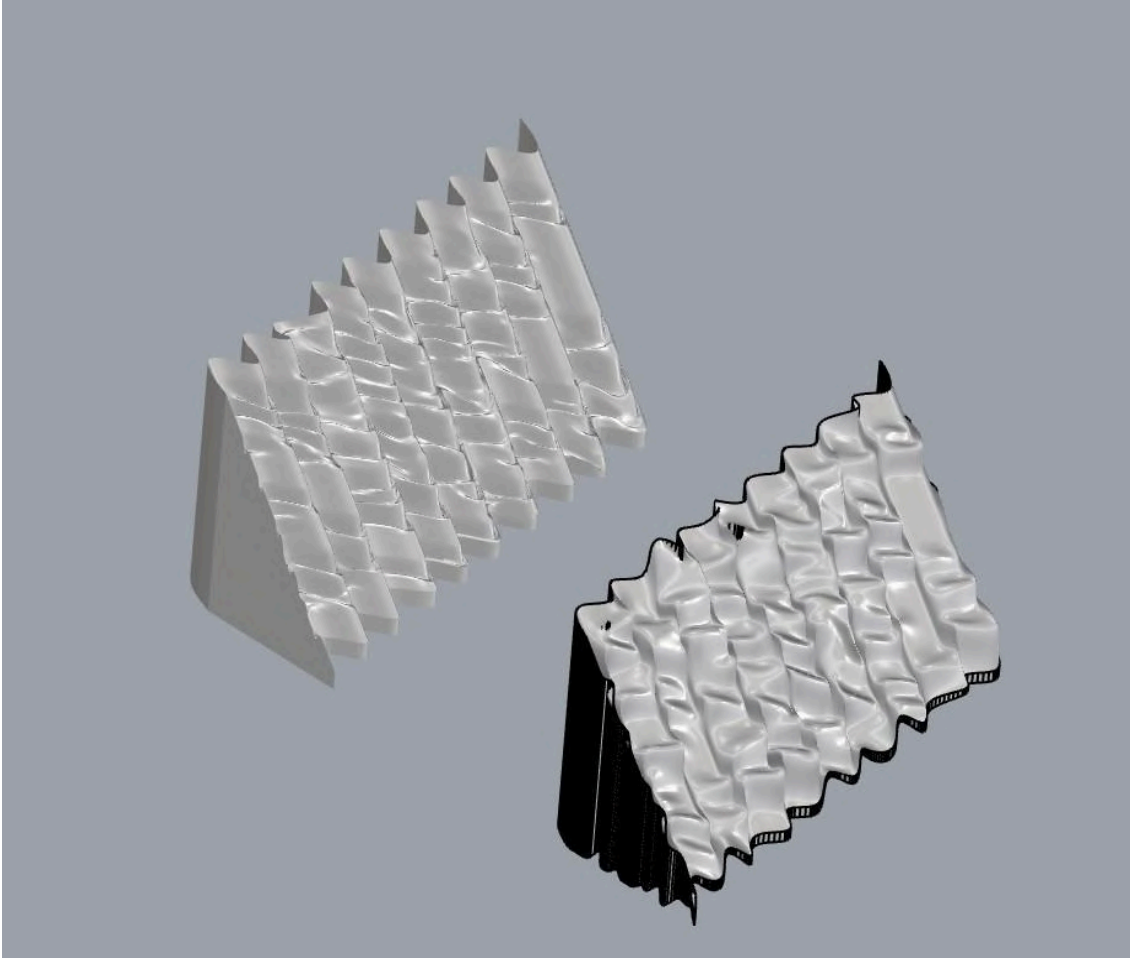
4- CATENÓIDE

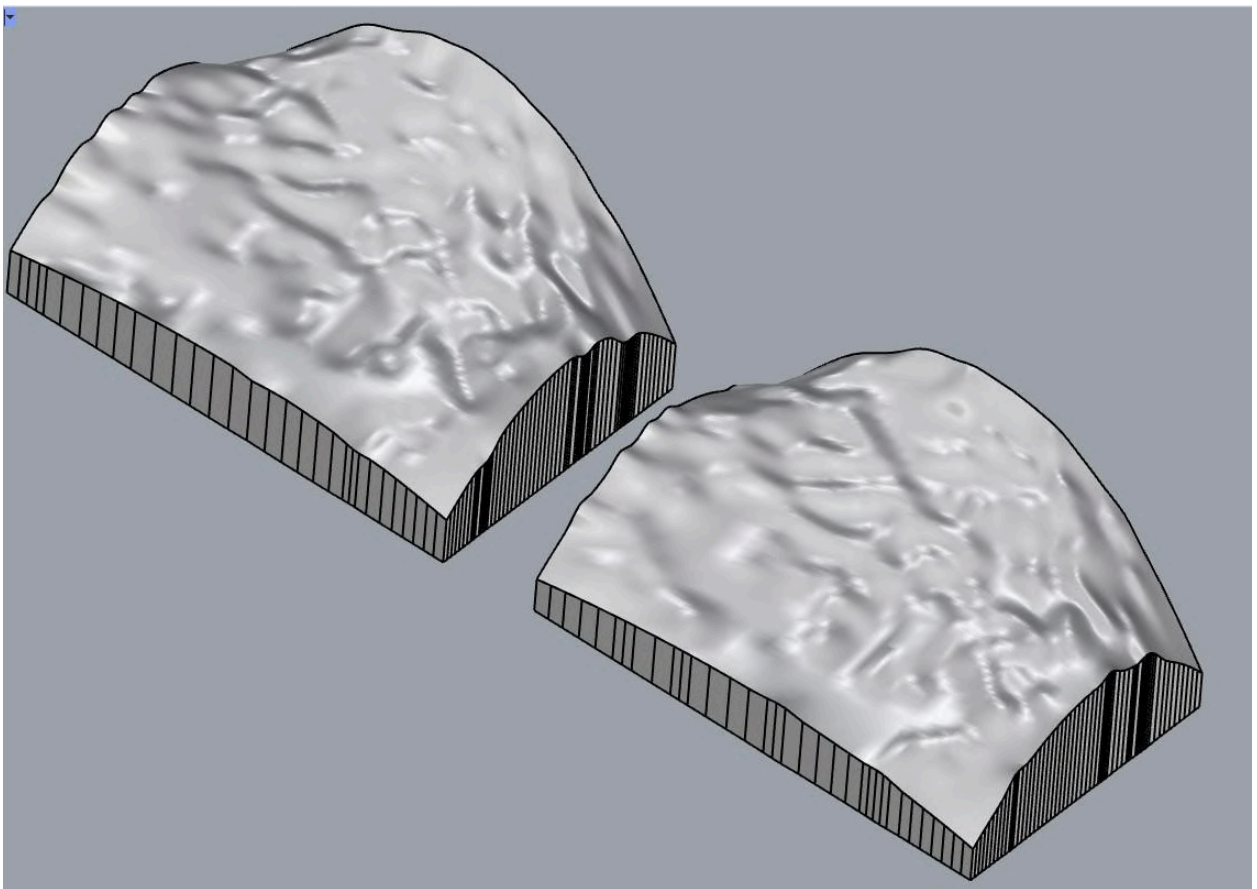
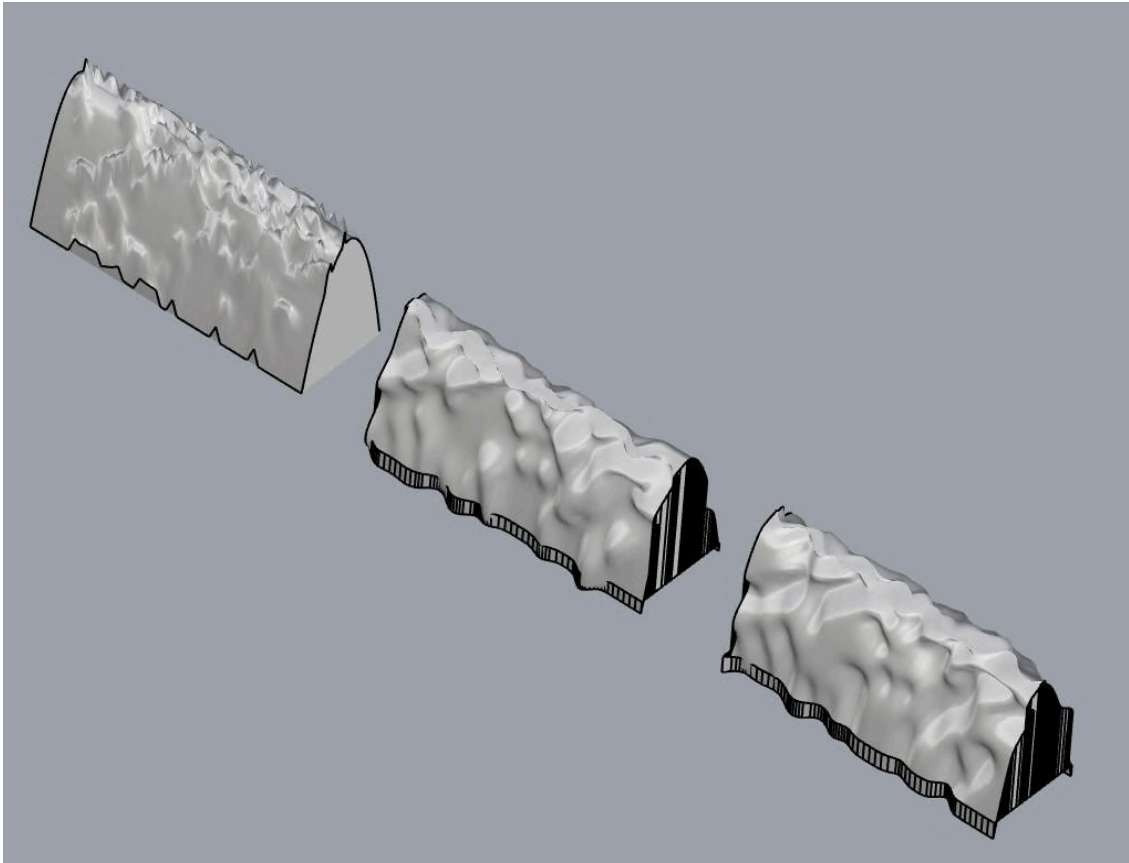


**APÊNDICE B:** Modelos sólidos das peças construídas virtualmente









**APÊNDICE C:** Construção digital do encarte, versão para impressão e versão digital para PDF

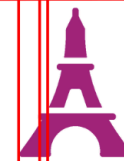


## Você sabe o que está vestindo?

Este lenço é uma forma de comunicação subliminar que visa compartilhar a ciência, explorando a criatividade. Ele estampa a metalografia de um ferro fundido. A metalografia é como se fosse a digital dos materiais metálicos, cada material tem características diferentes umas das outras, e a imagem impressa nesse lenço foi feita em um microscópio que permite enxergar os detalhes do material em questão, fazendo com que esse universo saia da sala de aula e venha até suas mãos.

**Você sabia que o ferro fundido, também conhecido como FOFO, está presente no cotidiano das pessoas?**

Sim, o FOFO está presente em diversos objetos, desde móveis e utensílios para casa, peças, engrenagens e até mesmo grandes construções como a Torre Eiffel.



## Mas o que é o STEAM?

Esta sigla significa Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática, uma abordagem que entende a importância de combinar conhecimentos e saberes diversos, a fim de criar coisas que levam em conta os diferentes campos do conhecimento e comunicação e os conecta como um fio condutor.



Criado por: Brendon Willian Guedes Barbosa



S T E A M

## Você sabe o que está vestindo?

Este lenço é uma forma de comunicação subliminar que visa compartilhar a ciência, explorando a criatividade. Ele estampa a metalografia de um ferro fundido. A metalografia é como se fosse a digital dos materiais metálicos, cada material tem características diferentes umas das outras, e a imagem impressa nesse lenço foi feita em um microscópio que permite enxergar os detalhes do material em questão, fazendo com que esse universo saia da sala de aula e venha até suas mãos.

**Você sabia que o ferro fundido, também conhecido como FOFO, está presente no cotidiano das pessoas?**

Sim, o FOFO está presente em diversos objetos, desde móveis e utensílios para casa, peças, engrenagens e até mesmo grandes construções como a Torre Eiffel.



## Mas o que é o STEAM?

Esta sigla significa Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática, uma abordagem que entende a importância de combinar conhecimentos e saberes diversos, a fim de criar coisas que levam em conta os diferentes campos do conhecimento e comunicação e os conecta como um fio condutor.



**Aplicando o**

**S T E A M**



## Você sabe o que está vestindo?

Este lenço é uma forma de comunicação subliminar que visa compartilhar a ciência, explorando a criatividade. Ele estampa a metalografia de um ferro fundido. A metalografia é como se fosse a digital dos materiais metálicos, cada material tem características diferentes umas das outras, e a imagem impressa nesse lenço foi feita em um microscópio que permite enxergar os detalhes do material em questão, fazendo com que esse universo saia da sala de aula e venha até suas mãos.

**Você sabia que o ferro fundido, também conhecido como FOFO, está presente no cotidiano das pessoas?**



Sim, o FOFO está presente em diversos objetos, desde móveis e utensílios para casa, peças, engrenagens e até mesmo grandes construções como a Torre Eiffel.



### **Mas o que é o STEAM?**

Esta sigla significa Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática, uma abordagem que entende a importância de combinar conhecimentos e saberes diversos, a fim de criar coisas que levam em conta os diferentes campos do conhecimento e comunicação e os conecta como um fio condutor.





**Criado por: Brendon Willian Guedes Barbosa**