



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**DESIGN DE ORIGAMI PARA A ÁREA MÉDICA: METODOLOGIAS
PROJETUAIS DE DOBRADURAS PARA INSTRUMENTOS
CLÍNICOS E CIRÚRGICOS**

SAMANTA ALINE TEIXEIRA

BAURU/SP

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

SAMANTA ALINE TEIXEIRA

**DESIGN DE ORIGAMI PARA A ÁREA MÉDICA: METODOLOGIAS
PROJETUAIS DE DOBRADURAS PARA INSTRUMENTOS
CLÍNICOS E CIRÚRGICOS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP - Campus Bauru, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Design.

Orientador: Prof. Dr. Galdenoro Botura Junior

Coorientadora: Profa. Dra. Thaís Regina Ueno Yamada

BAURU/SP

2023

T266d Teixeira, Samanta Aline
Design de Origami para a área médica : metodologias
projetuais de dobraduras para instrumentos clínicos e cirúrgicos
/ Samanta Aline Teixeira. -- Bauru, 2023
173 f. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru
Orientador: Galdenoro Botura Junior
Coorientadora: Thaís Regina Ueno Yamada

1. design. 2. origami. 3. produtos médicos. 4. prototipagem
rápida. 5. Impressão tridimensional. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE SAMANTA ALINE TEIXEIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 24 dias do mês de abril do ano de 2023, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de SAMANTA ALINE TEIXEIRA, intitulada **Design de origami para a área médica: Metodologias projetuais de dobraduras para instrumentos clínicos e cirúrgicos**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professor Associado GALDENORO BOTURA JUNIOR (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Programa de Pos-graduacao em Design / Faculdade de Arquitetura Artes Comunicacao e Design - Campus de Bauru, Professor Doutor JOSE ANGELO BARELA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação Física / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP, Professora Associada MARIA GABRIELA BAUMGARTEN KUSTER UYEDA (Participação Virtual) do(a) Departamendo de Ginecologia / Unifesp/EPM, Professor Doutor LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Energia / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, Professor Associado JOÃO CARLOS RICCÓ PLACIDO DA SILVA (Participação Virtual) do(a) Universidade Federal de Uberlândia. Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Professor Associado GALDENORO BOTURA JUNIOR



A autora agradece o apoio recebido da FAPESP – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo, por meio do Projeto nº 2018/21396-3, para o desenvolvimento deste trabalho.

“Para sermos criativas precisamos de tempo. O tempo é um bem sagrado, e as mulheres devem aprender a cuidar dele, pois defendem o tempo dos demais e não o próprio. Devemos procurar juntas estratégias que permitam que os sonhos se transformem em realidade, tendo o cuidado de não sermos castigadas por nós mesmas diante de tamanho arrebatamento de liberdade. Deixamos a imaginação voar, fazemos projetos, admitimos os encontros casuais, deciframos as mensagens e nos espantamos diante da torrente de energia que volta a circular. Essa visão me sustenta e me guia na convicção de pensar que nós, mulheres, somos os pilares do futuro.”

Laura Gutman

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Sora.

Sempre que você adorar ser você mesmo, serei eu te amando. Porque você é uma coisa extraordinária, você é um ser humano.

A todas as mulheres do Brasil e do mundo. Este trabalho é um lembrete de que lutar pelos nossos direitos, pela nossa dignidade e por nossa felicidade vale a pena. Sempre. Transformemos nossas dores e traumas em ações políticas, em conquistas pessoais/profissionais e especialmente em sororidade. Eu vejo vocês. Estamos juntas.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, por financiar esta pesquisa.

À UNESP, funcionários e professores, por possibilitar a experiência de se fazer ciência.

Ao meu orientador, Professor Galdenoro Botura Junior, por confiar em meu trabalho e me ajudar a organizar tudo com paciência e sabedoria.

À minha coorientadora, Professora Thaís Regina Ueno Yamada, pelo apoio e auxílio dentro e fora da pesquisa.

Ao meu marido, Marcel Miyamura Bonilha, por todo o ensino de física, mecânica clássica e a construção de conhecimento na área de exatas como um todo.

Aos médicos pesquisadores Maria Gabriela Baumgarten Kuster Uyeda, Alexandre Kim Sangalan Sasaoka e Mariane Nunes de Nadai, pela orientação dentro da área médica.

Ao professor Luis Carlos Paschoarelli e ao amigo Guilherme da Silva Bertolaccini, do Laboratório de Ergonomia e Interfaces - LEI, pelo auxílio nos testes de força.

Aos amigos Erica Tiemi Tobaró e Gabriel Gonçalves Veagnoli, pela paciente orientação técnica na utilização de maquinários, especialmente com a impressora 3D.

Ao professor Fausto Orsi Medola, pelo acolhimento dentro do Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos – CADEP.

Às empresas Kolplast, Similar e Compatível, American Instruments, Cheiro Verde Ambiental, Estre Aterro Sanitário e USP de Bauru, pelas visitas técnicas e contribuição de informações dentro do ramo mercadológico, logístico, ambiental e científico.

À todas as mulheres que responderam ao questionário sobre conforto do exame Papanicolau.

A todos os médicos que responderam ao questionário sobre instrumentais de saúde.

Ao Professor Dorival Campos Rossi, por ter sido o primeiro a acreditar no meu trabalho.

Às mulheres da minha vida: minha mãe Maria José, meu braço direito e minha irmã Melissa, meu braço esquerdo. Aos homens da minha vida: meu filho Sora, meu combustível para ser sempre uma versão melhor de mim todos os dias, meu marido Marcel, meu pai Pedro, meus irmãos Vinícius e Pedro. Aos meus sogros Lizete e Ricardo, por todo auxílio diário sem questionamentos. Aos meus amigos: Laís, Giovana, Yumi, Tiago, Daniela, Ana e Diogo, por todas as conversas, cartas, comemorações e brincadeiras.

Eu amo todos vocês e devo-lhes tudo o que sou.

Muito obrigada!

RESUMO

O origami é uma técnica artística ancestral que transforma o papel em diferentes formatos simples ou complexos por meio de dobras. Hoje essa forma de arte evoluiu em grande escala e está sendo incorporada em diversas tecnologias de produtos, na arquitetura, moda, engenharia espacial e na ciência de materiais. Na área médica o origami está ganhando especial atenção dos pesquisadores, pois seus métodos de design têm alcançado as mais inúmeras soluções inovadoras em formas e estruturas com multifuncionalidades. Considerando que designers partem do pressuposto de buscar soluções para problemas do cotidiano, e tendo como pano de fundo incontáveis possibilidades de ações afirmativas em uma área tão cara à sociedade como a da saúde, a presente pesquisa aborda sobre o design de origami aplicado em produtos médicos e como é possível projetar melhorias de instrumentos clínicos e cirúrgicos utilizando métodos baseados nas dobraduras de papel. Questionários e entrevistas foram realizados para profissionais da medicina e pacientes elencarem produtos que apresentam problemas de uso. Dois instrumentos mais mencionados foram escolhidos como objetos de foco investigativo: o espéculo vaginal e a bolsa de morcelamento laparoscópica, cujas especificações foram levantadas com visitas técnicas em fabricantes responsáveis. As hipóteses da pesquisa são de que as melhorias dos instrumentos nos aspectos de formas, fabricação e sustentabilidade são alcançadas por meio do design de origami. A pesquisa tem por objetivo principal gerar conhecimento em design de origami aplicado à medicina, e por objetivos específicos elaborar metodologias projetuais e novos designs adaptados de origamis para instrumentos médicos, juntamente com avaliação e discussão dos resultados. O material e métodos abrangem a engenharia reversa da orimimética, estudos de forma e função em papel, construção e adaptação de padrões de vincos de origamis tesselações, testes de força por dinamômetro, desenho de mecanismos compatíveis e prototipagem rápida com máquina de corte a laser e impressão 3D tipo FDM com filamento em PLA. Os resultados da pesquisa são da ordem de três constatações: o ensaio de força dos origami tesselações demonstrou ser um método eficaz de comparação e de escolha de designs mais eficientes para aplicação em produtos médicos, além da descoberta de comportamento de deformação não-linear dos origamis, uma vantagem de redução de impacto que pode ser aplicada em produtos como amortecedores; o novo design proposto para a bolsa de morcelamento apresentou um aproveitamento de 20% a mais da matéria-prima e uma diminuição espacial de 97,5% quando está dobrada, além da diminuição de custo de produção pela substituição do nitinol por um fecho de plástico denso; o novo design proposto para o espéculo vaginal apresentou melhorias econômicas fabris devido à substituição da injeção de plástico pela impressão 3D e a substituição das três peças integrantes por uma única peça, além da facilitação de escalabilidade para diferentes corpos e melhorias sustentáveis pelo uso do polímero PLA. Estudos futuros foram indicados para testagem de outras técnicas e alternativas em formas do espéculo vaginal, uso de tratamentos em materiais e de polímeros biocompatíveis e testagem ergonômica dos novos designs propostos com avaliação de conforto às pacientes e usabilidade aos profissionais de saúde.

Palavras-chaves: design de origami; instrumentos médicos; espéculo vaginal; bolsa de morcelamento; impressão 3D.

ABSTRACT

Origami is an ancient artistic technique that modifies paper into different simple or complex shapes by folding it. Today this art form has evolved on a massive scale and is being incorporated into countless product technologies, architecture, fashion, space engineering, and materials science. In the medical area, origami is gaining special attention from researchers, as its design methods have reached the most innumerable innovative solutions in shapes and structures with multi-functionality. Considering that designers start from the search for resolutions to everyday problems, and against the backdrop of countless possibilities for affirmative action in an area as dear to society as health, this research addresses origami design applied to medical products and how it is possible to design improvements of clinical and surgical instruments using methods based on paper folding. There was an application of questionnaires and interviews for medical professionals and patients to list products with functional problems. From the answers, there is a research focus on the two most mentioned instruments: the vaginal speculum and the laparoscopic morcellation bag, with a survey of specifications through technical visits to factories of these instruments. The research hypotheses are that origami design enables improvements in forms, manufacturing, and sustainability of medical tools. The main objective of the research is to generate knowledge in origami design applied to medicine, and for specific objectives to elaborate project methodologies and new products adapted from origami to medical instruments, together with evaluation and discussion of the results. The material and methods cover the reverse engineering of orimimetic, studies of form and function on paper, adaptive design of tessellation origami crease patterns, dynamometer strength tests, design of compatible mechanisms, and rapid prototyping with laser cutting machine and FDM-type 3D printing with PLA filament. The research results are of the order of three findings: the test of the strength of origami tessellations proved to be an effective method of comparison and choice of more efficient designs for application in medical products, in addition to the discovery of non-linear deformation behavior of origami, an impact reduction advantage relevant for application in products such as shock absorbers; the new product design for the morcellation bag showed 20% more use of the raw material and a 97.5% spatial reduction when it is folded, in addition to reducing production costs by replacing nitinol with a plastic closure dense; the new product design for the vaginal speculum presented manufacturing economic improvements due to the replacement of plastic injection by 3D printing and the replacement of the three integral parts by a single piece, in addition to facilitating scalability for different bodies and sustainable improvements by the use of PLA polymer. We indicate future studies for testing other techniques and alternatives in the shape of the vaginal speculum, use of treatments in materials and biocompatible polymers, and ergonomic testing of the proposed new designs with an evaluation of comfort for patients and usability for health professionals.

Keywords: origami design; medical instruments; vaginal speculum; morcellation bag; 3D printing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	: Os tipos de design de origami e suas características.	22
Figura 2	: Principais pesquisas de design de origami na área médica.	23
Figura 3	: Instrumento Espécuro Vaginal.	25
Figura 4	: Processo de dobragem da bolsa de morcelamento.	26
Figura 5	: Fluxograma de delimitação da pesquisa.	27
Figura 6	: A escala de dobras na natureza.	28
Figura 7	: Princípio de funcionamento das dobras.	30
Figura 8	: Padrões de vincos de origamis.	30
Figura 9	: Tipos de DOFs de um corpo rígido.	31
Figura 10	: Tipos e quantidade de DOFs da mão humana.	32
Figura 11	: Exemplo de origami com 1 DOF.	32
Figura 12	: Adaptações dos vincos de papel para materiais rígidos.	33
Figura 13	: Origami do tipo tesselação Waterbomb.	37
Figura 14	: Comportamento auxético do origami Waterbomb.	38
Figura 15	: Esquema de Impressora 3D do tipo FDM.	42
Figura 16	: Comparação das tecnologias em impressão 3D.	43
Figura 17	: Princípio da impressão 4D.	44
Figura 18	: Design de origami para impressão 4D.	45
Figura 19	: Impressão 3D de padrão de vincos multimateriais.	46
Figura 20	: Facetas macho e fêmea e o vinco adaptados para impressão 3D.	46
Figura 21	: Mecanismo compatível de garra.	47
Figura 22	: Oriceps - mecanismo compatível de pinça.	47
Figura 23	: D-CORE – mecanismo compatível de dobradiça.	48
Figura 24	: Montagem de origami por linhas.	49
Figura 25	: Esquema das etapas do exame Papanicolau com espécuro vaginal.	50
Figura 26	: Espécuro vaginal da Idade Antiga, século III.	51
Figura 27	: Espécuro vaginal da Idade Contemporânea, ano de 1847.	51
Figura 28	: Exame ginecológico de toque praticado em 1822, na França.	52
Figura 29	: Espécuro de Sims e seu uso com um afastador.	53
Figura 30	: Espécuro Pederson e Graves de aço inoxidável.	54
Figura 31	: Espécuro vaginal FemSpec.	55
Figura 32	: Espécuro vaginal para pacientes com prolapso genital.	56
Figura 33	: Espécuro vaginal Lotus.	56

Figura 34	: Espécuro vaginal Yona.	57
Figura 35	: Insensor para colposcópico, uma alternativa ao espécuro tradicional.	58
Figura 36	: Tecido de revestimento Nella VuSleeve para espécuro.	59
Figura 37	: Espécuro vaginal feito com impressão 3D.	60
Figura 38	: Videocirurgia por laparoscopia.	61
Figura 39	: Primeira experimentação laparoscópica por Georg Kelling, em 1901...	62
Figura 40	: Videocirurgia por laparoscopia com uma única incisão.....	62
Figura 41	: Tipos de cirurgias laparoscópicas.....	63
Figura 42	: Pequena bolsa de morcelamento para biópsias.	64
Figura 43	: Bolsas de morcelamento EcoSac de diversos volumes.	64
Figura 44	: Processo de inserção da EcoSac no abdômen.	65
Figura 45	: Instruções de uso da EcoSac.....	65
Figura 46	: Bolsa de morcelamento More Cell Bag.....	66
Figura 47	: Processo de funcionamento da More Cell Bag.....	66
Figura 48	: Destino dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil em 2017.	68
Figura 49	: Municípios com iniciativas de coleta seletiva no Brasil em 2017.....	69
Figura 50	: Destinação do Lixo Hospitalar nos municípios em 2017.....	70
Figura 51	: Requisitos de projeto para atender minorias sociais.....	71
Figura 52	: Tipos de qualidades atuantes no design de produtos.....	72
Figura 53	: Fluxograma de elaboração da metodologia de pesquisa.	73
Figura 54	: Porcentagem de mulheres e os níveis de desconforto.	76
Figura 55	: Depoimentos das pacientes sobre o uso do espécuro no exame.....	77
Figura 56	: Alguns setores da fabricante de espécuro vaginal cirúrgico.....	78
Figura 57	: Espécuro vaginal de metal e poliamida, cedido pela empresa.....	79
Figura 58	: Linhas de montagens, testes e confecções de peças da fabricante.	79
Figura 59	: Processo de fabricação do espécuro vaginal cirúrgico.	80
Figura 60	: Visita à fabricante de espécuro vaginal descartável.	81
Figura 61	: Tamanhos dos espécuros vaginais descartáveis.	82
Figura 62	: Espécuros vaginais descartáveis, cedido pela empresa.	82
Figura 63	: Visita à laboratório de ginecologia na USP.....	83
Figura 64	: Demonstração de inserção do espécuro no boneco vaginal.....	83
Figura 65	: Diferentes setores da fabricante nacional da bolsa de morcelamento. ...	84
Figura 66	: A bolsa de morcelamento e o introdutor, cedidos pela empresa.	84
Figura 67	: Instrumentos para videolaparoscopia feitos na empresa.	85

Figura 68	: Processo de fabricação da bolsa de morcelamento.....	86
Figura 69	: Empresa de tratamento de resíduos de serviços de saúde.	87
Figura 70	: Processo da autoclavagem.....	88
Figura 71	: Duas autoclaves e o triturador.	89
Figura 72	: Setores de tratamento de água e transporte do lixo hospitalar.	89
Figura 73	: Resíduos aguardando para serem autoclavados.	89
Figura 74	: Sistema de camadas projetadas do aterro sanitário.	91
Figura 75	: Processo de funcionamento do aterro sanitário.	91
Figura 76	: Diferentes etapas e setores do aterro sanitário.	93
Figura 77	: Variáveis de design de origami para instrumentais médicos.....	94
Figura 78	: Variáveis de atuação para design de espéculo vaginal.....	96
Figura 79	: Variáveis de atuação para design de bolsa de morcelamento.....	96
Figura 80	: Requisitos de melhoria de design para espéculo vaginal.	97
Figura 81	: Requisitos de melhoria de design para bolsa de morcelamento.....	97
Figura 82	: A máquina de corte a laser Due Nxt.....	99
Figura 83	: A impressora 3D Sethi3D S3X.	99
Figura 84	: Construção geométrica modular das amostras.	101
Figura 85	: Desenho e vincagem das amostras com corte a laser.	102
Figura 86	: As quatro amostras vincadas e dobradas.	102
Figura 87	: Desenho Técnico 1 da base para o teste de força.	103
Figura 88	: Desenho Técnico 2 da base e peças para o teste de força.	104
Figura 89	: A mesa suporte construída, no dia da coleta dos testes.	104
Figura 90	: Fixação do origami no sistema de captação de força.	105
Figura 91	: Curva de força e deformação para padrão A em tração.	108
Figura 92	: Curva de força e deformação para padrão B em tração.....	108
Figura 93	: Curva de força e deformação para padrão C em tração.....	109
Figura 94	: Curva de força e deformação para padrão D em tração.	109
Figura 95	: Curva de força e deformação para padrão A em compressão.	110
Figura 96	: Curva de força e deformação para padrão B em compressão.	110
Figura 97	: Curva de força e deformação para padrão C em compressão.	111
Figura 98	: Curva de força e deformação para padrão D em compressão.	111
Figura 99	: Fluxograma de seleção das melhores tesselações.	114
Figura 100	: Módulos iniciais de repetição do origami A.....	115
Figura 101	: Módulos de repetição do origami B.	115

Figura 102	: Módulos de repetição do origami A ajustados na diagonal.....	116
Figura 103	: Design austríaco da bolsa de morcelamento.	116
Figura 104	: Design austríaco da bolsa possui 2 entradas.....	117
Figura 105	: Design brasileiro da bolsa de morcelamento.....	117
Figura 106	: Diferenças de entradas entre design austríaco e brasileiro.....	118
Figura 107	: Modificação dos limites da bolsa para linhas retas.	118
Figura 108	: Aproveitamento de matéria-prima para a Safe Bag.	119
Figura 109	: Aproveitamento de matéria-prima do novo design Origami Bag.	119
Figura 110	: Testes de inserção do origami A na bolsa.	120
Figura 111	: Testes dobrados do origami A.....	120
Figura 112	: Testes de inserção do origami B na bolsa.	121
Figura 113	: Testes dobrados do origami B.....	121
Figura 114	: Variação de ângulos do origami B.	122
Figura 115	: Testes dobrados das variações de ângulos do origami B.	122
Figura 116	: Bolsa de morcelamento em papel com design do origami B.	123
Figura 117	: Autodobragem por linha com design do origami B.	123
Figura 118	: Frente e verso do design da bolsa com origami B e o local dos furos.	124
Figura 119	: Processo de simplificação do padrão de vincos da bolsa.	125
Figura 120	: Design da Origami Bag.	125
Figura 121	: Origami Bag em papel.....	126
Figura 122	: Processo de modelagem e acabamento da Origami Bag em plástico... ..	127
Figura 123	: Acabamento em ilhós para autodobragem com linha.....	127
Figura 124	: Transposição em papel do design tradicional do espéculo vaginal.	128
Figura 125	: Testes de dobras em papel para o invólucro estrutural.....	128
Figura 126	: Impressão do Oriceps na Sethi3D S3X.	129
Figura 127	: Impressão do D-Core na Sethi3D S3X.....	129
Figura 128	: Processo adaptativo do Oriceps para a forma do espéculo.....	130
Figura 129	: Estudo de formas para o design de espéculo.....	131
Figura 130	: Estudo de ângulos para o design de espéculo.....	131
Figura 131	: Processo de vincagem e corte a laser.	132
Figura 132	: Testes de ângulos de abertura do Ori Espec de papel.	132
Figura 133	: Estudo de formas de papel para espéculo com invólucro acoplado.	133
Figura 134	: Impressão de dobra em PLA (em branco) e TPU (em preto).....	134
Figura 135	: Dobra em PLA (à esq.) e em PLA com TPU (à dir.).....	134

Figura 136	: Primeiras impressões multimateriais do Miura-Ori.	134
Figura 137	: Miura-Ori com sistema de encaixe macho e fêmea.....	135
Figura 138	: Impressão do Miura-Ori com o encaixe macho e fêmea.	136
Figura 139	: Teste design de espéculo com invólucro e encaixe macho-fêmea.	136
Figura 140	: Processo de construção do design do Ori Espec para material rígido..	137
Figura 141	: Modelagem e fatiamento no Fusion 360 e Ultimaker Cura.	138
Figura 142	: Diferentes espessura do Ori Espec.	139
Figura 143	: Comparação do design de espéculo tradicional e o novo.....	141
Figura 144	: Compactação e expansão do novo design proposto.	142
Figura 145	: Comparação entre a Safe Bag e a Origami Bag.	142
Figura 146	: Simulação de cirurgia com a bolsa de morcelamento.	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	: Tempo de atuação profissional dos médicos.....	74
Tabela 2	: Cidades onde trabalham.	74
Tabela 3	: Faixa etária das pacientes.....	75
Tabela 4	: Frequência de ida a ginecologista.	75
Tabela 5	: Quantidade de realizações do exame Papanicolau.....	75
Tabela 6	: Questionamento sobre desconforto do exame Papanicolau.....	76
Tabela 7	: Questionamento sobre o espécuro vaginal.	76
Tabela 8	: Características geométricas de cada tipo de amostra origami tesselação.	107
Tabela 9	: Relação das espessuras do Ori Espec.....	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABS: Acrilonitrila Butadieno Estireno
AM: Manufatura Aditiva
BYU: Universidade Brigham Young
CAD: Desenho Assistido por Computador
CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CJP: Jateamento Aglutinante
CNC: Comando Numérico Computadorizado
CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRM: Conselho Regional de Medicina
DLP: Fotopolimerização em Cuba
DNA: Ácido Desoxirribonucleico
DOF: Graus de Liberdade de Movimento
DR: Distância de Retração
EAPs: Polímeros Eletroativos
FDA: U.S. Food and Drug Administration
FDM: Modelagem por Fusão e Deposição
FFF: Fabricação com Filamento Fundido
FOAMs: Músculos Artificiais Acionados por Fluidos e Inspirados em Origami
HIV: Vírus da Imunodeficiência Humana
LED: Diodo Emissor de Luz
LMF: Liga de Memória de Forma
MC: Mecanismo Compatível
MJP: Jateamento de Material
MLEMS: Mecanismos de Lâminas Emergentes Multicamadas
OMS: Organização Mundial da Saúde
PAC: Compósito Impresso Ativamente
PEAD: Polietileno de Alta Densidade
PEEK: Poliéter-Éter-Cetona
PELBD: Polietileno Linear de Baixa Densidade
PET: Polietileno Tereftalato
PETG: Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol
PLA: Ácido Polilático
PMDS: Dimetil Polissiloxano
PMMA: Poli Metacrilato de Metila

POP: Prolapso dos órgãos pélvicos

PVA: Acetato de Polivinila

PVC: Policloreto de Vinila

RSS: Resíduos de Serviços de Saúde

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

SARS-CoV-2: Coronavírus 2 da síndrome respiratória aguda grave

SLS: Sintetização A Laser

SMA: Shape-Memory Alloys

TPU: Poliuretano Termoplástico

TPU: Poliuretano Termoplástico

UFSCAR: Universidade Federal de São Carlos

UNESP: Universidade Estadual Paulista

UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas

UNIFESP: Universidade Federal de São Paulo

US: Ultrassom

USP: Universidade de São Paulo

VAMPs: Estruturas Pneumáticas Ativadas a Vácuo e Inspiradas em Músculos

VR: Velocidade de Retração

SUMÁRIO

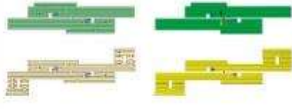
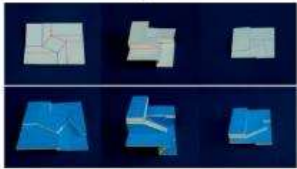
RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	11
LISTA DE TABELAS.....	16
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
1. INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Problematização.....	24
1.2 Hipóteses.....	26
1.3 Objetivos.....	26
1.4 Delimitação da Pesquisa	27
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	28
2.1 Design de origami aplicado à medicina.....	28
2.1.1 DNA Origami.....	33
2.1.2 Pinça cirúrgica.....	35
2.1.3 Stent Cardíaco	37
2.1.4 Músculos Artificiais	38
2.1.5 Microrrobô de origami	40
2.1.6 Mecanismos e montagens.....	41
2.2 Espéculo Vaginal	50
2.2.1 Histórico.....	50
2.2.2 Análise de Similares.....	54
2.3 Bolsa de Morcelamento	60
2.3.1 Histórico.....	60
2.3.2 Análise de Similares.....	63
2.4 Resíduos de Serviços de Saúde.....	67
2.5 Ergonomia de instrumentos médicos.....	70
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	72
3.1 Questionários e escolha dos produtos.....	73
3.2 Visita Técnica 1: Espéculo vaginal de metal	78
3.3 Visita Técnica 2: Espéculo vaginal de plástico	80
3.4 Visita Técnica 3: Laboratório de ginecologia.....	83
3.5 Visita Técnica 4: Bolsa de morcelamento	84

3.6	Visita Técnica 5: Tratamento de lixo hospitalar	87
3.7	Visita Técnica 6: Aterro sanitário	90
3.8	Definição de variáveis e requisitos de melhoria	93
3.9	Método para ensaio de força	100
3.10	Métodos para Bolsa de morcelamento	107
3.10.1	Energia para deformação.....	107
3.10.2	Características da superfície.....	113
3.10.3	Fonte do origami e material.....	126
3.11	Métodos para Espéculo vaginal	127
3.11.1	Características da superfície.....	127
3.11.2	Fonte do origami e material.....	132
3.12	Material: Considerações e possibilidades biocompatíveis.....	140
4.	RESULTADOS.....	140
5.	DISCUSSÃO.....	143
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
	REFERÊNCIAS	153
	GLOSSÁRIO	161
	APÊNDICES	163
	ANEXOS	172

1. INTRODUÇÃO

O origami é uma técnica artística ancestral que transforma o papel plano em diferentes formatos simples ou complexos por meio de dobras. A origem histórica das dobraduras possui diferentes apropriações artísticas e culturais no ocidente e oriente (HATORI, 2011). Esse paralelo entre países com costumes muito distintos fez com que a linguagem do origami construísse grande repertório de possibilidades em formas e estruturas e propiciou o surgimento de métodos de design que estão sendo implementados com sucesso atualmente. Isto porque o origami apresenta técnicas práticas e de fácil acesso, mas que também permite complexidade geométrica, aderência de mais de um tipo de função e formatos diversos em um mesmo artefato. A orimimética, por exemplo, é uma das metodologias de design de origami gerida pelo raciocínio da engenharia reversa que possui a capacidade de conceber projetos de produto de maneira análoga aos origamis de papel e tendo, por consequência, dobras mecânicas que diminuem as dimensões do artefato (GREENBERG et al., 2011). Os projetos de pesquisas e tecnologias em origami são inúmeros e em constante expansão (TEIXEIRA; BOTURA JR; YAMADA, 2020a), eles abrangem diversas áreas do conhecimento, possuem vasto repertório de metodologias teóricas e práticas e geralmente caminham junto com ascensão de novos tipos de materiais, designs de formas e estruturas completamente inéditos, novos processos de automatização e manufatura, e inovação em vários níveis como a incorporação de multifuncionalidades, sustentabilidade e acesso mais horizontal aos usuários (TEIXEIRA; BOTURA JR; YAMADA, 2020b). Para citar algumas dessas tecnologias e pesquisas, têm-se a atuação do origami na área do design de produtos (FRANCIS et al., 2014; MERALI, 2011; MORGAN et al., 2016), design de moda (CABRAL et al., 2015; KNITTEL et al., 2015), arquitetura (SORGUÇ; HAGIWARA; SELÇUK, 2009; STROBL, 2010; TACHI, 2011), biologia molecular e genética (IWAKI et al., 2016; KUZUYA et al., 2011; RAAB et al., 2017; YANG et al., 2016), engenharia e ciência de materiais (CHEN; PENG; YOU, 2015; CHEN et al., 2019; FRANCIS et al., 2013; OVERVELDE et al., 2017), tecnologias espaciais (HYDE et al., 2002; LANG, 2004; ZIRBEL et al., 2013), e robótica (FELTON et al., 2014). Para se compreender melhor o caráter de cada uma das atividades de pesquisa dentro deste tema, alguns autores (FRANCIS et al., 2014) dividiram-nas em áreas de atuação: design de origami norteado pela inspiração e pela adaptação, conforme ilustra a figura 1.

Figura 1: Os tipos de design de origami e suas características.

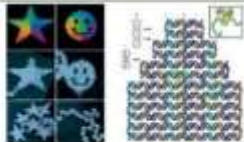
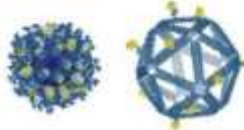




TIPO DE PESQUISA EM DESIGN DE ORIGAMI	Inspiração	Adaptação
EXEMPLO DE PESQUISA	Kuzuya et al., 2011 	Chen, Peng e You, 2015 
FORMA ASSOCIADA	Abstrata, subjetiva	Concreta, objetiva
ESTRATÉGIA TÉCNICA	Raciocínio das dobras	Mecanismo das dobras
ÁREAS DE ATUAÇÃO	Biologia molecular, nanotecnologia, bioquímica, ciências de materiais, multidisciplinaridades	Engenharias, robótica, ciências tecnológicas, ciências de materiais, multidisciplinaridades

Fonte: Elaboração da autora.

O design inspirado no origami (KUZUYA et al., 2011) tem enfoque no raciocínio das dobras, ou seja, investigando e aplicando o funcionamento do origami enquanto paradigma de uma forma subjetiva, sendo que esta área possui pesquisas aplicadas em microbiologia, farmacologia, bioquímica, biologia molecular, e genética. O design de adaptação do origami (CHEN; PENG; YOU, 2015) se orienta pelos mecanismos das dobras ou orimimética, isto é, pesquisando e projetando o origami como objeto ou estrutura e tendo pesquisas com enfoque no funcionalismo e criatividade nas ciências sociais aplicadas, como o design de produtos, engenharia de materiais e tecnologias na área da astronomia. No entanto, existem as áreas multidisciplinares que transitam por ambos os segmentos de inspiração e adaptação, ou seja, são domínios que se preocupam tanto com o raciocínio quanto com o mecanismo das dobras: é o caso da matemática, ciências da computação, nanotecnologia, ciências de materiais e medicina - esta última área com enfoque na presente pesquisa. Dentro do ambiente cirúrgico há uma necessidade cada vez maior das ferramentas serem compactas para facilitar a esterilização e fabricação a custos mais baixos (GREENBERG et al., 2011). Além da otimização da produção automatizada, a orimimética, ou ainda, o design de dobras mecânicas, surge com o escopo de melhorar a experiência do usuário. No caso dos médicos e pacientes, tanto em nível ambulatorial quanto cirúrgico, este tipo de metodologia projetual propicia melhorias na mudança de forma em expansão e compactação dos instrumentais durante os procedimentos. A revisão de artigos sobre estruturas de origami aplicadas em dispositivos médicos (JOHNSON et al., 2017) aponta para a importância do tema de pesquisa nos últimos 10 anos. De acordo com Edmondson et al. (2013, tradução da autora): “a indústria de dispositivos médicos é um

mercado em rápida evolução e altamente competitivo. A inserção da robótica cirúrgica intensificou essas qualidades e introduziu um novo conjunto de desafios”. Esses desafios envolvem uma necessária melhoria em todo conjunto de ferramentas médicas disponíveis no momento. O design de origami para desenvolvimento de produtos na área da saúde pode agregar uma série de vantagens como a diminuição de custos de manufatura, simplificação de forma, diminuição de uso de matéria-prima, eliminação de peças adjacentes e/ou sobressalentes como parafusos e dobradiças, e ter ainda a possibilidade de se obter funções multitarefas (JOHNSON et al., op. cit; MERALI, 2011). A modificação de formas mais expandidas para mais compactas é especialmente interessante em ambientes cirúrgicos, onde há uma necessidade das ferramentas serem compactas para viabilizar cirurgias minimamente invasivas (GREENBERG et al., op. cit). Além da otimização de fabricação automatizada e melhorias nas formas e funções dos artefatos médicos, o design de origami surge também com o escopo de melhorar a experiência do usuário: para médicas(os), facilitando o uso dos instrumentais, e para pacientes, sendo submetidas(os) a processos cirúrgicos e/ou ambulatoriais mais rápidos, eficazes e menos invasivos.

Figura 2: Principais pesquisas de design de origami na área médica.

PESQUISA EM DESIGN DE ORIGAMI	TIPO E ÁREAS	FUNÇÕES E VANTAGENS
Rothmund, 2006 	Inspiração Biologia Molecular	• Técnica de compactação do material genético; • Melhorias em estequiometria e purificação.
Veneziano et al., 2020 	Inspiração Ciências de Materiais, Nanotecnologia	• Estruturas proteicas que simulam vírus; • Respostas imunológicas para produção de vacinas,
Kuribayashi et al., 2006 	Adaptação Ciências de Materiais, Nanotecnologia	• Stent cardíaco para cirurgia de angioplastia; • Peça monolítica, economia de matéria-prima, montagens e custos.
Li et al., 2017 	Adaptação Ciências e Tecnologia, Multidisciplinar	• Músculo artificial acionado por fluido; • Levanta cargas e recupera movimentos corporais, design possibilita diversos processos fabris.
Miyashita et al., 2016 	Adaptação Automação, Robótica	• Microrrobô multitarefa para estômago; • Se adapta em pequenos espaços, costura feridas, remove corpos estranhos e entrega medicamentos.
Edmondson et al., 2013 	Adaptação Automação, Ciências de Materiais	• Pinça para cirurgia de laparoscopia; • Estudos de forma em papel rápidos e baratos; • Peça monolítica, economia de matéria-prima, montagens e custos.

Fonte: Elaboração da autora.

Algumas pesquisas foram descritas brevemente na figura acima, mas são diversos os dispositivos voltados à saúde humana que são projetados a partir de design de origami e que possuem atuação em diferentes ramos como a angioplastia, radiologia, gastroenterologia, e em tratamentos diversos, podendo ser endopróteses (KURIBAYASHI et al., 2006), robôs em miniatura para microcirurgias e intervenções clínicas (MIYASHITA et al., 2014, 2015, 2016), micropinças cirúrgicas (BASSIK et al., 2010; EDMONDSON et al., 2013), ataduras terapêuticas (ZHAO et al., 2018), cateterismo cardíaco (CHEN et al., 2015; SCHMIDT et al., 2011; TAYLOR et al., 2016), e mesmo administração de medicamentos mais eficazes (ZHU; LI, 2014). Considerando que designers partem do pressuposto de buscar soluções para problemas do cotidiano, esta pesquisa propõe investigar e elaborar possibilidades de ações afirmativas em uma área tão cara à sociedade como a da saúde por meio do design de origami. Para tal, é realizado um levantamento da problematização de produtos médicos no Brasil, a quem e como afetam, e quais são as possibilidades de atuação do design de origami para resolvê-los ou, pelo menos, minimizá-los.

1.1 Problematização

A abordagem e levantamento da problematização inicia-se por contato com dois médicos ginecologistas e pesquisadores da UNIFESP, M. G. Uyeda e A. Sasaoka, que indicaram dois instrumentais com problemas de uso: o espécuro vaginal e a bolsa de morcelamento para laparoscopia.

O espécuro vaginal é o instrumento médico ginecológico mais antigo que existe (SANDELOWSKI, 2000). Esta ferramenta é voltada para a vigilância e diagnóstico obstétrico e pode ser composta de plástico rígido ou ferro. O espécuro é utilizado no exame de prevenção ao câncer de colo do útero, o teste Papanicolau. Sua origem data desde a antiguidade - por volta de 79 d.C. (ROSSMANN, 2008), com design inalterado até o meio do século XIX. Do meio do século XIX para frente, mais de 400 variações do espécuro “Sims” foram patenteadas. O espécuro de Thomas Graves e Pederson “bico de pato”, em meados de 1870, é o design mais utilizado atualmente. De acordo com os médicos consultados, o espécuro possui uma rigidez de forma que confere ao produto uma série de complicações, como dificuldade de manuseio, dificuldade de adaptação aos diferentes tipos de pacientes, e desconforto ao exame por pressionar demasiadamente o introito. Em pacientes acima do peso, o profissional da saúde se vê obrigado a fazer adaptações precárias e de modo improvisado, com uso adicional de luvas com furos, conforme apresentado na figura abaixo.

Figura 3: Instrumento Espéculo Vaginal.



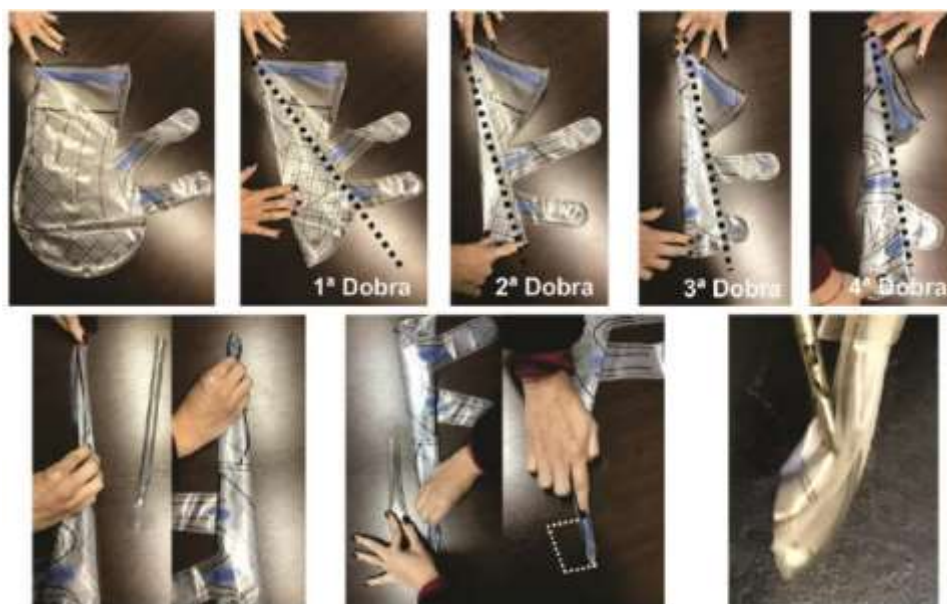
Fonte: Disponível em: <https://youtu.be/kIKBtCm0-BM>. Acesso em 28 mar. 2019.

Além dessa rigidez de formato, verifica-se que, apesar de possuir mais de 1900 anos de existência e com mais de 400 variações de formatos ao longo da história, o espéculo vaginal permanece com mudanças pouquíssimo significativas desde os seus primeiros modelos utilizados (TEIXEIRA; BOTURA JR; YAMADA, 2021).

O outro instrumento citado, a bolsa de morcelamento, trata-se de um produto comumente utilizado na laparoscopia, um tipo de cirurgia minimamente invasiva que permite a visualização direta dos órgãos internos do abdômen humano por meio de pequenas incisões. O início da laparoscopia data de 1901 (AHMED, 2008) e possui avanços tecnológicos relevantes até os dias atuais como, por exemplo, a cirurgia laparoscópica realizada com apenas uma única incisão pelo umbigo (KIM et al., 2010). A bolsa é utilizada para procedimentos como a histerectomia (remoção de partes ou a totalidade do útero), remoção de miomas uterinos (cistos benignos no útero), remoção de vesícula biliar, apêndice intestinal e biópsias para diagnósticos diversos, sendo composta por um plástico biocompatível, um aro metálico em sua principal abertura e um introdutor de plástico mais rígido. Segundo os médicos, a compactação e expansão da bolsa durante a laparoscopia é trabalhosa e complexa, necessitando de muita habilidade, paciência de manuseio e, muitas vezes, do auxílio de outros profissionais, fazendo que o próprio processo de inserção e retirada da bolsa seja mais difícil do que o procedimento cirúrgico em si.

A próxima figura mostra a indicação de dobragem da bolsa pela fabricante nacional, que é completamente manual e sem uma orientação precisa. A bolsa não possui vincos ou qualquer tipo de facilitador no que diz respeito à sua necessária compactação para ser introduzida dentro do abdômen do paciente.

Figura 4: Processo de dobragem da bolsa de morcelamento.



Fonte: Manual de Instruções do fabricante American Instruments.

Contata-se que os dois instrumentos médicos citados possuem uma abertura para melhorias por meio do design de origami. São levantadas, portanto, as hipóteses, objetivos e delimitação da pesquisa.

1.2 Hipóteses

Com relação aos instrumentais médicos espéculo vaginal e bolsa de morcelamento, as hipóteses de melhoria com a adoção de metodologias em design de origami são da ordem:

- Dentro do aspecto de forma por meio de redução de número de peças e escalabilidade facilitada;
- Dentro do aspecto de fabricação por meio de redução de processos e adoção de materiais mais acessíveis financeiramente;
- Dentro da sustentabilidade por meio de diminuição de matéria-prima utilizada, diminuição de tipos de materiais diferentes envolvidos no produto, adesão de materiais de origem sustentável, descarte facilitado e/ou reduzido e/ou reaproveitável.

1.3 Objetivos

A pesquisa tem por objetivo principal gerar conhecimento teórico e experimental em design de origami aplicado à medicina, e por objetivos específicos:

- Elaborar metodologias baseadas em design de origami para instrumentos médicos;

- Elaborar novos designs adaptados de origamis para os instrumentais espéculo vaginal e bolsa de morcelamento;
- Avaliar e discutir possíveis melhorias de formas, fabricação e descarte dos novos designs.

1.4 Delimitação da Pesquisa

A pesquisa possui abordagem exploratória experimental, com procedimento bibliográfico e documental a partir de estudo de caso de origami para o design de espéculo vaginal do tipo *collins* e bolsa de morcelamento para videolaparoscopia, ambos de plástico, de uso único e descartável atualmente, com fabricação de protótipos por meio de máquina de corte a laser e impressão 3D. O fluxograma abaixo ilustra de forma sucinta a delimitação da pesquisa.

Figura 5: Fluxograma de delimitação da pesquisa.



Fonte: Elaboração da autora.

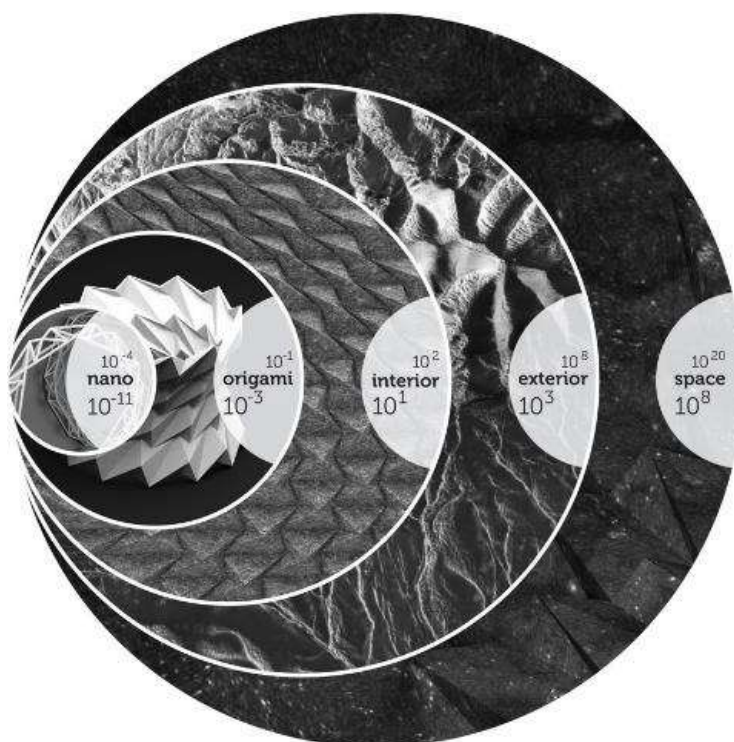
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Design de origami aplicado à medicina

Segundo Gardiner (2018), a escala de dobras na natureza segue a seguinte ordem:

- Nanoescala, na ordem de 10^{-11} a 10^{-4} m. Representam as dobras de DNA e proteínas;
- Origami, na ordem de 10^{-3} a 10^{-1} m. Representam as dobras em papel e outros materiais que são dobrados com métodos de origami;
- Interior, na ordem de 10^1 a 10^2 m. Representam a aplicação de dobras na arquitetura;
- Exterior, na ordem de 10^3 a 10^8 m. Representam as dobras geológicas e a criação de montanhas e vales (onde derivam os termos do origami tradicional dobra vale e dobra montanha);
- Espaço, na ordem de 10^8 a 10^{20} m. Representam a escala de dobra cosmológica da matéria escura.

Figura 6: A escala de dobras na natureza.



Fonte: (GARDINER, 2018, p. 10).

Discutir sobre o que uma dobra realmente é, em sua essência, têm fundamentos tantos filosóficos quanto científicos. Para Gardiner, dobra é uma alteração de forma e que varia de material para material, isto é, em suma, a dobra é um material que carrega algum tipo de força e interação que ele chama de codificação. Desta relação entre matéria, força e codificação é que se extraem as propriedades fundamentais de dobra. Ao observar que a arte japonesa origami pode carregar o ato de projetar dobras, princípio que permeia tanto escalas microscópicas de

DNA quanto escalas macroscópicas de curvatura do espaço, Deleuze infere em sua análise dos estudos do matemático Leibniz que tal paradigma é potente e instigante em diversos aspectos, em especial quando se entende que dobrar e desdobrar são intrínsecos entre si:

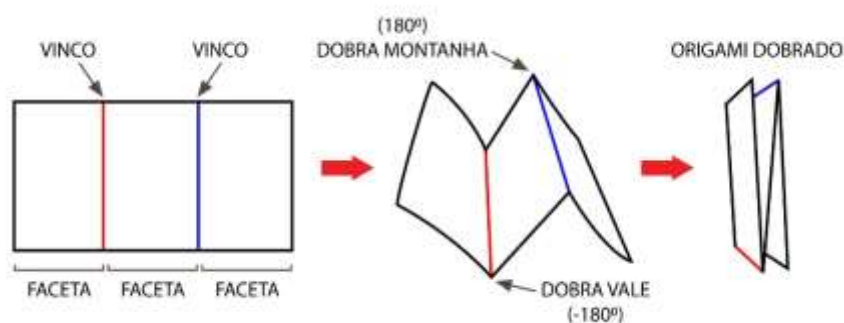
Certamente, a desdobra não é o contrário da dobra nem sua elisão, mas a continuação ou a extensão do seu ato, a condição de sua manifestação. Quando a dobra deixa de ser representada para tornar-se ‘método’, operação, ato, a desdobra vem a ser o resultado do ato que se expressa precisamente dessa maneira (DELEUZE, 1991, p. 60).

De fato, essa característica descrita por Deleuze entre dobrar e desdobrar é o princípio de inovação nos designs de origami, é o que Robert Lang (2010) chama de “pequeno para viagem, grande para o destino”. Desse princípio está resguardada a economia de materiais, processos, montagens, peças, precisão de movimento, usabilidade e funções multitarefas agregadas. Contudo, de acordo com Jackson (2011), apesar de sua importância na concepção de modelos e protótipos, o ato de dobrar é raramente estudado como um tópico em design; ele acredita que os estudos com dobras não são reconhecidos ou são meramente acidentais, sendo uma prática de inspiração rara para os designers dentro do cenário europeu a partir dos anos 1980. Para Jackson, é fundamental que se estabeleça o dobrar como uma ferramenta primária de projeto e, através dela, reintroduzi-la como um tópico essencial no ensino e prática nas escolas de design:

Dobrar a mão é uma tecnologia “baixa” como qualquer atividade baseada no fazer. Você está fazendo algo diretamente com seu corpo (suas mãos) sem a intervenção de uma ferramenta de terceiros, como um lápis, mouse ou agulha. É uma experiência de fazer quase única e talvez não familiar primordialmente. Esta atividade muito básica e prática - especialmente nos ambientes de estúdio de alta tecnologia em design atualmente - pode ser uma experiência muito poderosa e gratificante tanto para o estudante mais jovem quanto para o profissional mais experiente, e não deve ser subestimada ou considerada insalubre ou inadequada (JACKSON, 2011, p. 10, tradução da autora).

Entender o dobrar é entender que existem facetas (o núcleo duro e imutável da estrutura) e vincos (o núcleo mole e mutável da estrutura) e o conjunto dessas duas configurações origina a dobradura.

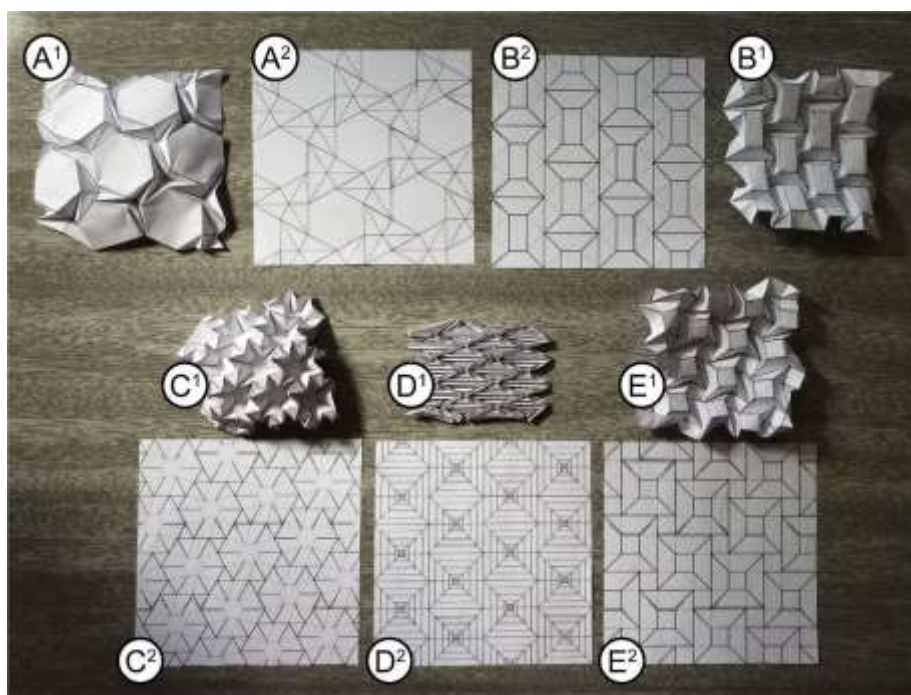
Figura 7: Princípio de funcionamento das dobras.



Fonte: Elaboração da autora.

Os vincos são juntas de dobradiças rotativas formadas a partir da deformação do material, sendo um recurso linear onde ocorrem as dobras (AVILA et al., 2019). Os planos do papel giram para baixo em 180° para formar uma dobra montanha e giram para cima em -180° para formar uma dobra vale (DUREISSEIX, 2012). A combinação destas duas premissas no chamado padrão de vincos define um design específico de origami. Na figura abaixo tem alguns exemplos de origamis dobrados nas letras com numeração um e os respectivos padrões de vincos planificados nas letras com numeração dois.

Figura 8: Padrões de vincos de origamis.

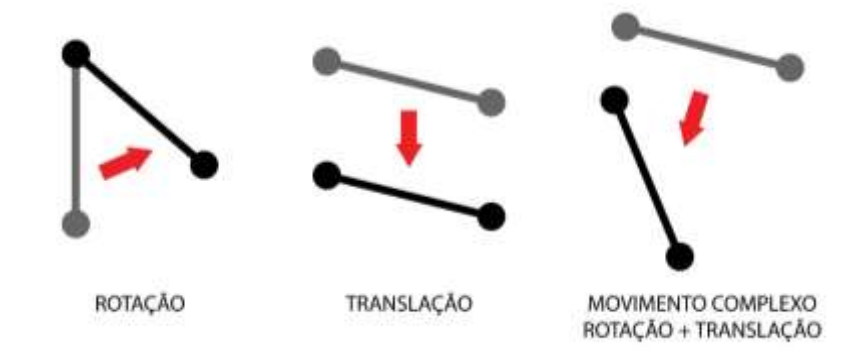


Fonte: Elaboração da autora.

Uma das características de grande teor inovativo em determinados padrões de vincos está no conceito de dobradura planificável (do inglês *flat foldable*), ou seja, uma estrutura dobrável que tem a capacidade de se achatar por completo quando não está em uso (YAMADA, 2016). A dobradura planificável garante que o design seja monolítico, isto é, montado a partir de uma única folha ou estrutura unificada de um ou mais materiais. Desta característica é possível incorporar nos produtos uma economia de peças sobressalentes, linhas de montagem, maior potencial em quantidade e volume de armazenamento em estoques e transporte.

Outra característica dos padrões de vincos é o número dos graus de liberdade, ou DOFs (do inglês *degrees of freedom*) como é mais conhecido. O DOF é um número de parâmetros independentes que definem a posição de um corpo no espaço em qualquer instante, podendo ser um movimento de rotação, translação ou uma união dos dois, no chamado movimento complexo, por meio de juntas que podem ser cilíndricas, rotacionais, esféricas ou prismáticas (BECKER, 2014).

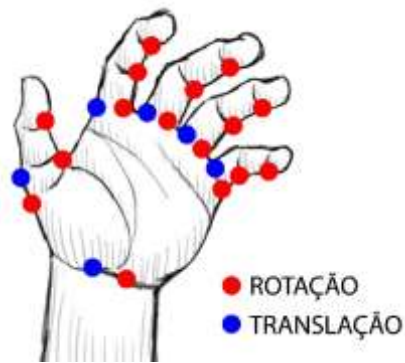
Figura 9: Tipos de DOFs de um corpo rígido.



Fonte: Elaboração da autora.

Uma mão humana, por exemplo, possui vinte e dois DOFs desde o pulso até a ponta dos dedos. Tendo esse tipo de parâmetro elucidado e quantificado, fica mais palpável entender a complexidade de se projetar uma prótese que atenda os mesmos tipos de movimentos e execução de tarefas que uma mão pode realizar.

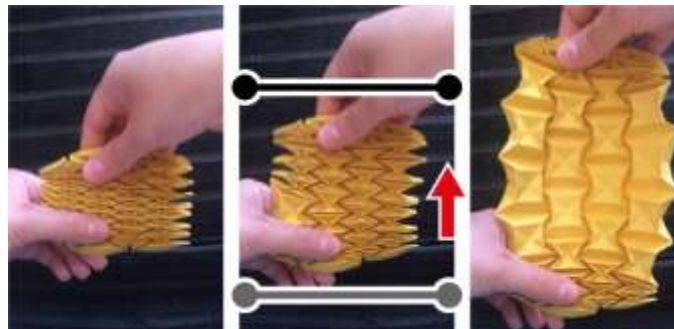
Figura 10: Tipos e quantidade de DOFs da mão humana.



Fonte: Elaboração da autora.

Quando o design de origami entra em cena, os tipos de movimentos de cada dobradura vai de acordo com seu padrão de vincos, isto é, a geometria das dobras define o número de DOFs. Portanto, quanto menos DOFs tiver o origami, mais fácil será de transpô-lo para outros tipos de materiais, além de ter seus movimentos de compactação e expansão mais bem preservados.

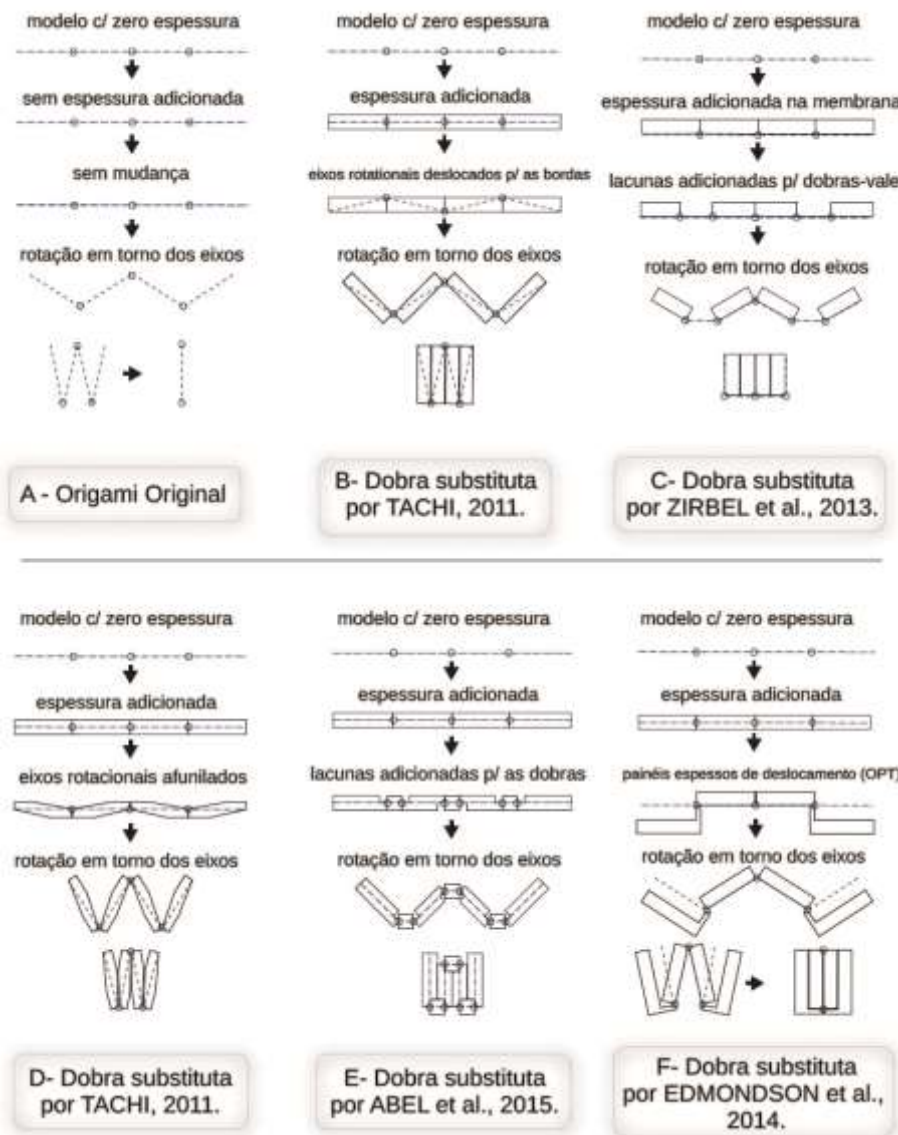
Figura 11: Exemplo de origami com 1 DOF.



Fonte: Elaboração da autora.

Se o modelo de origami é transposto do papel para outros tipos de materiais mais rígidos, adaptações são necessárias no local dos vincos para que a cinemática e a geometria estrutural se preservem. Na figura abaixo, Morgan et al. (2016) fazem uma reunião dos principais designs que transpõem os vincos do papel para juntas adaptativas em materiais rígidos.

Figura 12: Adaptações dos vincos de papel para materiais rígidos.



Fonte: Adaptado de Morgan et al.(2016).

A escolha de um padrão de vincos específico juntamente com o design de adaptação desse origami para materiais rígidos determina uma expansão ou compactação mais eficazes em projetos inovadores como o design de soft origami para airbags automotivos, paraquedas, filtros de ar e estruturas robóticas pneumáticas (BRUTON et al., 2016; MARTINEZ et al., 2012; WHEELER; CULPEPPER, 2016). Para se entender um pouco melhor como se dá a inovação do design de origami aplicado à medicina, alguns trabalhos científicos da área são analisados.

2.1.1 DNA Origami

O design do origami que parte da inspiração não compõe uma conexão direta com as dobraduras, quer dizer, é um tipo de design que não se assemelha visualmente a uma dobradura, mas que assume seus princípios de ação em dobras. Apesar do caráter subjetivo, a inspiração no

origami possui estratégias de projeção bem concretas como a aplicação de dobras em estruturas orgânicas do ácido desoxirribonucleico DNA e cadeias proteicas. Paul Rothemund (2006) foi um dos primeiros a explorar e inserir o raciocínio das dobraduras à biologia molecular, conseguindo desenvolver técnicas de dobras em cadeias do DNA. Essas dobras proporcionaram que as muitas informações contidas no material genético estivessem ainda mais compactas e com uma organização inédita, tendo o pesquisador total controle de que formatos as cadeias podiam ter, desde o desenho de uma estrela, até rostos felizes de emoticons. Enquanto o DNA comum é uma cadeia gigante de informações embaralhadas, o DNA origami de Rothemund tem uma organização estrutural que não se restringe a desenhos visuais, mas que pode evitar problemas químicos importantes como a estequiometria e purificação. A inovação da pesquisa do DNA origami possibilitou que diversos outros pesquisadores dessem continuidade a novas aplicações e descobertas na genética e biologia molecular como Iwaki et al. (2016), que utilizaram o DNA origami para desenvolver uma nanomáquina biológica mecanossensível em formato de mola capaz de influenciar forças mecânicas de diversas células humanas como o crescimento e a morte celular. A pesquisa recente de Veneziano et al. (2020) utilizou a técnica de DNA Origami para projetar estruturas de proteínas espacialmente parecidas com vírus do HIV, sendo aplicadas em vacinas e que ativaram as células B, produzindo assim anticorpos que combatem a doença. Os pesquisadores acreditam que é possível utilizar o mesmo tipo de técnica em vacinas para o vírus da Zika e o SARS-CoV-2, o Coronavírus, doença esta que causou uma pandemia a partir de 2019 até o momento, somando atualmente mais de 760 milhões de casos confirmados e mais de seis milhões de mortes no mundo todo segundo a OMS¹. O DNA Origami é uma técnica de design de nanodispositivos com grande potencial de desenvolvimento de inovações que podem salvar vidas e melhorar processos de curas em novos medicamentos ou mesmo nos já existentes. Há outros métodos de inspiração do origami dentro da microbiologia como a engenharia de tecidos biológicos para o fígado desenvolvida por Mehner et al. (2015). De acordo com os pesquisadores, cada tecido do corpo humano tem uma estrutura única e devido a isso os métodos de design de inspiração no origami são promissores pois conseguem modificar as formas estruturais por meio de dobras, possibilitando diversidade de formas e tecidos diferenciados. Por meio de amostragem de células do fígado, simulações com os softwares Abaqus® e ANSYS Parametric Design Language®, e técnicas de microfabricação, os pesquisadores conseguiram um tecido que se autodobra por hidrólise utilizando dispositivos *scaffold* de origami, isto é, estruturas tridimensionais com partes porosas que promovem a proliferação celular. A seguir, cabe analisar como se dão os projetos de instrumentais médicos dentro do design de adaptação do origami, cujas metodologias são essencialmente distintas do

¹ Números da data de 2 março de 2022. Disponível em: <<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>>. Acesso em 30 mai. 2023.

design de inspiração no origami e que possuem soluções muito particulares de cada área a eles atrelada.

2.1.2 Pinça cirúrgica

Edmondson et al. (2013) afirmam que a indústria de dispositivos médicos é um mercado altamente competitivo e em rápida evolução, sendo que a inserção da robótica cirúrgica intensificou ainda mais esse cenário, ao mesmo tempo em que introduziu um novo conjunto de desafios. Esses desafios envolvem uma necessária melhoria em todo conjunto de ferramentas médicas disponíveis atualmente. Em uma cirurgia é preciso seguir alguns parâmetros pré-estabelecidos para viabilizar a eficácia do procedimento. Essa eficácia pode ter a ver com uma esterilização bem executada, maior facilidade de fabricação dos instrumentais e melhora na qualidade de recuperação da(o) paciente. Para alcançar tais parâmetros os processos cirúrgicos precisam ser minimamente invasivos, uma vez que quanto maiores os cortes, mais expostas ficam as partes internas do corpo e, por consequência, maiores são os riscos de infecções, hemorragias, cicatrizes aparentes, sequelas, recuperação lenta e dores prolongadas. Para viabilizar cirurgias minimamente invasivas, as ferramentas precisam ser as menores possíveis. Dentro das diferentes premissas do design de origami está a ação de modificar formas do estado planificado (ação de entrada) para o estado montado (ação de saída) de maneira simples e rápida. Desse princípio surgiram pesquisas aplicadas em Mecanismos de Lâminas Emergentes Multicamadas MLEMs (em inglês *multi-layer lamina emergent mechanisms*). Os MLEMs são um tipo de design de origami que possui a potencial melhoria de instrumentos cirúrgicos, pois há uma substituição de juntas e pinos dos instrumentos tradicionais para articulações em dobras adaptáveis e que se montam a partir de uma única peça planificada. Desenvolvido a partir dos MLEMs, o Oriceps (EDMONDSON et al., 2013) surgiu como pesquisa para um novo design de fórceps, isto é, um instrumento de mão em formato de pinça com articulações para laparoscopia. Levantando relevantes critérios para o novo design de pinça cirúrgica como a capacidade de força, amplitude de movimento, reutilização, descartabilidade, ângulo de fixação, custo e manufatura, o Oriceps foi projetado a partir do origami Chomper, criado por Jeremy Shafer. Os pesquisadores desenvolveram uma série de estudos de variações de formas do Chomper aplicadas no papel com quatro objetivos de design: vantagem mecânica, adequação do material, rigidez do mecanismo e escalabilidade do produto. Tendo esses objetivos em foco sob a perspectiva de análise quantitativa, a próxima etapa do processo de criação foi a escolha das melhores variações do Chomper em papel com os seguintes critérios de comparação:

1. Dobradura Planificável;
2. Fabricação;
3. Número de DOFs;
4. Vantagem mecânica;

5. Atuação;
6. Superfície e tamanho;
7. Amplitude de movimento.

O primeiro critério está intimamente associado ao conceito de MLEMs, pois a dobradura planejável se conecta diretamente com o segundo critério, que é o da fabricação, uma vez que o modelo em origami planejado consegue eliminar peças adjacentes e etapas de montagem delas. O terceiro critério é o número de DOFs: se o modelo de origami possui apenas um DOF, será mais fácil sua aplicação e preservação cinemática, especialmente levando em conta as diversas possibilidades de adaptação dos vincos. O quarto critério de escolha é a vantagem mecânica, ou seja, eleger qual modelo de papel demanda menos força exercida para se abrir ou se fechar e, assim, evitar desgaste da própria ferramenta e fadiga por parte da(o) cirurgiã(o). Diferente dos demais critérios, que podem ser aplicados metodologicamente em vários tipos de design de origami para produtos em geral, os últimos dois critérios são mais voltados ao fórceps em si. O quinto critério é a relação entre a superfície da garra e o tamanho da ferramenta, ou seja, uma eleição da melhor forma que abarque maior superfície para agarrar mais material cirúrgico e no menor tamanho possível, para continuar atendendo a funcionalidade de procedimento minimamente invasivo. O sexto e último critério é a amplitude do movimento, uma complementação do quinto critério, buscando um modelo que abarque maior abrangência de abertura da pinça para diminuir as restrições de movimentos dentro do corpo da(o) paciente. O protótipo inicial do Oriceps foi fabricado com policarbonato e Delrin®, um tipo de resina de acetal que substitui metais e plásticos de engenharia. Porém, esses materiais foram substituídos posteriormente porque apresentaram muita rigidez que comprometia a deformação das dobras. O segundo protótipo foi fabricado com vidro metálico, material que permitiu alta força de rendimento com movimento controlado e sem deformação plástica. Além do vidro metálico, os pesquisadores também recomendaram o uso de materiais inteligentes como as ligas de memória de forma (que também atende pela sigla LMF), cerâmicas e polímeros que apresentam a característica de retornarem ao estado inicial planejado através de estímulos como o calor. A fabricação foi realizada em uma cortadora a laser, mas em estudo mais recente os pesquisadores chegaram a produzir o Oriceps por impressora 3D também (NELSON et al., 2016). Com a execução dos protótipos, o Oriceps apresentou as mesmas funcionalidades de um instrumental cirúrgico tradicional, mas com a considerável melhoria de ser uma peça única e que pode voltar ao estado planejado para transporte, higienização e armazenamento sem prejudicar sua estrutura ou sua funcionalidade. As principais vantagens de inovação e sustentabilidade proporcionadas pela adoção do design de origami na concepção desse novo fórceps são de duas ordens: os testes em formas e o resultado do produto. Para os testes de formas, os modelos de papel são baratos, acessíveis e fáceis de serem produzidos, possibilitando a produção de muitos tipos de formatos e mecânicas

de dobras para serem testados e comparados entre si na ordem de eleger os que melhor atendam aos critérios do projeto. No resultado do produto, houve uma eliminação da manufatura de juntas e parafusos e, com isso, um corte de custos em montagem e economia de matéria-prima. Aos desafios que o design para instrumentos cirúrgicos abarca soma-se a dificuldade de escalabilidade de peças muito pequenas - esse fator restringe possibilidades de maquinários e processos de fabricação que consigam alcançar o nível de precisão do tamanho do objeto, o formato necessário e a montagem. Nesse sentido o Oriceps demonstrou ter design simplificado, tornando fácil sua fabricação em pequenas escalas.

2.1.3 Stent Cardíaco

Um modelo de dobradura muito utilizada em design para a área médica é o Waterbomb (ou em japonês *fusen no kihonkei* 風船の基本形), um origami tipo tesselação, demonstrado na figura abaixo, que possui coeficiente de Poisson negativo (TURNER; GOODWINE; SEN, 2016) - um coeficiente que mede a deformação transversal de um material homogêneo e isotrópico, isto é, que possui propriedades físicas constantes independente da direção em que se aplica a força para deformá-lo.

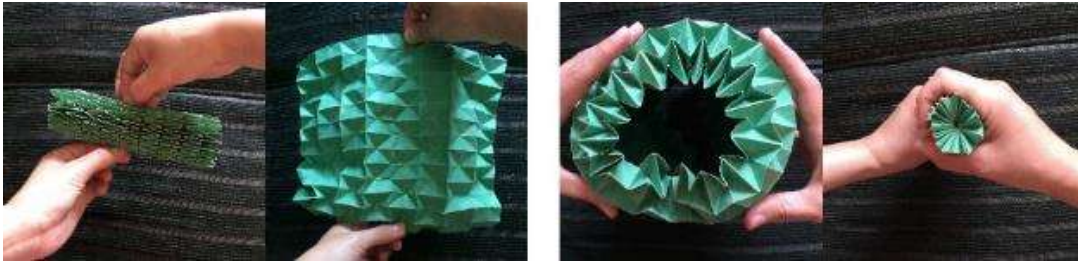
Figura 13: Origami do tipo tesselação Waterbomb.



Fonte: Elaboração da autora.

Materiais comuns possuem o coeficiente de Poisson positivo, quer dizer, se contraem quando esticados e se expandem quando comprimidos. Contudo, materiais com o coeficiente de Poisson negativo, também conhecidos como auxéticos ou antiborrachas, funcionam ao contrário, expandem-se quando tracionados e contraem-se quando comprimidos - conforme pode ser observado na figura 14, onde a tesselação Waterbomb é formatada em um tubo, modelo de origami conhecido como Magic Ball, design de Katrin e Yuri Shumakov (SHUMAKOV; SHUMAKOV, 2001).

Figura 14: Comportamento auxético do origami Waterbomb.



Fonte: Elaboração da autora.

O comportamento auxético proporcionado pela geometria de dobras do Waterbomb foi aproveitada para implementação de um design de stent cardíaco (KURIBAYASHI et al., 2006). Stent cardíaco é uma endoprótese (do inglês *stent graft*), um tipo de dispositivo flexível e em formato de tubo capaz de ser dobrado e encaixado em pequenos espaços, muito comumente utilizado em cirurgias minimamente invasivas. As endopróteses possuem a função de ou desbloquear lúmens entupidos ou proteger lúmens enfraquecidos, são também utilizadas em estenoses arteriais - um tipo de estreitamento anormal de um vaso sanguíneo; aneurismas na aorta - uma dilatação anormal causada pelo enfraquecimento das paredes do vaso devido a um trauma por doença vascular; e cânceres de esôfago. Ao contrário dos stents convencionais que são feitos de uma malha de arames juntamente com uma membrana de cobertura, o stent adaptado do origami foi projetado a partir de uma única folha de liga NiTi, uma LMF estruturada apenas com dobras vales e dobras montanhas, o que representa uma melhoria de design em termos de economia de materiais e simplicidade nas etapas de fabricação. O padrão de dobras foi feito por gravura fotoquímica negativa e a abertura do stent é feita pelo efeito da LMF em contato com a temperatura do corpo ou pelo uso de propriedade de superelasticidade. Os protótipos do stent com design de origami possuem o mesmo tamanho das endopróteses padronizadas e foram aplicadas no esôfago e na aorta durante o processo cirúrgico da angioplastia. Suas aberturas foram realizadas conforme o esperado, o que garantiu segurança nos testes realizados e viabilizando a produção do stent no mercado.

2.1.4 Músculos Artificiais

Uma série de diferentes tipos de músculos artificiais estão sendo desenvolvidos atualmente com especificidades de aplicações em produtos e serviços variados dentro do design de robôs, dispositivos vestíveis (ou *wearables*) e próteses humanas. Uma das inovações tecnológicas desse tipo de design é o uso massivo e variado de materiais inteligentes, isto é, materiais que são capazes de sentir mudanças no ambiente em que estão inseridos e de responderem a esses estímulos de uma forma predeterminada (CALLISTER JUNIOR; RETHWISCH, 2010). Outra inovação também está presente na criação e uso de atuadores, quer

dizer, sistemas eletrônicos complexos ou simples que podem controlar a forma e/ou deslocamento de um objeto remotamente por eletricidade, variação de temperatura, magnetismo, entre outros, como foi utilizado na montagem e desmontagem da pinça Oriceps e na abertura do stent cardíaco de origami. De acordo com Li et al. (2017), dentro do design de músculos artificiais existem alguns atuadores mais utilizados, cada um com *modus operandi* específico e com restrições que valem ser citados: as já citadas LMFs ou SMAs (em inglês *shape-memory alloys*), ligas de memória de forma que possuem deformação reversível conforme a variação de temperatura, mas que também possuem ciclos de estímulos e respostas relativamente lentos em comparação a outros tipos de atuadores; os VAMPs (em inglês *vacuum-actuated muscle-inspired pneumatic structures*), estruturas pneumáticas ativadas a vácuo que possuem limitações de atuação e contração por conta do seu tipo de acionamento - a flambagem elastomérica e a pressão negativa do vácuo; e os EAPs (em inglês *electroactive polymers*), polímeros eletroativos do tipo iônicos ou dielétricos e tendo a necessidade de tensões muito altas para se deformarem, o que pode dificultar a praticidade de aplicação. Depois dos materiais inteligentes e atuadores, inovações em design de músculos artificiais giram em torno também das possibilidades de formas associadas, e nesse sentido o design de origami ganha relevância metodológica. Para entender melhor como se dão as vantagens da adaptação do origami no design de músculos artificiais, são analisados dois estudos. Depois do stent cardíaco, o padrão de dobras Waterbomb foi aplicado também em um músculo artificial robótico (ONAL; WOOD; RUS, 2013). De acordo com os pesquisadores, o design de robôs adaptados em origami introduz um novo método de fabricação mais rápido, com baixo custo, mais funcionalidades e que atende melhor as aplicações robóticas modernas. Onal, Wood e Rus (2013) apresentaram uma construção de sistema robótico que se autodobra, isto é, um robô de origami projetado a partir de uma folha plana que se transforma em um corpo complexo tridimensional apenas com dobras e atuação remota. A matéria-prima utilizada para a concepção do robô foi o polímero PEEK e atuadores de bobina NiTi e o processo de fabricação foi com uma máquina de corte a laser de CO₂. O movimento foi bioinspirado nas minhocas que é o peristaltismo, possível de simular com o origami Waterbomb, e que possui a vantagem de ter uma locomoção robusta em espaços limitados. Outras vantagens desse design é que o robô pode ser mantido desdobrado quando não estiver em uso, tendo menos problemas com armazenamento e transporte. Em comparação a estruturas sólidas típicas dos robôs como aço, alumínio e outros metais, a folha de polímero do músculo artificial de origami é muito mais leve, barata e acessível. Depois dos SMAs, VAMPs e EAPs, Li et al. (2017) desenvolveram um novo tipo de atuador com design de origami: músculos artificiais acionados por fluidos, os FOAMs (em inglês *fluid-driven origami-inspired artificial muscles*). Quando comparado aos outros atuadores, os FOAMs possuem uma arquitetura estrutural em dobras que permitem a programação de movimentos multiaxiais controláveis em diferentes intensidades. De design simples e replicável facilmente, esse atuador

foi composto por um esqueleto interno rígido, um fluido que o envolve e uma pele externa maleável. O esqueleto é uma superfície mais rígida que possui a adaptação em origami, sendo que a geometria de dobras determina o tipo de movimento do músculo. De acordo com os pesquisadores, o esqueleto pode ser fabricado por diversos tipos de processos como impressão 3D, corte a laser, moldagem em gesso, fundição, e até manualmente. O material varia de acordo com a necessidade de uso, podendo ser folhas de aço inoxidável, PEEK, silicone, PVA, ou poliéster de vários tipos. O fluido interno que envolve o esqueleto possibilita o movimento automatizado e o controle de pressão exercida, podendo ser ar, água, ou outros tipos de líquidos. A pele é a superfície externa maleável que serve para proteger os componentes internos e permite a locomoção programada pelo atuador; o material pode ser uma película polimérica como o TPU, filme de PVC, filme de PVA ou mesmo tecidos. O processo de funcionamento do FOAM acontece da seguinte forma: no início, o sistema está em repouso, com pressões interna e externa iguais; há uma abertura na pele que retira o fluido de dentro do músculo, fazendo com que a pressão interna seja maior que a externa. A diferença de pressão faz com que o músculo comece a se autocomprimir e deformar sua estrutura de acordo com a geometria de dobras do esqueleto. Em testes realizados, esse músculo artificial, apesar de leve, conseguiu levantar um pneu de vinte e dois quilos em trinta segundos. O design de origami do FOAM aumenta a abrangência de compactação e expansão estrutural que, aliado ao sistema de diferentes tipos de pressões internas e externas com fluidos, conferem ao atuador uma alta capacidade de trabalho. Além do levantamento de cargas que pode ser utilizado em organizações de estoques de fábricas e manipulação de objetos marítimos, na área da saúde o FOAM de Li et al. (op. cit) pode ser adotado em próteses parciais, completas e *wearables*, de maneira a contribuir na recuperação de movimentos do corpo que possuem alguma deficiência ou que sofreram acidentes, e a substituição de membros perdidos. As técnicas das dobraduras garantem ao atuador rapidez, eficiência energética, mas especialmente uma dinâmica de manufatura, podendo ser fabricado em múltiplas escalas e com uso variado de materiais acessíveis e a custos baixos. A variedade de processos fabris possíveis do FOAM facilita a implementação do projeto em diferentes países e realidades orçamentárias.

2.1.5 Microrrobô de origami

Um dos estudos de Miyashita et al. (2016) foi desenvolvido em cima de design de robô de origami voltado para procedimentos clínicos no trato gástrico. O microrrobô de origami é feito com uma folha biodegradável e biocompatível, armazenado dentro de uma cápsula de gelo para ser engolida, e que se automonta no robô dobrado quando chega ao estômago, podendo realizar diferentes ações como costurar uma ferida interna, remover corpos estranhos - como pilhas ou moedas engolidas por crianças, e entregar medicamentos. O controle é feito por meio de um sistema de atuação remoto e eletromagnético que possui quatro bobinas cilíndricas. A

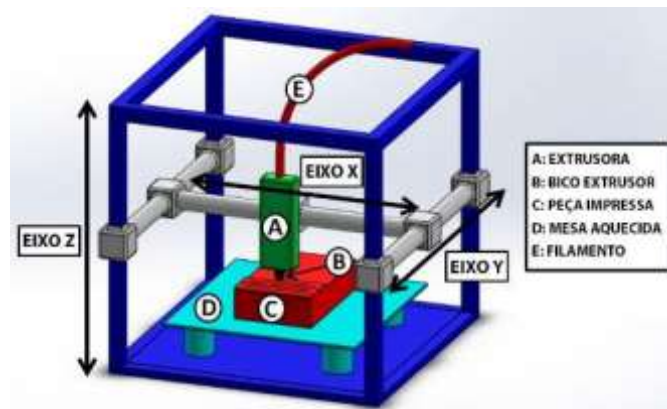
folha que compõe o corpo do robô é composta por cinco lâminas de materiais diferentes, entre eles a poliolefina (um tipo de termoplástico), parede de intestino de porco, um verniz próprio de medicamentos e solúvel em água, um filme termoencolhível (material que permite a autodobragem a 65°C) e silicone, todos com propriedades biocompatíveis com o ser humano e biodegradáveis. A composição em diferentes camadas permite que o corpo de origami do robô se decomponha em diferentes momentos, viabilizando a função a ele designada, ou seja, é esperado que a camada do verniz de medicamento se decomponha mais rápido para liberar o ingrediente do medicamento, ao passo que é esperado que as camadas orgânicas se decomponham mais lentamente, pois fazem parte da estrutura robótica. A aplicação da técnica do origami possui duas funcionalidades: compactação e estruturação. As dobras compactam o robô para entrar na cápsula, permitindo não apenas a ingestão segura dentro do corpo, como também a sua alocação em pequenos espaços, se necessário. As dobras possuem também a funcionalidade de pernas e braços para o robô, elas se estruturam de forma minimalista, porém efetiva, possibilitando movimentos de costura das feridas e deslocamento dentro do corpo. As vantagens do design de origami desse microrrobô para tratamentos no estômago estão na contribuição de intervenções clínicas minimamente invasivas, permitindo que a estrutura robótica se reconfigure para ocupar pequenos espaços ao mesmo tempo em que cumpre tarefas mecânicas versáteis apenas por controle remoto magnético externo. O microrrobô de origami é uma solução robótica inédita e alternativa aos medicamentos e cirurgias para problemas estomacais.

2.1.6 Mecanismos e montagens

Foi revisada a bibliografia sobre origami e alguns dos produtos médicos desenvolvidos com design de origami, mas além disso é preciso aprofundar-se um pouco mais sobre conceitos-chave no desenvolvimento de novos produtos como mecanismos e montagens. Mecanismo, por definição, é um conjunto de partes fundamentais que compõem máquinas e dispositivos robóticos (HAO; YU; LI, 2016). Os mecanismos tradicionais, que datam das primeiras revoluções industriais, possuem estrutura rígida e são compostos por diversas peças - geralmente de materiais diferentes como superfícies em madeira, metais, parafusos, porcas, buchas, dobradiças -, características estas que se devem ao seu baixo custo de produção e limitação tecnológica da época. Atualmente, novas demandas tornam-se urgentes em diversas áreas e trazem cada vez mais à tona a constante necessidade de se repensar e redesenhar os mecanismos tradicionais, como por exemplo o alto desempenho em coleta de energia, a miniaturização e higienização de dispositivos médicos para cirurgias, entre outros. Um tipo de fabricação que está sendo amplamente utilizado atualmente são as impressoras 3D. A Impressão 3D é um processo de fabricação classificado como Manufatura Aditiva – mais conhecido como AM, *Additive Manufacturing* em inglês (TOBARO, 2021) – um tipo tecnologia de prototipagem

rápida que possui diversos tipos de impressão: impressoras DLP (*Digital Light Processing* em inglês), cujos produtos são formados a partir de uma reação fotoquímica; impressoras SLS (*Selective Laser Sintering* em inglês); CJP (*ColorJet Printing* em inglês); MJP (*MultiJet Printing* em inglês); e impressoras de extrusão de material (FDM ou FFF, *Fused Deposition Modeling* e *Fused Filament Fabrication* em inglês) (VOLPATO, 2017). As impressoras FDM, também conhecidas como de filamento, funcionam por deposição de camadas de plástico derretido.

Figura 15: Esquema de Impressora 3D do tipo FDM.



Fonte: (adaptado de MAZZANTI; MALAGUTTI; MOLLICA, 2019, p. 2).

Uma das vantagens dos produtos feitos em impressoras 3D é que o protótipo não precisa de molde. Os moldes de injeção, por exemplo, são caros, gastam tempo considerável de usinagem e geram mais lixo até chegar no protótipo. Se considerar os processos de correções e ajustes das peças, juntas ou formas, é necessário a fabricação de novos moldes que podem adicionar ainda mais tempo de processamento, mais custos e mais resíduos descartáveis. Além disso, o potencial de economia e acesso democrático da impressora 3D do tipo FDM é consideravelmente maior do que outros tipos: em um estudo experimental extenso, Abreu (2015) descobriu que a confecção de amostras de tração, compressão, flexão, impacto e rugosidade por FDM em código aberto são mais baratos do que qualquer outro tipo de impressão. Em seus resultados, a impressão por FDM em código aberto custou 2,25 euros em filamento PLA, ao passo que a impressão FDM em código fechado e em filamento ABS custou em torno de 11 euros; a impressão DLP em RenShape® ficou em terceiro lugar, com custos em torno de 30 euros; em quarto lugar ficou a impressão CJP com o material Core™, com custos em torno de 49 euros; e em último lugar ficou a impressão PolyJet (impressora 3D similar ao CJP, mas ao invés material Core junto com aglutinantes de cor, a PolyJet injeta camadas de fotopolímero líquido curável em uma bandeja de impressão), com custos em torno de 62 euros.

Figura 16: Comparação das tecnologias em impressão 3D.

Atributo	DLP	PolyJet	CJP	FDM alto custo	FDM baixo custo código fechado	FDM baixo custo código aberto
Tempo de Impressão	●	●	●	-	●	●
Tempo de pós-processamento	●	●	●	-	●	●
Custos	●	●	●	-	●	●
Rugosidade	●	●	●	●	●	●
Precisão Dimensional	●	●	●	●	●	●
Resistência Mecânica	●	●	●	●	●	●
Odor	●	●	●	●	●	●

● Fraco ● Razoável ● Bom

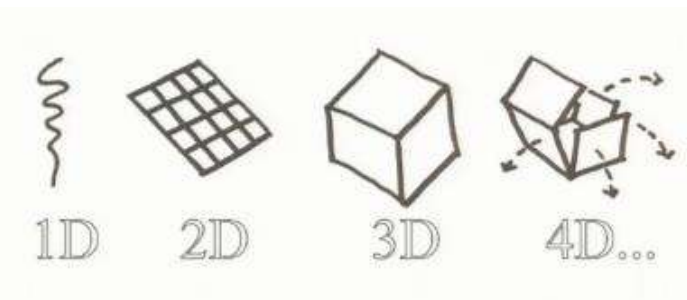
Fonte: adaptado de ABREU (2015, p. 175).

Abreu concluiu que as diversas tecnologias em impressão 3D têm suas vantagens e desvantagens, como a PolyJet que possui os melhores índices de rugosidade e precisão dimensional se comparada às outras impressoras. Porém, a impressão FDM tem um conjunto de vantagens que a torna um tipo de impressão muito mais interessante para o designer, conforme a figura 16, especialmente por conta dos seus melhores índices de custos, odor, economia de tempo e ótimo desempenho de resistência mecânica. Além disso, a tecnologia de adição sucessiva de camadas proporciona prototipagem rápida com alto nível de variação em materiais e formas, é uma máquina de acesso mais democrático pelo seu preço acessível e uso relativamente mais simplificado do que outras máquinas de grande porte como extrusoras de plástico por moldagem e *routers* CNCs (VOLPATO, 2017). Estima-se que há uma economia de 70% a 90% de tempo e custos na produção de protótipos pela impressora 3D se comparada a outros tipos de máquinas mais tradicionais (GORNI, 2001). Devido a esses dados, optou-se pela escolha de uma impressora FDM para realização dos testes de forma e protótipos. Todavia, a impressora 3D é uma tecnologia ainda emergente e em constante exploração pelos designers e engenheiros, o que significa que todo o seu potencial de produção, técnicas de formas e funções e materiais utilizados ainda não é plenamente conhecido. Devido a estas características, imprimir um objeto 3D não é tão simples e efêmero quanto imprimir textos em papel. Embora existam alguns parâmetros tidos como universais, cada marca de impressora 3D funciona de maneira particular, cada marca de filamento funciona em determinada temperatura (mesmo sendo marcas do mesmo tipo de material). Há diversos fatores e variáveis que influenciam em uma boa impressão e todos são dependentes entre si. Conseguir imprimir uma peça razoavelmente bem depende de alto conhecimento técnico por parte do designer. Conhecimento este que não se encontra apenas em tutoriais do Youtube, manual de instrução da máquina ou

suporte técnico da marca, mas mais especificamente em uma série de testes sistemáticos envolvendo os valores de temperatura de extrusão do filamento, temperatura da mesa de deposição, velocidade da primeira camada, das camadas subsequentes, velocidade de retração, distância de retração, velocidade de viagem do filamento (que os programas de fatiamento chamam de *travel*, sendo basicamente o caminho que o filamento percorre durante a impressão), porcentagem de densidade de preenchimento, temperatura/ventilação/velocidade de ponte (o chamado *bridging*, que é a capacidade do filamento ser depositado no ar sem ajuda de suporte, solidificando-se antes de cair), entre outros parâmetros. Soma-se a esse conjunto de variáveis que cada tipo de filamento funciona de maneira particular, o que torna o processo ainda mais meticuloso e único para cada tipo de material.

Além desses aspectos técnicos, existem outros tipos de inovação tecnológica considerando o tipo de design envolvido. Com o avanço das impressões 3D, o design de origami ganha novas perspectivas de inovação não apenas nos aspectos de forma e função dos produtos, mas também no controle, adoção e geração de produção industrial dentro da chamada impressão 4D (TIBBITS, 2013). A impressão 4D é a impressão 3D de multimateriais cujas peças podem se transformar de uma forma para outra remotamente. Por meio da automontagem, processo em que as partes desordenadas constroem uma estrutura ordenada apenas com interação local, a impressão 4D é uma técnica de manufatura das mais adaptativas na atualidade, combinando materiais com geometria e energia passiva (que pode ser calor, tremor, pneumática, gravidade e magnetismo).

Figura 17: Princípio da impressão 4D.

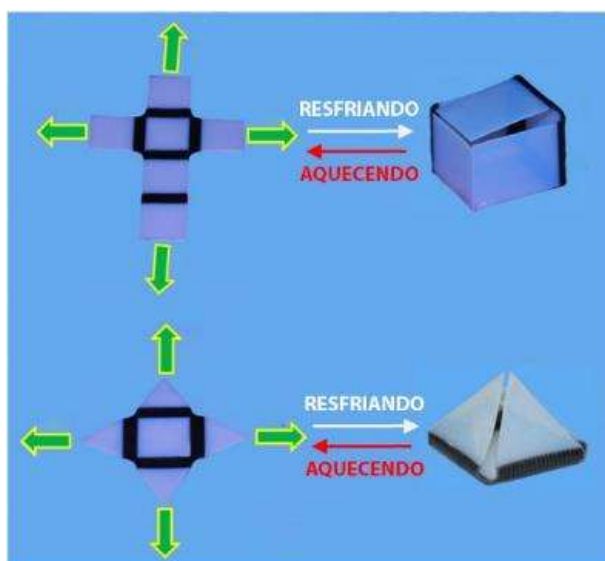


Fonte: (TIBBITS, 2013).

A impressão 4D pode ser aplicada em ambientes perigosos como o espaço ou construções ou em ambientes que necessitam de constante adaptação como um sistema de encanamento onde os canos podem mudar suas estruturas de acordo com a capacidade ou fluxo de água. Em Ge et al. (2014), a impressão 4D foi aplicada em um origami automontado por meio de impressão de folhas de polímero conectadas por dobradiças de PACs (*Printed Active Composites*, em inglês, tradução da autora), materiais compósitos que são impressos de forma

ativa e remota. Por meio de programação com protocolo termomecânico específico, o origami 4D desenvolvido possui áreas de vincos que deformam a folha de polímero ao formato final automaticamente. O princípio de ação 4D foi produzido pela impressora de polímeros multimateriais Objet 260 Connex, da Stratasys™, onde houve uma deposição de gotas de tinta de polímero em uma plataforma que forma um filme liso por fotopolimerização com luz ultravioleta. No final da impressão, um gel hidrofílico é impresso e usado como material de sacrifício para fabricar a geometria do origami desejado. Os materiais utilizados foram o Tango®, um tipo de borracha patenteada para os vincos e Vero®, um plástico rígido para as facetas.

Figura 18: Design de origami para impressão 4D.

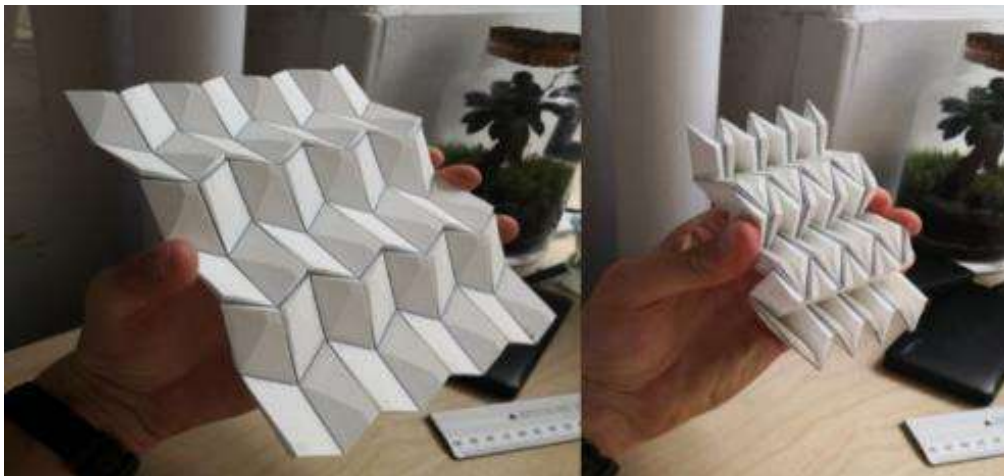


Fonte: adaptado de GE et al. (2014, p. 10).

Estudos como esse ilustram possibilidades de automontagem que podem ser implementados em ambientes cirúrgicos. Além da automontagem pela impressão 4D, há outros tipos de alternativas emergentes de fixação mais baratos e acessíveis como a modelagem do padrão de vincos e fabricação por impressora 3D, método que economiza material, processos de manufatura e montagem, e facilita a produção seriada e em escalabilidade. A impressão 3D de padrão de vincos pode ser em multimateriais ou em mecanismos compatíveis. Na impressão de multimateriais, como o PLA e TPU/FLEX no trabalho de Sorensen (2019), por exemplo, o mecanismo da dobra gira em torno de geometria do padrão de vincos juntamente com a modelagem adaptada entre as facetas rígidas e os meios flexíveis dos vincos. A combinação de diferentes pontos de temperatura de extrusão, transições vítreas, deformações elástica e plástica faz com que esse tipo de design necessite de uma série de testes estruturais impressos até que se chegue em resultados satisfatórios.

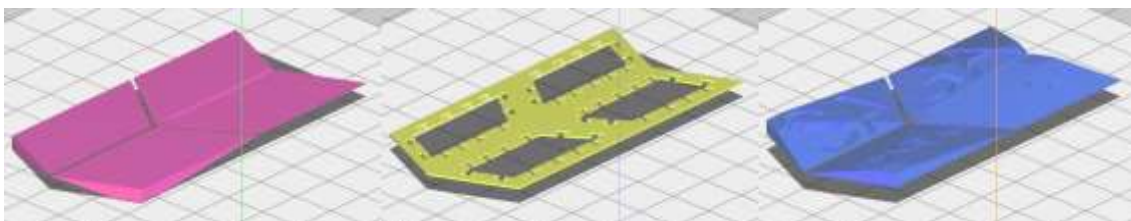
A adaptação de dobras de Sorensen (2019) é uma mistura entre o método de Tachi (2011) e Zirbel et al. (2013), isto é, as facetas possuem uma espécie de desgaste próximo ao vinco para poderem acomodar o material rígido durante a compactação das dobras sem perder a cinemática do design, ao passo que os vincos são feitos de material mais maleável para tornar possível a cinemática de compactação e expansão da estrutura. Além da união das adaptações de dobras de Tachi (2011) e Zirbel et al. (2013), o método de Sorensen possui ainda duas estratégias adicionais para viabilizar a fabricação em impressora 3D: uma delas já conhecida na indústria têxtil que é a construção de facetas macho e fêmea, com dobras montanhas e vales correspondentes e contrárias umas às outras; a outra estratégia é inédita e específica dos vincos que é a adoção de fissuras. As fissuras são utilizadas para aderir de forma permanente as facetas rígidas aos vincos maleáveis.

Figura 19: Impressão 3D de padrão de vincos multimateriais.



Fonte: (SORENSEN, 2019).

Figura 20: Facetas macho e fêmea e o vinco adaptados para impressão 3D.



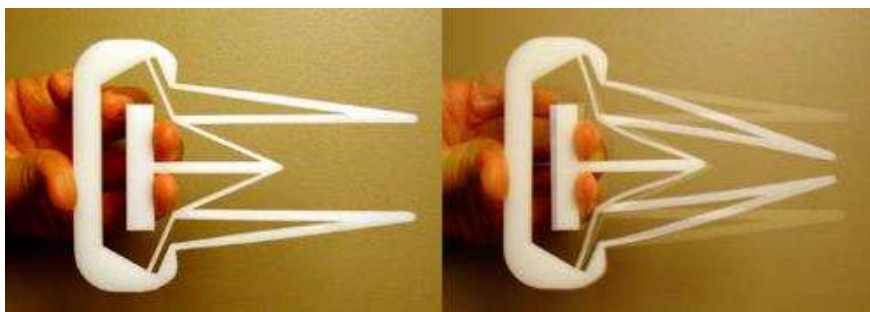
Fonte: Elaboração da autora.

Os objetos 3D da figura acima foram postos no programa Cura: as facetas macho e fêmea estão em rosa e azul e são impressas em PLA (material rígido para tornar a geometria fiel ao origami original), o vinco com as fissuras está em amarelo e é impresso em TPU (material

flexível para tornar possível a deformação da estrutura). O passo a passo completo da produção de um protótipo dobrável de Sorensen está descrito em Anexo B.

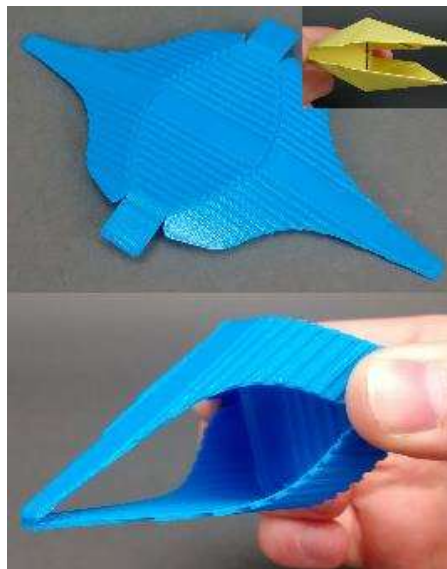
A impressão de multimateriais possui a vantagem de resistência, durabilidade e consistência de forma ao produto. Já os mecanismos compatíveis ou MCs (*compliant mechanisms*, em inglês – tradução da autora) surgem como forma de superar os desafios e problemáticas dos mecanismos tradicionais por meio de design monolítico, isto é, produtos formados a partir de uma única peça de material. Entre as diferentes estratégias de se atingir este tipo design está a adaptação nos origamis (FRANCIS et al., 2013) devido à formação de objetos complexos em dobras a partir de um plano simples de papel.

Figura 21: Mecanismo compatível de garra.



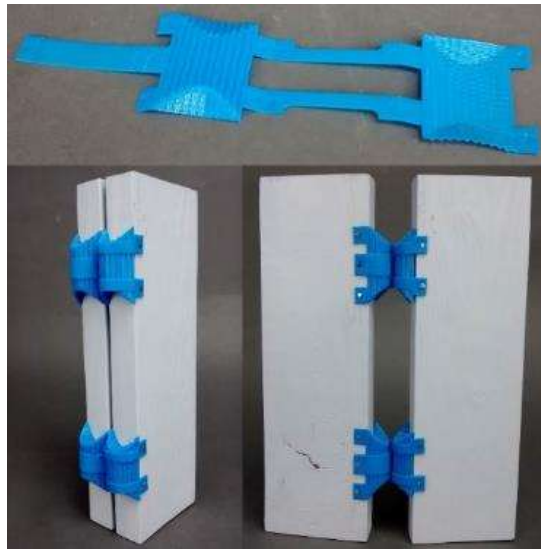
Fonte: (LU; KOTA, 2006, p. 1089).

Figura 22: Oriceps - mecanismo compatível de pinça.



Fonte: (NELSON et al., 2016, p. 11).

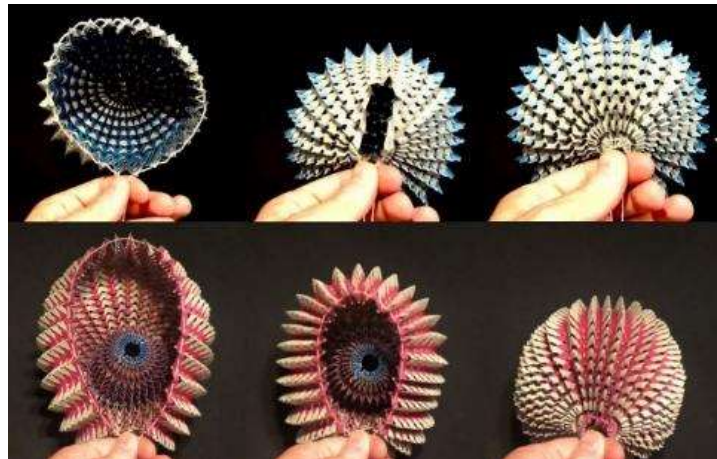
Figura 23: D-CORE – mecanismo compatível de dobradiça.



Fonte: (NELSON et al., 2016, p. 12).

Os MCs possuem membros flexíveis no lugar de juntas e/ou dobradiças móveis, suas vantagens vão desde a eliminação de folga e atritos de juntas, número reduzido de peças sobressalentes e eliminação de montagens, desgastes reduzidos e sem necessidade de lubrificação, facilidade de esterilização, movimentos mais precisos, economia de material de produção, descarte facilitado e mais sustentável, usabilidade e ergonomia melhorados devido à menor necessidade de energia para a função desejada juntamente com formatos mais adaptáveis ao usuário, proporções e portabilidade facilitadas (GREENBERG et al., 2011; LU; KOTA, 2006; NELSON et al., 2016), etc. De acordo com o Centro de Pesquisa em Mecanismos Compatíveis da Brigham Young University (BYU CMR, 2022), os grandes desafios dos MCs são as combinações de sistemas complexos, equações não-lineares, armazenamento de energia, fadiga e limitações de movimento. Um outro método de montagem fora da impressão 3D é a adoção de linhas que fecham a trama da estrutura dobrável de forma manual. Embora não seja um método automático como a impressão 4D e 3D, é uma opção de compactar o objeto de maneira mais acessível financeiramente e igualmente efetiva em suas funções.

Figura 24: Montagem de origami por linhas.



Fonte: (BEDFORD, 2021).

O estudo sobre mecanismos e montagens que se adaptam do origami é extenso e vai muito além da investigação dos processos fabris, tipos de materiais e estruturas (GUEST; PELLEGRINO, 1994; LANG et al., 2018; WANG et al., 2016). A variedade de estudos dessa área envolvem análises geométricas dos origamis, especialmente sobre padrões de vincos (DAVIS et al., 2013; PERAZA-HERNANDEZ et al., 2014). Entretanto, ainda há muito a ser elucidado e investigado sobre as melhores estratégias de determinados tipos de dobras para problemas específicos de produtos, serviços e inovação tecnológica. Em especial a pesquisa de eficiência em geometria de dobras é assunto novo e cheio de possibilidades de investigação e exploração científica experimental. Sargent et al. (2019) realizaram um extenso estudo experimental envolvendo ensaios de força do autodesdobramento de 1023 amostras de dobraduras em folhas PET (*polyethylene terephthalate*), focando-se em entender a melhor temperatura/tempo de recozimento e resfriamento especificamente para esse plástico. Depois de determinarem que a temperatura e tempo ideal para fixar as dobras na folha de PET é de 160°C a 180°C por um período de 60 minutos e com tempo de resfriamento de 15°C/min, os pesquisadores finalizam o estudo concluindo que trabalhos futuros são necessários para entender melhor os efeitos específicos de design de origami em diferentes materiais e em diferentes geometrias de dobras. Em outro ensaio (TEIXEIRA; BOTURA JR; YAMADA, 2019) foram analisados 11 tipos diferentes de origami tesselações, considerando os padrões de vincos que mais se compactam quando deformados, quais são os mais complexos e os mais simples geometricamente por meio do levantamento do número de vincos, dobras vales e dobras montanhas. Estudos como estes dão alguns indícios iniciais para formulação de métodos que avaliem vantagens mecânicas de designs de origami.

2.2 Espéculo Vaginal

2.2.1 Histórico

O espéculo vaginal é um instrumento voltado à área médica ginecológica. Espéculo, do latim *specere*, significa olhar, e tem como principal função a compreensão e diagnóstico de doenças da vulva, vagina e colo do útero da mulher (ROSSMANN, 2008) como câncer, gonorreia e clamídia. Composto tradicionalmente por duas lâminas arredondadas que, quando fechadas uma na outra se assemelham a um cilindro pequeno, e uma rosca que as conecta e possibilita se abrirem ou se fecharem, o espéculo é utilizado tanto para observar o interior do canal vaginal e colo do útero quanto para realizar cirurgias e procedimentos clínicos nesses locais como cauterizações e coleta de exames como o Papanicolau que diagnostica o câncer de colo do útero.

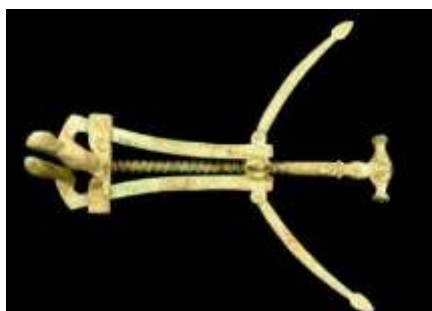
Figura 25: Esquema das etapas do exame Papanicolau com espéculo vaginal.



Fonte: Disponível em: <https://youtu.be/1JzV6z6G2Rc>. Acesso em 28 mar. 2019.

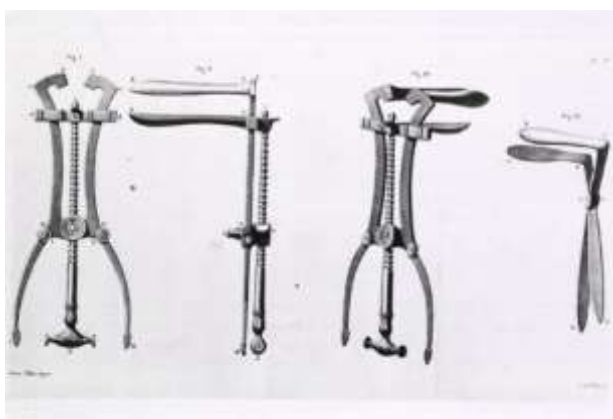
De acordo com Sandelowski (2000), o espéculo é um instrumental de tecnologia de vigilância e diagnóstico obstétrico mais antigo que existe na área médica ginecológica. Os primeiros espéculos datam do ano 79 d.C. (ROSSMANN, 2008), utilizado pelos antigos povos da Pompeia e no norte da África. Historiadores da medicina relatam que havia na região de Pompeia as primeiras versões do espéculo utilizadas pelo médico grego Claudio Galeno, no ano de 130 d.C., sendo que o instrumental encontrado nas escavações já era composto por duas lâminas junto com um mecanismo tipo saca-rolhas (EVELETH, 2014). Ainda em Pompeia, no século III d.C., na “Casa del Medico Nuevo”, foram encontrados também espéculos uterinos com diferentes tamanhos para pacientes de várias idades e com uso de óleos para a introdução do aparelho no canal vaginal (KING, 2017), além de espéculos retais que eram utilizados com as mesmas finalidades dos vaginais, embora considerados bem mais perigosos.

Figura 26: Espécuro vaginal da Idade Antiga, século III.



Fonte: King (2017).

Figura 27: Espécuro vaginal da Idade Contemporânea, ano de 1847.



Fonte: Eveleth (2014).

Como é possível observar nas figuras acima, desde os primeiros séculos depois de Cristo até a Idade Contemporânea, no século XIX, o espécuro permaneceu com design inalterado e comumente fabricado em metal. Em 1748, um espécuro de madeira foi desenvolvido por William Smellie com a intenção de parecer menos ameaçador às mulheres, pois a mudança de material fazia com que o espécuro não emitisse o barulho de “click” metálico que era associado a instrumentos de tortura (KING, 2017). Porém, a madeira quebrava fácil e Smellie tentou aumentar a durabilidade do instrumento cobrindo-o com um couro de animal, mas além de absorver líquidos e cheirar muito mal, ainda corria o risco de transmitir doenças, por isso seu uso foi breve e logo descartado. Apesar da existência antiga do espécuro, até meados do século XIX, as mulheres parteiras e doulas dominavam o cenário da saúde ginecológica, especialmente nos procedimentos mais importantes e cotidianos com os partos e gravidezes. No fim dos anos 1800, a medicina moderna começou a se expandir e o cenário da saúde feminina foi, aos poucos, sendo dominado pelos médicos homens não apenas com o advento de novas tecnologias em instrumentos como o espécuro e fórceps, mas também com a adoção de experimentações em estudos anatômicos, patológicos e intervenções cirúrgicas (EVELETH, 2014). Os processos naturais adotados pelas parteiras foram aos poucos sendo

substituídos pelas ferramentas criadas nesta época, o que justificou culturalmente o controle e intervenção médica masculina. A expansão científica da saúde da mulher no ocidente, em especial no continente europeu e Estados Unidos, teve como contrapartida a forte influência do moralismo religioso e a cultura patriarcal em voga, havendo uma intensa discussão entre médicos franceses, ingleses e estadunidenses sobre o uso devido ou indevido do espéculo frente a outros métodos de exame e diagnóstico pélvico como o toque e a análise de sintomas. Nessa época, os exames de toque eram realizados com a paciente completamente vestida e o médico não fazia qualquer contato visual com ela (SANDELOWSKI, 2000).

Figura 28: Exame ginecológico de toque praticado em 1822, na França.

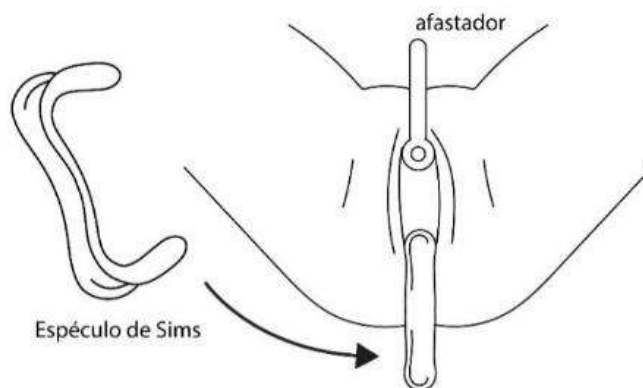


Fonte: Maygrier, J. P. *Nouvelles Démonstrations d' Accouchemens* (1822 apud SANDELOWSKI, 2000, p. 75).

Dada a maior eficácia de diagnósticos pelo exame visual, os médicos mais ortodoxos se viram em um dilema entre a concorrência com as mulheres parteiras e os médicos mais modernos adeptos ao uso do instrumento, chegando a associarem o uso do espéculo à prostituição e inferirem que o instrumento causava doenças ao invés de detectá-las. Discutia-se também se o espéculo serviria apenas para diagnósticos ou para tratamento de doenças, com a aplicação de medicamentos diretamente na região vaginal. Outro embate concomitante aos médicos europeus e estadunidenses era o de clínicos gerais e cirurgiões, estes últimos considerados menos profissionais pela comunidade médica da época. A perpetuação pelo uso do espéculo que deu fim a esses embates veio com o médico estadunidense James Marion Sims (1813-1883). Considerado o “arquiteto da vagina” e “pai da ginecologia” ao mesmo tempo em que admitia publicamente sentir nojo em examinar a genitália feminina (EVELETH, 2014; KING, 2017; ROSSMANN, 2008; SANDELOWSKI, 2000), Sims foi um médico polêmico que criou um novo tipo de espéculo que levou seu nome e tendo como protótipo inicial uma colher de molho dobrada. O aperfeiçoamento do espéculo Sims deu-se às custas de torturas e mortes de escravas afro-estadunidenses, que ele mantinha em sua clínica particular no Alabama, em 1845,

desenvolvendo uma série de experimentações e cirurgias sem anestesia até obter segurança de utilizar o instrumento em pacientes brancas e ricas (EVELETH, 2014; MARTÍN, 2019; SANDELOWSKI, 2000). Apesar dos métodos nada éticos, Sims obteve sucesso e seu espéculo foi considerado o instrumento ginecológico mais científico do começo dos anos 1900, especialmente porque possibilitava a máxima visualização da vagina e do colo do útero, feito que não era possível até então com ferramentas anteriores.

Figura 29: Espéculo de Sims e seu uso com um afastador.



Fonte: Elaboração da autora.

Com formato minimalista, o espéculo de Sims é composto por uma lâmina encurvada com duas pontas que, para visualizar o colo do útero, era necessário utilizá-lo juntamente com um afastador de parede. Por conta disso, as enfermeiras desempenhavam um papel fundamental durante o exame pélvico, pois além de serem as responsáveis em segurar o espéculo no local correto para que o médico pudesse manipular outros instrumentos, elas também garantiam que não houvesse nenhum comportamento inadequado por parte delas.

Do meio do século XIX para frente, mais de 400 variações do espéculo de Sims foram patenteadas. Entre elas, prevaleceu o “bico de pato”, espéculo desenhado por Thomas Graves e Pederson em meados de 1870, sendo o design mais popular e utilizado até os dias atuais, como visto na figura 30 composto por 3 partes, uma lâmina superior e uma lâmina inferior conectados por um punho e um parafuso que mantém o objeto na posição aberta durante o andamento do exame pélvico e possuindo 3 tipos de tamanhos, pequeno, médio e grande (ROSSMANN, 2008).

Figura 30: Espécúlo Pederson e Graves de aço inoxidável.



Fonte: Disponível em: <https://www.gynexcorporation.com/product/pederson-graves-speculum-stainless-open-sided/>. Acesso em 12 ago. 2020.

Depois de diversas controvérsias provenientes da comunidade científica e médica no século XIX, o espécúlo vaginal foi assunto de discussões e questionamentos pelas mulheres civis no meio do século XX. Em especial na Segunda Onda Feminista, em 1970 no Estados Unidos, ativistas como Carol Downer incentivavam o uso pessoal do espécúlo para autoconhecimento do corpo (EVELETH, 2014). Ao ser presa e acusada de praticar medicina sem licença, várias mulheres foram ao tribunal de justiça protestando a favor de Downer, garantindo assim o direito de inspecionarem suas próprias vaginas (SANDELOWSKI, 2000). Depois de ter se tornado um símbolo de poder com o movimento feminista, o espécúlo passou a ter diversas propostas de novos designs, cada um com as suas particularidades positivas e negativas, como serão analisados a seguir.

2.2.2 Análise de Similares

Entre 2003 e 2005, a empresa Fem Suite desenvolveu um novo design de espécúlo vaginal que possuía um formato completamente diferente do habitual “bico de pato” (EVELETH, 2014), tendo principal motivação melhorar os exames pélvicos em pacientes gordas e pacientes que tiveram mais de quatro partos vaginais. O espécúlo foi nomeado FemSpec e se tratava de um tubo inflável feito de plástico macio que se molda ao corpo da mulher, prevenindo o comum “beliscar” que as lâminas dos espécúlos tradicionais provocam nas paredes da vagina, especialmente em pacientes com alto nível de gordura corpórea (ROSSMANN, 2008). De uso único descartável, o FemSpec foi resultado de um processo de design que envolveu um time de médicos ginecologistas inspirados em suas próprias experiências nos atendimentos em consultórios. Também foram aplicados questionários e realização de exames pélvicos com os protótipos do FemSpec em voluntárias para avaliarem possíveis desconfortos durante o processo.

Figura 31: Espécúlo vaginal FemSpec.

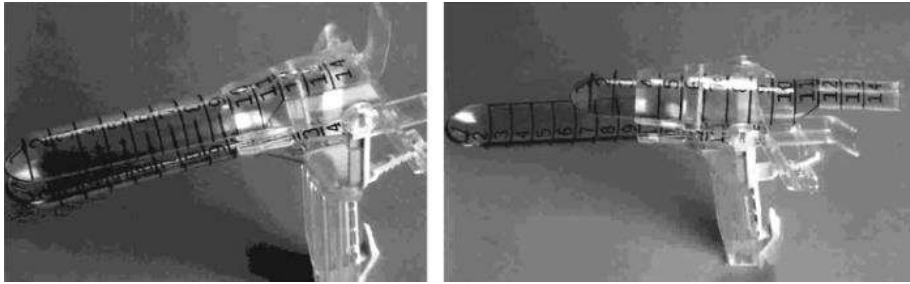


Fonte: Rossmann (2008).

Apesar da Fem Suite concluir que o FemSpec foi bem aceito pelas pacientes e ter sido aprovado pelo FDA (do inglês *U.S. Food and Drug Administration*), o FemSpec não foi amplamente adotado pelos médicos. A empresa acredita que a profissão da medicina é notoriamente relutante em aceitar novos dispositivos e técnicas, especialmente porque há um senso comum nesse meio de que novas tecnologias acarretam custos adicionais desnecessários. Na mesma época, houve também o design de outro espécúlo inflável chamado SoftSpec, criado pela empresa Doctors Research Group, porém, assim como o FemSpec, essa alternativa de instrumento ginecológico não obteve aderência dos médicos e enfermeiras que a empresa atribui também à falta de tempo de os profissionais aprenderem a manipulá-los. Outras duas problemáticas desses espécúlos infláveis é que a visão do canal vaginal fica prejudicada, mesmo o tubo sendo de plástico transparente e o ar pressurizado do espécúlo pode não ser suficiente para segurar as paredes vaginais.

Em 2005, Ananias C. Diokno e German Borodulin publicaram um novo design de espécúlo vaginal voltado para uma situação biológica específica, o prolapso dos órgãos pélvicos. Também conhecido pela sigla POP, trata-se de um problema ginecológico em que a vagina e outros órgãos próximos como a uretra, bexiga e intestino saem da sua posição normal por fraqueza, ruptura ou flacidez dos tecidos de suporte da região pélvica. O POP faz com que os órgãos como a bexiga fiquem expostos pelo canal da vagina causando, entre diversas complicações, a dificuldade de execução do exame Papanicolau (BARACAT, 2019). Tendo isso em vista, os pesquisadores redesenharam o espécúlo, fazendo com que uma das lâminas de abertura se contraísse para suportar os órgãos expostos nas pacientes que possuem POP.

Figura 32: Espécúlo vaginal para pacientes com prolapso genital.



Fonte: Diokno e Borodulin (2005).

De acordo com os pesquisadores, o formato do instrumental foi baseado nos espéculos padrões de mercado, podendo ser aplicado em materiais plásticos descartáveis, como o protótipo da figura acima, e em materiais reutilizáveis, como o metal. Nesse design, poucas alterações foram feitas em cima do formato vigente de espécúlo, tendo apenas ajustes na lâmina superior, cuja cinemática é retrátil. O novo espécúlo foi submetido em mulheres que possuíam prolapso genital. Pelos resultados dos testes de uso, os pesquisadores concluíram que o novo instrumental reduziu o tempo de execução do exame e, por consequência, diminuiu o desconforto das pacientes, porém consideraram também haver lacunas nessa aparente melhoria: o exame com o novo instrumental requer uma técnica diferente da tradicional e foi realizado por apenas um médico, o que indica não ser necessariamente um instrumental fácil de ser manipulado. O design de espécúlo para pessoas com POP é interessante por se encaixar em situações específicas, mas que não seria aplicável à diversas outras pacientes que não possuem tal problema ginecológico, dificultado assim a aquisição seriada dele. Em 2016, a designer e pesquisadora do Canadá Dayna Mailach desenvolveu um design de espécúlo chamado Lotus. As lâminas tradicionais do espécúlo foram mantidas, mas com um acabamento mais curvado, tendo o propósito de introdução mais ergonômica ao canal vaginal. O design Lotus também possui uma trava mais discreta na alavanca para evitar possíveis acidentes durante a abertura do instrumental.

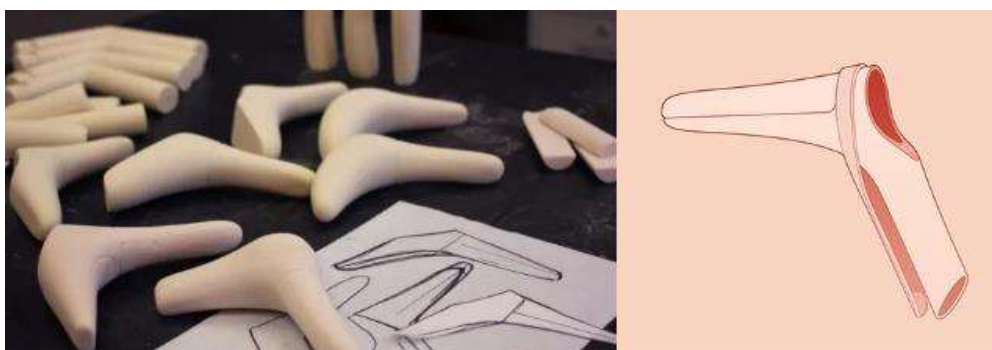
Figura 33: Espécúlo vaginal Lotus.



Fonte: Mailach (2016).

O maior objetivo desse design foi fomentar maior identificação e menos aversão às pacientes, buscando um formato mais confortável ao toque e agradável visualmente, com uso de cores claras, preocupações estéticas que os espéculos mais comuns dos hospitais e consultórios não incorporam. Porém, o sistema de alavanca da Lotus tem certa complexidade que poderia comprometer tanto o uso pelo médico, quanto a fabricação e montagem do instrumento. Em 2017, o estúdio de design alemão Frog elaborou o Yona, um design de espéculo com a proposta de melhoria de forma e material e da experiência do exame como um todo.

Figura 34: Espéculo vaginal Yona.

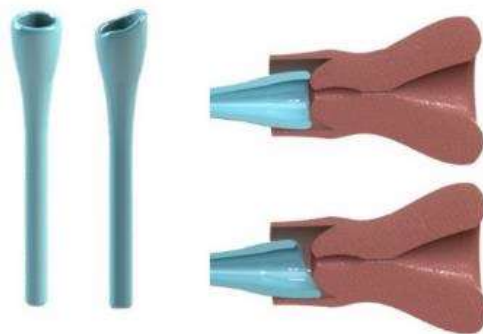


Fonte: Schwab (2017).

A matéria-prima do Yona é o silicone, material comumente utilizado em vibradores e brinquedos sexuais. O formato é minimalista, sendo composto de duas lâminas encaixadas sem articulações extras ou parafusos, o que contribui para facilidade de uso e diminuição de etapas de fabricação. O ângulo da alça foi alterado de 90° para 105°, com o propósito de facilitar o manuseio do instrumental na mesa do exame. Somado ao Yona, o estúdio também desenvolveu um aplicativo para celular que contém diversas informações importantes como, por exemplo, qual é a função do exame Papanicolau e como ele é realizado, como a paciente deve proceder durante a coleta, entre outras dicas para relaxar e estar consciente de todo o procedimento. O design Yona tem potencial de inovação em todo o procedimento do Papanicolau, mas no site do estúdio está caracterizado apenas com estudo de caso, estando na fase de prototipagem. O instrumental tem a possibilidade de ser mais caro do que os espéculos vigentes por conta do material silicone. Não há dados sobre procedimentos de higienização e segurança de reutilização. Ainda em 2017, Asiedu et al. (2017) realizaram uma pesquisa sobre o desenvolvimento de um instrumento que, assim como os espéculos infláveis, possui uma forma bem diferente dos espéculos tradicionais de duas lâminas. O objetivo da pesquisa foi apresentar e demonstrar a viabilidade de um insersor do tamanho de um tampão íntimo- um tipo de caneta em miniatura para colposcópico. O colposcópico é um aparelho tipo microscópio que permite visualizar digitalmente o colo do útero, vagina e vulva em tempo real, podendo ser utilizado para o exame Papanicolau. Tradicionalmente esse aparelho possui um binóculo acoplado a ele e

é necessário o uso do espéculo para expandir o canal vaginal e permitir o acesso ao colo do útero. O insersor desenvolvido pelos pesquisadores é um dispositivo que substitui o uso do espéculo, tendo formato de tubo com a ponta curvada em forma de funil e medindo aproximadamente 2,5 cm de diâmetro. O insersor tem uma minicâmera de 2 megapixels com iluminação em LED para captura de imagem. Os designs para o insersor foram feitos em modelagem 3D por software CAD e simulações de testes mecânicos foram realizados. Protótipos rápidos foram fabricados e testados em bonecos que simulam diferentes pressões vaginais. Dois designs que obtiveram melhores performances (Figura 35) foram testados em 15 mulheres voluntárias para visualizar o colo do útero, comparando o conforto e usabilidade com o espéculo tradicional.

Figura 35: Insersor para colposcópico, uma alternativa ao espéculo tradicional.



Fonte: Asiedu et al. (2017).

Os testes feitos em boneco vaginal demonstraram boa resistência à pressão do canal e com visualização da área normal comparável ao espéculo. Nos testes com as voluntárias foi possível visualizar o colo do útero de 83% delas. Em questionário aplicado, 92,3% das voluntárias preferiram o insersor ao espéculo, indicando ser mais confortável. Apesar do insersor ser uma interessante alternativa ao uso do espéculo e com altos índices de aceitação das pacientes, o colposcópico é um tipo de procedimento para exames pélvicos que possui alto valor tecnológico, logo é muito mais caro de utilizá-lo no lugar do exame pélvico tradicional feito com o espéculo e coletas laboratoriais, que são mais acessíveis financeiramente e mais simples de realizar, sem requerer prévio conhecimento técnico eletrônico.

Em 2018, uma empresa estadunidense especializada em instrumentais ginecológicos chamada Ceek Women's Health lançou um acessório para o espéculo vaginal. O acessório, denominado de Nella VuSleeve, é um tecido sintético que tem a função de revestir externamente o espéculo e focado para o uso em mulheres gordas. A gordura localizada no canal vaginal possui dois problemas durante o exame Papanicolau, pode dificultar a visibilidade do colo do útero, prejudicando também um diagnóstico mais preciso, e a paciente pode sofrer ferimentos durante o exame por conta da abertura das lâminas do espéculo. Para suprir esse

problema, a empresa afirma que esse tecido de revestimento isola a área de abertura das lâminas de maneira eficaz e segura, melhorando a visão do colo do útero e produzindo uma melhor sensação de toque à paciente.

Figura 36: Tecido de revestimento Nella VuSleeve para espéculo.



Fonte: INTRODUCING Nella VuSleeve, the first-in-class, single-use tissue retraction sheath, (2018).

No manual de instruções, a empresa não especifica qual é o material utilizado nesse tecido de revestimento, mas afirma que o acessório é de uso único, ou seja, não pode ser reutilizado e constitui como lixo hospitalar, não podendo ser descartado como lixo comum. O tecido para espéculo atende um problema específico e importante que é a população feminina com maiores índices de gordura corporal, porém, ele não é acessível financeiramente. No site da empresa, a cotação da unidade Nella VuSleeve custa 12,50 dólares, aproximadamente 63,02 reais², um valor de mercado muito alto para um produto de uso único e descartável.

Em 2019, a médica e pesquisadora Juliet Wolford, da Universidade de Califórnia, apresentou um projeto de pesquisa aplicada sobre o espéculo vaginal fabricado por impressora 3D. A pesquisadora acredita que a impressão 3D torna o instrumento mais barato e acessível à população de países com recursos limitados, como na África oriental, onde os espéculos mais comuns encontrados são de plásticos padronizados e importados de outros países. O instrumental da pesquisa é uma adaptação do espéculo Gynepunk, um modelo 3D de livre acesso desenhado pelo engenheiro suíço Urs Gaudenz, e a matéria prima sugerida pela pesquisadora é o ABS (do inglês *Acrylonitrilo Butadiene Styrene*), um termoplástico comum bastante utilizado para impressão 3D pelo seu baixo custo de mercado.

² Cotação do dólar a 5,04 reais em 30 mai. 2023.

Figura 37: Espécúlo vaginal feito com impressão 3D.



Fonte: Wolford (2019).

Não foram encontrados testes de biocompatibilidade desse material para o exame ginecológico especificamente, talvez por ser uma pesquisa bastante recente. O projeto de espécúlo de Wolford tem o objetivo de democratizar esse importante instrumental que identifica o câncer de colo do útero, uma doença que atinge 500.000 mulheres todos os anos globalmente (WOLFORD, 2019). É importante salientar que o projeto de espécúlo 3D não tem enfoque na forma ou no conforto do instrumental, seu potencial de inovação e relevância está na inclusão social do exame Papanicolau.

2.3 Bolsa de Morcelamento

2.3.1 Histórico

A bolsa de morcelamento (algumas literaturas chamam de morcelação, do inglês *morcellation*) é um produto voltado para a videocirurgia com procedimento laparoscópico. A videocirurgia por laparoscopia é um tipo de tecnologia médica eficaz que transformou o campo da medicina de forma rápida e com alto teor de avanço científico (CUETO; JIMÉNEZ, 2010). Do grego *lapara*, que significa abdômen e *skopein*, que significa examinar, a laparoscopia é uma técnica cirúrgica minimamente invasiva que permite a visualização direta dos órgãos internos do abdômen humano por meio de pequenas incisões. Essa técnica revolucionou o âmbito cirúrgico que era anteriormente dominado pela laparotomia, técnica que realizava grandes cortes na barriga e expôdo completamente os órgãos ao ambiente externo, o que aumentava os riscos de infecções generalizadas. Como visto na figura abaixo, são colocados trocartes nas incisões - uma espécie de porta que isola o acesso interno das ferramentas com o ambiente externo. A cavidade peritoneal é preenchida com um gás para criar maior espaço de

visualização na região abdominal. Em outras incisões podem ser inseridas ferramentas cirúrgicas como pinças, morceladores - instrumento motorizado que possui a mesma função de corte do bisturi, cistoscópios – tubos rígidos ou flexíveis que possuem luz e câmera acopladas para visualização remota dos órgãos internos e a bolsa de morcelamento, onde são armazenadas coletas dos órgãos internos.

Figura 38: Videocirurgia por laparoscopia.



Fonte: Disponível em: <https://ranzco.edu.au/womens-health/patient-information-resources/laparoscopy>. Acesso em 4 nov. 2019.

Segundo os pesquisadores Cueto e Jiménez (2010), inicialmente a laparoscopia era utilizada apenas para diagnósticos e realização de biópsias simples, especialmente no fígado. Porém, atualmente, esse tipo de cirurgia ganhou maior importância no meio médico, sendo realizadas múltiplas e complexas operações na cavidade abdominal, como a remoção de cânceres locais e mesmo órgãos inteiros como na histerectomia (remoção do útero). De acordo com os pesquisadores, as primeiras experimentações com visualização de cavidade interna humana foram do cirurgião árabe Albukassim, no ano de 1013, que utilizou um espelho de vidro para refletir a luz e examinar o colo do útero. Em 1805, o médico alemão Philipp Bozzini desenvolveu um dispositivo composto por uma lâmpada, espelho e uma vela, para poder conduzir raios de luz e observar os segmentos da uretra e bexiga, o que se tornou um marco inicial para a endoscopia moderna por ter sido considerada a primeira tentativa de visualização de um órgão humano interno (ALMEIDA, 2002). Entre 1879 e 1897, Maximilian Nitze cria o primeiro cistoscópio utilizando um fio de platina aquecido eletricamente para iluminação, permitindo realização de biópsias e tratamentos endoscópicos rudimentares. Em 1901, o médico Georg Kelling realizou a primeira experimentação laparoscópica de fato (que na época ele batizou de celioscopia) inflando o abdômen de um cachorro com ar filtrado e utilizando o cistoscópio de Nitze para visualizar seus intestinos, tornando-se um dos maiores defensores da cirurgia minimamente invasiva na Alemanha no início do século XX.

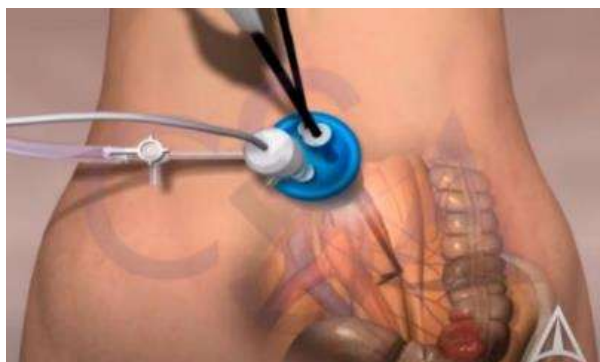
Figura 39: Primeira experimentação laparoscópica por Georg Kelling, em 1901.



Fonte: Ahmed (2008).

Boa parte do avanço de tecnologias em laparoscopia ao longo da primeira e parte da segunda metade dos anos 1900 se deu na área ginecológica, com mais enfoque para procedimentos cirúrgicos do que diagnósticos (CUETO; JIMÉNEZ, 2010). Avanços estes que iam desde a criação de lentes de visão oblíqua por Heinz Kalk, em 1929, até o emprego de um cilindro de quartzo que aumentava a eficiência de fonte de luz no endoscópio. Atualmente, a cirurgia por laparoscopia está tão avançada que, dependendo do caso, é possível ser realizada com apenas uma única incisão pelo umbigo, como no estudo de Kim et al. (2010) e ilustrado na figura 40. Dependendo do tipo de corte e número de incisões, a recuperação do paciente juntamente com cicatrizes maiores ou menores e tempo de hospitalização estão intimamente ligados, como pode ser visto na figura 41.

Figura 40: Videocirurgia por laparoscopia com uma única incisão.



Fonte: Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=DUQWmpAn_Ik. Acesso em 4 nov.

2019.

Figura 41: Tipos de cirurgias laparoscópicas.

	Laparotomia	Cirurgia por Trocarte	Cirurgia por Porta única
			
Número de Incisões	1	3-4	1 (Pequena incisão)
Comprimento da Incisão	12 a 18 cm	0,5 a 1,5 cm	2 a 3 cm no umbigo
Cicatriz	1 (Cicatriz grande)	3 a 4	1
Período de Hospitalização	3-7 dias	1-3 dias	1-3 dias
Dor	*****	**	*
Recuperação	6-8 semanas	5-10 dias	5-10 dias

Fonte: Disponível em: <http://sejongmedical.com/en/product/laparoscopy.php>. Acesso em 4 nov. 2019.

Contudo, a videolaparoscopia é um processo caro, envolve uma série de equipamentos tecnológicos específicos como as câmeras, luzes, monitor, trocartes, morcelador, inserção de CO₂, entre outros. De acordo com o relato de empresários durante a visita técnica, todos os processos de fabricação destes instrumentais cirúrgicos, até chegar ao consumidor final de forma segura e legal, passam por uma série de testes de resistência, biocompatibilidade, biossegurança e ensaios clínicos diversos, alguns deles sendo feitos fora do Brasil por falta de tecnologia nacional para uma avaliação mais apurada e específica. Toda essa cadeia de fabricação, validação e documentação encarece bastante a videolaparoscopia.

2.3.2 Análise de Similares

A bolsa de morcelamento tem como principal função recolher espécimes de dentro da cavidade abdominal humana por meio de pequenos cortes, acessos estes que são minimamente invasivos para se obter o objetivo de tornar a recuperação do(a) paciente melhor e mais rápida. A maneira como o procedimento da laparoscopia é realizado possui algumas particularidades que dependem em especial do aparato tecnológico e do país em contexto. A empresa alemã Medical Expo possui um design da bolsa de morcelamento no mercado voltada para retirada de biópsias. A eficiência desse design está no fato de que a bolsa já vem dobrada de fábrica dentro de um tubo e sua abertura é feita de forma automática por uma válvula rígida acoplada a ela, o que facilita sua inserção na cavidade abdominal. A restrição deste design está em seu uso, que serve apenas para extração de pequenos pedaços para fins de diagnósticos e não permite tratamentos de enfermidades maiores como extração de órgãos maiores na histerectomia ou miomectomia uterina (retirada de miomas). Outra restrição é o custo no Brasil, esse produto é

de fabricação estrangeira, logo tem alto valor agregado de importação, incluindo custos em transporte, impostos e taxas alfandegárias.

Figura 42: Pequena bolsa de morcelamento para biópsias.



Fonte: Disponível em: <https://www.medicaexpo.com/pt/>. Acesso em 4 nov. 2019.

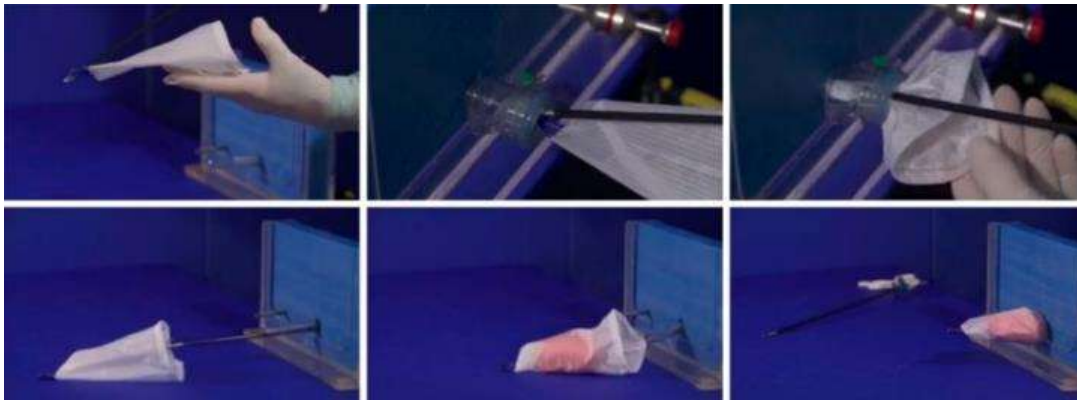
A empresa britânica Espiner produz uma série de bolsas de morcelamento com diversas capacidades de volume e que possuem matéria-prima diferenciada: o Rip Stop, um material feito com nylon entrelaçado a outro tipo de tecido, como poliéster, poliamida, algodão, tactel entre outros. No caso das bolsas EcoSac, o revestimento é de poliuretano que, segundo a empresa, é impermeável a fluidos biológicos. A EcoSac não possui uma orientação de dobramento, a fabricante indica inserir o produto de forma manual e direta pelo trocarte, como visto nas figuras 43 e 44. Essa inserção manual se caracteriza como uma restrição de design, dificultando o uso do produto durante a cirurgia, além de ser um produto também estrangeiro.

Figura 43: Bolsas de morcelamento EcoSac de diversos volumes.



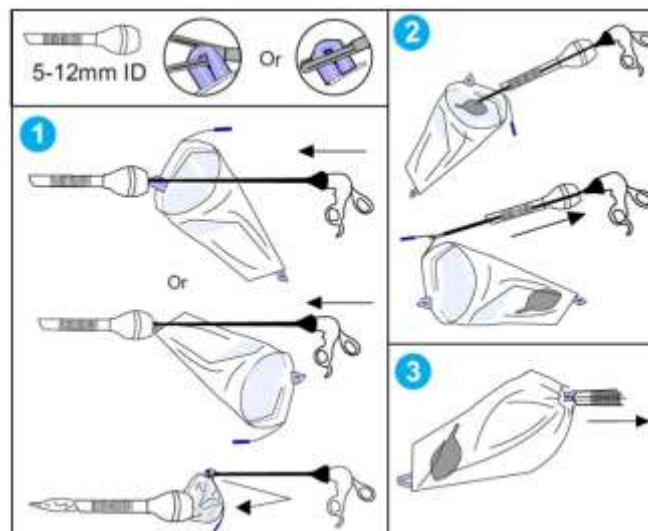
Fonte: Disponível em: <http://www.espinermedical.com/index.php/esacs/ecosac/>. Acesso em 4 nov. 2019.

Figura 44: Processo de inserção da EcoSac no abdômen.



Fonte: Disponível em: <http://www.espinermedical.com/index.php/esacs/ecosac/>. Acesso em 4 nov. 2019.

Figura 45: Instruções de uso da EcoSac.



Fonte: Disponível em: <http://www.espinermedical.com/index.php/esacs/ecosac/>. Acesso em 3 out. 2022.

A EcoSac possui uma única entrada onde vai o espécime coletado e com vedação feita por um fio embutido, que deve ser puxado pelo cirurgião quando finalizado o processo de extração. Ao que se indica no manual de instruções da empresa, essa bolsa está direcionada à laparoscopia de um único acesso e é mais simples do que outros tipos de bolsas maiores e mais complexas devido à impossibilidade de extração em ambiente isolado e interno da bolsa. A estratégia de design de bolsas de maior porte possui a complexidade da necessidade de isolamento do material a ser coletado e morcelado, isto porque em casos como células cancerígenas, é fundamental que a sua retirada seja feita de forma isolada do restante dos órgãos para não os contaminar. É o caso da bolsa de morcelamento brasileira Safe Bag, da American

Instruments e da More Cell Bag, uma bolsa de maior porte fabricada pela empresa austríaca A.M.I. - Agency for Medical Innovations.

Figura 46: Bolsa de morcelamento More Cell Bag.



Fonte: Disponível em: <https://www.ami.at/en/produkt/more-cell-system/>. Acesso em 4 nov. 2019.

A vantagem de design da More Cell Bag é que ela também se encontra dobrada de fábrica, o que facilita sua inserção no abdômen durante a cirurgia. Porém, em um vídeo da empresa, ilustrado na figura abaixo, onde há um esquema passo a passo de uso da bolsa, nota-se que a abertura da bolsa dentro do abdômen é feita manualmente com as pinças, o que se caracteriza como uma restrição de design por dificultar o processo. Outra restrição é o fato de que é um produto estrangeiro, portanto acarreta alto custo se importada ao Brasil.

Figura 47: Processo de funcionamento da More Cell Bag.



Fonte: Disponível em: <https://www.ami.at/en/produkt/more-cell-system/>. Acesso em 4 nov. 2019.

Há outras bolsas de morcelamento no mercado internacional como a LapBag, da empresa Sejong Medical, na Coreia do Sul, e a Morsafe Bag, da fabricante Veol Medical Technologies, na Índia, porém são bolsas que são muito semelhantes às descritas acima, sem grandes variações em formato, materiais e propostas de uso. Algumas bolsas possuem a vantagem de virem dobradas de fábrica, porém nenhuma das pesquisadas contempla uma abertura automática ou mesmo com o mínimo de direcionamento facilitado quando se encontram dentro do abdômen, deixando todo o trabalho de abertura manual a serviço das(os) médicas(os) realizarem com as pinças, uma das problemáticas que elas(es) alegam ser um fator decisivo de dificuldade de uso no momento da cirurgia.

2.4 Resíduos de Serviços de Saúde

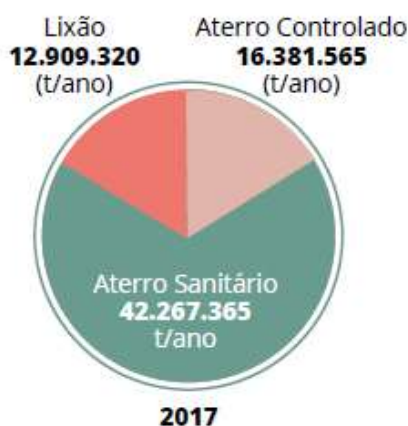
Dentro do processo de conhecimento do estado da arte dos instrumentos médicos, Flusser (2007, p. 198) e Cardoso (2012) apontam para uma importante consideração de design, inerente não apenas à forma e função, mas essencialmente ao momento do descarte dos produtos. Para entender melhor todo o processo do produto, é fundamental também se conhecer como esses produtos são descartados, por isso foi feito um levantamento sobre como funciona o processo de descarte de instrumentais médicos no Brasil. Levantamento que foi realizado dentro utilizando dados da ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. A ABRELPE foi fundada em 1976 (ABRELPE, 2019) por um grupo de empresários voltados às atividades de coleta e transporte de resíduos sólidos, com atuação na preservação ambiental e sustentabilidade, buscando promover o desenvolvimento técnico-operacional da gestão de resíduos sólidos no Brasil. Com o tempo, essa associação conseguiu obter a representação da ISWA - International Solid Waste Association no Brasil e foi escolhida para ser sede da Secretaria Regional para a América do Sul da IPLA - Parceria Internacional Para Desenvolvimento da Gestão de Resíduos junto a Autoridades Locais, um programa reconhecido e mantido pela ONU através da UNCRD – Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Regional. Ao tratar dos lixos descartados no Brasil, a ABRELPE estabelece relevantes classificações sobre os diferentes termos técnicos e locais de destino apropriados ou não. São eles:

- **Resíduo Sólido:** todo material descartado proveniente de atividade humana. É diferente dos rejeitos, que são resíduos cujas possibilidades de tratamento e recuperação estão completamente esgotadas, ou seja, os resíduos sólidos ainda podem ser reinseridos no ciclo de uso do ser humano. Também possui a denominação específica de RSU - Resíduo Sólido Urbano;
- **Lixão:** local no qual ocorre disposição indiscriminada de resíduos sólidos no solo, com nenhuma ou algumas medidas limitadas de controle das operações e proteção do ambiente do entorno (ISWA; ABRELPE, 2017);

- **Aterro controlado:** são locais muito parecidos com os lixões pois também não possuem conjuntos de sistemas e medidas necessários para a proteção do meio ambiente a danos e degradações (ABRELPE, 2015);
- **Aterro sanitário:** é a forma correta de dispor os rejeitos no solo. Os aterros sanitários possuem um projeto de engenharia baseado em critérios e normas operacionais específicas: os resíduos no solo são cobertos com material inerte para controlar a entrada de ar e água, controlar a saída de gás do solo proveniente da decomposição, reduzir o odor e outros inconvenientes e facilitar a recomposição da paisagem - com plantação de grama, dentre outros fatores. Os aterros têm em média 42 anos de ciclo de vida, sendo que é possível que eles recebam resíduos somente nos primeiros 20 anos.

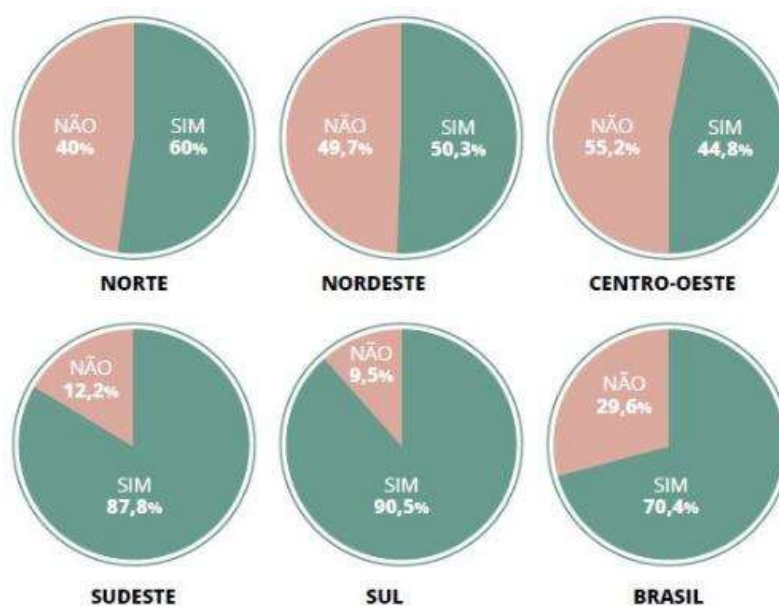
Tendo essas classificações em consideração, a entidade produz panoramas anuais de diversas perspectivas e dados quantitativos sobre a realidade do lixo no Brasil. Esse documento é um conjunto de pesquisas com municípios de todos os portes e em todas as unidades da federação, compondo-se como uma fonte de informação abrangente e atualizada sobre os principais componentes da gestão de resíduos sólidos e uma referência para orientação de políticas públicas ao meio ambiente. Em 2017, o Brasil gerou um total de 78,4 milhões de toneladas de RSU - Resíduos Sólidos Urbanos, dentre eles 6,9 milhões de toneladas de resíduos não foram coletados e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio (ABRELPE, 2018), o que significa que 8,8% do lixo gerado no Brasil não foi coletado e circulou no país de forma a poluir e gerar problemas tanto ao ambiente quanto à saúde da sociedade, um número preocupante que demonstra problemas sérios de gestão pública.

Figura 48: Destino dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil em 2017.



Fonte: ABRELPE, 2018, p. 19.

Figura 49: Municípios com iniciativas de coleta seletiva no Brasil em 2017.



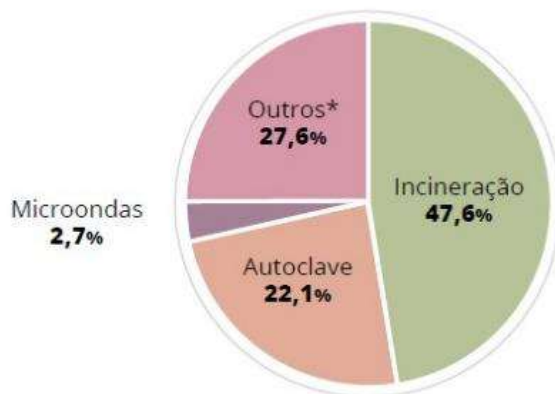
Fonte: ABRELPE, 2018, p. 18.

Dos 71,6 milhões de toneladas de RSU que foram coletados, por volta de 40%, isto é, 29 milhões toneladas, são destinados a aterros controlados ou lixões, que não possuem sistemas controlados para proteger o meio ambiente de forma adequada. Sobre os resíduos que podem ser reaproveitados ou reciclados, as regiões sudeste e sul possuem os maiores índices de iniciativa de coletas seletivas no país, com mais de 80% dos 3.352 municípios brasileiros pesquisados. Sobre o lixo hospitalar, denominado como RSS - Resíduos de Serviços de Saúde, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) divide esses resíduos em grupos e subgrupos de acordo com suas características físicas, como a presença de agente biológicos, cultura de microrganismos, peças anatômicas, substâncias químicas medicamentosas, materiais perfurocortantes, etc. São eles: Grupo A, A1 A2, A3, A4, A5, B, C, D e E.

A ABRELPE aponta que em 2017, 4.518 municípios prestaram os serviços de coleta, tratamento e disposição final de 256.941 toneladas de RSS. O lixo hospitalar é um tipo de resíduo que precisa de atenção especial das autoridades públicas, pois possuem em seus conteúdos ambientes propícios para cultura de bactérias, vírus e outros agentes patógenos que podem causar sérios danos salutar e ambientais se não são devidamente descartados e tratados. De acordo com a legislação brasileira determinada pelo CONAMA na resolução 358, de abril de 2005, os RSS não podem ser reciclados ou reaproveitados e demandam um tratamento específico antes de serem destinados aos aterros sanitários (ABRELPE, 2018, p. 48). Os tratamentos de lixo hospitalar utilizados no Brasil são a incineração, que é a queima controlada dos resíduos, autoclave e microondas. Na figura abaixo, 27,6% dos RSS (no grupo

de Outros*) não possuem tratamentos adequados para seus destinos em aterros, valas sépticas, lixões, entre outros.

Figura 50: Destinação do Lixo Hospitalar nos municípios em 2017.



Fonte: ABRELPE, 2018, p. 49.

O Panorama 2017 da ABRELPE traz uma situação preocupante no que se refere ao tratamento dos resíduos de serviços de saúde, visto que quase 28% do que é coletado em hospitais, clínicas e demais unidades de geração de RSS não é submetido a processos de tratamento, contrariando a legislação e demais normas vigentes que classificam esse tipo de resíduo como perigoso tanto para os trabalhadores do setor quanto à saúde pública e ao meio ambiente. Quando se fala em RSS que não são submetidos a processos de tratamentos de qualquer natureza, as regiões que mais oferecem riscos de contaminação são a região Norte, com 52,8% de lixo hospitalar não tratado, e a região Sudeste, com 40,5% de lixo hospitalar sem destinação segura ou apropriada. A região Sul é a que mais proporciona tratamentos aos resíduos de serviços de saúde, sendo que o lixo não tratado representa 2,2% do total.

2.5 Ergonomia de instrumentos médicos

O design ergonômico de instrumentos médicos é um objeto de estudo totalmente à parte e que possui diversas ramificações que não foram contemplados de forma experimental pela pesquisa, mas que é traçado um breve contexto teórico do assunto. A ergonomia no design dos instrumentos médicos precisam atender o que Itiro Iida (2005) descreve como Projeto Universal. Um projeto universal atende mais as minorias sociais e possui seis tipos diferentes de requisitos:

Figura 51: Requisitos de projeto para atender minorias sociais.



Fonte: Elaboração da autora, baseado em IIDA, 2005, p. 319.

O “uso equitativo” prevê mudanças de design como ajustes, adaptações e acessórios para atender um maior número de usuários. A “flexibilidade de uso” prevê acomodações de habilidades individuais, como um aparelho que atende o uso para destros e canhotos, por exemplo. O “uso simples e intuitivo” prevê eliminar complexidades, buscando um design consistente e direto. A “informação perceptível” prevê o emprego de reforços de redundância por mais de um canal sensorial, procurando altos contrastes, visibilidade e legibilidade. A “tolerância ao erro” prevê um design mais seguro, que possa ter certa flexibilidade aos possíveis acidentes de uso. A “redução de gasto energético” prevê um design que privilegie a maior neutralidade possível ao usuário, seja em esforços mecânicos, postura, etc. Um dos importantes aspectos para teste e avaliação de ergonomia de produtos, de acordo com Iida (2005, p. 320), é a usabilidade, que é dividida em seis âmbitos: evidência (solução formal entre função e modo de operação); consistência (operações semelhantes com formas semelhantes); capacidade (do usuário); compatibilidade (atendimento aos fatores fisiológicos, culturais e às experiências anteriores); prevenção e correção de erros; e a realimentação (resposta do produto ao usuário). Para Iida, a melhoria de usabilidade se dá por meio de dois aspectos: os aspectos físicos (adaptação às características do usuário) e os aspectos cognitivos (melhoria da experiência de uso). Os instrumentos médicos são o que Iida (op. cit., p. 316) caracteriza como bens de capital, ou seja, são instrumentais de uso restrito aos profissionais da medicina e enfermagem, diferentemente dos bens de consumo como eletrodomésticos, móveis e brinquedos que são de acesso ao público geral. Porém, há algumas particularidades entre os instrumentais. Por se tratar de produtos voltados à área da saúde, pode-se dizer que há dois tipos de usuários envolvidos: os(as) médicos(as), que manipulam os instrumentais, e os(as) pacientes, que são submetidos às manipulações dos instrumentais. Em procedimentos cirúrgicos, os pacientes são usuários desconsiderados, pois estão sob efeito de anestesia, não tendo capacidade de avaliação se o

procedimento foi confortável ou não. Neste caso, cabe considerar apenas os médicos como usuários. Contudo, em exames laboratoriais, os pacientes são considerados usuários importantes tanto quanto os médicos, pois estão conscientes durante o procedimento e são os principais agentes que podem perceber possíveis problemas de design de forma direta ou indireta. Por essa definição dos usuários dos instrumentos, fica mais claro como investigar um dos índices mais importantes para a qualidade ergonômica dos instrumentais que é o levantamento de dados de usabilidade, ou seja, entender os níveis de facilidade e comodidade no uso dos produtos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Quando se considera o design de produtos como um todo, existem determinados tipos de qualidades intrínsecas e evidenciadas por Iida (2005, p. 316): a técnica, ergonômica e estética. Para elaborar e avaliar possíveis melhorias no design dos instrumentais, são considerados inicialmente esses três segmentos e suas ramificações.

Figura 52: Tipos de qualidades atuantes no design de produtos.



Fonte: Elaboração da autora, baseado em IIDA, 2005, p. 316.

Essas classificações dão algum norte para as características fundamentais de um design de produtos em geral. Contudo, elas não são o suficiente para contemplar as especificidades metodológicas para instrumentais médicos, tampouco para design de produtos inspirados em origami. Por isso é necessário se debruçar um pouco mais sobre as duas vertentes técnicas principais do estudo: o origami como ferramenta em design e as funções necessárias dos produtos na área médica. A união dessas vertentes compõe o norte geral de formulação da metodologia da pesquisa. Para ficar mais claro, os passos sequenciais da metodologia de pesquisa estão ilustrados no fluxograma abaixo.

Figura 53: Fluxograma de elaboração da metodologia de pesquisa.



Fonte: Elaboração da autora.

3.1 Questionários e escolha dos produtos

Devido ao caráter integralmente anônimo dos voluntários e tendo esclarecido na proposta do questionário o total direcionamento dos dados apenas para fins científicos, além de conferir o direito de participar ou não, foram obtidas as concordâncias dos participantes para uso dos dados nos resultados. Enfatiza-se que o objetivo dos questionários têm enfoque somente nas opiniões dos voluntários tanto para o uso dos instrumentos médicos quanto pelas experiências do exame ginecológico, ou seja, as perguntas não induzem a qualquer risco de dano físico ou psicológico aos participantes.

14 médicos(as) responderam ao questionário número 1 sobre a investigação de possíveis problemas de uso de instrumentos da área, apresentando as seguintes características:

- 9 são homens e 5 são mulheres;
- 13 se formaram em instituições públicas e 1 se formou em instituição privada;
- Todos lecionam em pós-graduações de universidades públicas;
- 4 afirmam que nenhum instrumental de uso no seu dia a dia possuem problemas de uso e/ou poderiam melhorar.

As tabelas a seguir mostram as porcentagens de outras respostas desse questionário.

Tabela 1 : Tempo de atuação profissional dos médicos.

Tempo de atuação	Porcentagem (%)
6 a 10 anos	7,1
11 a 20 anos	14,3
21 a 30 anos	28,6
31 a 40 anos	42,9
41 anos ou mais	7,1

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 2 : Cidades onde trabalham.

Cidades	Porcentagem (%)
Botucatu/SP	28,6
São Paulo/SP	28,6
Campinas/SP	21,5
Londrina/PR	7,1
Lorena/SP	7,1
Salto de Pirapora/SP	7,1

Fonte: Elaboração da autora.

As especialidades que os médicos atuam são: anestesiologia, cirurgia vascular, cuidados paliativos e dor, ginecologia e obstetrícia, cirurgia plástica, gastroenterologia, urologia, oftalmologia, coloproctologia, ortopedia, cirurgia bucomaxilofacial, pediatria e homeopatia, mastologia e cirurgia geral. As universidades que se formaram são: Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP, Universidade Estadual Paulista - UNESP/ Botucatu, Universidade Federal do Pará - UFPA, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Faculdade de Medicina de Jundiaí - FMJ, Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, Faculdade de Medicina de Pouso Alegre - UNIVAS, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - USP, Universidade Federal de Uberlândia – UFU e Faculdade de Ciências Médicas de Santos. Os médicos apontam os seguintes instrumentais de uso diário que possuem problemas de uso: laringoscópio, esfigmomanômetro, doppler US ondas contínuas, espéculo vaginal, tesoura de vídeo, aparelho de urodinâmica, retinógrafo, colonoscópio, bolsa de morcelamento e abaixador de língua para visualizar orofaringe. Além desses instrumentais, alguns médicos afirmam também que

“exames de endoscopia e colonoscopia causam desconforto ao paciente, além do desconforto do preparo para o exame” e que ureteroscópios flexíveis “poderiam durar mais”.

152 pacientes mulheres responderam ao questionário número 2 sobre o conforto do espécuro vaginal e suas características estão detalhadas nas tabelas a seguir.

Tabela 3 : Faixa etária das pacientes.

Idade	Porcentagem (%)
Até 17 anos	2,0
18 a 25 anos	29,6
26 a 35 anos	36,2
36 a 45 anos	17,1
46 a 55 anos	8,6
56 anos ou mais	6,6

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 4 : Frequência de ida a ginecologista.

Frequência	Porcentagem (%)
Nunca	2,0
Raramente	17,1
1 vez ao ano	63,2
2 vezes ao ano ou mais	17,8

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 5 : Quantidade de realizações do exame Papanicolau.

Quantidade	Porcentagem (%)
Nunca	5,9
1 vez	10,5
2 vezes	13,8
3 vezes ou mais	69,7

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 6 : Questionamento sobre desconforto do exame Papanicolau.

Houve algum desconforto?	Porcentagem (%)
Não	9,9
Sim	84,2
Não fez o exame	5,9

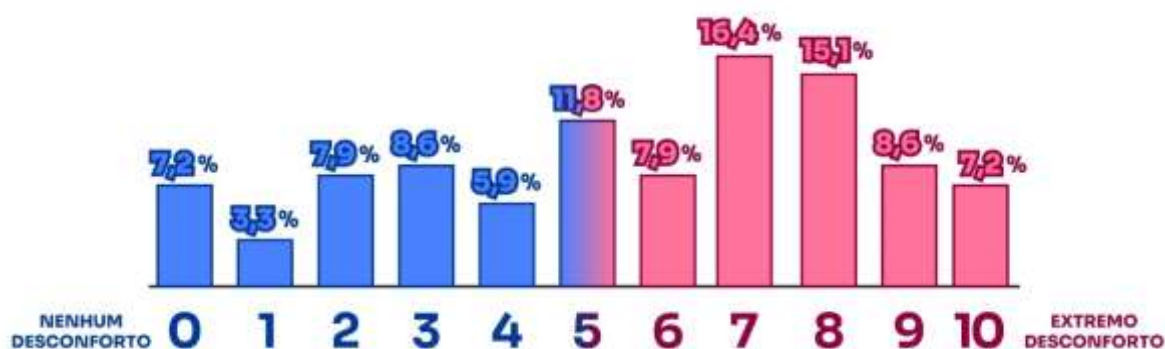
Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 7 : Questionamento sobre o espéculo vaginal.

Já conhecia o formato do espéculo?	Porcentagem (%)
Não	38,0
Sim	62,0

Na figura abaixo constam na parte de cima os números em porcentagem das 152 mulheres, e embaixo os números de escala de desconforto relatados por elas, onde 0 representa nenhum desconforto e 10 representa extremo desconforto.

Figura 54: Porcentagem de mulheres e os níveis de desconforto.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 55: Depoimentos das pacientes sobre o uso do espéculo no exame.

Bom... eu realizei meu primeiro e, por enquanto, único menos de 3 anos após a primeira relação e após ter tido poucas relações, então talvez por isso tenha me sentido bem desconfortável. Mas acredito que o contexto e a forma que o exame é feito também seja bastante desconfortável.
Realizei o papa nicolau precocemente, com 15 anos, 1 mês após minha primeira relação sexual, e senti muita violência por parte da ginecologista. Até hoje, com 19 anos, foi a maior dor que eu senti na vida.
O desconforto maior é pós exame onde a região abdominal fica dolorida
Nunca tinha visto o formato do espéculo. Acredito que se tivesse visto o instrumento antes de realizar o exame, sentiria ainda mais dor
existe um desconforto psicológico na situação que precisa ser também trabalhado, não só o físico
Meu comentário é que uma boa parte dos ginecologistas homens não tem a menor sensibilidade ao realizar o exame, e o fazem de maneira agressiva. Além de que a falta de acesso ao conhecimento da própria vagina faz com que nós mulheres fiquemos ainda mais nervosas durante a consulta.
minha mãe ja fez varias vezes mas nao gosta e fala q é muito desconfortável e as vezes dói, teve uma vez q ela ficou até com infecção urinaria depois de ter feito um, sendo q antes ela tava toda saudável kkk
Exame muito desconfortável e invasivo.
Entre na Menopausa muito cedo, com 40 anos, desde então sinto um desconforto exagerado ao realizar o Exame Papanicolau. Nos três últimos exames realizados tive sangramento e a dor que senti foi insuportável! Antes da menopausa, eu considerava apenas desconforto, agora diria que é uma tortura para mim realizar este Exame.
O instrumento causa um desconforto e os médicos não acreditam muito quando o dizemos. Já tive até que ouvir que para fazer sexo não sente dor
É muito desconfortável e doloroso o exame de papanicolau.

Fonte: Elaboração da autora.

Sobre as respostas dos questionários aplicados, o questionário 1 indicou um perfil de médicos de predominância masculina e de formação em universidade pública. Muitos foram os instrumentos utilizados por eles e que declararam haver problemas de uso, o que indica uma grande abertura e necessidade de atuação dos(as) designers. Outro indício desta demanda pela inserção do designer como profissional importante no mercado de produtos médicos foi evidenciado pelas visitas técnicas nas empresas fabricantes. Os engenheiros que atuam nas companhias são em pequeno número se comparados aos outros funcionários e, embora alguns projetos de novos produtos estejam sendo elaborados por eles, poucas mudanças substanciais e com teor de inovação foram observadas durante as visitas.

As respostas do questionário 2 apontam para algumas impressões que confirmam os problemas de conforto do espéculo durante o exame Papanicolau. Alguns depoimentos das mulheres no questionário mostram que há problemas no procedimento em se adequar

apropriadamente a corpos durante a menopausa, além de problemas de conduta por parte das(os) enfermeiras(os) e médicas(os) que agem de forma agressiva, sem habilidade ou empatia, o que ocasiona na ocorrência de traumas relacionados a esse tipo de exame. A diversidade de reclamações com relação ao desconforto do espéculo apontados no questionário 2 leva a crer que o tema é complexo e precisa de atuação em diferentes aspectos. Contudo, ficou claro que os dois instrumentos levantados inicialmente pelos dois médicos consultados possuem de fato relevância de atuação em design, tendo sido escolhidos para a pesquisa. Em continuidade à elaboração da metodologia, foram realizadas visitas técnicas em fábricas do espéculo vaginal e bolsa de morcelamento, laboratório de medicina, e algumas outras empresas responsáveis pelo descarte dos produtos.

3.2 Visita Técnica 1: Espéculo vaginal de metal

Foram realizadas visitas técnicas para traçar um panorama da atual conjuntura industrial médica no Brasil, mais especificamente na região centro-oeste do estado de São Paulo. O foco das visitas está na observação dos principais elementos de atuação do design como: tipos de processos de manufatura, tipos de materiais, gestão de estoques, burocracias e logísticas até chegar ao usuário final. Foram realizadas também visitas técnicas a empresas responsáveis pelo tratamento e descarte dos resíduos de serviços de saúde, a fim de verificar possíveis melhorias no quesito da sustentabilidade do produto. Uma visita técnica a laboratório universitário do curso de medicina também foi feita para se conhecer equipamentos adequados para testagem de protótipos. No dia 11 de outubro de 2019, foi realizada a visita técnica à fabricante Similar e Compatível, CNPJ 08.877.271/0001-31, localizada na cidade de Ribeirão Preto/SP. A Similar e Compatível é uma das empresas responsáveis pela fabricação nacional do instrumento espéculo vaginal. Esse instrumental tem a particularidade de ser voltado para cirurgias e pode ser esterilizado e reutilizado, com uma vida útil de aproximadamente 3 anos, segundo o dono da empresa.

Figura 56: Alguns setores da fabricante de espéculo vaginal cirúrgico.



Fonte: Elaboração da autora.

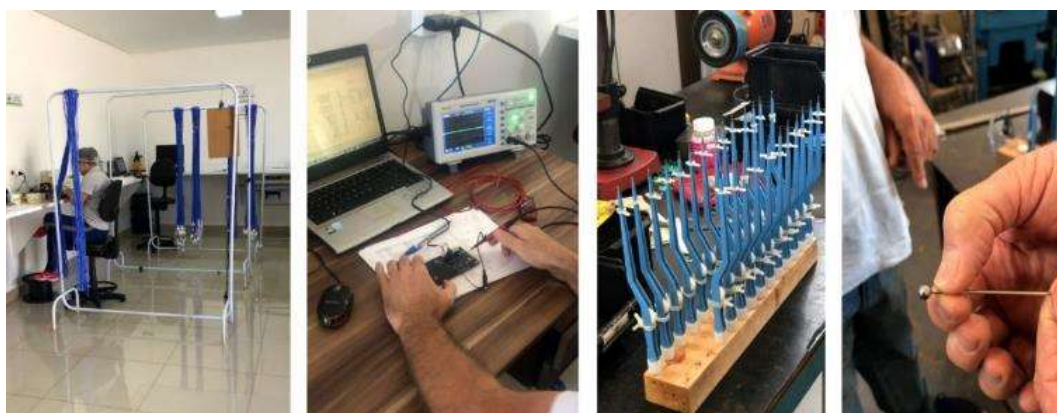
Figura 57: Espéculo vaginal de metal e poliamida, cedido pela empresa.



Fonte: Elaboração da autora.

A Similar e Compatível é focada em dar o acabamento em instrumentais médicos de metal e fabrica acessórios eletrônicos e elétricos próprios para procedimentos cirúrgicos na área da urologia, neurologia, oftalmologia e ginecologia, não trabalhando com descartáveis. A empresa também realiza todos os testes necessários para que os instrumentos sejam levados aos hospitais de forma segura e legal. Na figura 58, da esquerda para direita, estão os registros da linha de montagem de peças elétricas; testes de circuitos de equipamentos eletrocirúrgicos, confecção de pinças e eletrodo de cauterização.

Figura 58: Linhas de montagens, testes e confecções de peças da fabricante.



Fonte: Elaboração da autora.

Conforme relato do dono da instituição, o processo de fabricação do espéculo vaginal passa por duas empresas diferentes. A primeira empresa fabrica o espéculo com aço inoxidável do tipo 304, um aço da família do austeníticos que possui alta resistência à oxidação e corrosão e muito utilizada em hospitais, indústrias químicas, farmacêuticas e petroquímicas³. O espéculo é recebido na Similar e Compatível que fixa o ducto de sucção, com a função de melhorar a visão interna retirando fumaças dos processos (como em cauterizações) e impede também que os médicos inalem possíveis gases contaminados provenientes da paciente. A empresa reveste o

³ Cf. Disponível em: <http://www.arinox.com.br/blog/os-tipos-de-aco-inox/>. Acesso em 5 nov. 2019.

espécuro com uma camada externa de poliamida tipo 11, polímero muito utilizado na área da saúde e automobilística por sua alta resistência ao desgaste, abrasão e impactos⁴. A função do revestimento de poliamida é proteger a paciente de ser queimada em procedimentos eletrocirúrgicos. Por fim, o espécuro é esterilizado, embalado e enviado aos hospitais. O instrumental possui três tamanhos diferentes: o P com 7,5 cm. de profundidade e 2,6 cm. de largura; o M com 8,5 cm. de profundidade e 3,8 cm. de largura; e o G com 9,5 cm. de profundidade e 4,3 cm. de largura.

Figura 59: Processo de fabricação do espécuro vaginal cirúrgico.



Fonte: Elaboração da autora.

A visita técnica à fabricante do espécuro vaginal cirúrgico abriu lugar para mais questionamentos. Sendo um instrumental mais voltado para o ambiente cirúrgico, existem algumas limitações maiores de design do que o espécuro voltado aos exames ginecológicos como o Papanicolau. Por isso, programou-se uma visita em outra fabricante voltada a esse tipo de espécuro.

3.3 Visita Técnica 2: Espécuro vaginal de plástico

No dia 14 de outubro de 2019, foi realizada a visita técnica à empresa Kolplast, CNPJ 59.231.530/0001-93, localizada na cidade de Itupeva/SP. A Kolplast é uma das maiores indústrias nacionais responsáveis pela manufatura dos espécuros vaginais descartáveis, quer dizer, de uso único. O espécuro é o carro-chefe da empresa, tendo a Kolplast desenvolvido um sistema de iluminação interna em 2009 para esse instrumental e comprado outras empresas do ramo do espécuro como a Adlin e a marca Vagispec⁵.

⁴ Cf. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017007.pdf>. Acesso em 5 nov. 2019.

⁵ Cf. Disponível em <https://www.kolplast.com.br/quem-somos/>. Acesso em 26 nov. 2019.

Figura 60: Visita à fabricante de espéculo vaginal descartável.



Fonte: Elaboração da autora.

Diferente de outras empresas visitadas, a Kolplast tem seus processos empresariais bem fechados, por isso algumas perguntas não foram respondidas e não foi permitido tirar fotos do interior da fábrica. Porém, a empresa cedeu dois espéculos e algumas informações foram dadas. De acordo com o responsável técnico e com o site da empresa, o espéculo fabricado pela Kolplast é de natureza descartável e uso único, voltado para utilização apenas em exames clínicos e não sendo recomendado para cirurgias. O descarte deve seguir as normas de biossegurança para lixo hospitalar contaminado e o prazo de validade é de dois anos ou até a abertura da embalagem. É um instrumento atóxico, transparente, com parafuso do tipo borboleta acoplado. O processo de fabricação do espéculo envolve 3 peças moldadas por injeção de plástico: as lâminas macho e fêmea (feitas com poliestireno) e o parafuso (feito com poliacetal), cujos encaixes podem ser feitos manualmente ou automaticamente. É um processo fabril simples e que possibilita praticidade pelo seu uso único, sem necessidade de esterilização, e um baixo custo de mercado (entre R\$ 1,00 a R\$ 2,20 por unidade) comparado aos espéculos mais utilizados que são os de metal reutilizáveis. Os espéculos possuem 5 tamanhos diferentes: PP, P, M, G e o tamanho especial para virgens e mulheres na menopausa. O tamanho mais vendido é o tamanho P, com 11 cm. de comprimento e 2,95 cm. de largura, que representa 60% das vendas desse instrumental. Os preços dos espéculos na loja virtual, consultados em 1 de outubro de 2019, são os seguintes:

Tamanho PP - 250 Unid. - R\$ 259,00

Tamanho P - 200 Unid. - R\$ 210,00

Tamanho M - 150 Unid. - R\$ 202,50

Tamanho G - 25 Unid. - R\$ 40,72

Tamanho Virgem/Mulher na menopausa - 20 unidades - R\$ 44,90

Figura 61: Tamanhos dos espéculos vaginais descartáveis.



Fonte: Disponível em: https://www.kolplast.com.br/portfolio_category/ginecologia/. Acesso em 26 nov. 2019.

Figura 62: Espéculos vaginais descartáveis, cedido pela empresa.



Fonte: Elaboração da autora.

O tamanho virgem é o espéculo menos vendido e é utilizado também em mulheres pós-menopausa, cuja parede vaginal não é muito elástica, podendo machucar se utilizar os formatos mais comuns. Já os tamanhos M e G são utilizados em pacientes obesas ou em mulheres que tiveram muitos partos normais. Na própria empresa há uma máquina para realizar testes de força e resistência do instrumental chamado de vaginômetro, que simula as paredes vaginais humanas. De acordo com o responsável técnico, o grande limitador de projeto é a parte produtiva do espéculo, quer dizer, como tornar o produto ser economicamente viável. De acordo com o relato da enfermeira-chefe da empresa, existem dois tipos de espéculos mais comuns no mercado medicinal global: o tipo Graves, cuja abertura é feita com uma alavanca, sendo mais utilizado na América do Norte e Europa, e o tipo Collins, cuja abertura é mais sutil e feita com um parafuso, sendo mais bem aceito e utilizado no Brasil e América do Sul. O formato do espéculo adotado pela Kolplast é o mesmo há mais de 35 anos. O técnico relatou não haver foco de preocupação de projeto no momento de descarte do produto nem em mudanças de formato.

3.4 Visita Técnica 3: Laboratório de ginecologia

No dia 14 de fevereiro de 2020, foi realizada a visita técnica à USP, campus de Bauru, para conhecer o laboratório de medicina, mais especificamente o setor ginecológico, onde foi mostrado os bonecos vaginais disponíveis para demonstrações de exames pélvicos em aula. Na figura 63, no centro tem-se o boneco vaginal fechado e à direita tem-se o boneco aberto com uma bolsa acoplada à vulva que simula a textura e pressão interna do útero, própria para simular exames de toque.

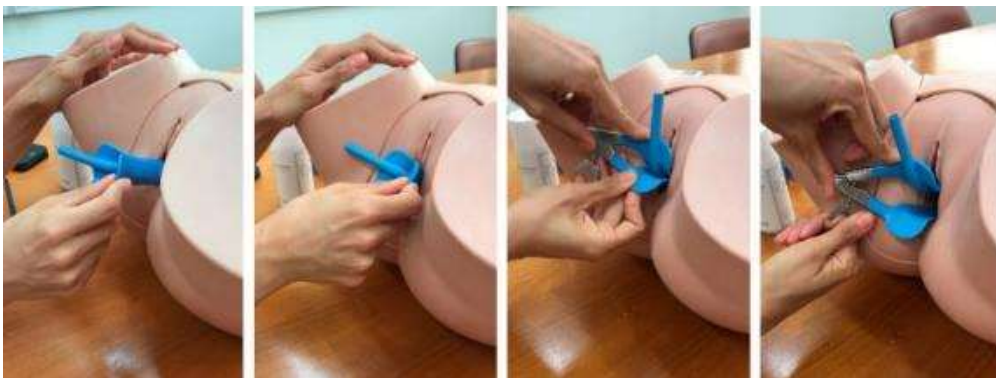
Figura 63: Visita à laboratório de ginecologia na USP.



Fonte: Elaboração da autora.

Na figura 64 há uma demonstração de uso do espéculo no boneco feito pela Profa. Dra. M. N. Nadai: o espéculo é inserido inicialmente com as lâminas fechadas lateralmente; finaliza-se a inserção ao sentir que o instrumento chegou ao colo do útero, que funciona como uma parede limitante indicadora do fim do canal vaginal; gira-se o espéculo com as lâminas para cima e para baixo e inicia-se a abertura das mesmas girando o parafuso acoplado ao espéculo; as lâminas permanecem abertas para poder visualizar toda extensão do canal vaginal e o colo do útero e, assim, realizar exames e outros procedimentos clínicos ginecológicos.

Figura 64: Demonstração de inserção do espéculo no boneco vaginal.



Fonte: Elaboração da autora.

A professora coordenadora do laboratório relatou que o boneco foi construído com a intenção de dar a maior verossimilhança possível a um exame pélvico real, por isso as paredes vaginais do boneco exercem a mesma pressão de um corpo de verdade, o que viabiliza direcionar teste de uso e segurança dos protótipos do novo design de espécuro. Além do boneco vaginal da USP, segundo indicação da professora da USP, há bonecos com vaginômetros no laboratório de fisioterapia da UFSCAR, isto é, bonecos que possuem medidores de força que indicam de forma precisa a força mínima necessária para as lâminas do espécuro suportarem e manterem o canal vaginal aberto sem se romperem.

3.5 Visita Técnica 4: Bolsa de morcelamento

No dia 4 de outubro de 2019, foi realizada a visita técnica à fabricante American Instruments, CNPJ 06.981.398/0001-21, localizada na cidade de Rio Claro/SP. A American Instruments é a única empresa brasileira responsável pela fabricação nacional da bolsa de morcelamento, denominada de Safe Bag, e utilizada na videolaparoscopia. Na próxima figura constam os registros dos setores de esterilização, empacotamento e maquinários diversos.

Figura 65: Diferentes setores da fabricante nacional da bolsa de morcelamento.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 66: A bolsa de morcelamento e o introdutor, cedidos pela empresa.



Fonte: Elaboração da autora.

Essa empresa fabrica não apenas a bolsa de morcelamento, mas também todos os outros instrumentais envolvidos na cirurgia de videolaparoscopia, como o trocarte – que dá acesso à cavidade abdominal, a agulha de *veress* – por onde é introduzido o gás carbônico no abdômen, o morcelador – que realiza os cortes de espécimes (órgãos, partes de cálculos, tecidos) de forma motorizada, entre outros. Na figura abaixo, da esquerda para a direita, tem-se o registro da maquete que simula um abdômen para a videolaparoscopia com a Safe Bag; o morcelador; uma bolsa de morcelamento menor utilizada em biópsias e uma pinça inserida na maquete com o trocarte.

Figura 67: Instrumentos para videolaparoscopia feitos na empresa.



Fonte: Elaboração da autora.

O dono da fabricante, que é um médico ginecologista, contou que a videolaparoscopia é muito nova no Brasil e isso inclui o design da Safe Bag, principal instrumental deste procedimento cirúrgico. Em entrevista, ele comentou: “A Safe Bag tem três anos [de existência] e a gente ainda não sabe exatamente como seria a melhor forma dela, até [na questão] da dobra”. A Safe Bag tem o propósito de isolar a área do abdômen em que se vai realizar o recorte de um espécime grande a ser extraído (como um útero, por exemplo). O dono da fabricante contou que nos anos 1990, as cirurgias laparoscópicas já eram realizadas no Brasil, mas aconteciam complicações com frequência, especialmente em pacientes com câncer. Os recortes dos espécimes eram feitos dentro da própria cavidade abdominal, o que ocasionava em contaminações de outras partes do corpo. Para resolver esse problema, a bolsa de morcelamento foi desenvolvida para criar um ambiente isolado e mais seguro de extração do espécime cirúrgico. A Safe Bag tem como matéria-prima um composto de polímeros específicos próprios para o ambiente cirúrgico. O instrumental também possui um anel de nitinol (NiTi), uma liga de memória de forma (LMF), para facilitar sua manipulação sem prejudicar a sua abertura durante a cirurgia. O processo de fabricação da bolsa de morcelamento (ilustrado na figura 68) passa por três diferentes empresas fabris. A fábrica 1 é a responsável pela confecção da matéria-prima, um plástico obtido por extrusão e composto de polímeros que são biocompatíveis ao ser humano e

hidrofóbicos. A fábrica 2 é a responsável por realizar o molde (ou faca), isto é, ela recebe as lâminas plásticas e faz os cortes e selagens no formato final da Safe Bag. A fábrica 3 é a American Instruments, onde há mais três processos industriais:

- Inserção e soldagem do anel de NiTi importado de outros países, pois não há fabricação nacional deste material;
- Esterilização do instrumental de acordo com as normas do Inmetro e Anvisa;
- Estocagem da bolsa em embalagens próprias para ambientes cirúrgicos e envio aos hospitais.

Figura 68: Processo de fabricação da bolsa de morcelamento.



Fonte: Elaboração da autora.

O introdutor que vem junto com esse instrumental e utilizado para inserir a bolsa dentro do abdômen possui algumas particularidades, como composição diferente de polímero (mais rígido), outro tipo de forma com outras empresas envolvidas, mas o processo de matéria-prima > moldagem > esterilização/despacho são bem parecidos ao da bolsa. O dono da fabricante alertou que a adoção de arames de liga em partes dos instrumentais cirúrgicos é restrita, pois quanto mais concentração de carbono houver na composição do material, mais suscetível o instrumental está à oxidação (ferrugem) a longo prazo. A visita técnica evidenciou um importante aspecto: o tempo de existência do design da bolsa de morcelamento é muito recente, hoje tendo apenas seis anos desde o início da sua circulação em solo nacional. Esse fator é um relevante limitador de design a ser considerado juntamente com as restrições tecnológicas dessa área específica da medicina no Brasil, faltando fabricação nacional de materiais diferenciados, como o NiTi, além de conhecimento/aparatos técnicos completos para realizar todos os testes e ensaios necessários para validar a circulação de novos instrumentais com design melhorado.

3.6 Visita Técnica 5: Tratamento de lixo hospitalar

No dia 11 de novembro de 2019, foi realizada a visita técnica à empresa Cheiro Verde Ambiental, CNPJ 06.003.515/0001-21, localizada na cidade de Bauru/SP. A Cheiro Verde é uma das empresas especializadas na coleta, transporte, tratamento e disposição final de Resíduos de Serviços de Saúde. Na figura abaixo consta a vista geral da empresa e no centro um contêiner com lixo tratado pronto para ser transportado ao aterro sanitário.

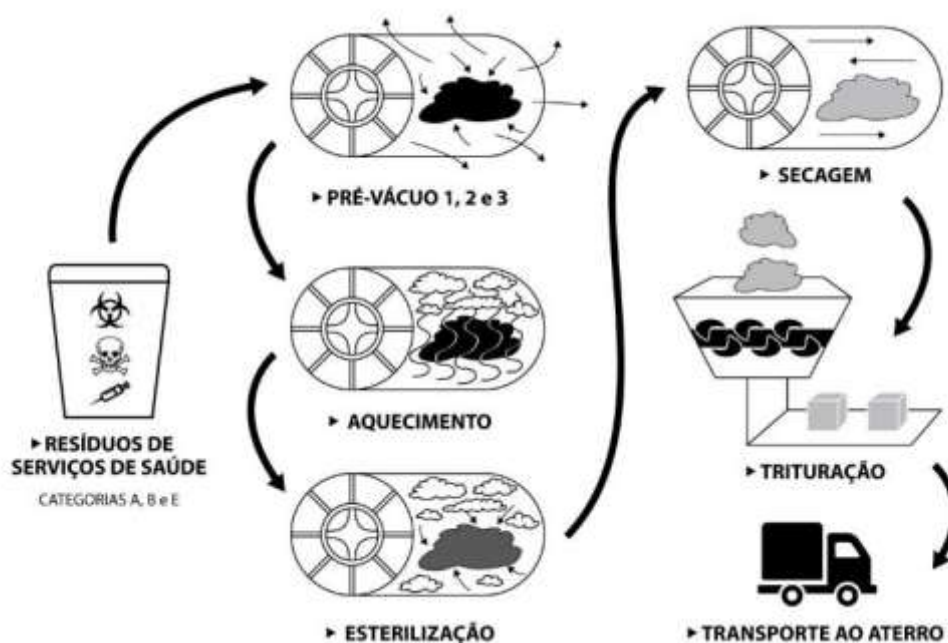
Figura 69: Empresa de tratamento de resíduos de serviços de saúde.



Fonte: Elaboração da autora.

Com atuação em 200 municípios no estado de São Paulo e Paraná, a companhia possui dois tipos de tratamento de lixo hospitalar: autoclavagem e incineração. A autoclavagem, que é utilizada na unidade de Bauru, possui 6 etapas de processamento, conforme a figura 70. Os RSS que a empresa faz o tratamento são dos grupos A, B e E e os principais clientes da unidade de tratamento Cheiro Verde são hospitais públicos e particulares da região do estado de São Paulo e Paraná, indústrias alimentícias, universidades públicas e particulares e escolas técnicas.

Figura 70: Processo da autoclavagem.



Fonte: Elaboração da autora.

Os resíduos de serviço de saúde são colocados dentro da autoclave, que é uma câmara cilíndrica de aço, e o processo de autoclavagem se inicia, tendo o ciclo completo uma duração de 40 minutos. A primeira etapa é o pré-vácuo, onde o ar interno da câmara é retirado aos poucos, aumentando a pressão negativa em três níveis de intensidade. A segunda etapa é o aquecimento, onde há um aumento da temperatura interna com vapor de uma caldeira. A terceira etapa é a esterilização, que é a manutenção da pressão negativa juntamente com a temperatura elevada, propiciando um ambiente que elimina as formas de vida microbiana como bactérias, fungos, vírus e esporos.

Os resíduos são considerados seguros quando a probabilidade de sobrevivência dos microrganismos contaminantes é menor do que 1:1.000.000. A quarta etapa é a secagem, onde toda umidade interna da câmara é retirada. Os líquidos retirados da autoclave são levados a uma unidade de tratamento de água dentro da própria empresa, onde são desinfetados e jogados ao esgoto comum com segurança. O material é retirado da autoclave e vai para um triturador, onde é moído e compactado em blocos. Segundo técnico, os blocos são volumosos, mas não são pesados. O processo termina com o transporte dos blocos de resíduos para aterros sanitários. Na figura 72 está a caldeira responsável pelo aquecimento da autoclave (à esquerda), o abastecimento de gás da caldeira (centro) e o veículo de transporte dos resíduos (à direita). Na figura 73 estão os diferentes tipos de resíduos aguardando para serem autoclavados, da direita à esquerda os resíduos do grupo A, resíduos do grupo B e resíduos do Grupo E.

Figura 71: Duas autoclaves e o triturador.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 72: Setores de tratamento de água e transporte do lixo hospitalar.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 73: Resíduos aguardando para serem autoclavados.



Fonte: Elaboração da autora.

De acordo com o responsável técnico, a empresa faz o tratamento de 5.000.000 de toneladas de lixos hospitalares todos os anos. Só na unidade de Bauru, o lixo tratado alcança em torno de 350 a 400 toneladas por mês. O técnico relatou que a companhia sofre com duas dificuldades. A primeira é a falta de conscientização da população em fazer o descarte correto do lixo hospitalar: por exemplo, jogar os remédios em postos autorizados, como farmácias que possuem pontos de coleta. A segunda dificuldade é a falta de separação entre os lixos comuns e os lixos hospitalares. A empresa já teve de lidar com lixos infectantes misturados com alicates, lâmpadas e ferros de carrinhos. Os metais em geral são o maior problema nessa mistura pois muitos deles são mais resistentes e duros do que as lâminas do triturador, correndo o risco de

danificar a máquina no último processo antes de serem transportados aos aterros sanitários. Para os metais, o processo correto de tratamento é levá-los para incineração.

3.7 Visita Técnica 6: Aterro sanitário

No dia 6 de março de 2020, foi realizada a visita técnica à empresa filial Estre Aterro Sanitário, CNPJ 03.147.393/0002-30, localizada na cidade de Piratininga/SP. A Estre é responsável pela disposição final de resíduos da região de Bauru/SP, Classes II A e II B. Em contexto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas classifica os Resíduos em três classes (ABNT, 2004):

- **Classe I:** Resíduos Perigosos, podendo conter inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- **Classe II A:** Resíduos Não Perigosos e Não Inertes, aqueles que possuem propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- **Classe II B:** Resíduos Não Perigosos e Inertes, aqueles que quando submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Entre os resíduos destas classes, encontra-se os RSS que foram tratados por autoclave pela Cheiro Verde Ambiental, não apresentando mais perigo de contaminação. Atuante na região de Bauru desde 2003, A Estre é uma empresa particular que funciona 24 horas por dia, tendo tratamento de água da região fiscalizado de 6 em 6 meses e fiscalização mensal de todo lixo recebido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. Do setor administrativo da empresa até o aterro em si existe uma distância grande preenchida por reserva florestal, uma das exigências da legislação ambiental.

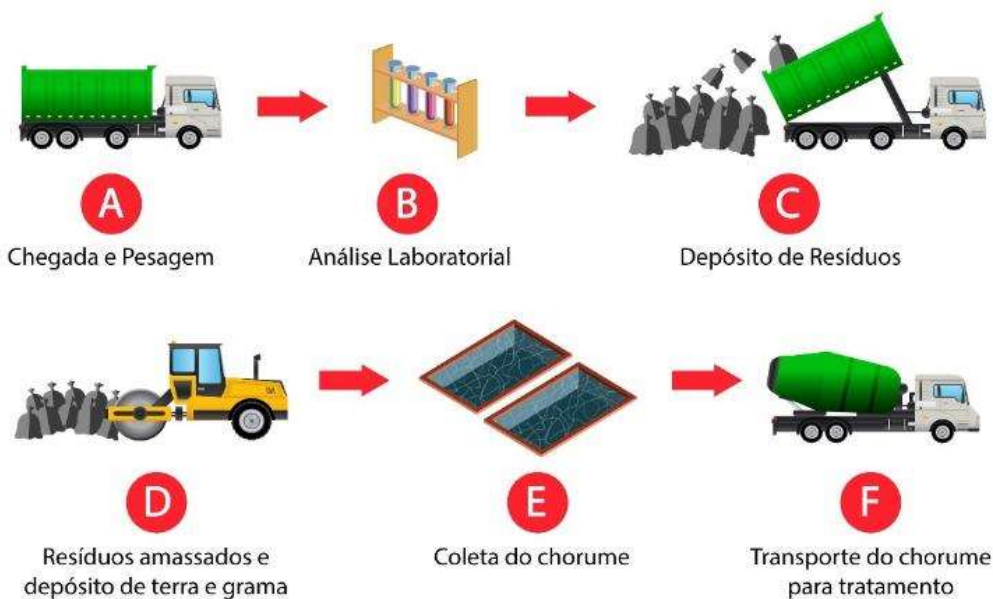
O aterro sanitário é o local em são levados os resíduos que não podem ser reciclados ou reutilizados. Diferentemente dos lixões e dos aterros controlados, o aterro sanitário possui uma série de protocolos e procedimentos de tratamentos para proteger o solo, lençóis freáticos, recursos de água, a atmosfera e as cidades em seu entorno, como visto pela projeção de camadas do solo na figura abaixo.

Figura 74: Sistema de camadas projetadas do aterro sanitário.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 75: Processo de funcionamento do aterro sanitário.



Fonte: Elaboração da autora.

Como esquematizado na figura acima, o processo de funcionamento do aterro funciona da seguinte forma:

- A) O caminhão com os resíduos chega ao local e é pesado, há uma tolerância de recebimento de carga por dia que é controlado pela empresa assim como há dias específicos para recebimentos de resíduos de determinados locais. Cargas com 75% de líquidos não são aceitos conforme as normas da empresa e a legislação ambiental. Não é permitido o recebimento de resíduos de construção civil;

- B) Uma amostra dos resíduos transportados é coletada e analisada em laboratório, setor este que é terceirizado. A análise é estocada no laboratório por até 6 meses, em que são realizadas reações com ácido clorídrico e hidróxido de sódio para verificar se ocorre reação de espuma que pode influenciar no depósito dos resíduos. Análises por decantação, estufas e balanças de umidades também são feitas, tudo para verificar reações que possam prejudicar o sistema do aterro;
- C) Depois de aprovado pelo laboratório, o caminhão deposita os resíduos em solo já preparado anteriormente. A preparação antes de receber os resíduos trata-se de instalação de sistema de drenagem de chorume e impermeabilização do solo natural com manta PEAD – Polietileno de Alta Densidade, um plástico de elevado peso molecular que serve de barreira de contaminação dos resíduos com o solo;
- D) Depois de depositados, os resíduos são amassados por veículo com compressor, adiciona-se uma camada intermediária de 30 cm de terra juntamente com sistema de drenagem de gases resultantes da decomposição, e depois é colocada a camada definitiva de 50 cm de terra. O processo é finalizado com plantação de grama por cima de tudo;
- E) O chorume é coletado pelo sistema de drenagem e é estocado em duas piscinas próximas ao aterro;
- F) Quando as piscinas ficam cheias, um caminhão coleta o chorume que será transportado para outra empresa terceirizada em Jundiaí/SP para receber tratamento e ser comercializado como fertilizante.

O maior custo de todo o processo de funcionamento do aterro sanitário está no tratamento do chorume, por essa razão que é um serviço terceirizado. De acordo com a empresa, chegam a sair 3 caminhões carregados de chorume por dia para tratamento, cada um pesando 48 toneladas.

Na próxima figura é possível observar as diferentes etapas e setores de funcionamento do aterro sanitário: à esquerda, na primeira foto, ocorre o depósito dos resíduos e compactação ao solo por diferentes máquinas; ao centro, na segunda foto, observa-se as diferentes etapas de solo, ao fundo está a reserva ambiental com muitas árvores, logo abaixo está o solo com a manta preta PEAD, depois está o solo com camada intermediária de terra cobrindo resíduos depositados e à frente está o processo final do solo com o acabamento em grama; ao centro, na terceira foto estão as duas piscinas, uma vazia e a outra contendo o chorume coletado pelo sistema de drenagem; e, por fim, à direita, na quarta foto, está o caminhão coletando o chorume a ser transportado para tratamento.

Figura 76: Diferentes etapas e setores do aterro sanitário.



Fonte: Elaboração da autora.

De acordo com a empresa, o aterro funciona como um pulmão, isto é, não possui uma forma definitiva e se move bastante pelas ações climáticas, como chuvas e vento. Por conta disso, análises topográficas são feitas com frequência para verificar se o lixo depositado se moveu muito e corrigir possíveis desvios espaciais, se necessário. Todo o processo de funcionamento do aterro sanitário é contínuo e ininterrupto, sendo um tipo de serviço fundamental à população e que demanda estrutura complexa e pessoal especializado. Quando os resíduos chegam ao aterro sanitário, estão todos misturados, não há uma separação entre diferentes tipos de materiais. Devido a esse aspecto, a separação de possíveis resíduos recicláveis ou reaproveitáveis deve ser realizada antes de chegar ao aterro. Nesse sentido, programas de conscientização de reciclagem são promovidos pela empresa, como visitas de escolas, para que haja um incentivo de separação do lixo nas cidades.

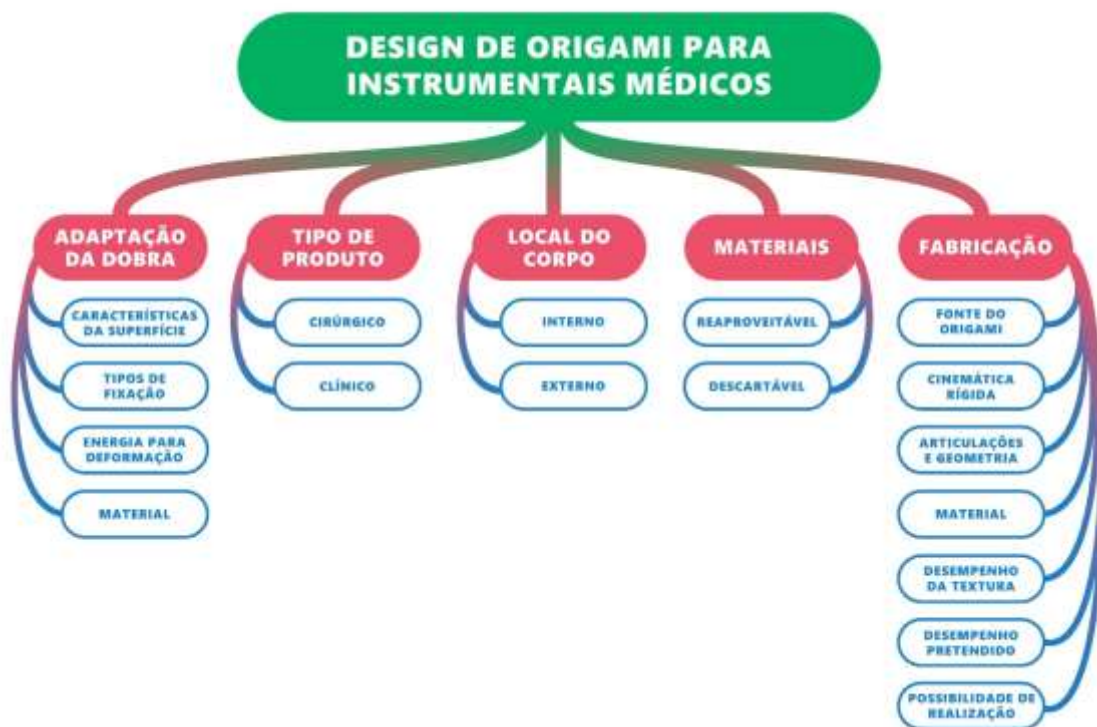
Esclarecida a cadeia de processos produtivos, consumo e descarte do espécuro vaginal e bolsa de morcelamento, é feita uma revisão bibliográfica sobre definição de variáveis dependentes e independentes do design de origami para a medicina e, na sequência, as variáveis específicas de atuação da presente pesquisa e os requisitos de melhorias do design dos instrumentos.

3.8 Definição de variáveis e requisitos de melhoria

De acordo com Iida (2005, p. 39), as variáveis independentes (*inputs*) de pesquisa podem ser manipuladas pelo designer para verificar o desempenho delas durante o uso do produto e as variáveis dependentes (*outputs*) são correlacionadas aos elementos e resultados de mudança feitos pelo designer.

Partindo desse pressuposto e convergindo as indicações metodológicas elaboradas por Francis et al. (2014) e Edmondson et al. (2013), o desenvolvimento de design de origami para instrumentais médicos possui as seguintes variáveis:

Figura 77: Variáveis de design de origami para instrumentais médicos.



Fonte: Elaboração da autora.

A ordem de dependência das variáveis no fluxograma acima vai de cima para baixo: Do que depende o design de origami elaborado para instrumentais médicos? Depende da adaptação da dobra, do tipo de produto, do local do corpo, dos materiais e da fabricação. Por sua vez, do que depende a adaptação da dobra? Depende das características da superfície, dos tipos de fixação, da energia de deformação e do material utilizado. Dependendo do ponto de referência, uma mesma variável é independente ou dependente de outras, tendo inclusive algumas em comum, como é o caso do material. O tipo de produto é uma variável independente com relação ao design de origami, mas é dependente de outras variáveis como a fonte de origami, cinemática rígida, e assim por diante. A primeira variável independente, “adaptação da dobra”, é também conhecida como “caracterização dos vincos” de acordo com Francis et al. (2014), e diz respeito à investigação experimental das formas de um modelo de origami, que possui espessura próxima de zero, comparada a outros tipos de materiais que possuem espessuras maiores que zero. Essa adaptação se dá por meio de dois questionamentos: o primeiro corresponde à verificação da necessidade de a superfície do material ser contínua e ininterrupta; o segundo corresponde à verificação da energia exercida sobre o modelo para que ele deforme cinematicamente. Esta variável depende de outras quatro variáveis: as características da superfície de contato com as dobras; os tipos de fixação do padrão de vincos no material; a energia necessária para que o material se deforme conforme o padrão fixado; e o uso de um

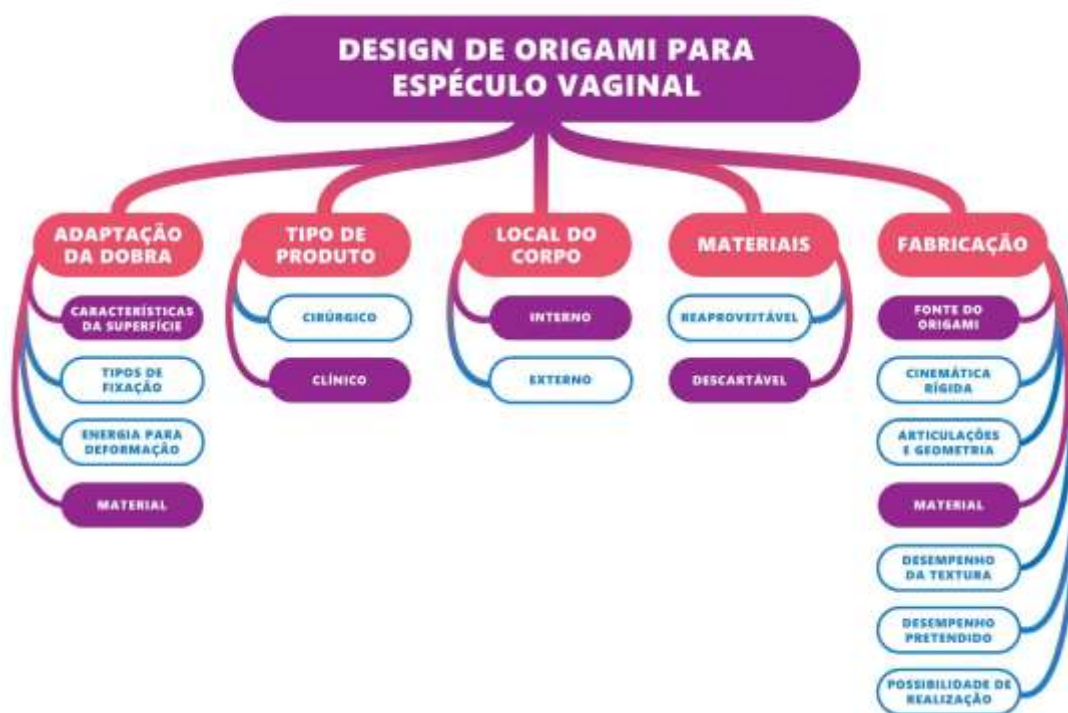
ou diversos materiais para a deformação necessária. Atuar em cima da variável “adaptação da dobra” implica em escolher padrões de dobras e fazer testes sistemáticos com papel, observando quais geometrias possuem maior ou menor resistência cinemática por meio de ensaios de tensão e deformação estrutural. Esta etapa define o padrão de vincos mais apropriado para cada tipo de instrumento médico de acordo com as suas funções específicas e de acordo com a aplicação para outros tipos de materiais.

As variáveis independentes “tipo de produto” e “local do corpo” dizem respeito às especificidades das funções desempenhadas pelos instrumentais e que influenciam no design como um todo. A variável “material” é ao mesmo tempo independente, pois possui seus próprios critérios considerando suas propriedades e escolhas para o designer, e dependente das variáveis “adaptação da dobra” e “fabricação”. Quando encarado como independente, o material pode ser reaproveitável, o que implica em maior rigidez da superfície (materiais que são autoclavados para serem esterilizados precisam de alta espessura para não sofrerem deformações plásticas em suas estruturas), ou descartável, que implica em maior facilidade de concepção e produção por conta da maior versatilidade de formas/mecanismos e do giro rápido de vida útil.

A variável independente “fabricação” diz respeito à prototipagem do instrumental e possui sete sub variáveis independentes: “fonte do origami”, que é a referência de formas baseada no modelo em papel; “cinemática rígida”, que é a avaliação dos DOFs e ensaios de força em diferentes materiais; “articulações e geometria”, que é a construção de diferentes padrões de vincos considerando a função desejada e a verificação da acomodação das dobradiças ou outros tipos de adaptações de dobras para a deformação estrutural; “material”; “desempenho da textura”, que verifica se o tipo de interferência na superfície do material para a deformação necessária cumpre a função desejada e não compromete a ergonomia, em especial nos quesitos de segurança, conforto e eficiência do instrumento; “desempenho pretendido”, que avalia a função do instrumento entre o novo adaptado do origami e o anterior vigente; e a “possibilidade de realização”, que diz respeito às especificações técnicas definitivas para patente e produção seriada. Segundo Francis et al. (op. cit.) quanto mais tempo e recursos estiverem disponíveis, maior é a fidelidade do protótipo com a “fonte do origami”, pois as etapas de adaptação do origami em papel para outros materiais podem ser verificadas em mais aspectos de produção e controle de qualidade do que um projeto contemplado a curto prazo, ao passo que protótipos com menor fidelidade estão relacionados à maior facilidade e menos custo de produção.

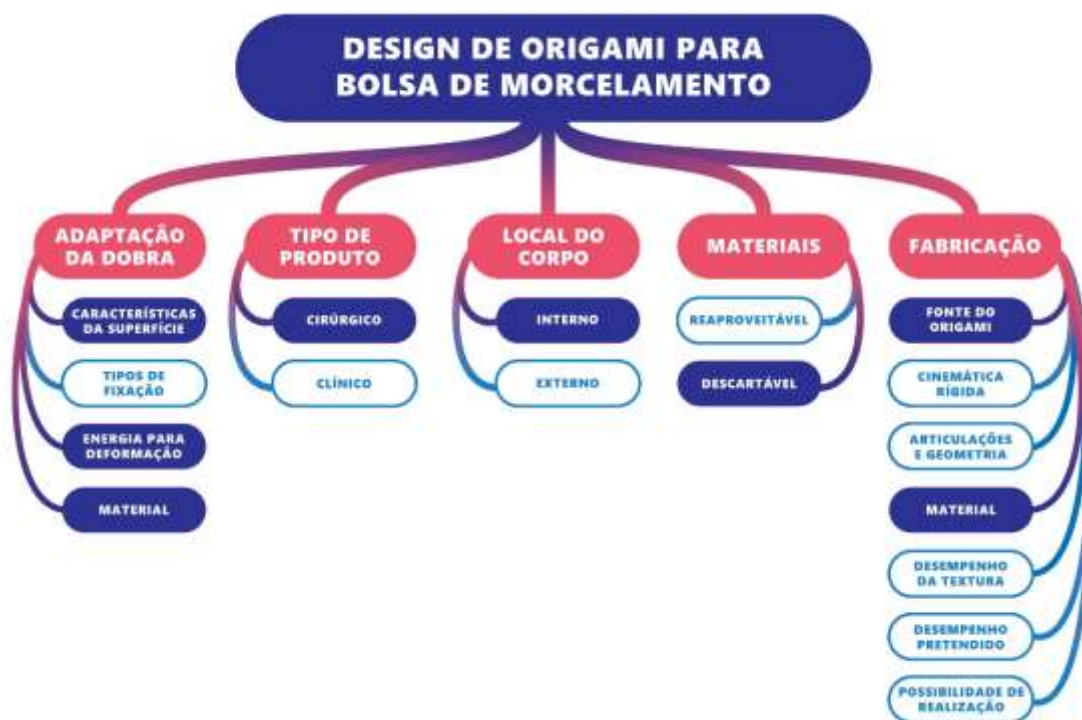
A partir das variáveis gerais levantadas, é feita a escolha de variáveis que a presente pesquisa atuará. Essas variáveis são separadas para cada instrumento e são indicadas nos fluxogramas em tons de roxo:

Figura 78: Variáveis de atuação para design de espéculo vaginal.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 79: Variáveis de atuação para design de bolsa de morcelamento.



Fonte: Elaboração da autora.

Na sequência, e levando em consideração os questionários aplicados e as visitas técnicas, são esquematizados os requisitos de melhoria de design para cada instrumento.

Figura 80: Requisitos de melhoria de design para espêculo vaginal.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 81: Requisitos de melhoria de design para bolsa de morcelamento.



Fonte: Elaboração da autora.

Considerando as variáveis a serem atuadas para cada um dos instrumentais, a metodologia de pesquisa prevê alcançar os requisitos necessários para melhorias em design mais eficiente e/ou sustentável, juntamente com a comprovação ou refutação das hipóteses, por meio de métodos como a engenharia reversa da orimimética (GREENBERG et al., 2011; TURNER; GOODWINE; SEN, 2016), estudos de forma e função estrutural em papel (DAVIS et al., 2013; EDMONDSON et al., 2013), construção e adaptação de padrões de vincos de origami-tesselação (CHEN; PENG; YOU, 2015; LANG et al., 2018; MORGAN et al., 2016; TOLLEY et al., 2014; ZIRBEL et al., 2013), desenho de mecanismos compatíveis (HAO; YU; LI, 2016; LU; KOTA, 2006; NELSON et al., 2016), testes de força e deformação estrutural (SARGENT et al., 2019) e prototipagem rápida (TOBARO, 2021).

Em cima das variáveis independentes “características da superfície” e “energia para deformação” para a bolsa de morcelamento, uma análise geométrica de quatro origamis do tipo tesselações foi realizada, buscando analisar quais são os designs de origamis com melhor desempenho. Para avaliar esses desempenhos, um ensaio de força dos quatro origamis tipo tesselação foi realizado em inspiração nos métodos de Sargent et al. (2019), isto é, captação de força por dinamômetro e levantamento da constante elástica das amostras de origamis e dos padrões de vincos mais eficazes quando comprimidos ou tracionados.

Em cima das variáveis do espelho vaginal “características da superfície” e “material” dentro da “adaptação da dobra”, foram realizados testes de formas em papel e na sequência, atuando nas variáveis “fonte do origami”, “material” e “desempenho pretendido” dentro da “fabricação” foram utilizados os métodos de design de origami baseados em mecanismos compatíveis (GREENBERG et al., 2011; HAO; YU; LI, 2016; LU; KOTA, 2006; NELSON et al., 2016), com enfoque no equilíbrio entre o design tradicional vigente e design monolítico.

Os equipamentos e materiais para os testes de força e prototipagem rápida são máquina de corte a laser, serra de fita, dinamômetro, impressão 3D tipo FDM, régua de aço imaculado, peças em MDF, papel branco 120 g/m², argolas e mini dobradiças de alumínio, grampos do tipo sargento, filamentos de polímeros em PLA e TPU, ambos com espessuras de 1,75 cm. Os softwares utilizados foram o programa de desenho vetorial Adobe Illustrator®, o programa de modelagem 3D Autodesk Fusion 360®, o programa de fatiamento Ultimaker Cura® e o programa de gráficos e análises Origin®. A máquina de corte a laser é uma Due Nxt® do tipo diodo azul 445 nm, com potência de 8 W, com área de trabalho 42 x 32 cm.

Figura 82: A máquina de corte a laser Due Nxt.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 83: A impressora 3D Sethi3D S3X.



Fonte: Elaboração da autora.

A impressora 3D é uma Sethi3D S3X® do tipo FDM, com potência de 700 W e possibilidade de imprimir quatro tipos de materiais em filamentos de espessura 1,75 cm: ABS (Acrlonitrila Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico), PETG (Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol) e FLEX/TPU (Poliuretano Termoplástico). Sua área de impressão é de 30 x 30 x 32 cm (28,8 litros), a resolução da altura da camada varia de 0,05 a 0,4 mm; nos eixos X e Y a resolução é de 0,0125 mm e no eixo Z a resolução é de 0,001 mm. O diâmetro do bico é de 0,5 mm e as extensões de arquivos compatíveis são .obj e .stl. A configuração padrão da Sethi3D S3X foi realizada com o software livre de fatiamento Ultimaker Cura e está presente no Apêndice C. Os códigos de início e fim da impressora (Apêndice F) precisam ser inseridos pelo

designer manualmente. Os perfis-padrão de materiais/filamentos da Sethi3D para ABS, PLA, PETG e TPU (FLEX), cujos valores e propriedades estão elencados no Apêndice D. Os filamentos da 3DX utilizados possuem algumas características semelhantes às da Sethi3D, mas com algumas variações informadas pelo fabricante, os valores exatos constam no Apêndice E.

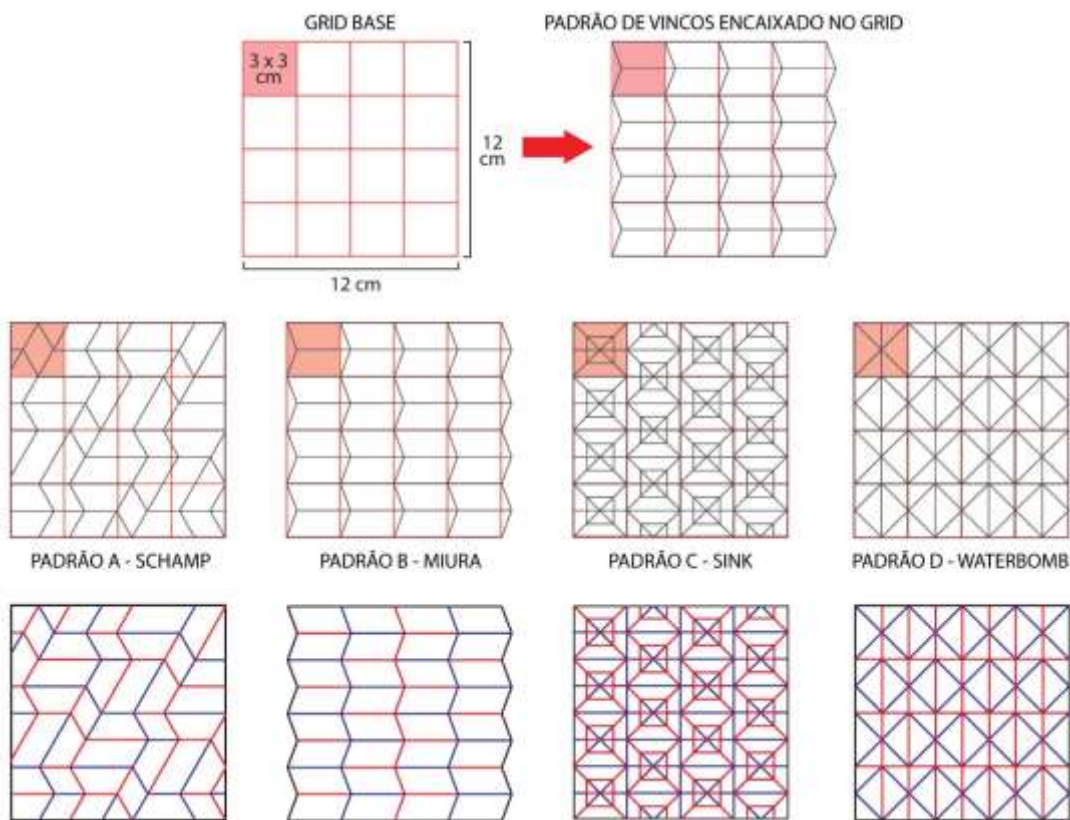
3.9 Método para ensaio de força

Atuando na variável “Energia para deformação” da bolsa de morcelamento, busca-se com o ensaio de força compreender de forma quantitativa quais padrões de dobra podem ser mais eficientes para serem aplicados no produto. O desenvolvimento dos testes de força e deformação dos origamis tesselações se deu pela escolha do papel branco 120 g/m² para os origamis. A escolha dos padrões teve dois critérios: são dobraduras planificáveis e possuem 1 DOF. Tendo o Miura-Ori como referência, tais critérios de design de origami proporcionam simplicidade de movimento e facilidade de fabricação à possível implementação na bolsa de morcelamento. Com esses critérios, foram eleitos quatro padrões de vincos:

- padrão A - design de Ray Schamp;
- padrão B - design de Koryo Miura;
- padrão C - design *sink fold*;
- padrão D – design waterbomb.

A construção dos padrões de vincos foi feita no software de desenho vetorial Adobe Illustrator®, com papéis de tamanho 12 x 12 cm e inserindo a unidade de repetição de cada tesselação dentro de um módulo de 3 x 3 cm, mantendo a proporção dos padrões geométricos, conforme a figura 84. A construção geométrica teve como parâmetro de orientação manter como constante duas configurações das amostras: o material e o tamanho. Para inserção automática de cada tipo de padrão de vincos no papel, a máquina de corte a laser foi ajustada com as seguintes configurações: para a vincagem, o laser foi ajustado em 45% de velocidade, 85% de potência, com 1 passe; para o corte dos papéis, o laser foi ajustado em 25% de velocidade, 90% de potência, com 1 passe.

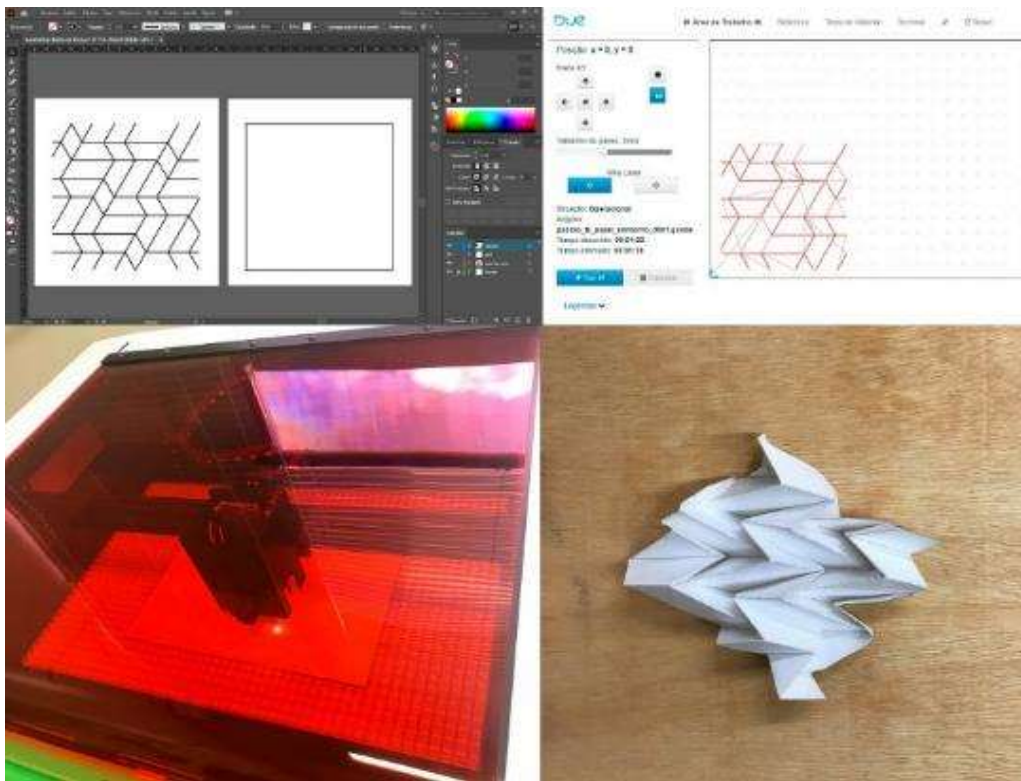
Figura 84: Construção geométrica modular das amostras.



Fonte: Elaboração da autora.

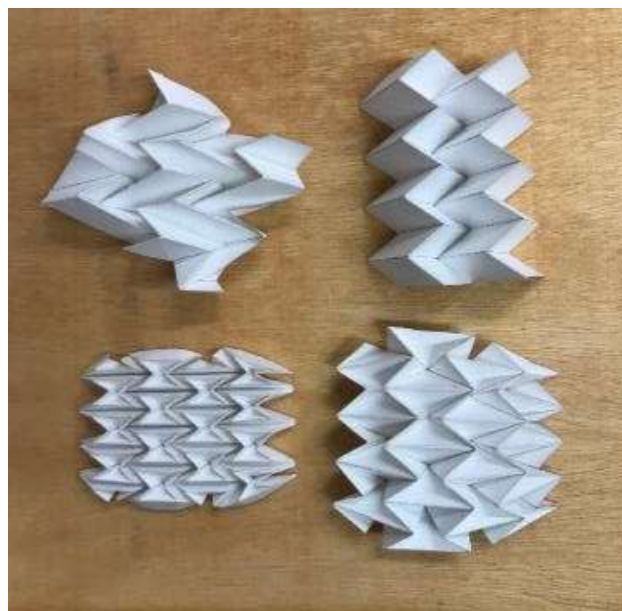
O processo de desenho e vincagem pode ser visto na figura 85, onde na imagem superior à esquerda consta o desenho vetorial feito no Illustrator, os vincos e cortes separados por diferentes pranchetas; na imagem superior à direita estão os vincos sendo processados pelo programa da Due; na imagem inferior à esquerda está a máquina a laser começando a vincar o papel; e na imagem inferior à direita consta o origami depois de vincado e dobrado. A vincagem e corte com máquina a laser garante precisão e repetibilidade dos padrões de dobras e é um método bastante utilizado em design de origami (SARGENT et al., 2019). Na figura 86 é possível observar as amostras depois de dobradas manualmente. Foram manufaturadas três amostras de cada padrão tesselação, dando um total de 12 amostras.

Figura 85: Desenho e vincagem das amostras com corte a laser.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 86: As quatro amostras vincadas e dobradas.

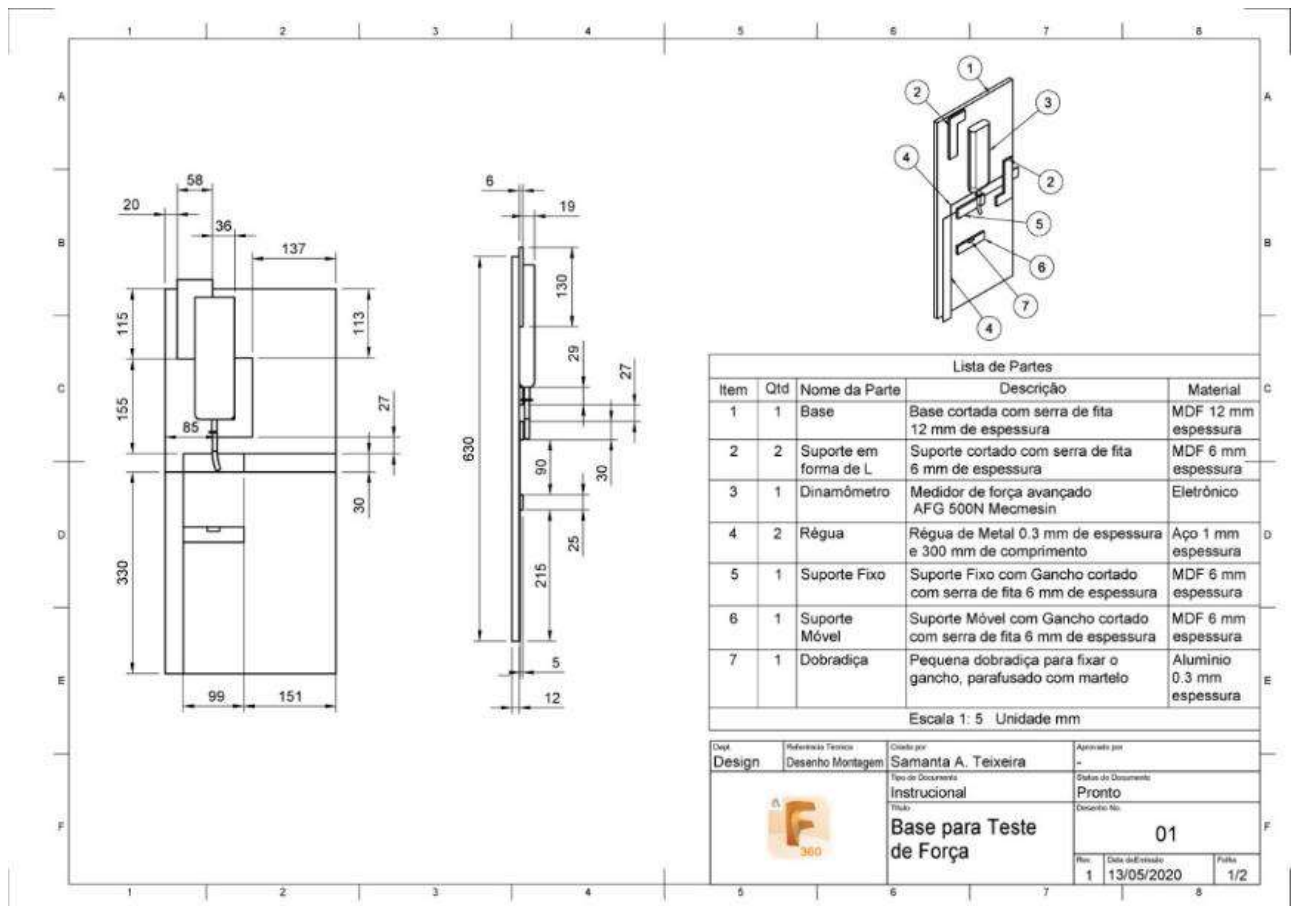


Fonte: Elaboração da autora.

Para ter um suporte controlado de medição que pudesse eliminar o máximo de ruídos de resultados do ensaio, tais como variações de alturas e direções múltiplas durante os movimentos

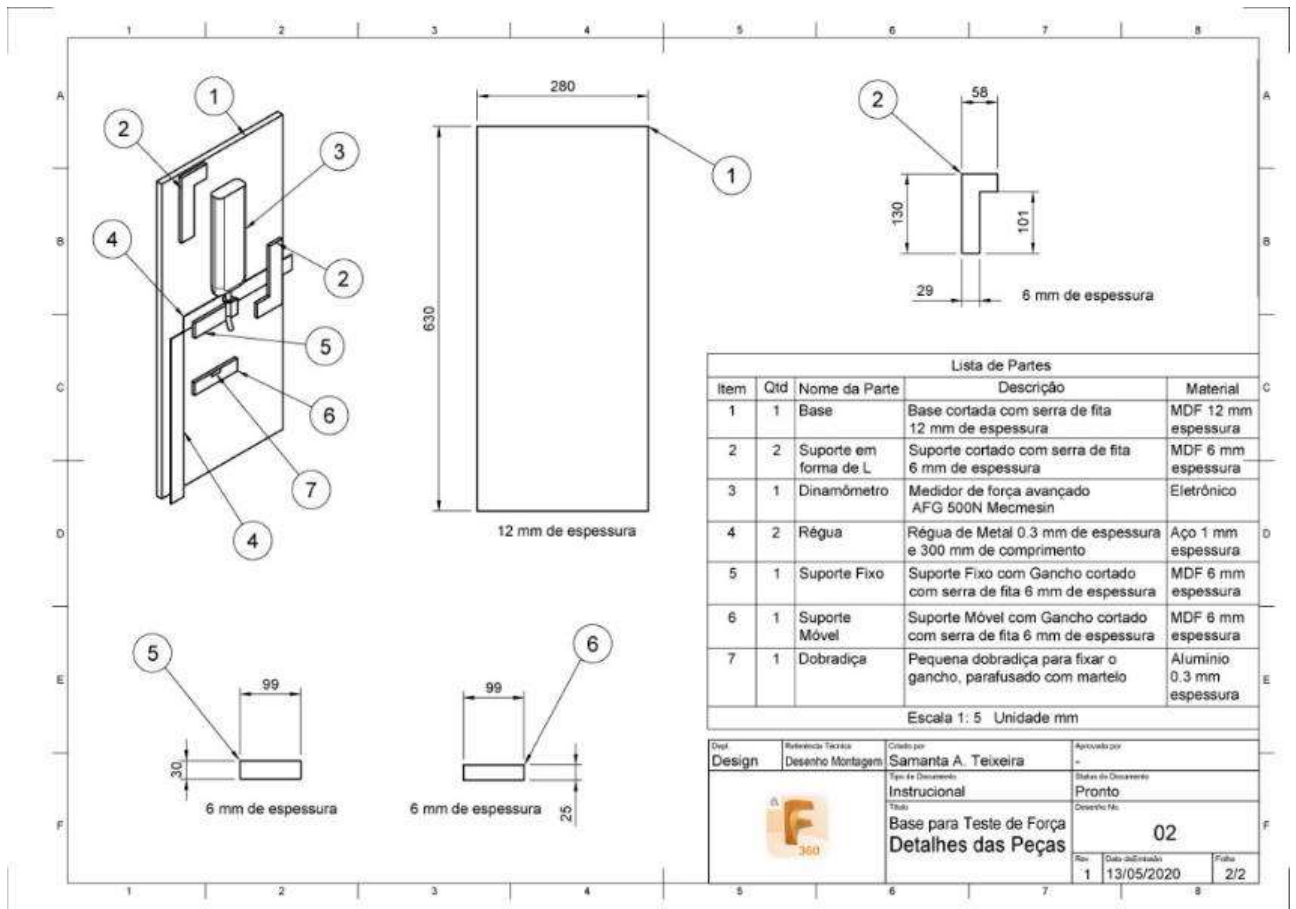
de tração ou compressão, foi construída uma base de fixação para o dinamômetro. O design e montagem digital da mesa suporte foram feitos no Autodesk Fusion 360®. As especificações técnicas, com dimensões, tipos de materiais, processos utilizados e montagem são ilustradas nos desenhos técnicos das figura 87 (vista superior, isométrica e lateral esquerda) e figura 88 (vista isométrica e superior). O resultado da montagem da mesa suporte pode ser visto figura 89. Conforme os desenhos técnicos, todas as peças de MDF foram cortadas com serra de fita. Para as medidas de deformação, foram utilizadas duas régua de aço imaculado de 30 cm. da Brasfort® colocadas em 90° uma com a outra. As régua e todas as peças de MDF (excluindo o suporte móvel) foram fixadas na base de 28 x 63 cm com fita de adesivo acrílico VHB da 3M®. O dinamômetro utilizado no ensaio é um Advanced Force Gauge AFG 500N da Mecmesin®, com precisão de $\pm 0,1\%$ fs.

Figura 87: Desenho Técnico 1 da base para o teste de força.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 88: Desenho Técnico 2 da base e peças para o teste de força.



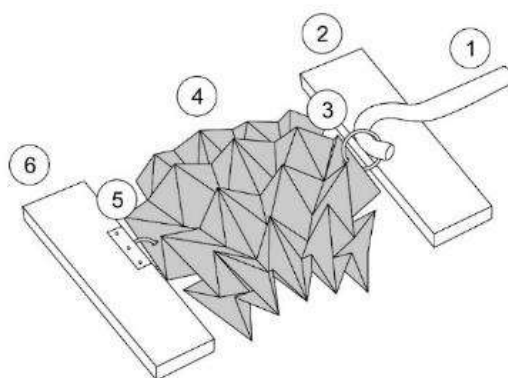
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 89: A mesa suporte construída, no dia da coleta dos testes.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 90: Fixação do origami no sistema de captação de força.



Fonte: Elaboração da autora.

Cada amostra de origami possui dois furos, um para fixar a amostra no gancho do dinamômetro e o outro para fixar na dobradiça de alumínio do suporte móvel, como esquematizado na figura 90, cuja numeração corresponde a:

- 1): Gancho do dinamômetro;
- 2): Suporte fixo que serve de apoio ao gancho;
- 3): Argola de alumínio conectada ao dinamômetro e ao origami;
- 4): Amostra do origami tesselação em posição natural;
- 5): Argola de alumínio conectada ao origami e o suporte móvel;
- 6): Suporte móvel com dobradiça de alumínio para fixar a argola.

A mesa-suporte foi fixada em uma mesa maior com dois grampos tipo sargento dentro de uma sala controlada com 25°C de temperatura. Foi realizado um teste para cada uma das 12 amostras de origami tesselações em dois tipos de captação de força: tração e compressão, ambos partindo da posição natural dos origamis (sem nenhum tipo de tensão inicial solicitada). Os testes foram gravados por câmera fixa em um tripé. O ensaio possui como variável independente a “geometria de dobras”, que se encaixa dentro da variável “características da superfície”, ao passo que a “força” captada pelo dinamômetro e a “constante elástica” são variáveis dependentes da geometria de dobras. As constantes do sistema são o material e as dimensões das amostras. O método do ensaio foi baseado em uma adaptação dos ensaios descritos por Sargent et al. (2019), com a diferença que o presente experimento focou-se no desempenho dos diferentes tipos de geometria de dobras durante as solicitações de tensão em papel e não nos processos de recozimento com o PET. Segundo os pesquisadores, é possível observar o comportamento dos vincos por meio da posição natural do origami, ou seja, sem nenhuma solicitação de tensão para a posição tensionada, podendo ser tração ou compressão. A resposta do dinamômetro juntamente com as medidas das réguas nesse processo indica quais são os padrões de vincos mais eficientes na ordem da amostra que obtiver maior deformação

com menos solicitação de força. A eficiência dos padrões de vincos foi levantada pelo valor da constante elástica de cada uma das amostras durante o ensaio de deformação e força. Para calcular a força elástica, utilizou-se a Lei de Hooke, descrita na Equação 1.

$$F = K \cdot x \quad (1)$$

Onde,

F: força aplicada no corpo elástico (N), referente às respostas do dinamômetro;

K: constante elástica (N/m), referente à amostra de origami;

x: variação sofrida pelo corpo elástico (m), referente às respostas captadas pela régua fixa.

Para compreender a constante elástica de cada padrão de dobras, o ensaio foi realizado em duas situações de solicitação de força: tração e compressão. Os dados coletados podem indicar quais padrões se compactam ou se expandem melhor. Dependendo da aplicação, esses diferentes valores podem ser decisivos durante as definições de design de adaptação de origami.

Como são padrão de vincos diferentes, a posição natural de cada um também tem valores diferentes. Para poder igualar esses valores, fazendo com que todos partissem do 0, e fazer os cálculos da fórmula de forma neutra e já convertida dos centímetros da régua para metros do Sistema Internacional, foi calculado o valor de x por meio da Equação 2.

$$x = pn - e \quad (2)$$

Onde,

x: variação sofrida pelo corpo elástico (m), referente às respostas captadas pela régua fixa;

pn: altura (cm) da amostra em posição natural;

e: posição da extremidade (cm) da amostra na régua fixa.

Os valores de pn para cada padrão constam na tabela 1 juntamente com os respectivos números de dobras montanhas e dobras vales elencados após a construção geométrica digital e a dobragem manual.

Tabela 8 : Características geométricas de cada tipo de amostra origami tesselação.

	Posição Natural em comprimento (cm)	Dobras Montanhas	Dobras Vales	Total de Dobras
Padrão A	5.5	40	36	76
Padrão B	5.0	22	30	52
Padrão C	3.5	188	130	318
Padrão D	4.5	66	64	130

Fonte: Elaboração da autora.

A solicitação de força foi realizada de forma constante, 1 cm/s, e de forma a captar os valores do dinamômetro a cada 1 cm de deslocamento de cada amostra. Os valores de F foram obtidos por meio da média calculada de três ensaios para cada amostra em tração e três ensaios para cada amostra em compressão.

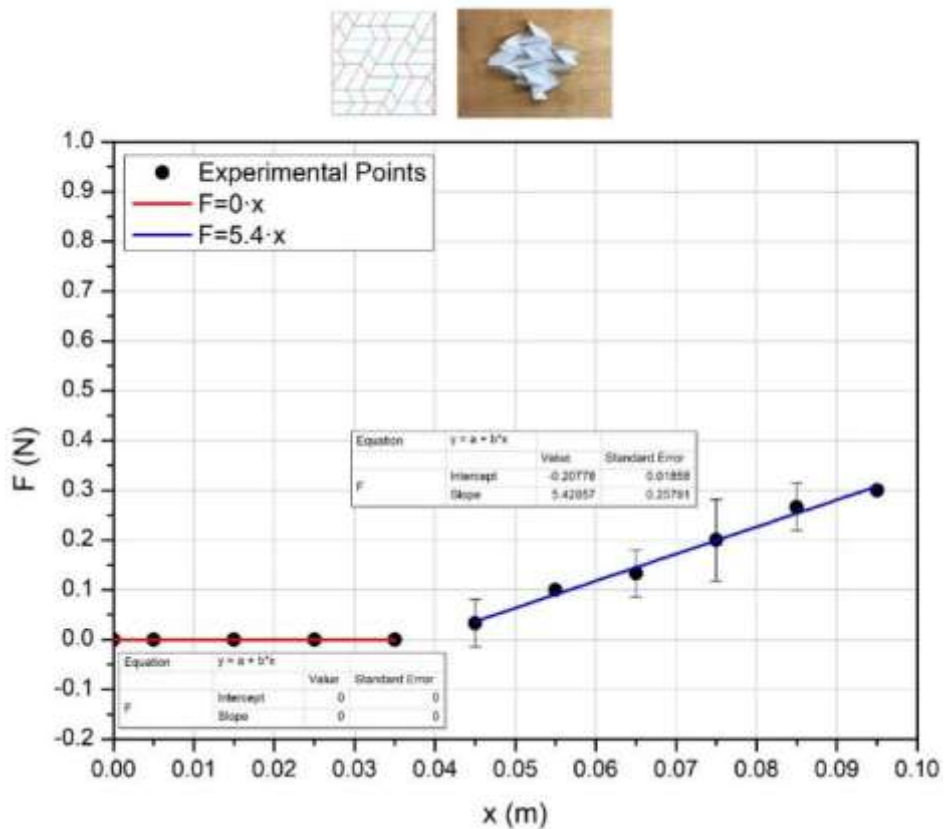
3.10 Métodos para Bolsa de morcelamento

O novo design para a bolsa de morcelamento contempla a variável dependente “Adaptação da Dobra” com atuação nas variáveis independentes “Energia para deformação”, “Características da superfície” e “Material”. Contempla também a variável dependente “Fabricação” com atuação nas variáveis independentes “Fonte do Origami” e “Material”, bom objetivo de atender os requisitos de melhoria “Compactação e expansão estrutural mais eficientes”, “Diminuir número de peças e matéria-prima” e “Aumento de segurança de uso”.

3.10.1 Energia para deformação

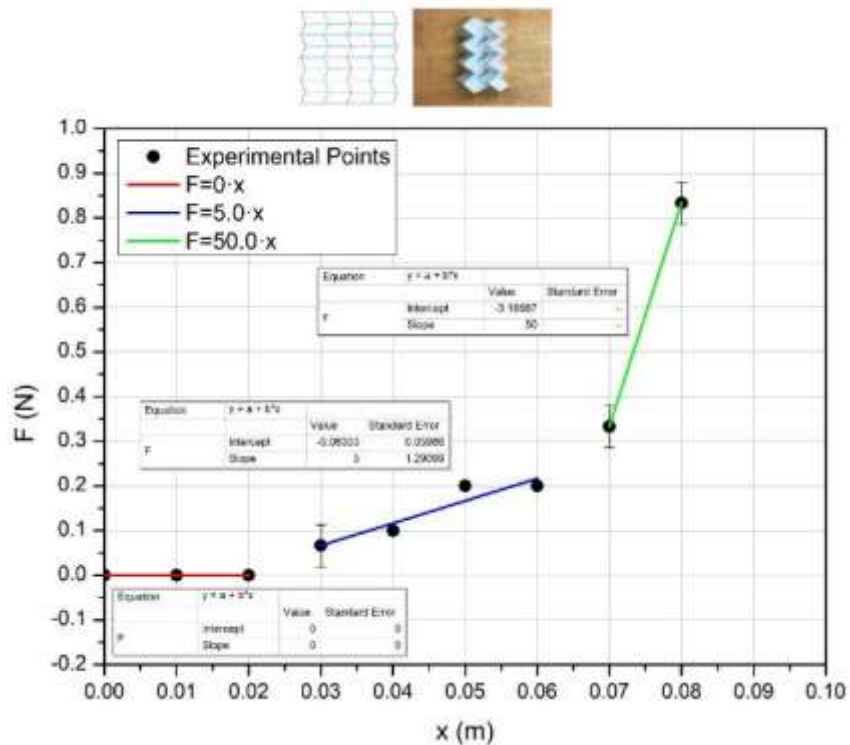
Os gráficos construídos entre Força (F) e Deformação (x) resultantes do ensaio de força dos origamis tesselações foram separados em duas leituras, quatro gráficos de cada uma das amostras para o ensaio de tração e quatro gráficos para o ensaio de compressão.

Figura 91: Curva de força e deformação para padrão A em tração.



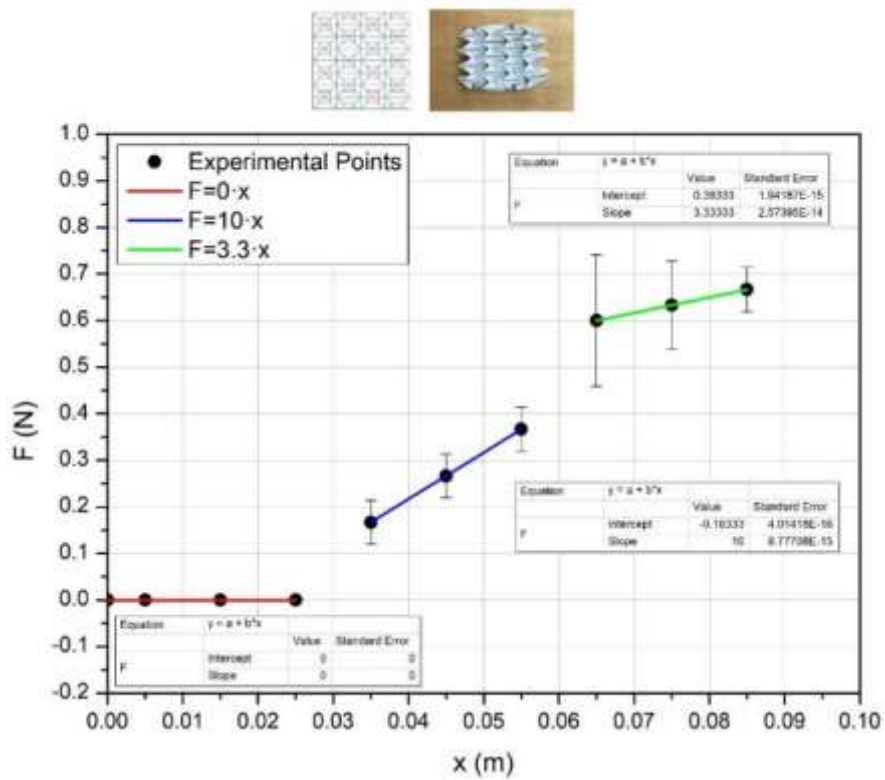
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 92: Curva de força e deformação para padrão B em tração.



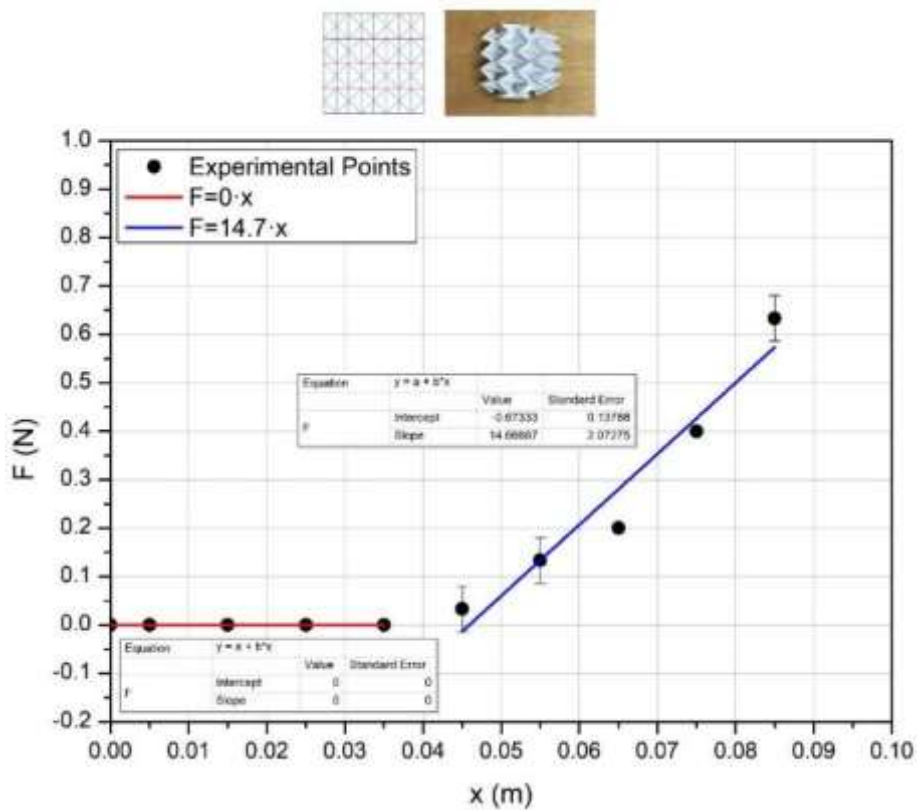
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 93: Curva de força e deformação para padrão C em tração.



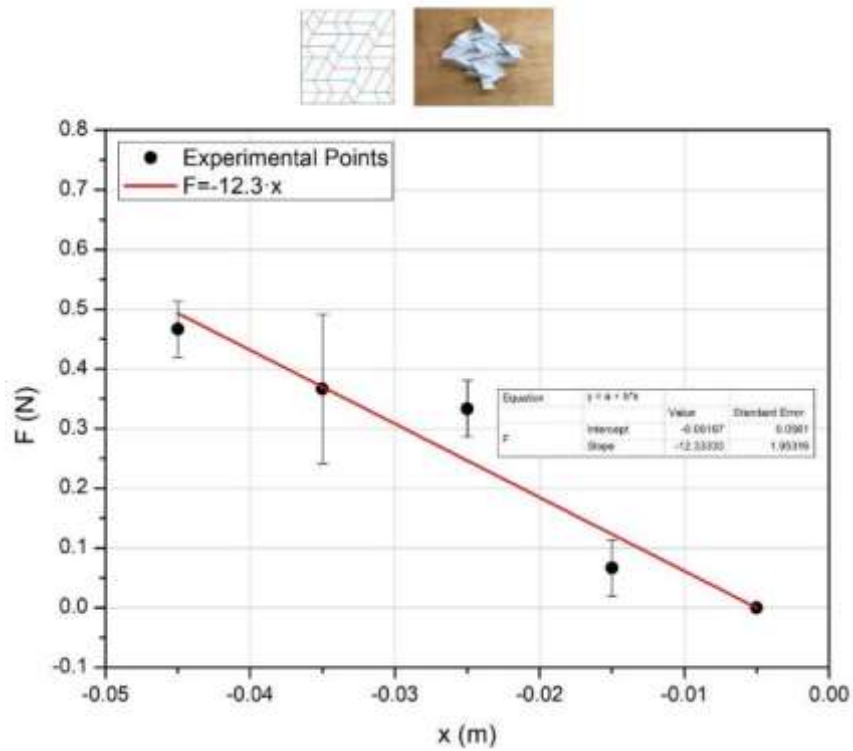
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 94: Curva de força e deformação para padrão D em tração.



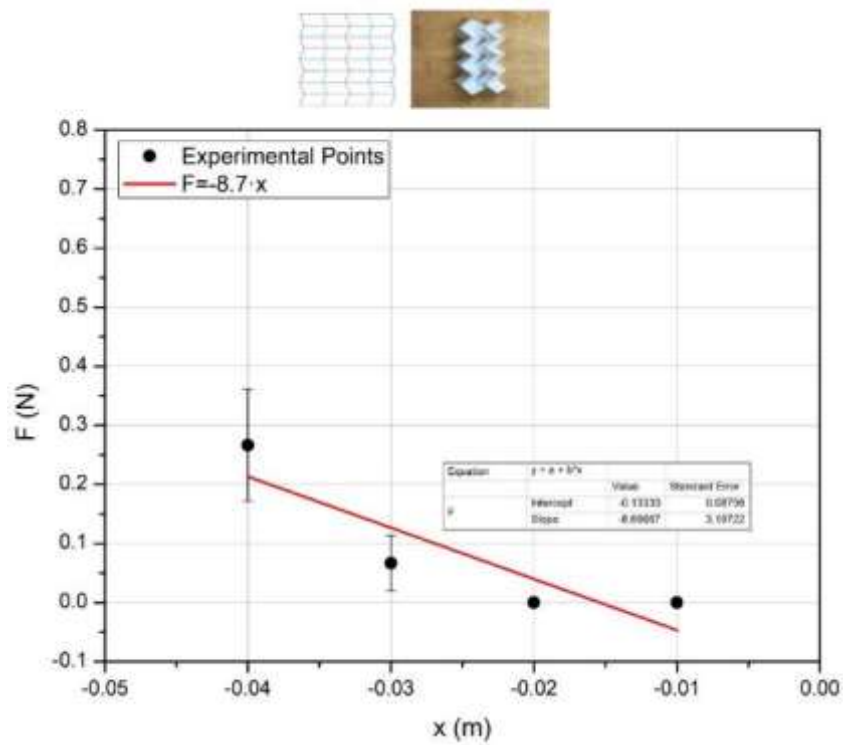
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 95: Curva de força e deformação para padrão A em compressão.



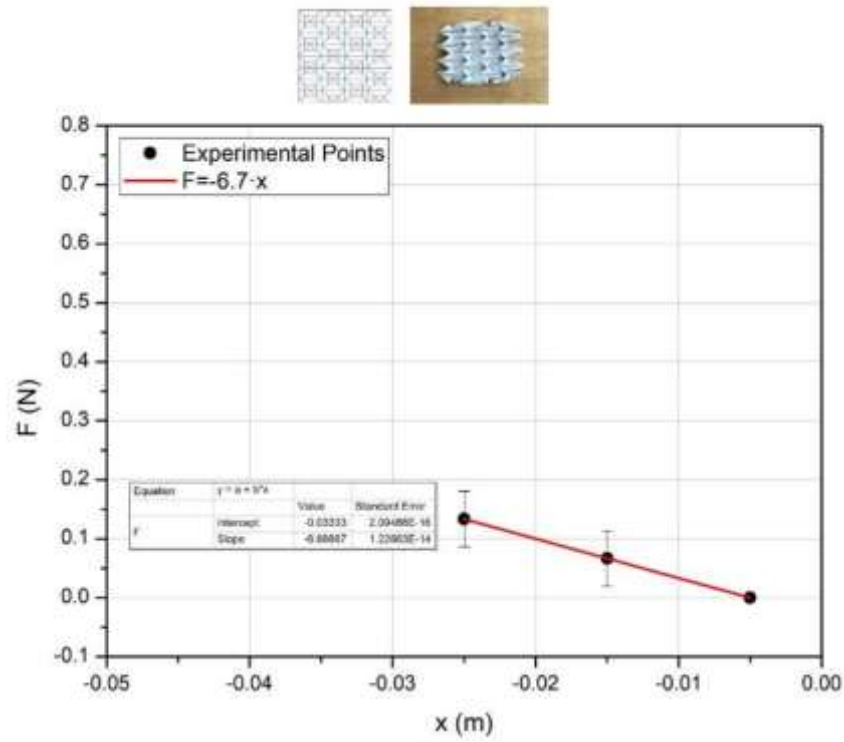
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 96: Curva de força e deformação para padrão B em compressão.



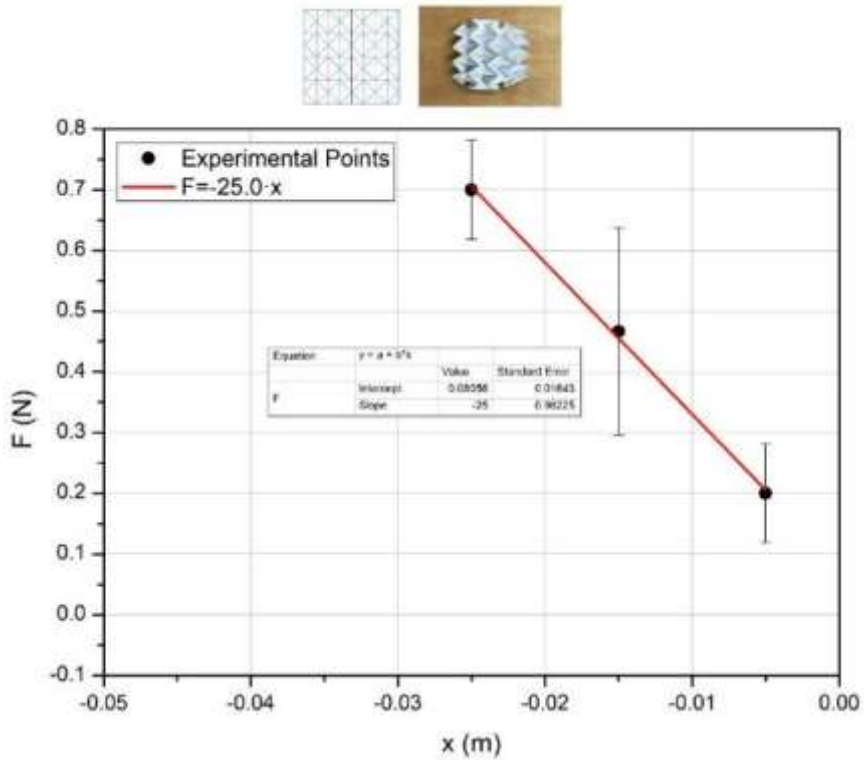
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 97: Curva de força e deformação para padrão C em compressão.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 98: Curva de força e deformação para padrão D em compressão.



Fonte: Elaboração da autora.

Nos gráficos apresentados, os pontos pretos são as leituras captadas entre força e deslocamento e as linhas em vermelho, azul e verde são as retas médias que descrevem a constante elástica (K) em cada um dos regimes diferentes analisados. Os valores da constante elástica estão indicados nas suas correspondentes retas médias dentro da primeira legenda, localizada no canto superior esquerdo. Nas demais legendas constam as equações das retas médias de cada uma das linhas coloridas, onde “Intercept” é o respectivo coeficiente linear (que representa o valor numérico por onde a reta passa no eixo y), e “Slope” é o respectivo coeficiente angular (que representa a inclinação da reta em relação ao eixo x).

As respostas de leitura do dinamômetro demonstraram que o comportamento de deformação das tesselações mudam de escala substancialmente conforme o momento da solicitação de força no ensaio de tração, o que atesta que as tesselações possuem um comportamento não-linear. Uma análise de comportamento não-linear de treliça de origami com ampla deformação já foi realizada por meio de pesquisa teórica e simulação numérica computacional com Ario e Nakazawa (2010). Os pesquisadores acreditam que o comportamento não-linear de algumas estruturas como a de treliça de origami podem contribuir para possíveis aplicações em amortecedores, materiais leves e moldes como materiais em formato de favo de mel, tendo a vantagem de reduzir a energia de impacto e proteção de partes importantes do sistema. Para poder entender melhor esse fenômeno encontrado no ensaio desenvolvido, as constantes elásticas foram divididas em dois e três regimes diferentes, conforme cada amostra e a proximidade dos pontos. Já no ensaio de compressão, a deformação foi menor e constante, podendo ser analisada de forma unificada e linear. No ensaio de tração, os quatro padrões apresentaram um mesmo comportamento de resistência nula no início da tração, isto é, levou-se um tempo para que os padrões começassem a oferecer resistência no seu desdobramento e, por consequência, aumento na leitura de força durante o processo de expansão planar estrutural. Os padrões A e D foram os que apresentaram maior deslocamento antes de começar a leitura de força, ambos tendo resistência nula em até 0,045 m. O padrão C ficou em terceiro lugar, tendo resposta de força nula até 0,025 m. Em último lugar, o padrão B obteve a resposta de força mais rápida das quatro tesselações, tendo resistência nula até 0,020 m. Considerando o primeiro momento de constante elástica com a linha vermelha, os padrões A e D são os mais recomendados para expansão estrutural inicial, pois foram os que desempenharam a planificação com menos solicitação de força. Entre o padrão A e D, se considerar a segunda constante elástica com a linha azul, o padrão A foi o que obteve resposta de expansão estrutural com menos solicitação de força. De acordo com os resultados do ensaio de compressão, o padrão C obteve melhor desempenho de compactação de estrutura com menos solicitação de força, apresentando uma constante elástica de 6,7 N/m; a segunda melhor compactação é do padrão B, com 8,7 N/m; em terceiro está o padrão A, com 12,3 N/m; e por último está o padrão D, com 25 N/m, a maior constante elástica para compressão de todas as amostras.

3.10.2 Características da superfície

Depois de atuar em cima da variável “Energia para Deformação”, o novo design da bolsa de morcelamento prossegue atuando em cima da variável independente “Características da Superfície” dentro da variável dependente “Adaptação da Dobra”.

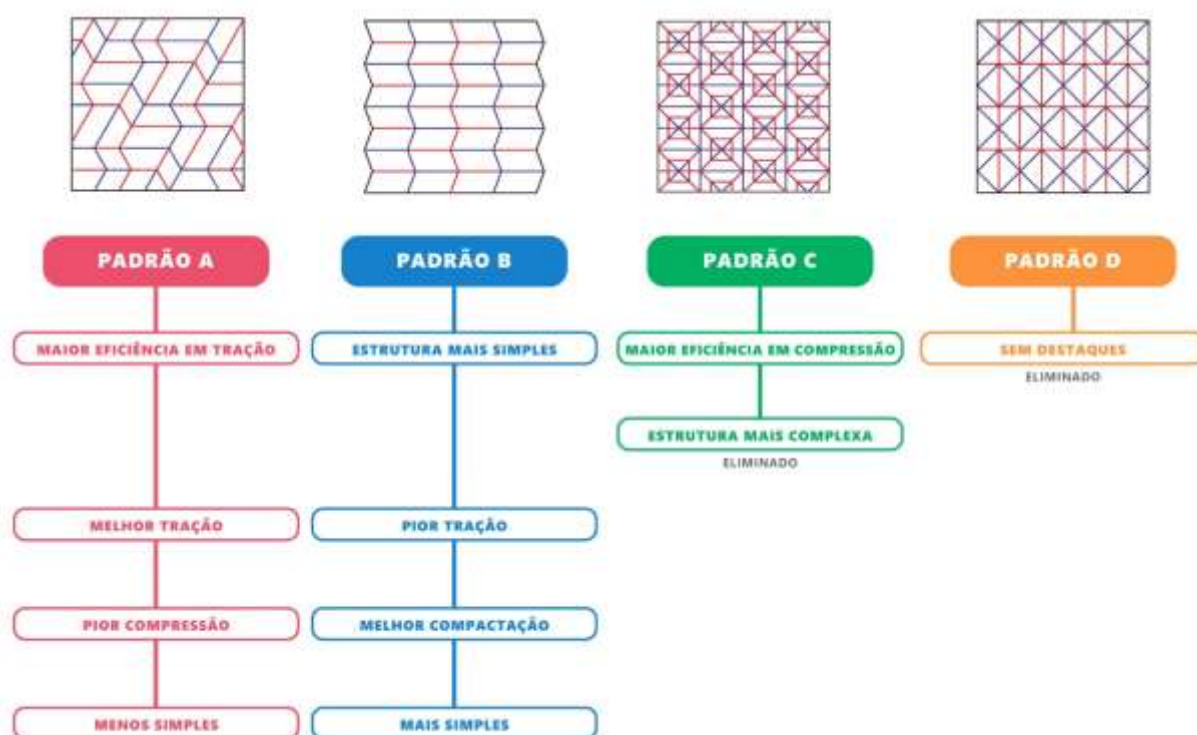
Os quatro origamis tesselações possuem padrões de vincos diferentes, mas com a mesma característica de serem dobraduras planificáveis, ou seja, todos os vincos possuem ângulos de dobras do tipo F, com 180° ou -180° de giro das facetas (AVILA et al., 2019). Apesar de terem mapeamentos de dobras muito distintos entre si, as quatro tesselações possuem os mesmos tipos de ângulos de dobras, tendo também a mesma característica cinemática de possuírem 1 DOF, conferindo às amostras uma neutralidade equiparável para a realização das captações de força de tração e compressão.

O mapeamento de dobras implica em um número de dobras vales e dobras montanhas diferentes entre as tesselações e isso também lhes confere diferentes rendimentos de posições naturais e de complexidade de manufatura. Conforme a tabela 8, o padrão de vincos que possui menos complexidade de dobras é a tesselação B, com 22 dobras montanhas e 30 dobras vales; depois tem-se a tesselação A; em seguida a tesselação D; e por último, a tesselação C, apesar de ser o que mais se compacta com menos solicitação de compressão, é também o mais complexo em número de dobras.

Em resumo e sob um prisma de análise geral, os resultados demonstraram que o padrão de dobras A, design de Ray Schamp, foi o origami que teve melhor eficácia de expansão estrutural. O padrão B, design de Koryo Miura e conhecido como Miura-Ori, é o origami que possui maior simplicidade de manufatura, sendo a dobradura que menos possui dobras vales e dobras montanhas e ocupando o segundo lugar de eficiência em compactação estrutural. O padrão C, conhecido como Sink Fold, tesselação que não possui autoria, mas que é muito utilizado em trabalhos de artistas de papel como Polly Verity, Kyla McCallum e Andrea Russo, foi o origami que teve melhor eficácia de compactação estrutural, além de ser também o origami que menos ocupa espaço em sua posição natural, porém é também a tesselação mais complexa de todas, tendo o maior número de dobras em sua estrutura.

Por último, o padrão D, conhecido como waterbomb, também sem autoria, mas muito utilizado em stents cardíacos, design de roupas e estruturas robóticas devido às suas características auxéticas, foi o origami que apresentou a menor eficácia de compactação dos quatro tipos de amostras, ficando em último lugar nos testes de compressão. Devido a esses diferentes tipos de rendimentos, um fluxograma foi construído para selecionar as tesselações que desempenharam as melhores avaliações de acordo com os testes de força e análise geométrica estrutural.

Figura 99: Fluxograma de seleção das melhores tesselações.



Fonte: Elaboração da autora.

Apesar da tesselação D ser amplamente utilizado em design de produtos importantes, como o stent cardíaco (KURIBAYASHI et al., 2006) e estruturas robóticas (ONAL, WOOD, RUS, 2013), neste ensaio ele demonstrou ser o padrão de dobras que mais precisa de solicitação de força para se expandir e não obteve destaques nos critérios avaliados, então foi eliminado da seleção. A tesselação C apresentou maior compressão com menor solicitação de força, porém é o padrão mais complexo também, então também foi eliminado da seleção, pois estruturas complexas podem acarretar mais custos de fabricação, maior tempo de projeção planejada e montagem, entre outros. As tesselações A e B possuem altos e baixos desempenhos dependendo dos critérios: o padrão A é o mais eficiente em tração enquanto o padrão B é o mais simples estruturalmente. Comparando-se um com o outro, o padrão B possui melhor compressão do que o padrão A, mas apresenta um pico de 50 N/m na última fase de tração, uma constante elástica muito maior do que o padrão A. Devido a esses pontos positivos de cada um, ambos padrões são os indicados para aplicação para o formato da bolsa de morcelamento.

Formas em papel foram testadas com desenhos vetoriais de diferentes padrões de vincos a partir dos dois origamis que apresentaram melhor desempenho nos testes de força e deformação, e aplicados no formato da bolsa brasileira Safe Bag. Para inserir os origamis tesselações de forma precisa e controlada dentro dos limites da bolsa, foi feita uma construção de módulos de repetição das tesselações, primeiro do origami A, design de Schamp, e depois do

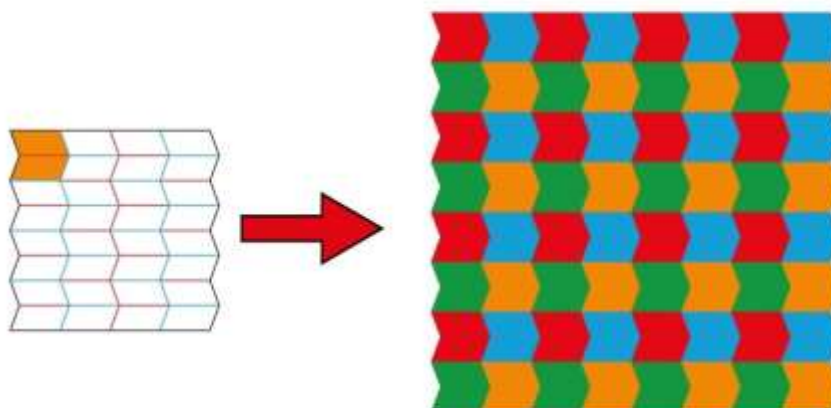
origami B, design de Miura. A primeira consideração nesta etapa é que os módulos foram definidos de acordo com o mínimo de linhas de vincos possíveis que caracterizam a forma básica da tesselação e que podem se encaixar uns nos outros. A segunda consideração é que, por suas características geométricas próprias, os módulos do origami A são maiores e se encaixam pelas diagonais, ao passo que os módulos do origami B são menores e se encaixam pelas laterais.

Figura 100: Módulos iniciais de repetição do origami A.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 101: Módulos de repetição do origami B.

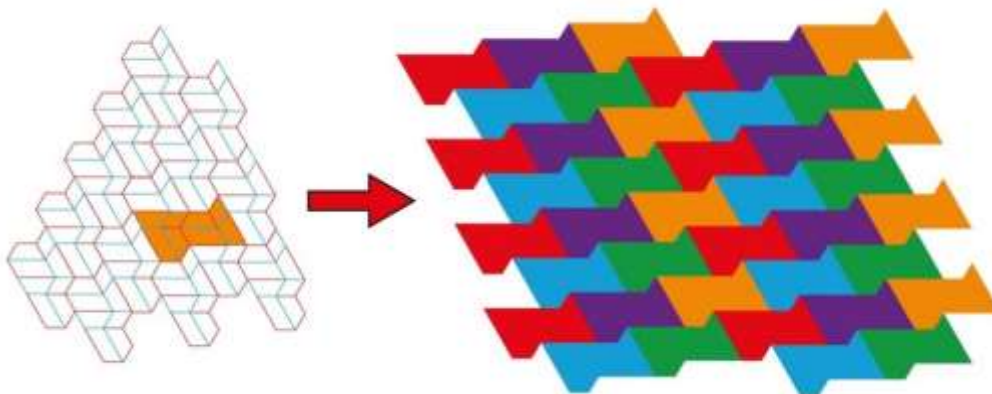


Fonte: Elaboração da autora.

A terceira consideração é que, depois de construídos os módulos do origami A, notou-se que o encaixe na bolsa não funcionaria pois eles estavam partindo da amostra quadrada realizada para os testes de força. O origami A não possui apenas uma repetição de padrão de vincos pelas diagonais, mas também segue essa orientação diagonal quando as dobras são feitas

para o papel se compactar e se expandir. Devido a essa característica cinemática, o módulo do origami A precisou ser refeito.

Figura 102: Módulos de repetição do origami A ajustados na diagonal.



Fonte: Elaboração da autora.

Tendo como referência o minimalismo do design austríaco da More Cell Bag, estudado na Análise de similares, e considerando a linha produtiva em que o design brasileiro está inserido e descrito na visita técnica à American Instruments, a primeira modificação no desenho da bolsa de morcelamento foi a adoção de linhas retas na suas limitações.

Figura 103: Design austríaco da bolsa de morcelamento.



Fonte: Disponível em: <https://www.ami.at/en/produkt/more-cell-system/>. Acesso em 4 nov. 2019.

A More Cell Bag possui uma entrada principal onde é utilizado o morcelador e o espécime coletado por meio de pinça, e uma segunda entrada auxiliar para uso de inserção do CO₂ e do drive óptico para iluminação e visualização em vídeo. Importante lembrar que o número de entradas da bolsa são diferentes do número de cortes no abdômen, ou seja, no caso

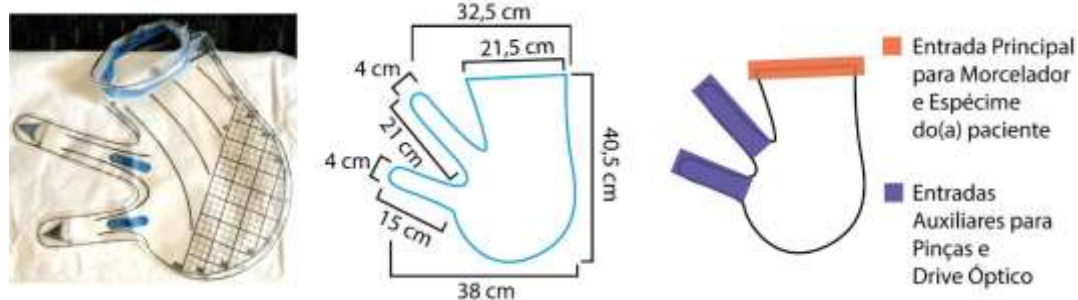
da indicação da A.M.I., a bolsa tem duas entradas, mas a cirurgia é realizada com quatro acessos no abdômen, incluindo o umbigo (onde fica a entrada principal da bolsa). Duas dessas inserções não entram na bolsa e são utilizadas apenas para colocação interna da bolsa no abdômen por meio de pinças.

Figura 104: Design austríaco da bolsa possui 2 entradas.



Fonte: Adaptado de: Disponível em: <https://www.ami.at/en/produkt/more-cell-system/>. Acesso em 10 out. 2022.

Figura 105: Design brasileiro da bolsa de morcelamento.

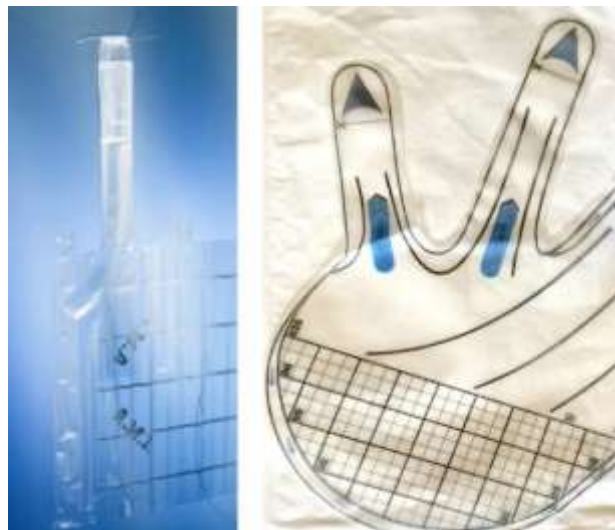


Fonte: Elaboração da autora.

Em contrapartida, a bolsa brasileira Safe Bag possui três entradas: uma entrada principal com aro metálico onde vai o morcelador e o espécime coletado, uma segunda entrada auxiliar para o drive óptico, e uma terceira entrada auxiliar para o uso de pinças. Segundo o médico Sasaoka, o número de entradas não interfere no procedimento em si, mas é preferível, na opinião dele, que haja as três entradas na bolsa para facilitar a cirurgia como um todo. Contudo, a médica Uyeda afirmou que, pela experiência dela, o número de entradas ser maior não necessariamente facilita a videolaparoscopia, o que indica que a percepção de praticidade envolvendo o número de entradas da bolsa é algo muito particular de cada profissional. Outra

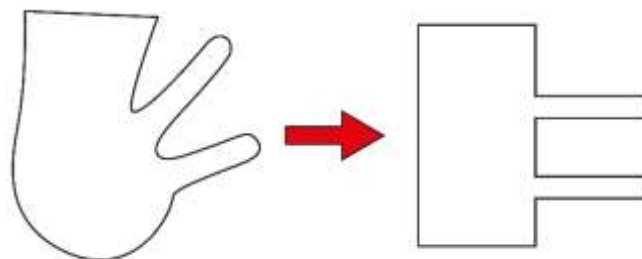
diferença entra a bolsa austríaca e a brasileira é que a entrada auxiliar da More Cell Bag possui um sistema de dobra interna de segurança para a bolsa ficar vedada, sendo indicado que se desdobre a entrada e dois nós sejam feitos quando o procedimento estiver finalizado. A Safe Bag possui as duas entradas auxiliares fechadas de fábrica e indica-se que se recortem as entradas no momento da realização da cirurgia. Fica claro que nessa diferença de estratégia para o mesmo fim, que é vedar o ambiente interno da bolsa até o momento de realização da laparoscopia, o design austríaco facilita o uso para os(as) médicos(as), mas dificulta a sua fabricação. Isto porque o(a) cirurgião(ã) não precisará utilizar tesoura para abrir o acesso, contudo o processo de dobra precisa ser adicionado na fabricação da bolsa. O contrário acontece com o design brasileiro, o cirurgião precisa utilizar tesoura, mas a fabricação fica mais simplificada, dado que depois do recorte do formato final, os acessos são colados juntamente com todo o restante da bolsa, com exceção da entrada principal aonde vai o anel metálico.

Figura 106: Diferenças de entradas entre design austríaco e brasileiro.



Fonte: Elaboração da autora.

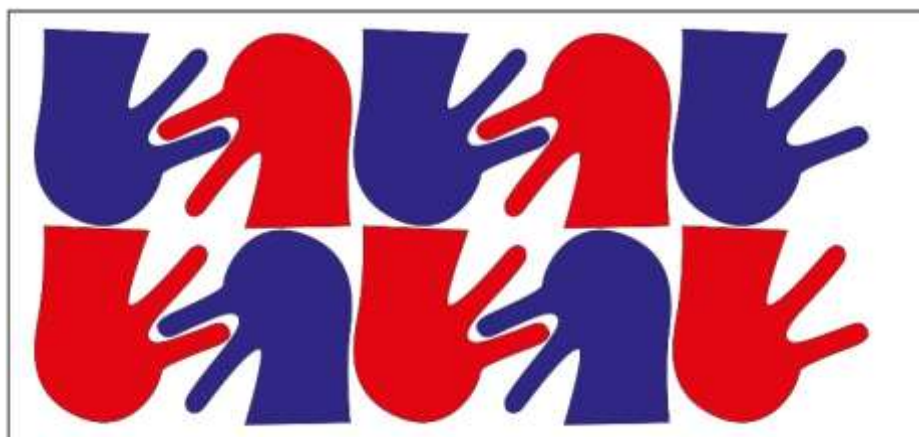
Figura 107: Modificação dos limites da bolsa para linhas retas.



Fonte: Elaboração da autora.

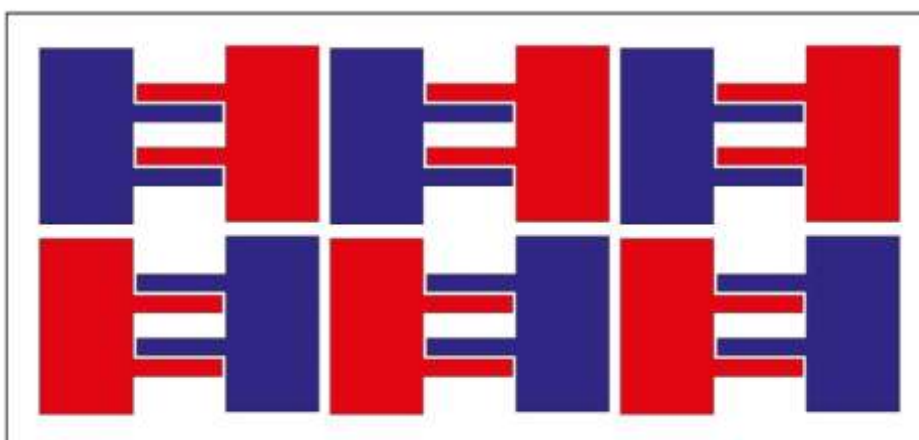
Tendo em vista o requisito de melhoria “Diminuir número de peças e matéria-prima”, o objetivo da adoção de linhas retas na bolsa é tornar mais eficiente o recorte na bobina de plástico, aproveitando mais área de matéria-prima utilizada e diminuindo o desperdício de sobras. Além disso, as linhas retas também facilitam a inserção do padrão de vincos em sua estrutura. No novo design foram mantidas as três entradas, a maior e principal onde fica o anel metálico e as duas entradas auxiliares, respeitando a recomendação dada pelo médico Sasaoka, um dos pesquisadores consultados pela autora. Também foi mantido o tamanho em volume a partir da Safe Bag. Para se ter uma noção do aproveitamento de matéria-prima, foi feita uma simulação de tamanho real das bolsas inseridas em uma bobina de plástico com dimensões 214 x 100 cm. Dez unidades da Safe Bag se encaixaram nessa bobina, ao passo que o novo design com linhas retas, denominado como Origami Bag, se encaixou com 12 unidades.

Figura 108: Aproveitamento de matéria-prima para a Safe Bag.



Fonte: Elaboração da autora.

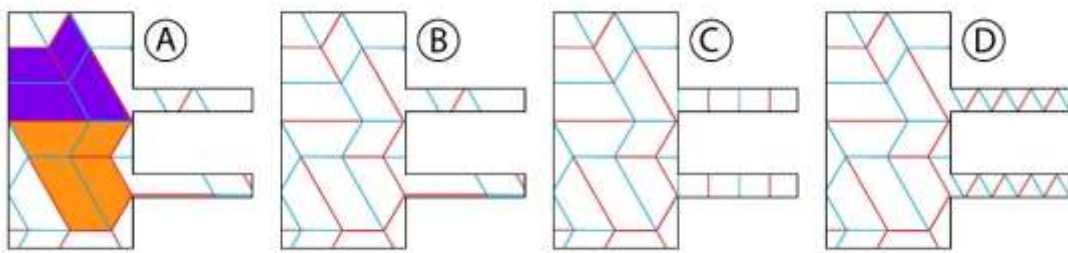
Figura 109: Aproveitamento de matéria-prima do novo design Origami Bag.



Fonte: Elaboração da autora.

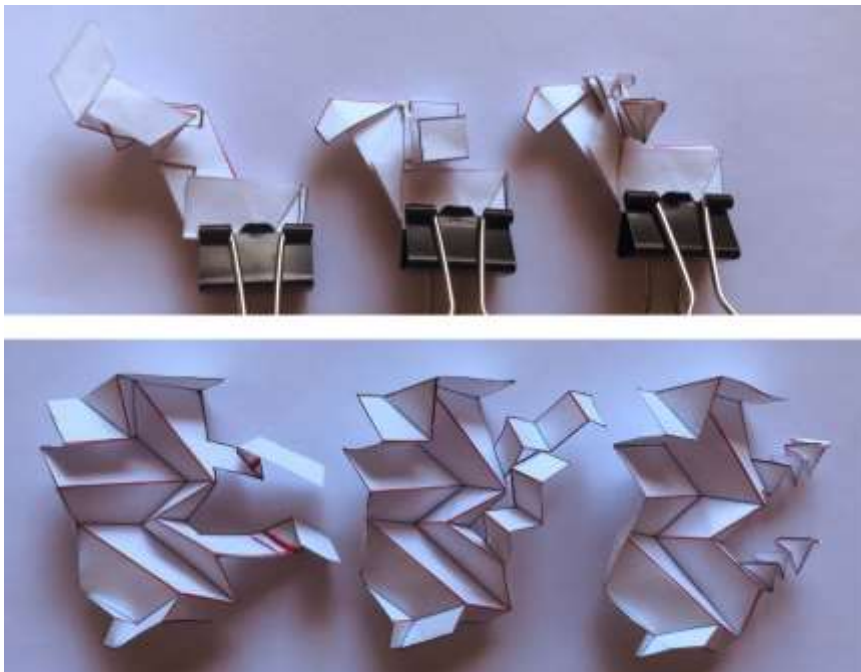
Na figura 110 (a), a inserção do origami A nas novas limitações da bolsa foi feita de maneira a encaixar ao menos um dos módulos, e para se evitar que ficasse muito pequeno, priorizando também a simplicidade das linhas e dobras, o módulo foi dividido em dois (representados nas cores roxo e laranja). Foram feitos diferentes tipos de vincos à parte nas entradas auxiliares da bolsa na figura 110 (b), (c) e (d): em (b), foi mantida a continuação da tesselação principal; em (c) foi feito um padrão de dobras sanfonado; e em (d) aplicou-se um padrão em zigue-zague. Na figura 111 é possível ver os resultados dos padrões dobrados em papel. A mesma estratégia foi aplicada no origami B, nas figura 112 e 113.

Figura 110: Testes de inserção do origami A na bolsa.



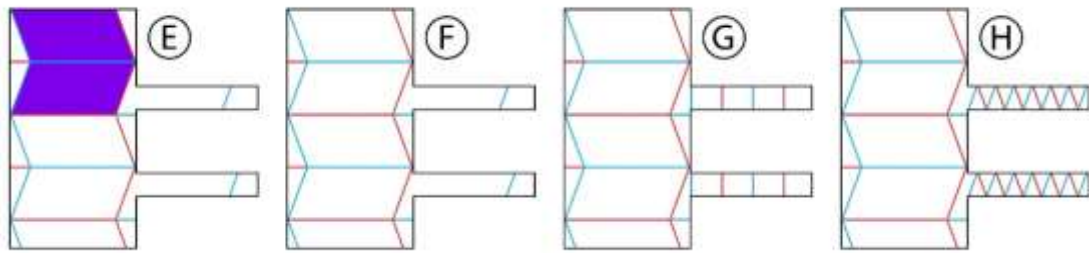
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 111: Testes dobrados do origami A.



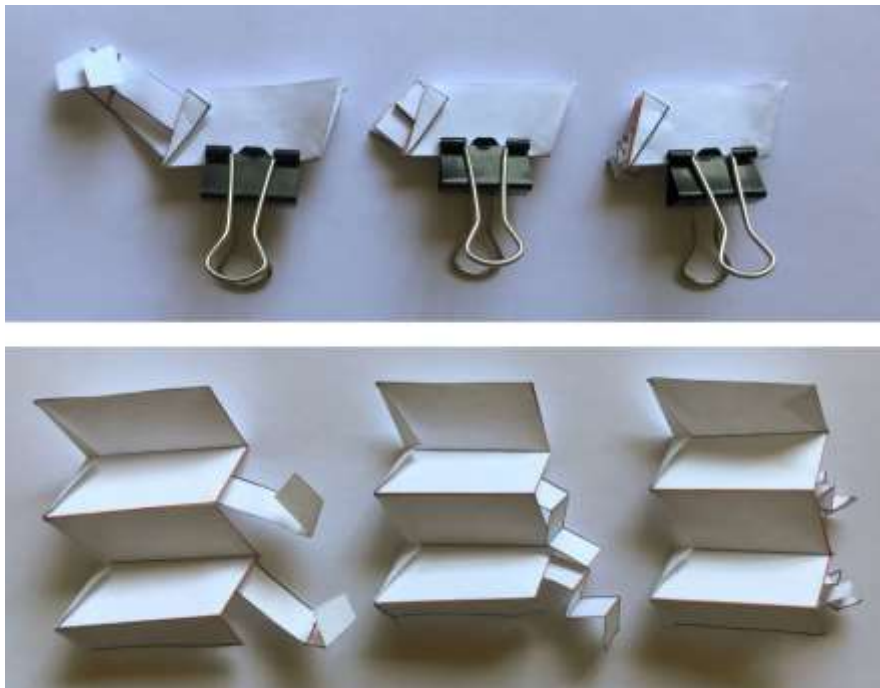
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 112: Testes de inserção do origami B na bolsa.



Fonte: Elaboração da autora.

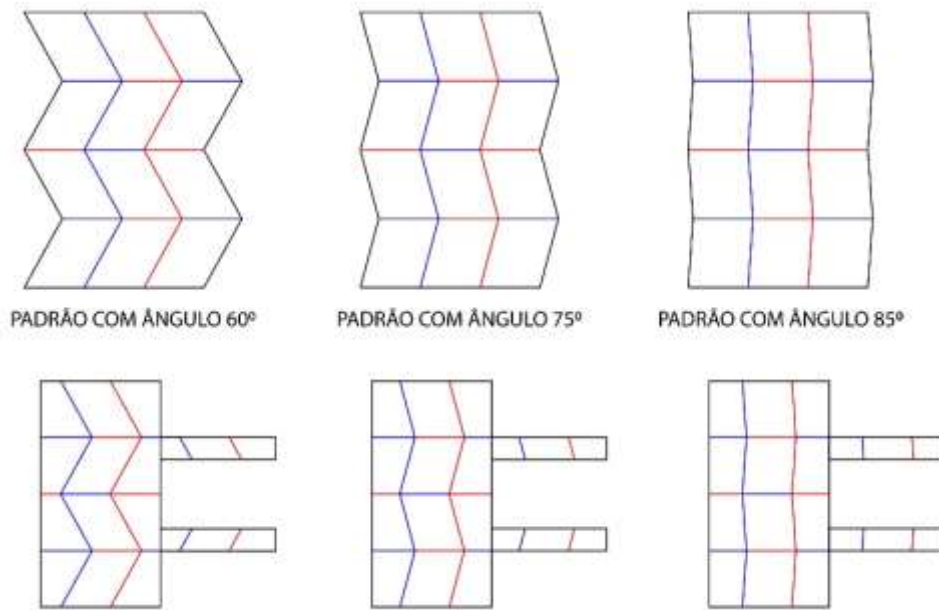
Figura 113: Testes dobrados do origami B.



Fonte: Elaboração da autora.

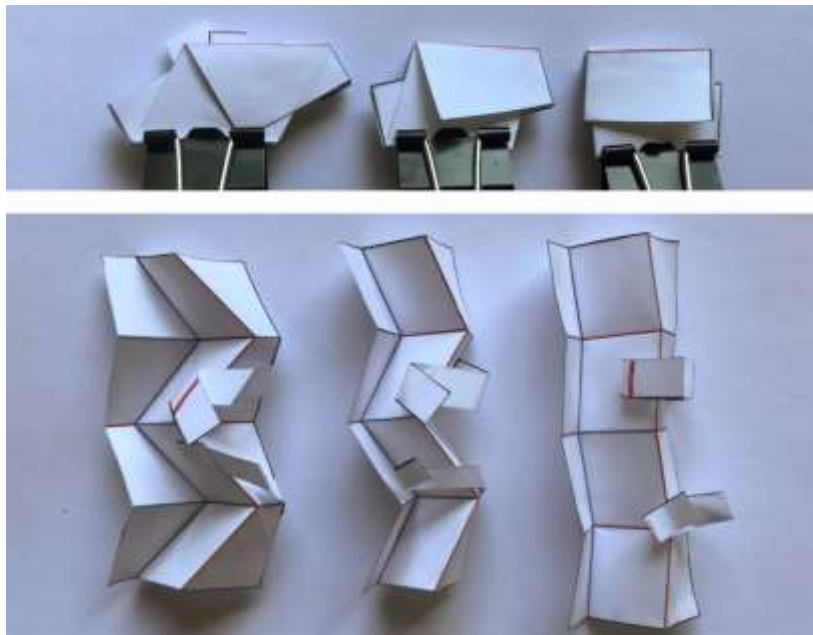
Ao finalizar os testes, ficou claro na prática que a tesselação B, design de Miura, é muito mais simples e fácil de se aplicar do que a tesselação A, design de Schamp. Por esse motivo, o foco de adaptação da dobra foi direcionado para testes e modificações apenas com o padrão de vincos Miura Ori. Foram desenhadas e dobradas variações deste padrão com diferentes ângulos de vincos para se avaliar se há alguma melhoria na compactação e expansão estrutural. Dobradas no papel, as amostras não aparentaram ter alguma diferença de desempenho cinemático, pode ser interessante realizar um segundo ensaio de força no futuro com o dinamômetro para avaliar novamente a variável “energia para deformação”. Além da variação de ângulos, também foram ajustados os vincos das entradas auxiliares para que se compactem de forma mais integrada com o restante da bolsa.

Figura 114: Variação de ângulos do origami B.



Fonte: Elaboração da autora.

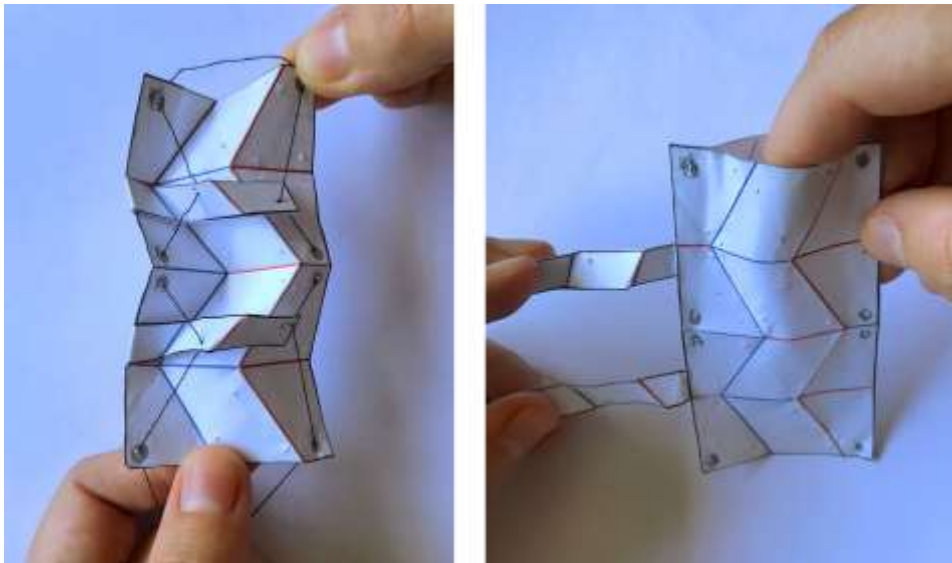
Figura 115: Testes dobrados das variações de ângulos do origami B.



Fonte: Elaboração da autora.

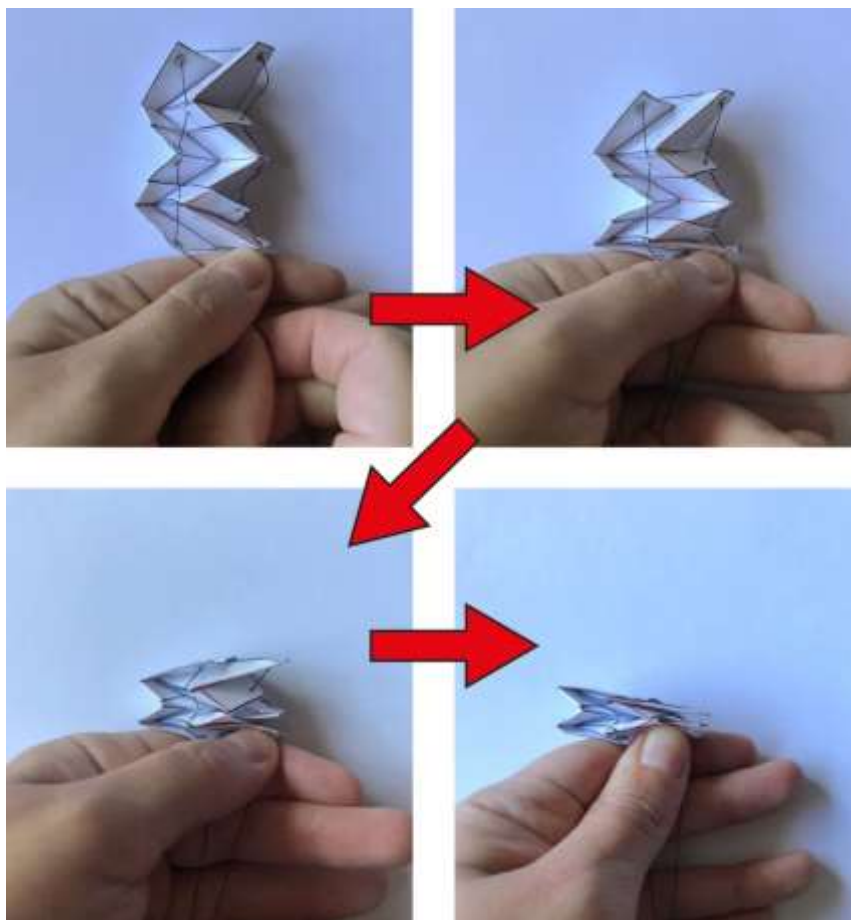
O origami com 60° de ângulo foi escolhido inicialmente para testar a compactação e expansão estrutural da bolsa. Com inspiração nos métodos de origami autodobrados por linhas de Bedford (2021), construiu-se uma bolsa de papel com melhor acabamento, com dois lados e um interior, e foram inseridos furos estratégicos para a compactação de acordo com a geometria dos vincos.

Figura 116: Bolsa de morcelamento em papel com design do origami B.



Fonte: Elaboração da autora.

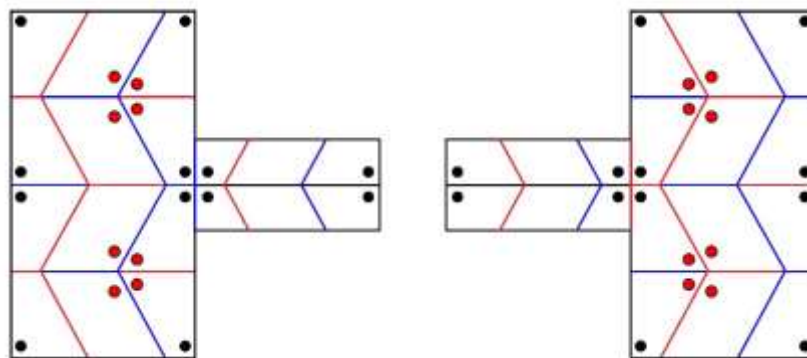
Figura 117: Autodobragem por linha com design do origami B.



Fonte: Elaboração da autora.

Inicialmente, a compactação autodobrável em papel apresentou resultado satisfatório para atender os requisitos de melhoria. Contudo, ao pensar na projeção do modelo em papel para outros materiais como plástico, que é a matéria-prima original da bolsa de morcelamento, o design escolhido tornou-se inviável pelo fato de que a linha adotada para a autodobragem passa pelo meio da bolsa em alguns pontos, como ilustrado na figura abaixo, onde os pontos pretos designam os furos não comprometidos e os pontos em vermelho designam os furos que comprometem o uso da bolsa. Os pontos pretos e vermelhos foram alocados já pensando no mínimo de intervenção possível com a linha da autodobragem e precisam ser furados todos na íntegra para que a cinemática correta seja preservada de acordo com a geometria e compactação estrutural do origami inspirado. Ao retirar os furos do centro, a bolsa não se compacta corretamente. Porém, esses mesmos furos comprometem o uso cirúrgico do produto, uma vez que o conteúdo interno da bolsa precisa ser completamente vedado para o espécime recolhido não contamine outras partes do abdômen do(a) paciente.

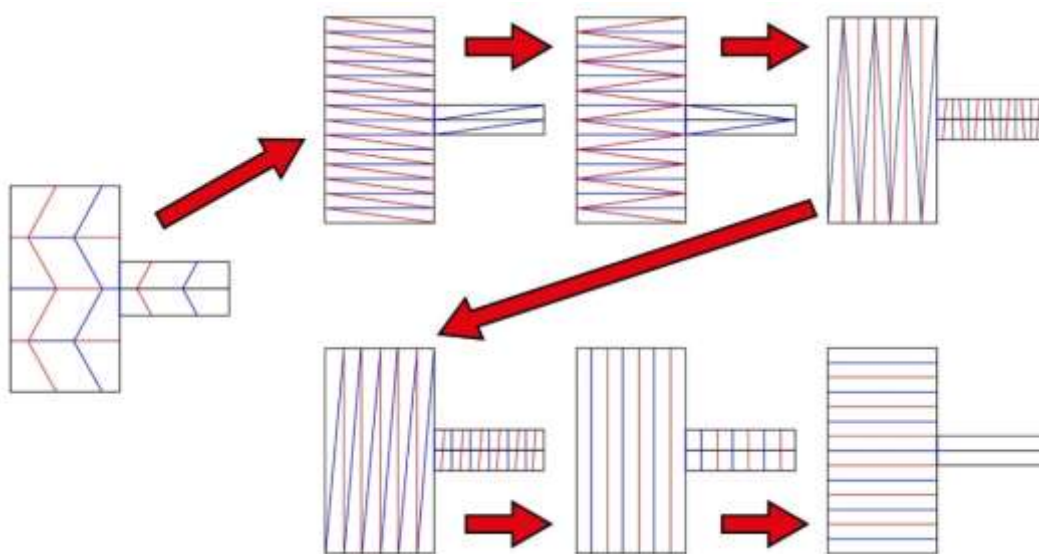
Figura 118: Frente e verso do design da bolsa com origami B e o local dos furos.



Fonte: Elaboração da autora.

Erros de incompatibilidade entre a forma e a função do produto como ocorrido nesta etapa são ocorrências esperadas, mas que demandam uma retomada ao início de concepção do design. A função dos instrumentos médicos precisa ser preservada integralmente. Devido a esse problema de função ligada ao padrão de vincos, o design foi reconstruído priorizando minimalismo nas formas expandida e compacta também para atender ao requisito de melhoria “Simplificar mecanismo”.

Figura 119: Processo de simplificação do padrão de vincos da bolsa.



Fonte: Elaboração da autora.

O novo design simplificado também contemplou o local dos furos para passagem da linha apenas nas partes externas da bolsa e relocação das entradas auxiliares mais próximas do centro, integrando-se com o dobramento da bolsa com apenas dois furos e sem necessidade de dobras nessa região, ou seja, uma melhora significativa do desenho por eliminação de processos uma vez que o design anterior precisava de quatro furos e quatro dobras nas entradas auxiliares.

Figura 120: Design da Origami Bag.



Fonte: Elaboração da autora.

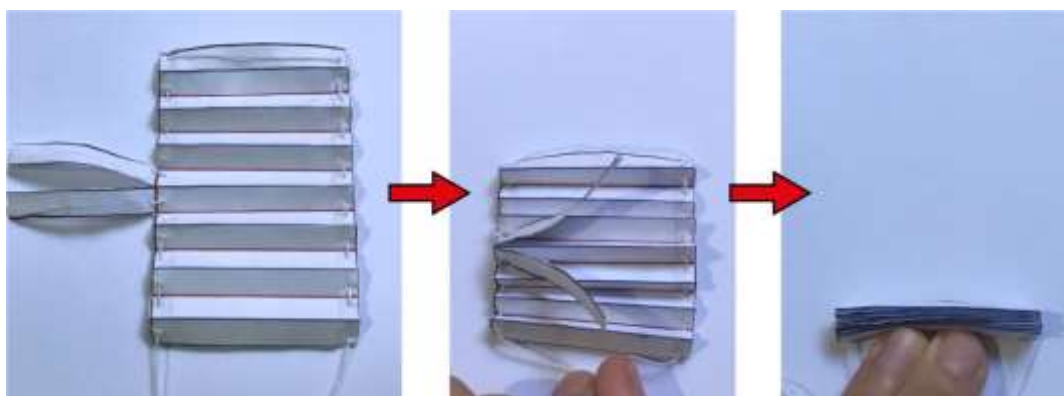
O design final ficou denominado Origami Bag e ficou com 20 vincos (10 dobras vales e 10 dobras montanhas), 42 furos (20 de cada lado da bolsa e 2 nas entradas auxiliares) e adição de uma linha para a autodobragem. As dimensões da bolsa no modo expandido (planificado e aberto) são de 43 cm. de largura por 40,5 cm. de altura; e no modo compacto (totalmente

dobrada) as dimensões são de 21,5 cm. de largura por 2 cm. de altura, totalizando uma diminuição espacial do produto em 97,5% comparado ao tamanho do mesmo planificado.

3.10.3 Fonte do origami e material

Dentro de “Fabricação”, atuando na “Fonte do origami” e “Material”, o design da Origami Bag definido em papel foi aplicado em uma pasta de plástico PVC tamanho A4 para se observar como o padrão de vincos se comporta em espessura diferente do papel.

Figura 121: Origami Bag em papel.



Fonte: Elaboração da autora.

O processo de modelagem seguiu com acomodação dos vincos por meio de riscagem, depois acomodação das dobras para se obter deformação plástica com uso de grampos pretos. A pasta utilizada para o teste da fabricação possui ainda um fecho que abre e fecha de plástico mais denso que o restante do produto, uma alternativa interessante para substituir o anel de nitinol utilizado na bolsa de morcelamento original.

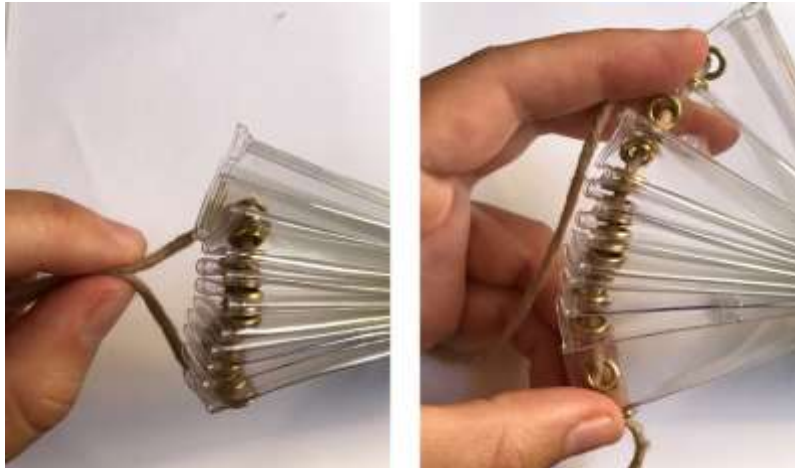
Depois foi feito um acabamento em ilhós para o uso da linha de autodobragem. Os ilhoses podem ser interessantes porque vedam os furos de maneira a preservar intacto o conteúdo interno da bolsa com o ambiente externo, preservando a segurança de uso durante a cirurgia.

Figura 122: Processo de modelagem e acabamento da Origami Bag em plástico.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 123: Acabamento em ilhós para autodobragem com linha.



Fonte: Elaboração da autora.

3.11 Métodos para Espéculo vaginal

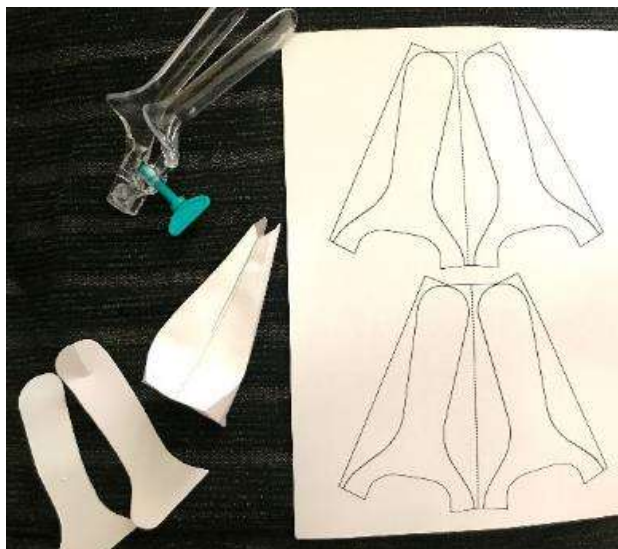
O novo design para o espéculo vaginal contempla a variável dependente “Adaptação da Dobra”, com atuação nas variáveis independentes “Características da superfície” e “Material”, e a variável dependente “Fabricação”, com atuação nas variáveis independentes “Fonte do origami” e “Material”, em busca de atender os requisitos de melhoria “Diminuir processos de fabricação”, “Diminuir número de peças e matéria-prima”, “Adoção de material biodegradável” e “Simplificar mecanismo e sistema de trava”.

3.11.1 Características da superfície

Para o início de atuação na variável “características da superfície”, foram realizados testes de novas formas do espéculo partindo-se do design tradicional vigente que é amplamente

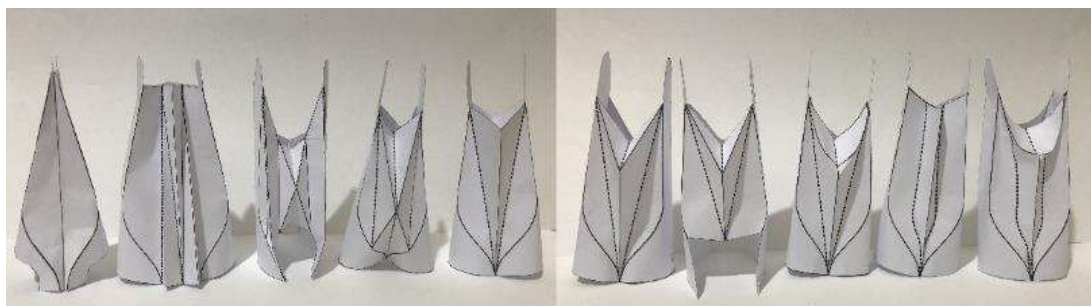
utilizado pelos profissionais da saúde, ou seja, redesenha-se as duas lâminas buscando construir experimentalmente um “invólucro” estrutural que melhore o efeito “beliscar” em pacientes com maior índice de gordura corporal.

Figura 124: Transposição em papel do design tradicional do espéculo vaginal.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 125: Testes de dobras em papel para o invólucro estrutural.

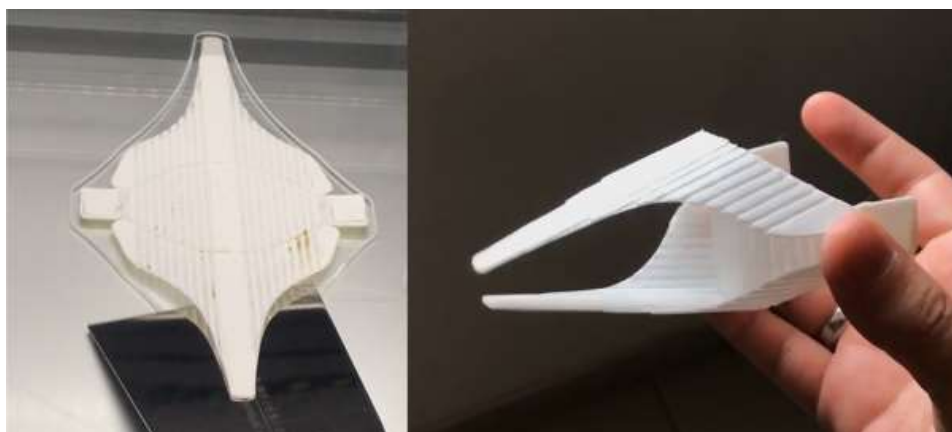


Fonte: Elaboração da autora.

Estes testes de formas iniciais deixaram claro que um novo design tomando as lâminas tradicionais como referência acarretariam maior complexidade estrutural e, conseqüentemente, em produção industrial mais cara. Um dos principais desafios do espéculo na maneira como ele é comercializado no Brasil atualmente é que, conforme a análise da visita técnica da fabricante, sua produção é bastante simplificada e econômica. Portanto, é fundamental que um novo design priorize a simplicidade industrial ou não terá aderência de consumo no mercado. Tendo isso em consideração, uma nova estratégia de testes de formas foi traçada, focando-se não apenas na forma do espéculo tradicional em si, mas também no princípio de mecanismo do produto.

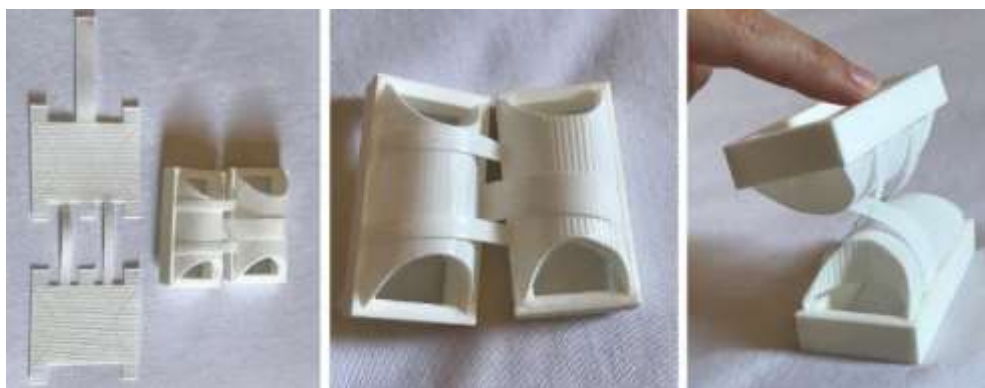
Como Johnson atesta, a inovação tem maior potencial quando é compartilhada (JOHNSON, 2011, p. 21), e a universidade estadunidense BYU leva esse conceito à risca, colocando todos seus modelos de MC disponíveis e gratuitos para baixar e testar. Para verificar a precisão dos parâmetros que foram definidos na série de testes da impressora Sethi3D, dois modelos da BYU foram impressos: Oriceps e o D-Core Elemento de Contato Rotativo.

Figura 126: Impressão do Oriceps na Sethi3D S3X.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 127: Impressão do D-Core na Sethi3D S3X.



Fonte: Elaboração da autora.

Ambas as peças possuem o mesmo princípio de serem dobraduras planificáveis, sendo que seus formatos finais são construídos por meio de dobras curvas com adesão de texturas ou fissuras na superfície do material impresso. O design do Oriceps serviu de referência para o princípio de mecanismo de abertura e fechamento das lâminas do espéculo e o design do D-Core serviu de referência para complementar o entendimento prático do funcionamento da deformação do material planificado para o formato do produto montado por meio da adição de fissuras sob a superfície do plano. Uma série de testes de forma foram desenhados com modificações para a função do espéculo e cortados a laser. As configurações de vincagem e

corte foram as mesmas utilizadas na configuração das amostras para o teste de força da bolsa de morcelamento.

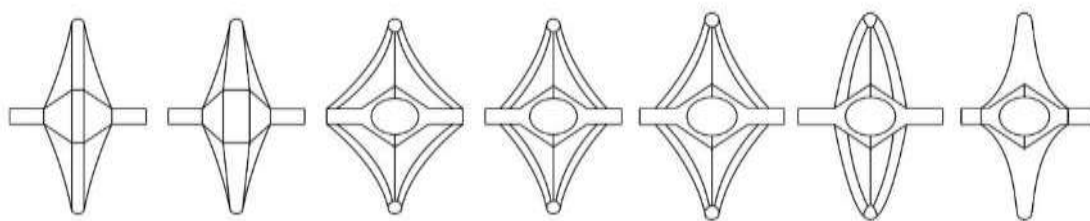
Para a concepção dos desenhos, foram seguidos três critérios básicos:

- Compatibilidade de forma e função do espéculo atualmente utilizado, para não haver estranheza do usuário, seja médico(a) ou enfermeiro(a) e garantir segurança de seu uso;
- Compatibilidade de mecanismo com o Oriceps, no sentido de agregar às vantagens de design deste MC;
- Adaptação e convergência entre design monolítico e abertura ideal das lâminas.

Em especial o último critério pode sofrer modificações consideráveis durante a transição entre a forma em papel e a forma em outros tipos de materiais, levando em conta as possibilidades de adaptação dos vincos e dobradiças descritos na revisão bibliográfica. Contudo, este estudo e seleção de formas em papel pode ser decisivo para se ter mais precisão no design de origami e especialmente na sua adaptação para materiais rígidos.

Neste sentido, diversos ângulos no centro estrutural foram desenhados e testados em papel para analisar quais podem oferecer equilíbrio entre resistência de abertura (para observação e execução de exames no canal vaginal) e facilidade de abertura (para que o profissional de saúde não necessite exercer uma grande quantidade de força no punho quando manusear o espéculo). Buscou-se alternativas diferentes no formato das lâminas e no mecanismo central de abertura e fechamento.

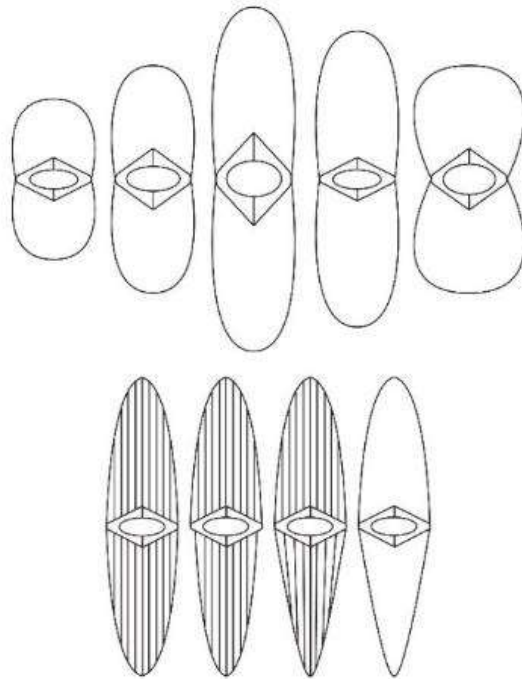
Figura 128: Processo adaptativo do Oriceps para a forma do espéculo.



Fonte: Elaboração da autora.

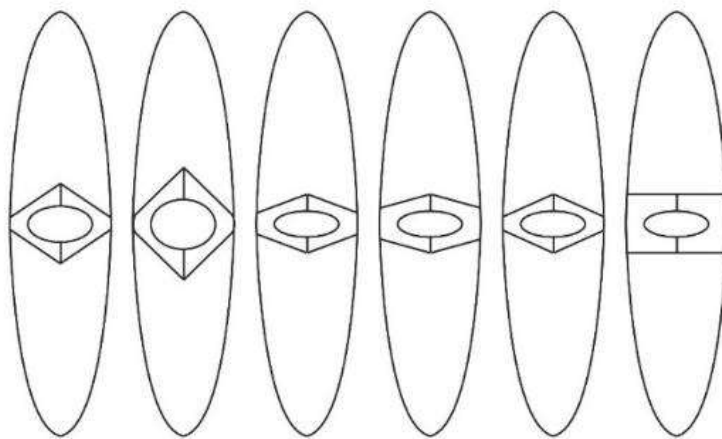
No processo adaptativo de design do Oriceps, aumentou-se a área central do mecanismo e foi adicionado um buraco para ser o local de observação e intervenção do instrumental, ao passo que as lâminas nas extremidades foram ficando arredondadas e com ângulos mais suaves, no sentido de deixar a superfície mais ergonômica. Definida a estrutura-matriz, foram realizados os estudos de formas, testando diferentes formatos para as lâminas e ângulos variados do espéculo.

Figura 129: Estudo de formas para o design de espéculo.



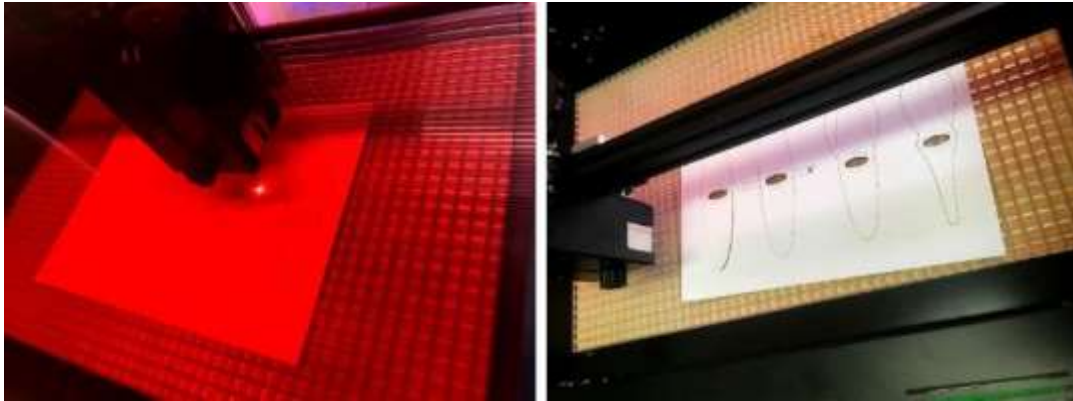
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 130: Estudo de ângulos para o design de espéculo.



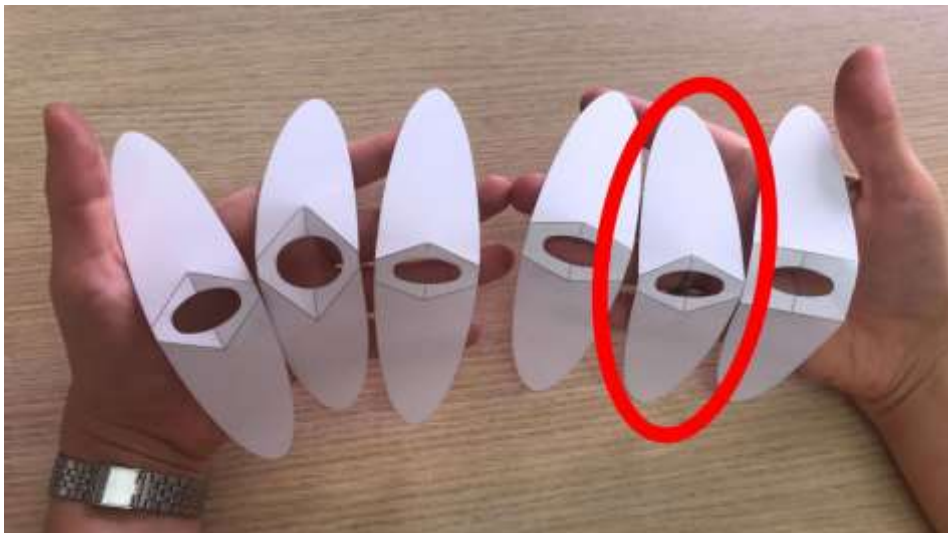
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 131: Processo de vincagem e corte a laser.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 132: Testes de ângulos de abertura do Ori Espec de papel.



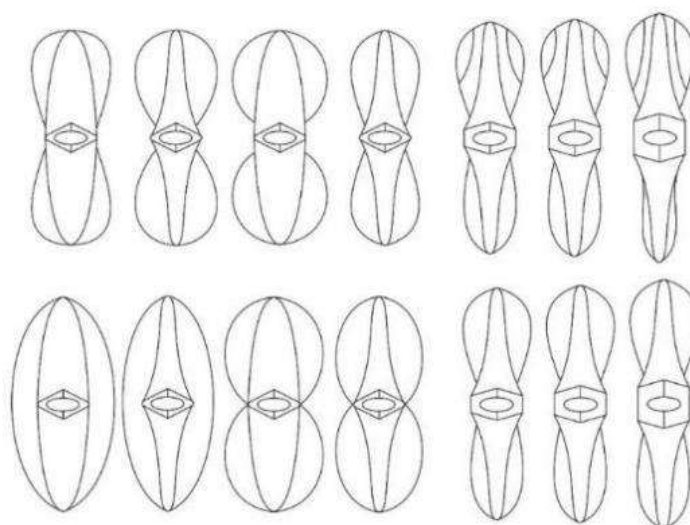
Fonte: Elaboração da autora.

De todos os testes cortados a laser, o que está circulado em vermelho na figura acima, denominado Ori Espec de papel, apresentou o melhor desempenho de abertura e fechamento. O formato das lâminas foi modificado para convergir mais integralmente com o design tradicional do espécúlo, uma vez que este está mais consolidado no imaginário do usuário e prevenir rejeição de designs que se distanciam demais do seu formato mais comum, como Iida alerta (IIDA, 2005).

3.11.2 Fonte do origami e material

Na tentativa de atender as pacientes com maior índice de gordura corporal, foram executados uma série de estudos de dobras em papel acoplado uma forma extra de invólucro para servir de proteção das lâminas.

Figura 133: Estudo de formas de papel para espéculo com invólucro acoplado.



Fonte: Elaboração da autora.

Depois desses estudos de formas serem vincados com a corte a laser e dobrados, foi dado início à fabricação buscando uma convergência da fonte do origami e o material papel para o design adaptativo de dobras rígidas e os materiais polímeros da impressora 3D.

Essa convergência se deu por testes de impressão realizados a partir de uma dobra simples, primeiro confeccionada em PLA e depois em material sanduíche, PLA e TPU/FLEX. Buscou-se entender como é possível obter o comportamento cinemático dos vincos nestes materiais rígidos e a fixação de diferentes materiais na dinâmica do material sanduíche ou multimateriais. A primeira impressão em PLA foi modelada de forma a deixar a área do vinco com espessura menor do que as facetas, adaptação de Zirbel et al. (2013). Porém, ao realizar a dobra, a estrutura sofreu deformação plástica e se quebrou. A segunda impressão foi realizada primeiro em FLEX e depois em PLA, mas a peça não foi impressa corretamente. Foram traçadas duas técnicas para viabilizar impressão com material sanduíche, quer dizer, com diferentes tipos de materiais para impressoras 3D comuns:

Técnica 1:

- Usar um cubo de sacrifício no eixo Z 0 para viabilizar a impressão do segundo material em sobreposição ao primeiro considerando a altura já impressa;
- Posicionar o objeto fora do centro e das arestas da mesa, para não interferir no autobalanceamento da impressora.

Técnica 2:

- Para imprimir o segundo material desabilitar o modo *skirt* da fixação da mesa;
- Para tirar o fatiamento automático no chão da mesa, ativar o *plugin z offset setting*.

Ativar o “z offset” e colocar a espessura de altura do material impresso anterior;

- Para não desligar a temperatura da mesa na segunda impressão, colocar ; antes do M140 S0 nas configurações da impressora.

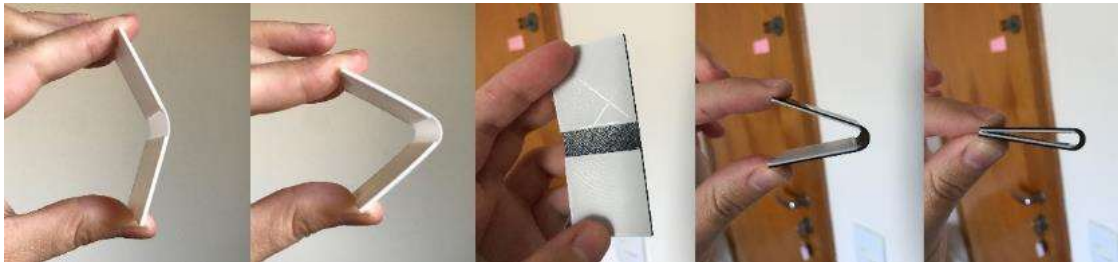
A técnica 1 com o cubo de sacrifício teve execução mais acertada, o que pode ser observado nas figuras abaixo e em comparação à primeira impressão feita apenas com PLA.

Figura 134: Impressão de dobra em PLA (em branco) e TPU (em preto).



Fonte: Elaboração da autora.

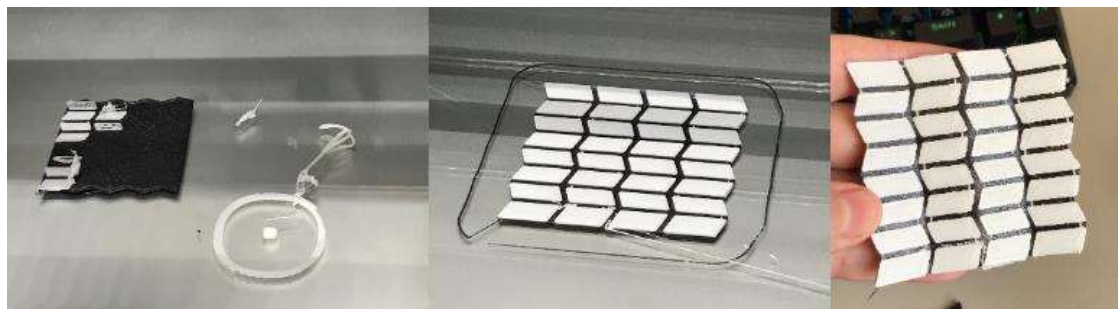
Figura 135: Dobra em PLA (à esq.) e em PLA com TPU (à dir.).



Fonte: Elaboração da autora.

Tendo a mistura do PLA e FLEX melhor desempenho cinemático e estrutural, foi feita a impressão multimaterial com o origami Miura-Ori. Entretanto, a simples sobreposição de camadas lisas não foi suficiente para aderência dos materiais distintos: as facetas de PLA se descolavam do FLEX com o tempo e solicitação de força.

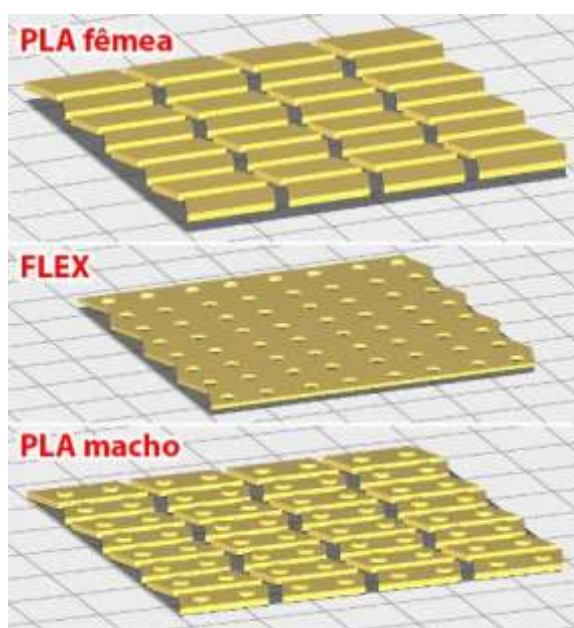
Figura 136: Primeiras impressões multimateriais do Miura-Ori.



Fonte: Elaboração da autora.

Uma adaptação de encaixe macho e fêmea foi projetado no PLA para se obter a aderência junto ao FLEX. O sistema de encaixe baseia-se nos métodos de Sorensen (2019), porém com algumas diferenças nas formas, funcionando da seguinte maneira: o PLA representa as facetas rígidas do origami, ou seja, a estrutura que não pode se modificar e que confere a geometria precisa referente à fonte do origami de papel. O FLEX representa os vincos do origami, ou seja, a estrutura que precisa ser maleável e mutável para viabilizar que as faces rígidas se expandam e se compactem conforme solicitação de força.

Figura 137: Miura-Ori com sistema de encaixe macho e fêmea.



Fonte: Elaboração da autora.

A primeira impressão vem com o PLA macho, que possui as facetas rígidas com bolinhas mais altas. A segunda impressão é feita com o FLEX, tendo buracos nos mesmos locais das bolinhas do PLA macho. O fechamento da estrutura ocorre com a terceira impressão do PLA fêmea, que são apenas as facetas rígidas lisas, as mesmas do PLA macho, mas sem a adição das bolinhas.

Esse sistema de encaixe funciona como se fosse uma espécie de brinquedo tipo Lego, e os materiais ficam permanentemente fixos uns nos outros por conta da temperatura de extrusão da impressora. Abaixo está ilustrado uma impressão bem-sucedida do Miura-Ori com esse sistema desenvolvido.

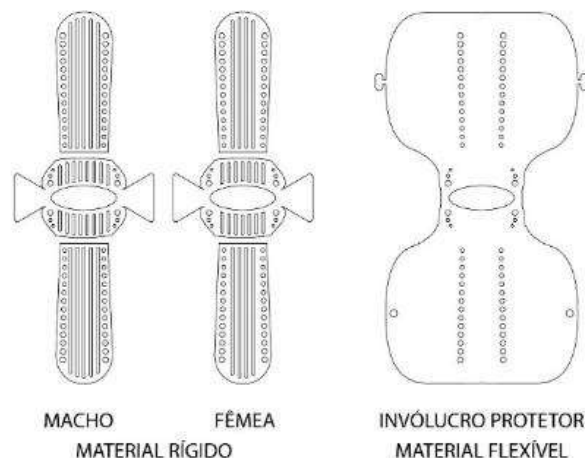
Figura 138: Impressão do Miura-Ori com o encaixe macho e fêmea.



Fonte: Elaboração da autora.

Com a viabilização de impressão multimateriais para origami rígido, foi realizada ainda um segundo teste de formas do espéculo com invólucro protetor baseado no sistema de encaixe desenvolvido.

Figura 139 : Teste design de espéculo com invólucro e encaixe macho-fêmea.



Fonte: Elaboração da autora.

Porém, até o final da pesquisa não foi possível imprimi-los em 3D de forma efetiva. Apesar do sucesso de criação e execução da técnica de material sanduíche em dobra simples e no Miura-Ori, o espéculo projetado com invólucro apresentou diversas falhas durante a extrusão, faltando provavelmente mais tempo para testar outros tipos de formas e técnicas alternativas às testadas aqui.

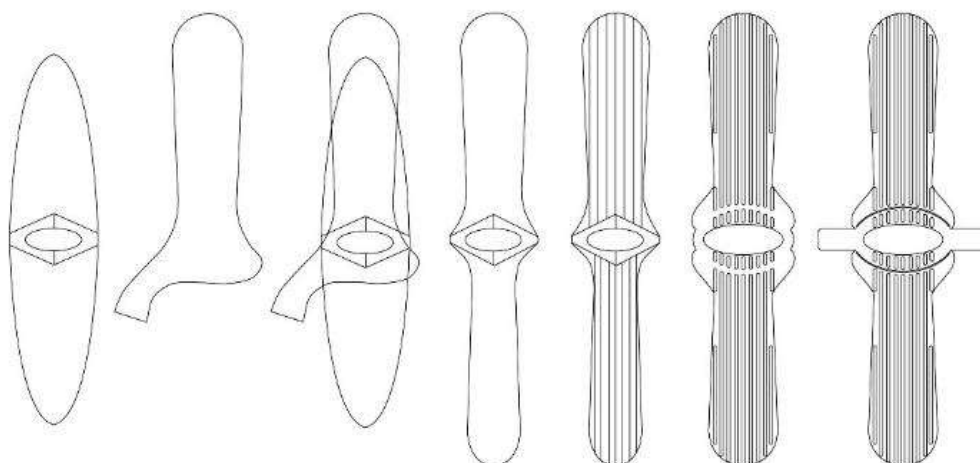
Com as falhas de fabricação, ficou imperativo de que a ideia do invólucro protetor fosse descartado e o design partisse da primeira concepção mais simplificada do Ori Espec de papel. Buscou-se novo equilíbrio entre a fonte do origami de papel, o material rígido utilizado, que foi o PLA e o desempenho pretendido do produto.

Nova estratégia de adaptação da dobra foi desenhada a partir da fonte de origami, buscando um método mais simples do que o inspirado em Sorensen (2019). Neste contexto,

adotou-se a aplicação de fissuras na superfície do material planificado onde o produto necessita de dobras curvas para se assemelhar às lâminas do espéculo tradicional, e adoção de espaços mais finos onde os vincos devem ocorrer para convergir as duas lâminas do instrumento.

Trata-se de um método adaptativo entre as soluções adotadas por mecanismos compatíveis de Nelson et al. (2016) e as dobras substitutas de Abel et al. (2015).

Figura 140: Processo de construção do design do Ori Espec para material rígido.

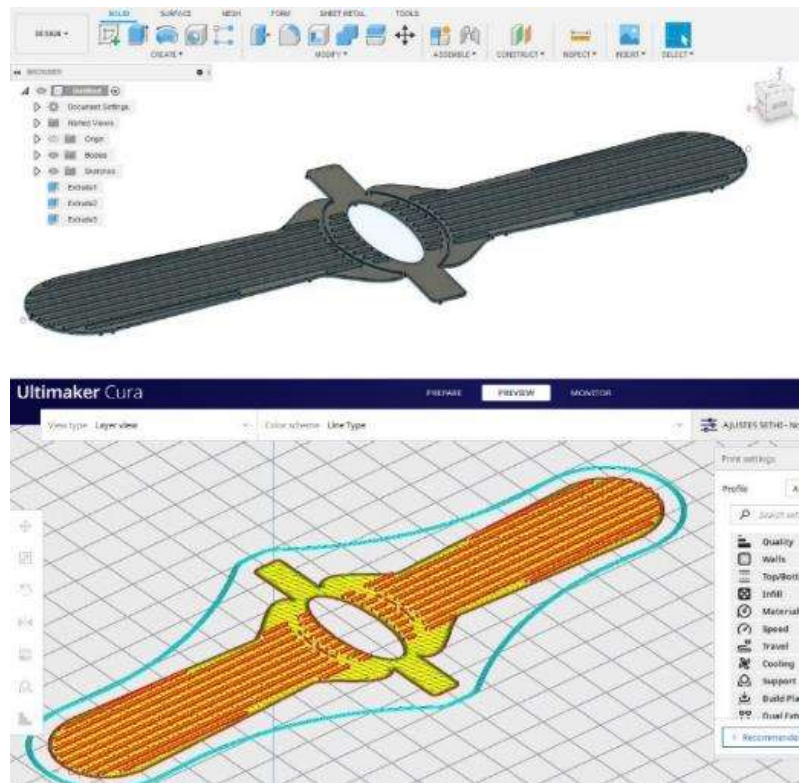


Fonte: Elaboração da autora.

Juntamente à solução de dobras rígidas por meio de fissuras, o novo design rígido Ori Espec foi formado a partir da conversão de formas entre as lâminas do espéculo tradicional vigente e o mecanismo simplificado em papel escolhido no capítulo anterior.

Também foram adicionadas duas abas laterais para manipulação do usuário do instrumental.

Figura 141: Modelagem e fatiamento no Fusion 360 e Ultimaker Cura.



Fonte: Elaboração da autora.

Definido o desenho final no Illustrator, foi realizada a modelagem do Ori Espec no Fusion 360, fatiamento no Cura e posterior impressão na Sethi3D S3X com o filamento PLA.

Foram feitos quatro protótipos de diferentes espessuras do Ori Espec para avaliar a influência da abertura e fechamento das lâminas pelas espessuras do PLA impresso e planificado.

Figura 142: Diferentes espessura do Ori Espec.



Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 9 : Relação das espessuras do Ori Espec.

	Espessura da Base (mm)	Espessura das Fissuras (mm)
Design A	0,5	1
Design B	1	2
Design C	0,2	0,5
Design D	0,7	1

Fonte: Elaboração da autora.

O Ori Espec que apresentou melhor performance em abertura e fechamento de acordo com os resultados de fabricação considerando a Tabela 9 foi o design D. Os designs A e C ficaram muito finos e com pouca resistência na abertura, já o design B ficou tão espesso que não se dobrou e teve deformação plástica na região de manuseio.

3.12 Material: Considerações e possibilidades biocompatíveis

Sobre o plástico a ser adotado nos produtos finais, bolsa de morcelamento e espéculo vaginal, de maneira que seja seguro para o corpo humano, há algumas opções indicadas por estudos tecnológicos recentes que podem ser consideradas para estudos futuros.

García (2013), por exemplo, analisa um interessante tratamento antibacteriano feito por zinco, que é versátil o suficiente para ser aplicado em todos os tipos de polímeros; o zinco mostrou uma eficácia de 98-99% contra as bactérias *Staphylococcus Aureus* e *Escherichia Coli*, mas também apresentou os mesmos resultados com outros tipos de bactérias e microrganismos, além de ser um elemento que não possui elementos nocivos por ser bastante estável.

Outro trabalho na mesma linha de utilização do zinco em matriz polimérica foi desenvolvida por Müller (2019), mais especificamente na criação de filme de polietileno linear de baixa densidade (PELBD) com aderência de nanopartículas ZnO por fundição e plasma frio. Esse filme apresentou superfície antimicrobiana eficaz.

Uma outra alternativa além do tratamento por zinco é a utilização do polímero polipirrol (PPy), que foi aplicado em diferentes tipos de dispositivos e apresentou propriedades antibacterianas no trabalho de Da Silva Júnior (2019). Materiais polímeros mais comuns também podem ser considerados como o PMDS, conhecido pelo nome comercial de silicone, que é utilizado em dispositivos médicos e materiais dentários (WYPYCH, 2016); o PET, utilizado em ataduras ortopédicas, rins e tendões artificiais, implantes cardiovasculares e suturas; e o PMMA, conhecido como acrílico, utilizado em cimento ósseo, prótese dentária e espaçador de quadril.

4. RESULTADOS

O espéculo vaginal com design inspirado em origami, Ori Espec, foi impresso em 3D com filamento PLA e comparado ao espéculo vaginal tradicional da fabricante Kolplast. Em avaliação do protótipo fabricado, visualmente o design possui consistência de forma.

Figura 143: Comparação do design de espéculo tradicional e o novo.



Fonte: Elaboração da autora.

Indica-se que estudos futuros contemplem uso do protótipo Ori Espec em bonecos e testes mecânicos de força para avaliar a viabilidade de produção, integridade estrutural e segurança. A bolsa de morcelamento com design inspirado em origami, Origami Bag, foi fabricada em cima de uma pasta de PVC e comparada à bolsa de morcelamento tradicional da fabricante American Instruments. Em avaliação do protótipo fabricado, visualmente o design proposto possui consistência de forma e melhoria em compactação estrutural.

Figura 144: Compactação e expansão do novo design proposto.



Fonte: Elaboração da autora.

Na imagem acima é possível observar o processo de dobragem e desdobragem da bolsa em comparação ao material plástico planificado e sem os vincos abaixo dela. Foi realizada também uma breve simulação da cirurgia de videolaparoscopia com o uso de uma pinça e um papel rosa simulando o espécime humano coletado.

Figura 145: Comparação entre a Safe Bag e a Origami Bag.



Fonte: Elaboração da autora.

Figura 146: Simulação de cirurgia com a bolsa de morcelamento.



Fonte: Elaboração da autora.

O protótipo da Origami Bag demonstrou êxito como critério de avaliação para novo design de bolsa de morcelamento. Estudos experimentais futuros podem contemplar as outras variáveis restantes de fabricação partindo do design aqui performado e tornando possível a produção em escala da bolsa de morcelamento.

5. DISCUSSÃO

O espécúlo vaginal é um instrumental datado desde a antiguidade e que foi reintroduzido na ginecologia moderna no meio do século XIX. De acordo com Rossman (2008), apesar da utilidade do espécúlo, ele se configura como uma ferramenta de formato muito antigo e que se deu por um estudo de caso de design inadequado. De acordo com o levantamento das pesquisadoras dentro do aspecto histórico, o espécúlo é considerado um instrumento que é pouco mais do que uma prova de conceito, isto é, faz simplesmente o que precisa ser feito, sendo que a sua história de criação e permanência no meio médico reflete a natureza complicada do que é o design de dispositivos médicos. O protótipo bruto de James Sims, a colher de molho entortada, permanece culturalmente nos espécúlos atuais vigentes, quer dizer, não foram desenvolvidos de acordo com um processo de design formal onde restrições e objetivos são considerados e cujas funções desejadas são analisadas e priorizadas. Como muitas inovações, o espécúlo foi desenvolvido por força de necessidade e através de tentativas e erros.

Rossman acredita que o designer precisa satisfazer dois clientes concomitantemente: a paciente e o(a) médico(a). Para a paciente é fundamental que o design vise o conforto, para os médicos e enfermeiras(os), o design precisa visar mais critérios como o convencimento de que há uma necessidade de melhoria no instrumento, evidenciar eficiência na facilidade de uso e possuir valor econômico. Novas propostas de formas alternativas ao tradicional “bico de pato”, que possui mais de 120 anos de existência e uso médico generalizado, estão sendo

desenvolvidas, mas sem sucesso de implementação até os dias atuais. Eveleth (2014) afirma que existe um esforço e múltiplas ações de designers em melhorar o exame pélvico por meio de novas criações de tipos de espéculos, porém a classe média norte-americana apresenta muita aversão em abdicar do espéculo tradicional de duas lâminas. A que se dá essa suposta aversão? Para Sandelowski (2000), quando se trata da atual medicina ginecológica ocidental, as mulheres permanecem culturalmente tratadas mais como espetáculos do que como expectadoras, isso porque o poder de olharem e analisarem seus próprios corpos, conquistado politicamente pelos movimentos feministas em 1970, foi substituído pelas novas tecnologias visuais.

Ao contrário do espéculo vaginal ginocêntrico, que é orientado para a genitália feminina e que as mulheres podem usar em si mesmas, as tecnologias eletrônicas (como o colposcópico) exigem a dependência das mulheres aos profissionais de saúde para se ter o mesmo ato de observação e conhecimento anatômico. Médicos entrevistados no estudo de Eveleth afirmam que a permanência do mesmo design de espéculo por tantas décadas se dá porque a anatomia da mulher não mudou tanto durante todo esse tempo, o mesmo argumento foi utilizado por donos de empresas de espéculo durante as visitas técnicas. Sabe-se, porém, que há problemas ergonômicos que o espéculo vigente não consegue resolver como o prolapso de órgãos pélvicos, a anatomia de mulheres com índices de gordura corporal mais elevados e, em maior escala, o medo e dor que a maior parte das pacientes passam durante os exames ginecológicos evidenciados não apenas nos artigos publicados, mas também no questionário aplicado no início desta pesquisa. Segundo Eveleth (2014), o receio de muitas mulheres como exame pélvico é atribuído mais à falta de técnica do profissional do que pelo design do espéculo.

Falta esta que pode envolver a escolha errada de tamanho do espéculo, especialmente em pacientes adolescentes e mulheres na menopausa que possuem canais vaginais mais estreitos – isso se dá pela falta de um guia concreto sobre quais critérios utilizar para escolher os tamanhos adequados. Ainda no estudo de Eveleth, os médicos afirmam também que o uso do espéculo e a execução dos exames todos os dias os fazem terem a tendência de perder a sensibilidade pela paciente, e que essa empatia precisa ser resgatada para não perpetuarem traumas que muitas dessas mulheres sofreram no passado dentro e fora do consultório. As pesquisadoras afirmam que, no geral, há um problema de mão dupla com relação à experiência do exame pélvico, muitas mulheres não entendem como o espéculo funciona e muitos médicos não explicam com clareza como funciona essa experiência. A falta de comunicação especialmente por parte do profissional faz com os exames tenham potencial ainda maior de traumatização psicológica e dores durante o processo. Para Rossman (2008), apesar de todos os problemas circundantes ao espéculo, muitos médicos ainda o consideram adequado, ou no mínimo “bom o suficiente” para que as pacientes não se sintam inclinadas a protestar.

As diversas fontes teóricas sobre o meio profissional médico demonstram uma evidente conformidade positiva dos profissionais com o design do espéculo, porém essa aceitação não

parece conversar com evidências científicas. Um estudo informal com 12 ginecologistas realizado na Universidade de Lafayette, e evidenciado por Rossman, reportou diversos problemas com o atual design do espéculo como a incompatibilidade de tamanhos com os corpos das pacientes, rigidez do formato, suporte inadequado para as paredes vaginais e uso improvisado de camisinhas ou luvas de borracha para evitar a convergência lateral das lâminas e provocar o “beliscamento” vaginal. Se, de acordo com médicos entrevistados nos artigos e profissionais envolvidos na fabricação do espéculo, “a anatomia da mulher não mudou ao longo da história”, o que justifica a perpetuação do formato inalterado do instrumento, em contrapartida, também nunca foram consideradas a fundo as complexidades de formas que os corpos femininos possuem. Complexidades estas que apenas a aquisição de diferentes tamanhos do espéculo não resolve.

Para melhorar a experiência dos exames pélvicos, algumas iniciativas têm sido realizadas como a criação do Chicago Women’s Health Center, que incentiva práticas clínicas mais empoderadas como a inserção dos espéculos pelas próprias pacientes- o que não é desejo de toda mulher, mas que ajuda em muito aquelas que tiveram traumas anteriores com o exame ou que foram violentadas sexualmente. Outro estudo realizado por Bates, Carroll e Potter (2011) faz uma revisão de evidências clínicas existentes que otimizam aspectos técnicos do exame pélvico, tendo como objetivo maximizar o conforto das pacientes, em especial as minorias que fogem do padrão como adolescentes, mulheres na menopausa, gordas, deficientes, minorias sexuais (gays e trans) e/ou com histórico de traumas anteriores como as vítimas de assédio sexual. O artigo estabelece alguns protocolos de preparação do exame para maior conforto e controle da situação pela paciente, pois quanto mais controle, menos constrangimento. Alguns protocolos envolvem as seguintes premissas:

- Posição na cama verbalizada pelo médico (a), evitando contato físico ou auxílio a não ser que necessário ou solicitado;
- Alertar a paciente de que irá acontecer o toque com o instrumento antes de o fazê-lo;
- Informar a paciente de que há a possibilidade de sangramento a curto prazo durante exame de coleta citológica e que é normal se ocorrer;
- Pedir à paciente para esvaziar a bexiga antes do procedimento para diminuir o desconforto e vazamentos;
- Evitar tocar áreas sensíveis como a uretra e clitóris;
- Utilizar macas com apoio almofadados para os pés, para evitar o toque duro e gelado do metal.

Sobre os apoios para pés, ou estribos como também são conhecidos, o estudo aponta que alguns clínicos do Reino Unido, Austrália e Nova Zelândia adotam o exame sem o uso

desses apoios, com as pacientes apenas deitadas de barriga para cima e com os calcanhares apoiados em cada canto da maca. Os pesquisadores evidenciam que exames sem o apoio dos pés são fáceis de aprender e não afetam a adequação deles, sendo também mais adequados à pacientes com problemas musculoesqueléticos ou com limitações de abertura de quadril. Em um ensaio clínico randomizado e controlado com 197 mulheres submetidas a exames cervicais nesta posição sem os apoios documentaram reduzir a sensação de vulnerabilidade em 44% a menos, e desconforto físico em 43% a menos (SEEHUSEN et al., 2006 apud BATES; CARROLL; POTTER, 2011). Ainda dentro dos protocolos estabelecidos por Bates, Carroll e Potter, o uso de lubrificantes no espécuro pode diminuir o risco de dor, sendo recomendado lubrificantes em gel à base d'água para não interferir nos exames de citologia cervical e Papanicolau, como interferem os géis à base de carbômeros ou polímero carbopol. Para pacientes com traumas sexuais ou histórico de abusos físicos, recomenda-se ao profissional de saúde uma série de sugestões juntamente com uma breve entrevista:

- Sugerir um acompanhamento profissional psicológico;
- Explicar o procedimento do exame e normalizar a ansiedade associada a ele;
- Oferecer a opção de usar vestido ou saia e retirar apenas a peça íntima;
- Oferecer a opção de ter um(a) acompanhante junto como um membro da família, amigo(a), etc.

Os pesquisadores afirmam que não há um guia de referências para escolha do tamanho do espécuro durante os exames pélvicos, porém existem diversos fatores biológicos que influenciam o tamanho do canal vaginal como variação de idade, raças/etnias, paridade (se teve um ou mais partos) e peso corporal. Além disso, outros fatores anatômicos naturais também influenciam o tamanho da vagina como comprimento vaginal posterior e anterior, largura e medidas do introito. O comprimento vaginal pode ser de 4,1 a 9,5 cm do anel himenal até o sistema cervical externo. A largura vaginal tem, em média, 4,2 cm nos fornículos vaginais, 1 cm na parte central e 2,6 cm no introito. Além da variação do tamanho normal, a anatomia e fisiologia vulvovaginal altera as tolerâncias ao espécuro quando há problemas como a episiotomia (corte do períneo realizado no parto), lacerações perineais (rasgos acidentais no períneo durante o parto), vaginismo (disfunção sexual causada por contrações involuntárias das paredes vaginais), prolapso dos órgãos pélvicos, circuncisão genital, entre outros.

No geral, o critério de escolha do tamanho do instrumento funciona da seguinte forma: quanto maior o espécuro, maior é o potencial de causar desconforto, ao passo que quanto menor o espécuro, mais limitada é a visualização, precisando haver um equilíbrio entre o menor instrumento com visualização ideal e tendo em mente também de que espéculos maiores são indicados para mulheres com prolapso genital e espéculos menores são indicados para mulheres na menopausa. Os pesquisadores afirmam que não há um padrão industrial para tamanhos de espéculos, variando muito de acordo com a marca usada, mas indicam que o espécuro tipo

Pederson de tamanho médio, com 10 cm de comprimento e 2,5 cm de largura, tem sido o mais bem aceito pela maioria das pacientes. No fim do estudo, Bates, Carroll e Potter concluem que não há estudos que comparem o impacto dos espéculos descartáveis de plástico nos aterros sanitários juntamente com os recursos gastos em esterilização e reutilização dos espéculos de metal – premissas estar que dizem respeito à quarta hipótese da presente pesquisa: a possibilidade de melhoria do novo design no âmbito da sustentabilidade.

De acordo com Callister Junior e Rethwisch (2010, p. 4), os critérios de seleção de material adequado a um determinado design abrangem desde as propriedades físicas e mecânicas necessárias que esse material deve ter (e que são relacionadas ao seu uso específico), o ambiente em que ele estará exposto, como lugares corrosivos ou com altas/baixas temperaturas, e também os custos de fabricação desse material, não sendo possível, na prática, aliar todas essas qualidades ideais em um mesmo projeto. Askeland e Wright (2016, p. 11) adicionam à esses critérios a viabilidade de processamento e fabricação em formatos específicos, a viabilidade técnica e comercial e, por fim, o estímulo de proteção ao meio ambiente, se possível agregando valor de reciclagem. Para Cardoso (2012, p. 111-133), todo artefato material é uma forma não só de criação e uso para problemas humanos, mas também comunicação, informação, signo. Contudo, conforme os objetos passam a sair da esfera de uso e passam para a esfera do descarte, perdem seu sentido, seu propósito:

À medida que os objetos viram dejetos, aquele projeto que ontem operava como solução, hoje se apresenta como obstáculo e problema. Ao sobreviverem além da finalidade para a qual foram pensados, os objetos acabam resistindo aos seus projetos. Tornam-se ruínas. [...] Ao longo do tempo, abre-se o dilema da defasagem entre a permanência dos artefatos e a mutabilidade das ideias (CARDOSO, 2012, p. 125-152).

Tanto o espéculo vaginal quanto a bolsa de morcelamento possuem como matéria-prima principal o plástico (excetuando-se os espéculos de metal que podem ser reaproveitados), um material polímero que apesar de versátil e barato, vem de origem não sustentável - um derivado de petróleo, o que acarreta em grandes gastos energéticos e recursos ambientais para se obter sua decomposição isoladamente (WYPYCH, 2016). Ambos os instrumentais são de uso único e descarte imediato, por isso foi levantada a hipótese de que o redesign poderia agregar valores sustentáveis por meio de adoção de materiais alternativos biodegradáveis e de fontes renováveis, e para comprovação ou invalidação dessa hipótese foi realizada pesquisa sobre a gestão de resíduos de serviços de saúde. Com o levantamento de dados sobre RSS tanto a nível estatístico quanto a nível prático com as visitas técnicas, considerações são levantadas com relação à viabilidade e/ou necessidade de agregar sustentabilidade ao design de produtos voltados à área médica. Conhecendo toda a cadeia de processos que os instrumentais médicos seguem quando são descartados, a escolha de materiais que possam ser biodegradáveis

demonstra ser irrelevante para contribuir de forma significativa e positiva aos processos de tratamento e destinação final de RSS, isso porque materiais de todos os tipos são misturados tanto no tratamento com autoclave quanto no descarte final ao aterro sanitário. Os aterros sanitários possuem um ciclo de vida de 42 anos, podendo receber resíduos apenas nos 20 primeiros anos. Uma vez que os resíduos são destinados a esses locais, não há como recuperá-los novamente. Em entrevista aos técnicos responsáveis pelo aterro visitado, eles afirmam que a mistura dos materiais faz com que o processo de vida do aterro continue sendo o mesmo, não importando se há menos ou mais materiais em seu conteúdo que sejam biodegradados. De acordo com eles, as maiores perdas que ocorrem no aterro sanitário é a destinação de resíduos que poderiam ter sido reciclados ou reaproveitados, fazendo da separação do lixo um pilar fundamental para a sustentabilidade nos municípios brasileiros. Os dados recolhidos pela ABRELPE evidenciam que quase metade dos resíduos sólidos urbanos no Brasil tem destinação final inapropriada em 2017, e por volta de 30% dos municípios brasileiros não realizam políticas de coleta seletiva de lixo. Dentro desse sistema, soma-se outra problemática séria que é a gestão dos resíduos de serviços de saúde: 28% de RSS não são desintoxicados para suas destinações finais, o que contribui para uma contaminação do ar, solo, lençóis freáticos e à população como um todo.

Os problemas relacionados ao lixo hospitalar no Brasil não se tratam apenas de haver escolhas de materiais e processos fabris mais sustentáveis aos designs de instrumentais cirúrgicos ou clínicos, mas principalmente à uma necessária melhoria de gestão pública com relação às coletas, tratamentos e destinações adequadas aos resíduos de serviços de saúde, como previstos na legislação (CONAMA, 2005). Tendo esclarecido essas problemáticas ambientais, a hipótese de melhorias sustentáveis do redesign de instrumentais com relação à escolha de materiais mais ecológicos poderá possivelmente influenciar mais no momento de aquisição antes de serem fabricados, para não depender dos derivados de petróleo, do que no momento de descarte. Portanto, acredita-se que materiais biodegradáveis podem ter de fato alguma relevância sustentável no momento do início da fabricação, mas grandes impactos sustentáveis do lixo no Brasil estão situados em abrangência e melhorias da gestão pública, como aumento das coletas seletivas e conscientização das autoridades públicas e à população como um todo.

A mesma premissa sustentável de que modificações do design só serão efetivos de fato se aliados a medidas políticas maiores pode ser considerada também à melhoria de experiência de uso dos instrumentais ginecológicos como o espécuro. Os diferentes estudos apontam que o formato do espécuro não se modificou com o tempo, mas sua concepção de design também nunca contemplou os diferentes tipos de corpos submetidos a este instrumento ou, quando muito, limitou-se à aquisição de diferentes tamanhos de um mesmo formato que nem sempre são escolhidos de forma correta. Há uma aliança forte entre a comunidade médica que está satisfeita com o que tem, pois não vê reações negativas generalizadas por parte das pacientes, e

a logística fabril e de mercado que, ao longo do tempo, conseguiu consolidar o máximo de economia na produção deste instrumento justamente por não ter havido muitas mudanças em sua concepção.

Foi visto que é necessário que o novo design de espéculo contemple a diversidade de corpos ao mesmo tempo que precisa também ter eficiência fabril econômica para ter aderência das fábricas nacionais e aos consumidores finais, que são os médicos. Mas nenhuma mudança de design será efetiva de fato sem a exigência das pacientes pois, apesar de estarem descontentes com suas experiências nos exames pélvicos, como foi apontado pelos estudos e pelo questionário 2 aplicado, pouca ou quase nenhuma ação política coletiva foi organizada para mudar esse cenário desde o movimento feminista nos anos 1970, na América do Norte. À parte disso, o novo design de espéculo vaginal proposto, denominado como Ori Espec, confirma as hipóteses de pesquisa, uma vez que:

- substitui o processo de injeção de plástico pela impressão 3D, o que permite a eliminação de confecção de moldes;
- facilita o redesign e adaptações na forma, se necessário;
- confere escalabilidade necessária aos diferentes corpos das pacientes;
- elimina a confecção de três peças (como é no design vigente) para apenas uma peça, o que implica em economia de material e processos fabris (como linha de montagem);
- Agrega valor de sustentabilidade uma vez que foi impresso em PLA, material biodegradável advindo de fontes renováveis.

Os pontos fracos do novo design proposto foram observados em três aspectos: aparência, velocidade de produção e ergonomia. O espéculo tradicional de duas lâminas e rosca possui transparência que possibilita visualizar as paredes vaginais. Embora não seja sempre necessário nos exames clínicos, tendo em vista que muitos espéculos vigentes são opacos e de metal, é uma possibilidade de função relevante. O processo de injeção de plástico, ainda que mais custoso do que a impressão 3D, é um processo de manufatura mais rápido, um fator de eficiência fabril a ser ponderado. E por fim, não se sabe se as fissuras necessárias para a deformação da superfície do novo design afetam negativamente a ergonomia do instrumental, fazendo-se necessário também a execução de testes de uso em pessoas voluntárias, seguindo protocolos médicos pré-estabelecidos, em momento futuro. Além destes testes com voluntárias, cabe também a testagem de usabilidade com médicos(as) e adaptações no formato de acordo com os resultados.

A bolsa de morcelamento, por outro lado, possui uma insatisfação de uso mais explícita por parte dos profissionais da medicina, especialmente na questão da sua expansão dentro da cavidade abdominal que não é contemplada de forma automatizada com os designs vigentes. No cenário nacional, a usabilidade da bolsa é ainda mais prejudicada, pois até mesmo a sua inserção

no trocarter é totalmente manual e sem qualquer tipo de facilitador na sua compactação estrutural necessria.

Neste contexto, os resultados experimentais de concepção de novo design de bolsa de morcelamento, denominado como Origami Bag, indicam alguns caminhos de solução das problemáticas que envolvem esse produto cirúrgico. A elaboração do ensaio de força, construído a partir de diferentes tipos de metodologias dentro e fora do campo científico de estudos do origami, demonstrou ser um método eficaz de comparação de resultados em cima da variável "Adaptação da dobra". Deste ensaio têm-se resultados concretos do porquê adotar um padrão de vincos x ou y no design de produtos em geral, uma vez que os resultados de leitura do dinamômetro apontam para origamis que se compactam e/ou se expandem com menos solicitação de força. A adoção de linhas retas nos limites da Origami Bag apresentou um aproveitamento de 20% a mais da matéria-prima em simulação do recorte da bobina de plástico. Além de uma diminuição espacial de 97,5% da bolsa quando está dobrada em comparação ao tamanho original planejado. Além disso, A Origami Bag promove a substituição do anel nitinol, material que encarece o produto uma vez que é importado dos Estados Unidos, por um fecho de plástico simples e mais denso que o restante da bolsa, atendendo a necessidade da bolsa estar sempre aberta para facilitar a colocação do espécime durante a cirurgia e a saída do mesmo pelas incisões de acesso no abdômen do(a) paciente. Contudo, o uso de ilhoses na origami Bag precisou ser descartado por ter por orientação médica consultada como uma inviabilização de inserção no abdômen durante a cirurgia, sendo necessários testes futuros com outros tipos de autodobragem.

Como Bonsiepe (2011) e Cardoso (2012) atestam, a formação do designer lhe confere um olhar apurado e holístico sobre as empresas, isto é, o seu ofício não se restringe ao produto em si, mas à toda cadeia de produção desde a matéria prima, processos de fabricação, descarte, gestão, financeiro e experiência do usuário. A mesma relevância é indicada por Argan:

Ao design caberá a tarefa de evitar igualmente a penúria e o desperdício, a insuficiência e a redundância da informação. A chamada austeridade não será um sacrifício imposto pelas circunstâncias, mas o *Grundbegriff* de um novo equilíbrio ou de uma nova economia na utilização social da riqueza, da cultura, do ambiente, do espaço e do tempo (ARGAN, 2005, p. 263).

No futuro, cabe aos designers investigarem não se o seu papel como profissionais é necessário nas fabricantes de instrumentais médicos, mas como podem furar a bolha de contato e elucidar sua relevância de atuação aos empresários. Durante a abordagem da presente pesquisa, a maioria dos donos das companhias mostraram-se interessados com a possibilidade de melhorias nos instrumentais, o que certamente indica uma boa vontade da parte deles em estreitar seus laços com o design e inovação projetual. Falta, portanto, uma iniciativa da

comunidade designer de se inserirem e se promoverem como profissionais relevantes que são no ramo da saúde, uma vez que as visitas técnicas indicam que há uma clara lacuna de início e manutenção do contato profissional do(a) designer para com as indústrias de produtos clínicos e cirúrgicos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa propôs desenvolver conhecimento sobre o design de origami aplicado em produtos médicos. Por meio da problematização de dois instrumentais, o espéculo vaginal e a bolsa de morcelamento, foram elaboradas metodologias projetuais com concepção de novos designs e testagem experimental.

Os resultados encontrados na pesquisa mostram que, em comparação ao design atual vigente da bolsa de morcelamento, o novo design proposto Origami Bag apresentou um aproveitamento de 20% a mais da matéria-prima e uma diminuição espacial de 97,5% da bolsa quando está dobrada, além da diminuição de custo de produção seriada por propor uma substituição do material nitinol por um fecho de plástico denso que apresentou as mesmas propriedades de uso durante a cirurgia.

Os resultados experimentais mostram também que, em comparação ao design atual vigente do espéculo vaginal tipo *collins* e de uso único descartável, o novo design proposto Ori Espec apresentou melhorias indicadas pelas hipóteses da pesquisa devido à eliminação de confecção de moldes com a substituição de injeção de plástico pela impressão 3D, à facilitação de escalabilidade para diferentes corpos de pacientes, à economia de matéria-prima e processos fabris com adoção de design monolítico que substitui a confecção das três peças integrantes do design atual, e ao agregamento de sustentabilidade pelo uso da matéria-prima do PLA, material advindo de fontes renováveis.

Na revisão bibliográfica foi possível verificar que há uma necessidade de se propor novos formatos para o espéculo. Contudo, constatou-se também que tão impactante quanto seu design é, sem dúvida, a conscientização das mulheres em conhecerem seus corpos e aprenderem como se dão os exames pélvicos, para que então possam exigir da comunidade médica uma mudança de atitudes mais humanas, empáticas e até mesmo mais profissionais, através do uso de protocolos sistemáticos que visam a segurança e neutralidade dos processos clínicos, muitos deles explicitados nesta pesquisa.

A metodologia científica de design de origami para a medicina foi formulada por nove pilares: questionários, escolha dos produtos, visitas técnicas, revisão bibliográfica, definição de variáveis, definição de requisitos de melhoria, prototipagem, resultados e discussão. Neste contexto, os resultados experimentais de concepção de novo design de espéculo vaginal e bolsa de morcelamento indicam alguns caminhos de solução das problemáticas que envolvem esses produtos médicos.

A elaboração do ensaio de força dos padrões de vincos de origami tipo tesselação demonstrou ser um método eficaz de comparação e de escolha de designs mais eficientes estruturalmente, pois os resultados de leitura do dinamômetro apontam para origamis que se compactam e/ou se expandem com menos solicitação de força. Além disso, as respostas do dinamômetro demonstraram que o comportamento de deformação dos origamis tesselações mudam de escala substancialmente, apresentando possuem um comportamento não-linear. Essa descoberta é importante pois o comportamento de deformação não-linear de origamis possuem a vantagem de reduzir a energia de impacto e proteção de partes importantes de sistemas estruturais como a de amortecedores.

Pontos fracos dos designs propostos também foram observados e analisados ao longo da discussão dos resultados experimentais, especialmente por conta de ser uma área de pesquisa ainda nova no Brasil. Pela elaboração da metodologia apresentada, juntamente com os experimentos e análise dos resultados, foi possível atender o principal objetivo da presente pesquisa que é a geração de conhecimento teórico e experimental em design de origami aplicado à medicina.

Para estudos futuros são indicados alguns caminhos de modo a tornar os designs propostos mais robustos, seguros e viáveis de serem patenteados e comercializados. A primeira indicação é a testagem do design Ori Espec e Origami Bag em materiais biocompatíveis como polímeros variados com tratamento antibacteriano por zinco, ou uso de filme PELBD com nanopartículas ZnO, entre outros materiais elencados aqui. A segunda indicação é a testagem de biossegurança juntamente com as melhores alternativas sustentáveis ao descarte, com concepção de protótipos e testagem em animais e pessoas, seguindo todos os protocolos de segurança exigidos. A terceira indicação é a atuação experimental de outras variáveis restantes de fabricação partindo do design aqui performado e tornando possível a produção fabril da bolsa de morcelamento e do espécúlo vaginal. A quarta indicação é a testagem de outras estratégias de autodobragem para a bolsa de morcelamento, uma vez que a aplicação em ilhós prejudicou suas funções. A quinta indicação é a avaliação ergonômica das fissuras adotadas no design do espécúlo vaginal, com objetivo de compreender se a estratégia adotada para obter o instrumento final montado influencia no contato e conforto de uso do produto. Além destes testes com voluntárias, cabe também a testagem de usabilidade com médicos(as), avaliações de segurança de abertura do Ori Espec e adaptações no formato de acordo com os resultados.

REFERÊNCIAS

- ABEL, Z. et al. Rigid Origami Vertices: Conditions and Forcing Sets. **Journal of Computational Geometry**, v. 7, n. 1, p. 1–14, 2015.
- ABNT. **Resíduos Sólidos: classificação**. Brasil, 2004.
- ABRELPE. **Estimativas Dos Custos Para Viabilizar a Universalização Da Destinação**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br>>. Acesso em: 1 out. 2019.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf>. Acesso em: 1 out. 2019.
- ABRELPE. **ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br>>. Acesso em: 1 out. 2019.
- ABREU, S. A. C. **Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo**. Porto: Universidade do Porto, 2015.
- AHMED, H. O. **Color Atlas of Laparoscopy**. As-Sulaymaniyah: University of Sulaimani, 2008.
- ALMEIDA, M. História da Laparoscopia. **Acta Urológica**, v. 1935, p. 9–10, 2002.
- ARGAN, G. C. **História da arte como história da cidade**. 5 th ed. São Paulo: Martins Fontes, 2005.
- ARIO, I.; NAKAZAWA, M. Non-linear dynamic behaviour of multi-folding microstructure systems based on origami skill. **International Journal of Non-Linear Mechanics**, v. 45, n. 4, p. 337–347, 2010.
- ASIEDU, M. N. et al. Design and preliminary analysis of a vaginal inserter for speculum-free cervical cancer screening. **PLoS ONE**, v. 12, n. 5, p. 1–20, 2017.
- ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- AVILA, A. et al. Origami fold states: Concept and design tool. **Mechanical Sciences**, v. 10, n. 1, p. 91–105, 2019.
- BARACAT, F. **Prolapso genital**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/entrevistas-2/prolapso-genital-entrevista/>>. Acesso em: 11 jun. 2020.
- BASSIK, N. et al. Enzymatically Triggered Actuation of Miniaturized Tools. **Journal of the American Chemical Society**, v. 132, n. 46, p. 16314–16317, 2010.
- BATES, C. K.; CARROLL, N.; POTTER, J. The challenging pelvic examination. **Journal of General Internal Medicine**, v. 26, n. 6, p. 651–657, 2011.
- BECKER, M. **Graus de Liberdade em Cadeias Cinemáticas**. São Carlos: [s.n.]. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/85078910-Sem-aula-2-graus-de-liberdade-em-cadeias-cinematicas-prof-dr-marcelo-becker.html>>. Acesso em: 11 jun. 2020.
- BEDFORD, D. **Vector is eart**. Disponível em:

- <<https://www.instagram.com/p/CIuhv9Wo0WL/>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- BONSIEPE, G. **Design, Cultura e Sociedade**. São Paulo: Blucher, 2011.
- BRUTON, J. T. et al. Packing and deploying Soft Origami to and from cylindrical volumes with application to automotive airbags. **Royal Society Open Science**, v. 3, n. 9, 2016.
- BYU CMR, C. M. R. G. **Compliant Mechanism Research: Bending the rules of kinematics since 1994**. Disponível em: <<https://www.compliantmechanisms.byu.edu/>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- CABRAL, I. et al. Exploring geometric morphology in shape memory textiles: Design of dynamic light filters. **Textile Research Journal**, v. 85, n. 18, p. 1919–1933, 2015.
- CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering - An Introduction**. 8. ed. Danvers: John Wiley & Sons, 2010.
- CARDOSO, R. **Design para um mundo complexo**. São Paulo: Cosac Naify, 2012.
- CHEN, Y. et al. Intra-cardiac MR imaging & MR-tracking catheter for improved MR-guided EP. **Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance**, v. 17, n. S1, p. 1–2, 2015.
- CHEN, Y.; PENG, R.; YOU, Z. Origami of thick panels. **Science**, v. 349, n. 6246, p. 396–400, 2015.
- CHEN, Z. et al. Fast Digital Patterning of Surface Topography toward Three-Dimensional Shape-Changing Structures. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 11, n. 51, p. 48412–48418, 2019.
- CONAMA. **Gestão de Resíduos e Produtos Perigosos: Tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e outras providências**. Brasil, 2005.
- CUETO, G. G.; JIMÉNEZ, R. A. F. Consideraciones sobre la evolución histórica de la cirugía laparoscópica: colecistectomia. **Revista Médica Electrónica**, v. 32, n. 6, 2010.
- DA SILVA JÚNIOR, F. A. G. **Atividade antibacteriana de dispositivos nanoestruturados à base de polipirrol**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019.
- DAVIS, E. et al. Reconstructing David Huffman’s Origami Tessellations. **Journal of Mechanical Design**, v. 135, n. 11, 2013.
- DELEUZE, G. **A Dobra: Leibniz e o barroco**. Campinas: Papyrus, 1991.
- DIOKNO, A. C.; BORODULIN, G. A new vaginal speculum for pelvic organ prolapse quantification (POPQ). **International Urogynecology Journal**, v. 16, n. 5, p. 384–388, 2005.
- DUREISSEIX, D. An overview of mechanisms and patterns with origami. **International Journal of Space Structures**, v. 27, n. 1, p. 1–14, 2012.
- EDMONDSON, B. J. et al. **Oriceps: Origami-Inspired Forceps**. Proceedings of the ASME 2013 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems. **Anais...Snowbird: The American Society of Mechanical Engineers, 2013** Disponível em: <<https://asmedigitalcollection.asme.org/SMASIS/proceedings->

- abstract/SMASIS2013/56031/V001T01A027/284047. Acesso em 21 Jul. 2020.>. Acesso em: 1 out. 2019
- EVELETH, R. Why No One Can Design a Better Speculum. **The Atlantic**, 2014.
- FELTON, S. et al. A method for building self-folding machines. **Science**, v. 345, n. 6197, p. 644–646, 2014.
- FRANCIS, K. C. et al. Origami-like creases in sheet materials for compliant mechanism design. **Mechanical Sciences**, v. 4, n. 2, p. 371–380, 2013.
- FRANCIS, K. C. et al. **From crease pattern to product: considerations to engineering origami-adapted designs**. Proceedings of ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. **Anais...**Buffalo: The American Society of Mechanical Engineers, 2014Disponível em: <<http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=2090926>>. Acesso em: 1 out. 2019
- GARCÍA, N. Plásticos Antibacterianos: Una respuesta innovadora y biocompatible. **Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros**, v. 685, p. 279–282, 2013.
- GARDINER, M. R. **Ori: On the aesthetics of folding and technology**. Austrália: University of Newcastle, 2018.
- GE, Q. et al. Active origami by 4D printing. **Smart Materials and Structures**, v. 23, n. 9, 2014.
- GORNI, A. A. Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos. **Revista Plástico Industrial, Aranda Editora**, p. 230–239, 2001.
- GREENBERG, H. C. et al. Identifying links between origami and compliant mechanisms. **Mechanical Sciences**, v. 2, n. 2, p. 217–225, 2011.
- GUEST, S. D.; PELLEGRINO, S. The folding of triangulated cylinders, Part I: Geometric considerations. **Journal of Applied Mechanics**, v. 61, n. 4, p. 773–777, 1994.
- HAO, G.; YU, J.; LI, H. A brief review on nonlinear modeling methods and applications of compliant mechanisms. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 11, n. 2, p. 119–128, 2016.
- HATORI, K. **History of origami in the east and the west before interfusion**. (R. J. Lang, P. W. Iverson, M. Yim, Eds.)Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education. **Anais...**Cingapore: AK Peters, 2011
- HYDE, R. et al. **EyeGlass : A Very Large Aperture Diffractive Space Telescope**. (Howard A. MacEwen, Ed.)Proceedings of SPIE Highly Innovative Space Telescope Concepts. **Anais...**Washington: SPIE The International Society for Optics and Photonics, 2002
- IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- INTRODUCING Nella VuSleeve, the first-in-class, single-use tissue retraction sheath.** . [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://ceekwomenshealth.com/nella-vusleeve>>. Acesso em: 6

- nov. 2019.
- ISWA; ABRELPE. **Roteiro para Encerramento de Lixões** (C. R. V. S. Filho, Ed.). [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/iswa_web3.pdf>. Acesso em: 1 out. 2019.
- IWAKI, M. et al. A programmable DNA origami nanospring that reveals force-induced adjacent binding of myosin VI heads. **Nature Communications**, v. 7, p. 1–10, 2016.
- JACKSON, P. **Folding Techniques for designers: From sheet to form**. London: Laurence King Publishing, 2011.
- JOHNSON, M. et al. Fabricating biomedical origami: a state-of-the-art review. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, v. 12, n. 11, p. 2023–2032, 2017.
- JOHNSON, S. **De onde vêm as boas ideias**. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.
- KIM, Y. W. et al. Single-Port Laparoscopic Myomectomy Using a New Single-Port Transumbilical Morcellation System: Initial Clinical Study. **Journal of Minimally Invasive Gynecology**, v. 17, n. 5, p. 587–592, 2010.
- KING, H. The speculum finally gets redesigned – by women. **The Conversation**, 2017.
- KNITTEL, C. E. et al. Self-folding textiles through manipulation of knit stitch architecture. **Fibers**, v. 3, n. 4, p. 575–587, 2015.
- KURIBAYASHI, K. et al. Self-deployable origami stent grafts as a biomedical application of Ni-rich TiNi shape memory alloy foil. **Materials Science and Engineering A**, v. 419, p. 131–137, 2006.
- KUZUYA, A. et al. Nanomechanical DNA origami “single-molecule beacons” directly imaged by atomic force microscopy. **Nature Communications**, v. 2, n. 1, p. 448–449, 2011.
- LANG, R. Origami: Complexity in Creases (Again). **Engineering and Science**, v. 67, n. 1, p. 5–19, 2004.
- LANG, R. J. **When Math Met Origami | Google Zeitgeist**. Disponível em: <<https://youtu.be/-9EvAY8xCBc>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- LANG, R. J. et al. A Review of Thickness-Accommodation Techniques in Origami-Inspired Engineering. **Applied Mechanics Reviews**, v. 70, n. 1, p. 1–20, 2018.
- LI, S. et al. Fluid-driven origami-inspired artificial muscles. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 50, p. 13132–13137, 2017.
- LU, K. J.; KOTA, S. Topology and dimensional synthesis of compliant mechanisms using discrete optimization. **Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME**, v. 128, n. 5, p. 1080–1091, 2006.
- MAILACH, D. **LOTUS: Speculum Redesign**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.studentshow.com/gallery/33407783/LOTUS-Speculum-Redesign>>. Acesso em: 6 nov. 2019.

- MARTÍN, P. P. S. **Manual de Introdução à Ginecologia Natural**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bauti Produções, 2019.
- MARTINEZ, R. V. et al. Elastomeric Origami : Programmable Paper-Elastomer Composites as Pneumatic Actuators. **Advanced Functional Materials**, v. 22, n. 7, p. 1376–1384, 2012.
- MAZZANTI, V.; MALAGUTTI, L.; MOLLICA, F. FDM 3D printing of polymers containing natural fillers: A review of their mechanical properties. **Polymers**, v. 11, n. 7, 2019.
- MEHNER, P. J. et al. Toward engineering biological tissues by directed assembly and origami folding. **American Mathematical Society AMS Non-Series Monographs**, v. 95.2, p. 545–555, 2015.
- MERALI, Z. “Origami engineer” flexes to create stronger, more agile materials. **Science**, v. 332, n. 6036, p. 1376–1377, 2011.
- MIYASHITA, S. et al. Self-folding miniature elastic electric devices. **Smart Materials and Structures**, v. 23, n. 9, 2014.
- MIYASHITA, S. et al. **An Untethered Miniature Origami Robot that Self-folds, Walks , Swims, and Degrades**. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). **Anais...**Seattle: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2015Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7139386>>. Acesso em: 1 out. 2019
- MIYASHITA, S. et al. **Ingestible, controllable, and degradable origami robot for patching stomach wounds**. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). **Anais...**Estocolmo: IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7487222>. Acesso em 21 Jul. 2020.>
- MORGAN, M. R. et al. Towards developing product applications of thick origami using the offset panel technique. **Mechanical Sciences**, v. 7, n. 1, p. 69–77, 2016.
- MULLER, L. **Tratamento com plasma frio em PELBD para desenvolvimento de filmes antibacterianos contendo nanopartículas de ZnO, amido e quitosana**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- NELSON, T. G. et al. Facilitating deployable mechanisms and structures via developable lamina emergent arrays. **Journal of Mechanisms and Robotics**, v. 8, n. 3, 2016.
- ONAL, C. D.; WOOD, R. J.; RUS, D. An Origami-Inspired Approach to Worm Robots. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 18, n. 2, p. 430–438, 2013.
- OVERVELDE, J. T. B. et al. Rational design of reconfigurable prismatic architected materials. **Nature**, v. 541, n. 7637, p. 347–352, 2017.
- PERAZA-HERNANDEZ, E. A. et al. Origami-inspired active structures: A synthesis and review. **Smart Materials and Structures**, v. 23, n. 9, 2014.
- RAAB, M. et al. Shifting molecular localization by plasmonic coupling in a single-molecule mirage. **Nature Communications**, v. 8, p. 1–6, 2017.

- ROSSMANN, J. S. Built to spec?: The vaginal speculum as a case study of inadequate design. **Ambidextrous**, p. 47–49, 2008.
- ROTHEMUND, P. W. K. Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns. **Nature**, v. 440, n. 7082, p. 297–302, 2006.
- SANDELOWSKI, M. This most dangerous instrument: propriety, power, and the vaginal speculum. **Journal of obstetric, gynecologic, and neonatal nursing: JOGNN / NAACOG**, v. 29, n. 1, p. 73–82, 2000.
- SARGENT, B. et al. Heat set creases in polyethylene terephthalate (PET) sheets to enable origami-based applications. **Smart Materials and Structures**, v. 28, n. 11, 2019.
- SCHMIDT, E. J. et al. **Intra-Cardiac MRI Catheter for EP Ablation Monitoring: Preliminary Studies**. Proceedings of the 19th annual meeting of International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM). **Anais...Montreal: 2011** Disponível em: <<https://cds.ismrm.org/protected/11MProceedings/files/3741.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2019
- SCHWAB, K. **Frog redesigns the dreaded gynecology exam** Fast Company. Estados Unidos: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.fastcompany.com/90146019/frog-redesigns-the-dreaded-gynecology-exam>>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- SEEHUSEN, D. A. et al. Improving women’s experience during speculum examinations at routine gynaecological visits: Randomised clinical trial. **British Medical Journal**, v. 333, n. 7560, p. 171–173, 2006.
- SHUMAKOV, K.; SHUMAKOV, Y. **Origami Magic Ball Wonders: From dragon’s egg to hot air baloon**. [S.I.]: Oriland, 2001.
- SORENSEN, K.-J. **Rigid foldable origami with flexible joints**. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:3832129>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- SORGUÇ, A. G.; HAGIWARA, I.; SELÇUK, S. A. Origamics in architecture: a medium of inquiry for design in architecture. **Metu Journal of the Faculty of Architecture**, v. 26, n. 2, p. 235–247, 2009.
- STROBL, H. **Special Snapology: A simple and cheap method to make convex polyhedra models**. Disponível em: <<http://www.knotology.eu/PPP-Jena2010e/start.html>>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- TACHI, T. Rigid-foldable thick origami. In: LANG, R. J.; IVERSON, P. W.; YIM, M. (Eds.). . **Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education**. Singapore: A K Peters, 2011. p. 253–263.
- TAYLOR, A. et al. Intracardiac magnetic resonance imaging catheter with origami deployable mechanisms. **Journal of Medical Devices**, v. 10, n. 2, p. 2–3, 2016.
- TEIXEIRA, S. A.; BOTURA JR, G.; YAMADA, T. R. U. **Digital Folding Design and Deformation Test of Eleven Origami Tessellations**. (V. Viana, Ed.) Geometrias’19: Polyhedra and Beyond & Aproved’s 5th Internacional Conference. **Anais...Porto: Aproved -**

- Associação dos Professores de Geometria e de Desenho, 2019 Disponível em: <www.aproged.pt/geometrias19.html>. Acesso em: 1 out. 2020
- TEIXEIRA, S. A.; BOTURA JR, G.; YAMADA, T. R. U. Revisão de pesquisas em design de origami na área médica Review of origami design researches in medical field. **Estudos em Design**, v. 28, n. 3, p. 67–81, 2020a.
- TEIXEIRA, S. A.; BOTURA JR, G.; YAMADA, T. R. U. Pesquisa em Design de Origami na Área da Medicina: Inovações Científicas da Orimimética em Instrumentais (PT/BR). In: MENEZES, M. DOS S.; PASCHOARELLI, L. C. (Eds.). . **Design: Tecnologia a serviço da qualidade de vida**. 1. ed. Bauru: Canal 6, 2020b. p. 155–172.
- TEIXEIRA, S. A.; BOTURA JR, G.; YAMADA, T. R. U. **Problemáticas de design do espéculo vaginal: Estudo sobre irregularidades do instrumento ginecológico**. (C. B. F. Barros, C. T. Marinho, B. R. do Nascimento, Eds.) Pesquisa e design: De(s)colonizando o design. **Anais...**Fortaleza: Nadifúndio, 2021
- TIBBITS, S. **The emergence of “4D printing”**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0gMCZFHv9v8&t=8s>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- TOBARO, E. T. **Desenvolvimento de capa cosmética para prótese de membro inferior utilizando tecnologias de prototipagem rápida**. Bauru: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2021.
- TOLLEY, M. T. et al. Self-folding origami: Shape memory composites activated by uniform heating. **Smart Materials and Structures**, v. 23, n. 9, 2014.
- TURNER, N.; GOODWINE, B.; SEN, M. A review of origami applications in mechanical engineering. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 230, n. 14, p. 2345–2362, 2016.
- VENEZIANO, R. et al. Role of nanoscale antigen organization on B-cell activation probed using DNA origami. **Nature Nanotechnology**, v. 15, p. 716–723, 2020.
- VOLPATO, N. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blücher, 2017.
- WANG, F. et al. Folding to Curved Surfaces: A Generalized Design Method and Mechanics of Origami-based Cylindrical Structures. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1–10, 2016.
- WHEELER, C. M.; CULPEPPER, M. L. Soft origami: Classification, constraint, and actuation of highly compliant origami structures. **Journal of Mechanisms and Robotics**, v. 8, n. 5, 2016.
- WOLFORD, J. **3d printed vaginal speculums for utilization within screen-and-treat cervical neoplasia programs in low-resource countries**. [S. I.]: [s.n.]. Disponível em: <<https://challenge.onclive.com/posts/16522>>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- WYPYCH, G. **Handbook of Polymers**. 2nd. ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2016.
- YAMADA, T. R. U. **Estruturas flat foldable em Bambu Laminado Colado baseadas em**

- técnicas de dobra e corte do origami e do kirigami.** Bauru: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016.
- YANG, J. et al. Aptamer-Binding Directed DNA Origami Pattern for Logic Gates. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 8, n. 49, p. 34054–34060, 2016.
- ZHAO, R. et al. Kirigami enhances film adhesion. **Soft Matter**, v. 14, n. 13, p. 2515–2525, 2018.
- ZHU, S.; LI, T. Hydrogenation-Assisted Graphene Origami and Its Application in Programmable Molecular Mass Uptake, Storage, and Release. **ACS Nano**, v. 8, n. 3, p. 2864–2872, 2014.
- ZIRBEL, S. A. et al. **Accommodating thickness in origami-based deployable arrays.** Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. **Anais...**Portland: The American Society of Mechanical Engineers, 2013

GLOSSÁRIO

Células B: um tipo linfócito do sistema imunológico que tem importante papel na imunidade do corpo humano.

Chorume: líquido poluente originado de processos biológicos, químicos e físicos provenientes da decomposição de resíduos orgânicos.

Cinemática: ramo da mecânica clássica que estuda o movimento de pontos, objetos e sistema de objetos desconsiderando a massa e a fonte do movimento.

Coefficiente de Poisson Negativo: materiais que se expandem quando tracionados e contraem-se quando comprimidos, também conhecidos como auxéticos ou antiborrachas.

Coefficiente de Poisson: mede a deformação transversal de um material homogêneo e isotrópico.

Dobradura Planificável ou *Flat Foldable*: estrutura dobrável tem a capacidade de se achatar por completo quando não está em uso.

FDA: Órgão estadunidense que protege a saúde pública avaliando a segurança, eficiência e proteção de drogas, dispositivos médicos, cosméticos, vacinas, entre outros. Equivale à ANVISA brasileira.

Fornículos: são sobressalências localizadas entre o fim do canal vaginal e o começo do colo do útero.

Grau de Liberdade ou *Degrees Of Freedom (DOF)*: número de parâmetros independentes que define a posição de um corpo no espaço em qualquer instante.

***Grundbegriff*:** significa conceito básico em alemão.

Hidrofilico: característica de material que puxa água para si.

Hidrólise: reação de decomposição ou alteração de substância pela água.

Introito: é a localização da abertura da vagina na vulva.

Isotrópico: material que possui propriedades físicas constantes independente da direção em que se aplica a força para deformá-lo.

Lúmen: é um termo para cavidade em formato de tubo dentro do corpo humano, como as artérias e o intestino.

Mecanismo Compatível ou *Compliant Mechanism*: é um mecanismo que ganha mobilidade devido à deflexão de membros flexíveis no lugar de juntas ou dobradiças móveis

Monolítico: design de produto montado a partir de uma única folha ou bloco de material.

Nitinol (NiTi): liga metálica de níquel e titânio, possui efeito térmico de memória e superelasticidade.

Origami Tesselação: é um tipo de dobradura que possui repetidos padrões geométricos no papel.

Overhang: efeito que ocorre quando uma nova camada de material é parcialmente suportada pela camada anterior na impressão 3D.

Padrão de Vincos ou Crease Pattern: estratégia de mapeamento do papel- diagramação de conjunto de linhas diferenciadas que representam as dobras vales e dobras montanhas de determinados modelos de origami.

Pompeia: uma extinta cidade (século VI a.C. a I d.C.) do Império Romano próxima à Nápoles, na atual Itália.

Ponte ou Bridging: capacidade do filamento ser depositado no ar sem ajuda de suporte, solidificando-se antes de cair.

Retração: configuração que faz com que a impressora retraia o filamento ainda sólido antes de chegar líquido ao bico extrusor.

Router CNC: máquina de corte computadorizado que pode furar, rebaixar, frisar ou cortar diversos materiais em eixos X, Y e Z.

Scaffold: estruturas tridimensionais com partes porosas que promovem a proliferação celular.

Stent Cardíaco ou stent graft: endoprótese ou dispositivo flexível em formato de tubo capaz de ser dobrado e encaixado em pequenos espaços, muito comumente utilizado em cirurgias minimamente invasivas.

Tesselação ou Tessellation: recobrimento de uma superfície com polígonos, congruentes ou não, sem ter espaço entre eles e de modo que a superfície total seja igual ao espaço particionado.

Usabilidade: facilidade e comodidade no uso de um produto, relaciona-se ao conforto e eficiência.

Viagem ou Travel: caminho que o filamento percorre durante a impressão 3D.

Vinco: junta de dobradiça rotativa formada a partir da deformação do material, ou seja, é um recurso linear onde ocorre uma dobra.

Waterbomb: um origami tesselação também conhecido como Magic Ball, design de Katrin e Yuri Shumakov.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário online aplicado aos médicos (realizado por e-mail).

Pesquisa de campo: instrumental médico inovador

Oi, meu nome é Samanta Teixeira e sou doutoranda em Design pela UNESP Bauru. Quero desenvolver um instrumental médico inovador usando a linguagem de dobraduras japonesas. Para isso, preciso da sua ajuda. Por favor, responda o questionário abaixo. Esses dados são exclusivamente para a minha pesquisa científica e estarão em sigilo comigo.

Obrigada! E-mail de contato: laranjasat@gmail.com

1- Diga seu nome completo e seu número de registro (CRM):

2- Há quanto tempo atua como médico(a)?

- 1 a 5 anos
- 6 a 10 anos
- 11 a 20 anos
- 21 a 30 anos
- 31 a 40 anos
- 41 anos ou mais

3- Qual a sua especialidade (Ex: cardiologista, ginecologista, clínico geral etc.)?

4- Qual a cidade e estado onde trabalha atualmente?

5- Qual a universidade e cidade onde se formou?

6- Quais são os instrumentais que você utiliza no seu dia a dia, seja em consultas ou exames clínicos? Cite o máximo que se lembrar (Ex: espécuro, estetoscópio etc.)

7- Desses instrumentais, quais são os que possuem problemas no seu uso diário e que poderiam melhorar? (Ex: causa incômodo ao paciente, dificuldade de acesso ao local desejado etc.)

8- Deixe alguma observação/sugestão/crítica se quiser. Obrigada.

APÊNDICE B – Questionário online aplicado a pacientes (disponível para resposta em rede social).

Pesquisa de conforto Espéculo Vaginal

Olá, meu nome é Samanta Teixeira e sou pesquisadora doutoranda em design pela UNESP Bauru. Minha pesquisa visa investigar qual é o nível de conforto/desconforto do uso do espéculo vaginal, um instrumental médico utilizado no exame de papanicolau, que visa prevenir o câncer de colo de útero.

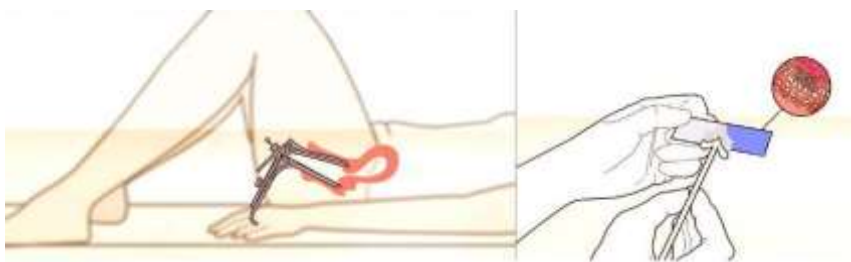
Para acompanhar meu trabalho:

<https://www.instagram.com/cienciaorigami/>

Espéculo Vaginal



O exame de Papanicolau



1- Qual a sua idade?

- até 17 anos
- 18 a 25 anos
- 26 a 35 anos
- 36 a 45 anos
- 46 a 55 anos
- 56 anos ou mais

APÊNDICE C – Configuração padrão da Impressora Sethi3D S3X.

Sethi3D S3X			
Printer	Extruder 1		
Printer Settings	Printhead Settings		
X (Width)	300.0 mm	X min	0 mm
Y (Depth)	300.0 mm	Y min	0 mm
Z (Height)	320.0 mm	X max	300 mm
Build plate shape	Rectangular	Y max	300 mm
Origin at center	<input type="checkbox"/>	Gantry Height	320.0 mm
Heated bed	<input checked="" type="checkbox"/>	Number of Extruders	1
Heated build volume	<input type="checkbox"/>	Apply Extruder offsets to GCode	<input type="checkbox"/>
G-code flavor	Repetier		

Printer	Extruder 1
Nozzle Settings	
Nozzle size	0.5 mm
Compatible material diameter	1.75 mm
Nozzle offset X	0.0 mm
Nozzle offset Y	0.0 mm
Cooling Fan Number	0

APÊNDICE D – Valores e propriedades dos filamentos para a Sethi3D.

	Densidade (g/cm ³)	Diâmetro (mm)	Temperatura de Impressão (°C)	Temperatura de Mesa (°C)	Temperatura de Espera(°C)	Distância de Retração (mm)	Velocidade de Retração (mm/s)	Velocidade do ventilador (%)	Finalidade
ABS	1,04	1,75	235	110	160	1,5	40	0	Recomendado para peças que precisam de alto esforço mecânico.
TPU/ FLEX	1,20	1,75	220	0	160	1	40	100	Recomendado para peças que precisam de flexibilidade.
PETG	1,07	1,75	245	75	160	3	40	100	Recomendado na área da saúde devido à possibilidade de esterilização. Propriedades mecânicas semelhantes ao ABS e a simplicidade de impressão do PLA.
PLA	1,24	1,75	210	60	160	1	40	100	Material biodegradável e fácil de imprimir.

APÊNDICE E – Valores e propriedades da 3DX Filamentos.

	Temperatura de Impressão (°C)	Temperatura de Mesa (°C)	Origem
PLA linha HT	60 a 70	200 a 220	Polimerização de Frutose e Sacarose orgânica de Milho, Beterraba ou Cana de Açúcar.
ABS Linha Fi	110 a 120	220 a 240	Composto de derivados de Petróleo

APÊNDICE F – Configurações no Ultimaker Cura para impressão em PLA na Sethi3D S3X.

Top/Bottom		Walls	
Top Surface Skin Layers	0	Wall Thickness	0.8 mm
Top/Bottom Thickness	0.8 mm	Wall Line Count	2
Top Thickness	0.8 mm	Outer Wall Wipe Distance	0.25 mm
Top Layers	4	Outer Wall Inset	0.0 mm
Bottom Thickness	0.8 mm	Optimize Wall Printing Order	<input type="checkbox"/>
Bottom Layers	4	Outer Before Inner Walls	<input type="checkbox"/>
Initial Bottom Layers	4	Alternate Extra Wall	<input type="checkbox"/>
Top/Bottom Pattern	Lines	Compensate Wall Overlaps	<input checked="" type="checkbox"/>
Bottom Pattern Initial Layer	Lines	Compensate Outer Wall Overlaps	<input checked="" type="checkbox"/>
Top/Bottom Line Directions	[]	Compensate Inner Wall Overlaps	<input checked="" type="checkbox"/>
No Skin in Z Gaps	<input type="checkbox"/>	Minimum Wall Flow	0.0 %
Extra Skin Wall Count	1	Fill Gaps Between Walls	Everywhere
Enable Ironing	<input type="checkbox"/>	Filter Out Tiny Gaps	<input checked="" type="checkbox"/>
Skin Overlap Percentage	5.0 %	Print Thin Walls	<input type="checkbox"/>
Skin Overlap	0.025 mm	Horizontal Expansion	0.0 mm
Skin Removal Width	1.0 mm	Initial Layer Horizontal Expansion	0.0 mm
Top Skin Removal Width	1.0 mm	Hole Horizontal Expansion	0.0 mm
Bottom Skin Removal Width	1.0 mm	Z Seam Alignment	Sharpest Corner
Skin Expand Distance	1.0 mm	Seam Corner Preference	Hide Seam
Top Skin Expand Distance	1.0 mm		
Bottom Skin Expand Distance	1.0 mm		
Maximum Skin Angle for Expansion	90.0 °		
Minimum Skin Width for Expansion	0.0 mm		
Infill		Quality	
Infill Density	20.0 %	Layer Height	0.2 mm
Infill Line Distance	5.0 mm	Initial Layer Height	0.3 mm
Infill Pattern	Grid	Line Width	0.5 mm
Connect Infill Lines	<input type="checkbox"/>	Wall Line Width	0.5 mm
Infill Line Directions	[]	Outer Wall Line Width	0.5 mm
Infill X Offset	0.0 mm	Inner Wall(s) Line Width	0.5 mm
Infill Y Offset	0.0 mm	Top/Bottom Line Width	0.5 mm
Randomize Infill Start	<input type="checkbox"/>	Infill Line Width	0.5 mm
Infill Line Multiplier	-1	Skirt/Brim Line Width	0.5 mm
Extra Infill Wall Count	0	Initial Layer Line Width	100.0 %
Infill Overlap Percentage	10.0 %		
Infill Overlap	0.05 mm		
Infill Wipe Distance	0.125 mm		
Infill Layer Thickness	0.2 mm		
Gradual Infill Steps	0		
Infill Before Walls	<input checked="" type="checkbox"/>		
Minimum Infill Area	0.0 mm ²		
Infill Support	<input type="checkbox"/>		
Skin Edge Support Thickness	0.0 mm		
Skin Edge Support Layers	0		

Material		Speed	
Printing Temperature	210.0 °C	Print Speed	60.0 mm/s
Printing Temperature Initial Layer	210.0 °C	Infill Speed	60.0 mm/s
Initial Printing Temperature	200.0 °C	Wall Speed	30.0 mm/s
Final Printing Temperature	195.0 °C	Outer Wall Speed	30.0 mm/s
Build Plate Temperature	60.0 °C	Inner Wall Speed	60.0 mm/s
Build Plate Temperature Initial Layer	60.0 °C	Top/Bottom Speed	30.0 mm/s
Flow	100.0 %	Travel Speed	120.0 mm/s
Wall Flow	100.0 %	Initial Layer Speed	30.0 mm/s
Outer Wall Flow	100.0 %	Initial Layer Print Speed	30.0 mm/s
Inner Wall(s) Flow	100.0 %	Initial Layer Travel Speed	60.0 mm/s
Top/Bottom Flow	100.0 %	Skirt/Brim Speed	30.0 mm/s
Infill Flow	100.0 %	Z Hop Speed	10.0 mm/s
Skirt/Brim Flow	100.0 %	Number of Slower Layers	2
Prime Tower Flow	100.0 %	Equalize Filament Flow	<input type="checkbox"/>
Initial Layer Flow	100.0 %	Enable Acceleration Control	<input type="checkbox"/>

Cooling	
Enable Print Cooling	<input checked="" type="checkbox"/>
Fan Speed	100.0 %
Regular Fan Speed	100.0 %
Maximum Fan Speed	100.0 %
Regular/Maximum Fan Speed Threshold	10.0 s
Initial Fan Speed	0.0 %
Regular Fan Speed at Height	0.3 mm
Regular Fan Speed at Layer	2
Minimum Layer Time	5.0 s
Minimum Speed	10.0 mm/s
Lift Head	<input type="checkbox"/>

Build Plate Adhesion	
Build Plate Adhesion Type	Brim
Skirt/Brim Minimum Length	250.0 mm
Brim Width	8.0 mm
Brim Line Count	16
Brim Distance	0.0 mm
Brim Only on Outside	<input checked="" type="checkbox"/>
Z Offset	0 mm
Extensive Z Offset Processing	<input type="checkbox"/>

Experimental	
Slicing Tolerance	Middle
Infill Travel Optimization	<input type="checkbox"/>
Minimum Polygon Circumference	1.0 mm
Enable Draft Shield	<input type="checkbox"/>
Make Overhang Printable	<input type="checkbox"/>
Enable Coasting	<input type="checkbox"/>
Fuzzy Skin	<input type="checkbox"/>
Flow Rate Compensation...ax Extrusion Offset	0.0 mm
Flow Rate Compensation Factor	100.0 %
Wire Printing	<input type="checkbox"/>
Use Adaptive Layers	<input type="checkbox"/>
Overhanging Wall Angle	90.0 °
Overhanging Wall Speed	100.0 %
Enable Bridge Settings	<input type="checkbox"/>
Wipe Nozzle Between Layers	<input type="checkbox"/>
Small Hole Max Size	0.0 mm
Small Feature Max Length	0.0 mm
Small Feature Speed	50.0 %
Small Feature Initial Layer Speed	50.0 %

Mesh Fixes	
Union Overlapping Volumes	<input checked="" type="checkbox"/>
Remove All Holes	<input type="checkbox"/>
Extensive Stitching	<input type="checkbox"/>
Keep Disconnected Faces	<input type="checkbox"/>
Merged Meshes Overlap	0.15 mm
Remove Mesh Intersection	<input type="checkbox"/>
Remove Empty First Layers	<input checked="" type="checkbox"/>
Maximum Resolution	0.5 mm
Maximum Travel Resolution	1.0 mm
Maximum Deviation	0.025 mm

ANEXOS

ANEXO A – Códigos G-code para a impressora Sethi3D.

Start G-code:

```
;S3X Start Gcode  
M82  
M190 S{print_bed_temperature}  
M104 S{print_temperature}
```

```
G28
```

```
G90
```

```
G1 Z5 F6000
```

```
G1 X275 Y5
```

```
G1 X275 Y-16
```

```
G92 E0
```

```
M109 S{print_temperature}
```

```
G1 E33 F3600
```

```
G92 E0
```

```
G1 E10 F130
```

```
G92 E0
```

```
G1 E-2 F3600
```

```
G1 X298 F1800
```

```
G1 Y0
```

```
G1 Z5 F12000
```

```
M120 P20 S50
```

End G-code:

```
;S3X End Gcode  
M106 S0 ;desligar fan controlado
```

```
M104 S0
```

```
M140 S0
```

G1 X0 Y300 F4000

G92 E0

G1 E-30 F3600

M84

M120 P20 S100