



Natascha Scagliusi

**Do cinzel ao bit:
a revolução das tecnologias digitais no design de joias**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2015



Natascha Scagliusi

**Do cinzel ao bit:
a revolução das tecnologias digitais no design de joias**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Design. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos

Orientador

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

Prof. Claudio Freitas de Magalhães

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

Dra. Maria Aparecida de Moraes Siqueira Campos

Profa. Denise Berruezo Portinari

Coordenadora Setorial do Centro de Teologia
e Ciências Humanas – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 23 de fevereiro de 2015.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Natascha Scagliusi

Graduada em Desenho Industrial (Habilitação Projeto de Produto) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e formada em Ourivesaria pelo SENAC-Rio, tendo atuado desde então como designer de joias. Durante o período do mestrado, foi bolsista CAPES no Núcleo de Experimentação Tridimensional da PUC-Rio e trabalhou diretamente com diversas tecnologias voltadas à fabricação digital.

Ficha Catalográfica

Scagliusi, Natascha

Do cinzel ao *bit*: a revolução das tecnologias digitais no design de joias / Natascha Scagliusi ; orientador: Jorge Roberto Lopes dos Santos. – 2015.
117 f. : il.(color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes e Design, 2015.

Inclui bibliografia

1. Artes e design – Teses. 2. Design de joias. 3. Processos digitais de fabricação. 4. Impressão 3D. 5. Escaneamento 3D 6. Microtomografia computadorizada. 7. Inovação. I. Santos, Jorge Roberto Lopes dos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Artes e Design. III. Título.

CDD: 700

*Aos meus pais,
pelos dias que já se foram e aqueles que estão por vir.*

Agradecimentos

À Deus, inteligência suprema e força criadora do Universo.

À CAPES, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não seria possível.

Aos professores, orientador Jorge Roberto Lopes dos Santos e Claudio de Freitas Magalhães por aconselharem meus caminhos e também pela confiança e incentivo durante a realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio, preciosos contribuintes para a minha formação.

À Eda e Nina Olendzki pela colaboração e parceria na parte experimental deste trabalho e por autorizarem a exposição do estudo de caso da empresa Olendzki.

Ao Haimon Diniz Lopes Alves e ao Laboratório de Instrumentação Nuclear da UFRJ, pelo auxílio com as microtomografias.

Aos colegas de trabalho no Núcleo de Experimentação Tridimensional da PUC-Rio, sempre dispostos a trocar conhecimentos e experiências.

À minha família, pelo amor incondicional e por apoiarem e respeitarem minhas escolhas.

Ao Leonardo, por me incentivar e estar ao meu lado em mais esta etapa.

Resumo

Scagliusi, Natascha; Santos, Jorge Roberto Lopes dos. **Do cinzel ao bit: a revolução das tecnologias digitais no design de joias**. Rio de Janeiro, 2015. 117p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Artes & Design. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As tecnologias digitais de fabricação por adição ou subtração têm em si um potencial ainda inexplorado pela indústria joalheira. Por isso, essa dissertação tem como objetivo avaliar as vantagens técnicas e comerciais que podem incentivar a transformação no seu uso pela indústria de joias, inclusive apontando exemplos de iniciativas internacionais e nacionais, estas últimas centradas no Estado do Rio de Janeiro, assinalando assim as razões de seus sucessos e falhas. Através de uma pesquisa bibliográfica se busca determinar as bases históricas e especificações técnicas dos principais processos de produção tradicionais (técnicas manuais tais como o repuxo, a cinzelagem, a modelagem e fundição por cera perdida, entre outras) e digitais (impressão 3D, escaneamento 3D e modelagem digital), para, nesse contexto, seguir-se à experimentação com as tecnologias mais novas, como forma de se buscar a comprovação da existência do potencial técnico e comercial destas tecnologias para o setor joalheiro fluminense que justifiquem essa inovação.

Palavras-Chave

Design de joias; processos digitais de fabricação; impressão 3D; escaneamento 3D; microtomografia computadorizada; inovação.

Abstract

Scagliusi, Natascha; Santos, Jorge Roberto Lopes dos (Advisor). **From chisel to bit:** the revolution of digital technologies in jewellery design. Rio de Janeiro, 2015. 117p. MSc. Dissertation – Departamento de Artes & Design. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The digital manufacturing technologies by addition or subtraction of material holds an unexplored potential for the jewellery industry. Therefore, this dissertation aims to assess the technical and commercial advantages that can encourage the transformation of its use by the jewellery industry, pointing out examples of international and national enterprises, the latest centered in the Brazilian State of Rio de Janeiro, thus signaling the reasons of their successes and failures. Through a literature research this work pursues the historical foundations and the technical specifications of the traditional manual techniques (such as repoussé, chasing, lost wax casting, among others) and digital manufacturing processes (3D printing, 3D scanning and 3D modelling), for, in this context, experimenting with the newest technologies, as a way to seek evidence of its technical and commercial potential for the jewellery industry in Rio de Janeiro that justifies the innovation.

Keywords

Jewellery design; digital fabrication processes; 3D printing; 3D scanning; X-ray microtomography; innovation.

Sumário

Introdução	17
Capítulo I – Histórico	22
1.1 A importância do antigo Egito Antigo e as técnicas básicas da joalheria tradicional	24
1.1.1 Repuxo	27
1.1.2 Cinzelagem	28
1.1.3 Estampagem	31
1.1.4 Refino e soldagem	32
1.1.5 Gravação	34
1.1.6 Modelagem em cera e fundição por cera perdida	35
1.1.7 A divisão do trabalho na joalheria no Antigo Egito	35
1.2 Lapidação de gemas preciosas	36
1.3 Representação em joalheria	38
1.4 Metais não-nobres e materiais artificiais	40
1.5 Soldagem a frio: laser e gás de tungstênio inerte	43
1.6 Conclusões	44
Capítulo II – Apresentação de tecnologias digitais para o setor joalheiro	45
2.1 Desenho auxiliado por computador (CAD)	47
2.2 Formato STL, malhas poligonais (Meshes) e escultura digital	49
2.3 Desenho auxiliado por algoritmos (AAD)	50
2.4 Popularização da modelagem digital	52
2.5 Digitalização de objetos tridimensionais	53
2.5.1 Escâneres de luz estruturada e luz pulsada	53
2.5.2 Microtomografia por raios-X (MicroCT)	55
2.5.3 Sensores de câmera RGB-D	57
2.6 Processos de fabricação digital	59
2.6.1 Fabricação direta	60

2.6.1.1 Fabricação por adição de material	60
2.6.1.1.1 Impressão 3D tipo Sinterização Seletiva a Laser (SLS)	62
2.6.1.1.2 Impressão 3D tipo Fused Deposition Modeling (FDM)	65
2.6.1.2 Fabricação por subtração de material	67
2.6.1.2.1 Corte e gravação por jato d'água e laser	68
2.6.2 Fabricação indireta	69
2.6.2.1 Impressão 3D tipo Digital Light Processing (DLP)	69
2.6.2.2 Fresagem em cera	72
2.7 Conclusões	73
Capítulo III – Impacto e experiências das tecnologias digitais no mercado mundial e brasileiro	74
3.1 Fabricação Digital: Revolucionando as formas de comércio	75
3.2 Fabricação digital: Revolucionando as formas na joalheria	78
3.3 Projeto AJORIO / IBGM / INT	80
3.4 Projeto de implementação de novas tecnologias na criação e produção de joias (INOTEC)	85
3.5 Conclusões	87
Capítulo IV – Diferenciação e experimentação	89
4.1 O artesanal e novas tecnologias no design de joias	91
4.1.1 Problemas dos processos artesanais	93
4.1.1.1 Redução do peso e material final dos produtos	93
4.1.1.2. Redução das dimensões com manutenção dos detalhes	97
4.2 O diferencial das tecnologias digitais para o setor joalheiro	97
4.2 Resultados	98
4.2.1 Redução de peso final dos produtos	101
4.2.2 - Redução das dimensões com manutenção de detalhes	104
4.3 Limitações e sugestões para pesquisas futuras	108
Conclusão	110
Referências Bibliográficas	112
Referências Eletrônicas	115

Lista de figuras

Figura 1 – Colar montado a partir de contas feitas de conchas fossilizadas	22
Figura 2 – Esquema que demonstra de que maneira a pressão exercida pelo cinzel segmentava uma chapa em fios de secção triangular	26
Figura 3 – Conta de cornalina em fio de ouro	26
Figura 4 – Esquema do processo de repuxo	28
Figura 5 – Bracelete de criança encontrado na tumba de Khasekhemui	28
Figura 6 – Vista frontal do primeiro peitoril de Sit-Hathor-Yunet	29
Figura 7 – Vista posterior do primeiro peitoril de Sit-Hathor-Yunet	29
Figura 8 – Vista frontal revelando o interior do peitoril atribuído à Senwosret II ou III	30
Figura 9 – Vista posterior do peitoril atribuído à Senwosret II ou III	30
Figura 10 – Detalhe da cinta de Sithathoryunet	31
Figura 11 – Relevo esculpido na tumba de Bagt em Beni Hassan	32
Figura 12 – Verso e parte frontal de um amuleto de peixe	34
Figura 13 – Sinete com a cártula do Tutancâmon	34
Figura 14 – Evolução do corte em diamantes	38
Figura 15 – Desenho técnico de pente da joalheria <i>Hstern</i>	39
Figura 16 – Conjuntos de brincos e pingentes produzidos através do processo de estampagem de máquina a vapor	41
Figura 17 – Pulseiras esculpidas manualmente em tubos de baquelite	42
Figura 18 – Esquema de soldagem a frio por laser	43

Figura 19 – Anel assinado pelo designer brasileiro Antonio Bernardo	44
Figura 20 – Exemplo de modelagem de pingente construído em <i>NURBS</i>	48
Figura 21 – Meshes de um mesmo anel em diferentes aproximações	49
Figura 22 – Exemplo de coruja esculpida digitalmente	50
Figura 23 – Modificações executadas por escultura digital em um modelo tridimensional digitalizado por tecnologia de luz estruturada	50
Figura 24 – Render de variações de modelo tridimensional de caixa de pedras para anel parametrizadas em relação ao valor do diâmetro das pedras que a compõem	51
Figura 25 – Colar articulado da coleção <i>Kinematics</i>	52
Figura 26 – Modelo tridimensional virtual de pingente criado automaticamente pelo aplicativo do site <i>Charmr!</i>	52
Figura 27 – Fases da digitalização feita pela tecnologia de escaneamento por luz estruturada	54
Figura 28 – Modelo em cera com aplicação de spray revelador digitalizado por um escâner de luz estruturada e sequência de tratamento da digitalização	55
Figura 29 – Esquema do funcionamento da microtomografia computadorizada	56
Figura 30 – Passos para a construção de um modelo tridimensional a partir de microCT	57
Figura 31 – Esquema que ilustra o processo de escaneamento por um sensor equipado por RGB-D	58
Figura 32 – Modelo tridimensional digitalizado e render de pingente concebido a partir da digitalização	59
Figura 33 – Sequência de processamento de um arquivo 3D	61
Figura 34 – Objeto impresso em diferentes orientações apresentando resistividade diversa a forças de igual sentido e intensidade	62

Figura 35 – Esquema da impressão por SLS	63
Figura 36 – Esquema de impressão de camada na SLS	63
Figura 37 – Joias impressas em aço por DMLS	64
Figura 38 – Exemplo de retirada de suporte com auxílio de um disco de corte e uma micro retífica	64
Figura 39 – Pulseira concebida pelos designers da Digital Forming impressa já montada e articulada	65
Figura 40 – Bracelete de poliamida (nylon) fabricado em SLS	65
Figura 41 – Esquema de impressão 3D por FDM	66
Figura 42 – Esquema de impressão FDM ilustrando diferentes tipos de suporte	67
Figura 43 – Anel impresso por FDM em plástico ABS	67
Figura 44 – Esquema do corte por laser	68
Figura 45 – Peças da joalheria alemã <i>Niessing</i>	69
Figura 46 – Esquema da impressão por DLP	71
Figura 47 – Exemplo de modelos de anéis impressos pela tecnologia DLP em resina de fundição direta	72
Figura 48 – Exemplo de bloco de cera sendo desbastado pela ação de uma fresa de topo	73
Figura 49 – Tela apresentada ao consumidor para a personalização de um anel da joalheria norte-americana American Pearl	76
Figura 50 – Anéis e respectivos protótipos em nylon	77
Figura 51 – Braceletes egípcios com articulações e fechos construídos a partir do princípio de pinos	80
Figura 52 – Bracelete articulado impresso diretamente em ouro 18K	80
Figura 53 – Anel da Art'Lev com a marca figurativa da <i>Harley-Davidson</i>	83
Figura 54 – Modelo virtual em <i>NURBS</i> do anel do Antônio Bernardo e seu modelo físico já impresso com as nervuras de ligação	83

Figura 55 – Escultura de Venétia Santos e pingente feito a partir da digitalização da escultura	84
Figura 56 – Alguns produtos da empresa do estudo de caso em questão	92
Figura 57 – Esquema do processo de fundição por cera perdida	95
Figura 58 – Exemplo de alcance das ferramentas	96
Figura 59 – Modelo em cera da Alice	98
Figura 60 – Comparativo de digitalizações já tratadas	99
Figura 61 – Modelos em cera digitalizados para este estudo	99
Figura 62 – Modelos impressos em DMLS e DLP	101
Figura 63 – Diferença qualitativa de áreas ocas	101
Figura 64 – Anel “Alice na Xícara”	105
Figura 65 – Pingente “Coelho da Alice”	105
Figura 66 – Pingente “Sofia”	106
Figura 67 – Detalhe das pernas e do ursinho do Pingente “Sofia”	106
Figura 68 – Pingente “Beatriz e os Balões”	107
Figura 69 – Pingente “Pinocchio”	107

Lista de tabelas

Tabela 1 – Relação de problemas e soluções estudadas por peça	100
Tabela 2 – Resultados quantitativos da redução de material e peso do anel “Alice na Xícara” em ouro 750	102
Tabela 3 – Resultados quantitativos da redução de material e peso do anel “Alice na Xícara” em prata 950	102
Tabela 4 – Resultados quantitativos da redução de material e peso do pingente “Coelho da Alice” em ouro 750	103
Tabela 5 – Resultados quantitativos da redução de material e peso do pingente “Coelho da Alice” em prata 950	103
Tabela 6 – Resultados quantitativos da redução de material e peso do pingente “Sofia” em ouro 750	104
Tabela 7 – Resultados quantitativos da redução de material e peso do pingente “Sofia” em prata 950	104

Lista de abreviaturas

ABS – Acrilonitrila Butadieno Estireno

ADD – *Algorithm-Aided Design*

AJORIO – Associação de Joalheiros do Rio de Janeiro

APL – Arranjo Produtivo Local

CAD – *Computer Aided Design*

DLP – *Direct-Light Processing*

DMLS – Direct-Metal Laser Sintering

FAPERJ – Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

FDM – *Fused Deposition Modeling*

IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais

INT – Instituto Nacional de Tecnologia

MicroCT – Microtomografia Computadorizada por raios-X

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

NEXT – Núcleo de Experimentação Tridimensional

NURBS – *Non-Uniform Rational Basis-Spline*

RGB – *Red Green Blue*

RGB-D – *Red Green Blue - Depth*

SLS – *Selective Laser Sintering*

STL – *Standard Triangulation Language*

PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

PVC – Policloreto de Polivinila

TIG – *Tungsten Inert Gas*

*Aqueles que se apaixonam pela prática sem a teoria são como
um marinheiro que entra em um navio sem leme ou bússola
e nunca podem ter certeza para onde estão indo.*

Leonardo Da Vinci

Introdução

Antes mesmo da existência do termo *design*, a criação humana, em sua totalidade, já estava condicionada à técnica e também balizada pelo seu desenvolvimento. A relação, portanto, entre técnica, tecnologia e aquele que as empregam na construção de algo possui um longo histórico, que remonta inclusive à etimologia destes termos. A palavra tecnologia, por exemplo, deriva do grego *techne*, que significa arte, e está diretamente relacionada ao termo grego *tekton*, cujo sentido primário é carpinteiro, isto é, aquele quem trabalha e conforma a madeira.¹

Também no mundo atual verifica-se uma relação significativa entre a arte e a técnica, quando do uso das expressões *estado-da-arte* e *estado-da-técnica* para indicar os últimos desenvolvimentos e criações humanos. Assim, este estudo desenvolveu-se dessa necessária correlação, especificamente voltada ao setor joalheiro.

A escolha de concentração desta pesquisa neste setor envolve não apenas o seu longo desenvolvimento histórico, mas também o reflexo da relação entre arte e técnica, já que a joia tende a ser mais bem percebida pela população como objeto artístico dentro do âmbito técnico do trabalho dos designers, joalheiros e ourives.

Ainda assim, ao considerarmos a produção de adornos pessoais e joias, o histórico não segue uma lógica diferenciada dos outros setores de igual antiguidade. Os primeiros objetos considerados adornos datam da pré-história.² E, desde então, a cada avanço técnico e tecnológico, surgia uma nova possibilidade de criação na joalheria, ciclo que se desenvolveu até os dias de hoje.

Entretanto, as múltiplas tecnologias digitais que surgiram no final do século XX e que vêm se aperfeiçoando, ao invés de serem absorvidas na totalidade de seu potencial, foram primariamente utilizadas para solucionar

¹ FLUSSER, Vilém. **The Shape of Things: a Philosophy of Design**. 3ª edição. Londres: Reaktion Books, 2012, p. 17.

² PHILLIPS, Clare. **Jewelry: From Antiquity to the Present**. Londres: Thames and Hudson, 1996, p. 7.

problemas tradicionais de produção industrial, perpetrando muito do que se fazia antes do advento delas. Contudo, as tecnologias de fabricação digital têm potencial para uma revolução com profundo alcance geopolítico, econômico, social, demográfico, ambiental e de segurança.³

Tanto o é, que hoje é irrefutável que a fabricação digital terá nos próximos anos o papel de revolucionar as formas de produção industrial em massa⁴. O próprio presidente dos Estados Unidos da América, Barack Obama, em seu histórico discurso para a União do ano de 2013, sinalizou a necessidade daquele país em se adiantar a esta revolução, retirando das indústrias do oriente, abarrotadas de trabalhadores subempregados, o papel da fabricação dos produtos consumidos e utilizados pela população do ocidente.⁵

Na prática, aquilo que Obama deseja é a descentralização da produção, que passará a descansar em cada casa, seja ela norte-americana ou não, desconstruindo-se, assim, linhas de montagem e cadeias de abastecimento para muitos produtos.⁶ Aqueles interessados em certos produtos poderão, com o conhecimento adequado, projetar versões daquilo que viram em filmes, revistas ou lojas, ou, com conhecimento mínimo, descarregar em seus computadores projetos comprados de designers ou entusiastas espalhados pelo mundo, fabricando-os sob sua própria demanda. Ratificando:

“Designs, e não produtos, mover-se-iam ao redor do mundo como arquivos digitais a serem impressos em qualquer lugar por qualquer impressora que possa alcançar os parâmetros do projeto. Primeiro a Internet eliminou a distância como um fator para mover a informação e agora a FA (fabricação por adição) elimina-a para o mundo material. Assim como um documento escrito pode ser enviado como um PDF e impresso em 2D, um arquivo de design ‘STL’ pode ser enviado instantaneamente

³ CAMPBELL, Thomas; GARRET, Banning; INANOVA, Olga; WILLIAMS, Christopher; **Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing**. Washington: Atlantic Council, 2011, p. 1.

⁴ Um relatório da Gartner citado abaixo, multinacional especializada em consultoria tecnológica, indica que as tecnologias de fabricação digital têm previsão de massificação no prazo de 5 a 10 anos depois do seu auge. FENN, Jackie. **Emerging Technology Hype Cycle 2010: What's Hot and What's Not**. Disponível em: <http://www.gartner.com/it/content/1395600/1395613/august_4_whats_hot_hype_2010_jfenn.pdf>. Acesso em: 5 de Janeiro de 2014.

⁵ THE WHITE HOUSE. **Manufacturing Innovation Institutes Explained in 60 Seconds**. Disponível em: <<http://www.whitehouse.gov/blog/2013/05/09/clock-manufacturing-innovation-institutesexplained>> e <<http://www.youtube.com/watch?v=JOasvuAbG0>>. Acesso em: 28/07/2013.

⁶ CAMPBELL, Thomas; GARRET, Banning; INANOVA, Olga; WILLIAMS, Christopher; **Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing**. Washington: Atlantic Council, 2011, p. 1 e 2.

para o outro lado do planeta através da Internet e impresso em 3D.”⁷

Este movimento mundial na direção da fabricação digital culminou com a incorporação, ao currículo de muitas escolas, politécnicas, universidades e instituições de ensino em todo o mundo,⁸ do ensino sobre as tecnologias digitais com foco na impressão em três dimensões e outros processos de fabricação por subtração de materiais. É importante verificar também que um número crescente de empresas está apostando o seu futuro em sistemas de manufatura rápida, dos quais se destaca a impressão 3D.⁹

Isto demonstra, ao menos inicialmente, uma modificação profunda no papel e na formação do designer, que deixa de trabalhar para a indústria, para transformar-se na indústria. A inclusão do ferramental tecnológico no currículo do designer contemporâneo, para a indústria da joalheria, possibilita a fusão de dois papéis que desde a revolução industrial caminhavam em paralelo, mas sempre separados: o do ourives ou modelista, aquele que constrói a peça, e o designer, aquele que a conceitua. O potencial da união destes papéis – bem como sua história – merece, portanto, ser explorado.

Ainda assim, há dificuldade de se encontrar hoje sérios e profundos debates acadêmicos sobre o tema, já que o conhecimento técnico do uso das tecnologias de fabricação digital nasce absolutamente do empirismo e da prática daqueles que se encontram na vanguarda da experimentação. Aliás, esta realidade possui intrínseca relação com o desenvolvimento tecnológico:

“Tecnologia pode ser explicada como experiência, habilidade e proeza alcançadas pela prática. Pode ser vista como os meios para um fim. Assim, todos os atos eficazes e métodos podem ser considerados tecnologias.”¹⁰

Esta, portanto, é a principal justificativa em se aplicar a um trabalho acadêmico que tenha a finalidade de conectar o máximo de informação possível

⁷ CAMPBELL, Thomas; GARRET, Banning; INANOVA, Olga; WILLIAMS, Christopher; **Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing**. Washington: Atlantic Council, 2011, p. 1 e 2.

⁸ GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent. **Additive Manufacturing Technologies**. Nova York: Springer, 2010, p. v.

⁹ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age**. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. xvii.

¹⁰ Tradução livre do original: “*Technology can be explained as experience, skill and feat gained through practice. It can be seen as a means to an end. That is, all effective acts and methods can be regarded as technologies.*” CHEN, Dejun.; XIE, Shane.; ZHOU, Zude. **Fundamentals of digital manufacturing science**. Nova Iorque: Springer, 2012, p. 248.

sobre os desenvolvimentos e avanços da fabricação digital voltada a um ramo específico do mercado. A joalheria, então, encontra natural escolha de alguém que além de designer, tem formação de ourives e percebe que, quando se trata de revolução de comportamento e novos usos da tecnologia, não se pode utilizar equipamentos de forma leiga ou leviana, e sim extrair do conhecimento teórico subsídios que precisam ser voltados à prática consciente e crítica do design de joias.

Por tudo exposto anteriormente, a pesquisa tem como tema o potencial das tecnologias digitais, especificamente com o foco no setor joalheiro fluminense, área de experiência da autora. Além disso, tem-se como objeto de pesquisa a perspectiva atual das tecnologias digitais voltadas aos departamentos de criação no setor joalheiro também neste espaço geográfico, com a experimentação acerca do seu potencial para o design de joias.

Dito isto, são três as questões que norteiam a pesquisa: (i) como se desenvolveram historicamente as tecnologias para a fabricação de joias até presente momento; (ii) quais as possibilidades das tecnologias digitais frente às tecnologias tradicionais e (iii) como essas possibilidades podem ser melhor exploradas no setor joalheiro.

Como objetivo geral, busca-se analisar as possibilidades das novas tecnologias digitais aplicadas à produção de joias e, como objetivos específicos (i) identificar quais os diferenciais das tecnologias digitais perante os processos convencionais e que ainda não foram explorados na joalheria fluminense; (ii) realizar experimentações em tecnologias digitais acerca do potencial ainda não explorado e relatar objetivamente os resultados alcançados.

Para cumprir esses objetivos, descreve-se a metodologia adotada em cada fase da pesquisa. No primeiro capítulo, por intermédio da contextualização histórica das técnicas e tecnologias tradicionais voltadas à fabricação de joias, traça-se um panorama que visa conhecer o desenvolvimento e o estado da arte da joalheria anterior às tecnologias digitais.

De posse dessas informações, e pela análise bibliográfica de livros e artigos técnicos sobre tecnologias de fabricação digital de importância ao setor joalheiro, aponta-se, no segundo capítulo, o funcionamento destas tecnologias e que tipos de resultados são obtidos ao aplicá-las.

A esta análise irá seguir-se, no terceiro capítulo, o cenário contemporâneo, tanto em inovação técnica quanto comercial, de âmbito mundial e, em específico, na aplicação das tecnologias digitais na joalheria no espaço do Estado do Rio de Janeiro, por intermédio de análise de documentação produzida em projetos de iniciativas pioneiras como os do INT/IBGM/AJORIO e INOTEC/PUC-Rio.

No quarto capítulo, finalmente, procede-se à experimentação com as tecnologias de fabricação digital em um projeto em parceria com uma empresa carioca do ramo que utiliza habitualmente técnicas tradicionais. São utilizados equipamentos de ponta, de impressão e escaneamento tridimensionais – bem como os *softwares* de CAD, modelagem e tratamento de digitalizações – disponibilizados pelo Núcleo de Experimentação Tridimensional da PUC-Rio e também com o microtomógrafo do Laboratório de Instrumentação Nuclear da UFRJ. Os resultados são então confrontados com as informações obtidas nas etapas anteriores, tendo como finalidade apresentar em que as tecnologias digitais excedem aos processos tradicionais, tanto em diferença técnica quanto econômica (em dados objetivos), enumerando-se tanto suas vantagens quanto as desvantagens. Estes resultados são apresentados através do estudo de caso da empresa em questão.

Ao fim, se espera que estes estudos permitam que a experimentação relatada no último capítulo possa fazer avançar este ramo do design de forma exploratória, ou ao menos servir de ponto inicial para uma reflexão e um debate mais aprofundado.

Capítulo I – Histórico

A criação de adornos corporais é uma das mais antigas formas de expressão artística. Antes mesmo de possuir a habilidade de comunicar-se de maneira escrita, o ser humano já era capaz de conceber seus adornos. A descoberta e o estudo pela disciplina da arqueologia de artefatos físicos e pinturas em paredes de cavernas ilustrando o uso de adornos corporais levam a crer que os primeiros objetos assim considerados datam da pré-história e eram constituídos de itens cuja dificuldade para sua obtenção ou sua raridade conferiam à peça a condição de especial. Pequenas conchas, penas, ossos e dentes de animais eram agrupados em arranjos que funcionavam como distintivos e insígnias, sinalizando a função social e poder daquele que o vestia perante a comunidade em que estava inserido.¹¹

O homem pré-histórico também acreditava que alguns destes itens eram dotados de propriedades mágicas, e aqueles que se valiam do uso destas peças estariam protegidos dos males do mundo da época – i.e., ataques de predadores ou inimigos, doenças, intempéries, acidentes ou até mesmo seriam favorecidos por forças superiores em suas atividades diárias, ter sucesso na caça, rituais, etc – tendo assim tal costume originado os primeiros amuletos e talismãs.



Figura 1: Colar montado a partir de contas feitas de conchas fossilizadas, *circa* 28.000 AC, evidência arqueológica escavada em Pavlov na Moravia. Fonte: PHILLIPS, Clare.¹²

¹¹ GREGORIETTI, Guido. **Jewelry: History and Technique from the Egyptians to the Present.** Verona: Officine Grafiche di Arnoldo Mondadori, 1978, p. 7.

¹² PHILLIPS, Clare. **Jewelry: From Antiquity to the Present.** Londres: Thames and Hudson, 1996, p. 8.

Assim sendo, pode-se conferir que nestes primeiros adornos, a mente humana buscou os materiais como uma forma de resolução de problemas que estariam para além da matéria e do objeto em si. O ato de vestir esses adornos tinha significados e objetivos muito bem delimitados e a criação se dava para cumpri-los. Em um trabalho totalmente manual, o homem construía a partir destas pequenas unidades encontradas na natureza um conjunto significativo que constituía uma peça própria. Portanto, os adornos eram também detentores de finalidades ulteriores ao mero embelezamento do corpo, embora muitos deles também fossem dotados de função decorativa.¹³

As primeiras ferramentas, rudimentares lascas cortantes feitas de sílex e obsidiana, quando ampliadas pelo conhecimento recém-adquirido pelo seu uso – fazendo surgir a técnica – permitiram entalhes e perfurações em outros materiais mais resistentes, tais como linhito, âmbar, madeiras e chifres.¹⁴ Neste momento, surgiria um interesse social pelo feitio dos adornos e a consequente valorização do trabalho e habilidade daquele que os confeccionavam; a forma também passaria a conferir importância ao adorno, e não tão somente as propriedades simbólicas e mágicas das partes que o compunham.

A história da joalheria toma forma através do interesse do homem pela beleza e pelas propriedades físicas dos diversos metais e minerais que encontraria na natureza e o desenvolvimento de técnicas para sua extração e manipulação, especificamente nas civilizações mais antigas da região da Mesopotâmia – atualmente Iraque – e do Egito.¹⁵ Um longo percurso temporal e mais de sete mil anos de desenvolvimento técnico e criativo foram percorridos até que se alcançasse o atual estado-da-arte em joalheria, que decerto tem seu ápice com as tecnologias digitais de fabricação.

Assim sendo, neste primeiro capítulo, envereda-se pela história levantando técnicas de fabricação importantes ao design de joias e os principais saltos técnicos e tecnológicos desde as realizações da antiga civilização egípcia até o momento do advento das tecnologias digitais, incluindo-se também um breve paralelo sobre a relação do trabalho de quem concebe a joia, isto é, o criador ou

¹³ GREGORIETTI, Guido. **Jewelry: History and Technique from the Egyptians to the Present**. Verona: Officine Grafiche di Arnoldo Mondadori, 1978, p. 7.

¹⁴ GREGORIETTI, Guido. **Jewelry: History and Technique from the Egyptians to the Present**. Verona: Officine Grafiche di Arnoldo Mondadori, 1979, p. 7.

¹⁵ TAIT, Hugh. **7000 Years of Jewelry**. 4ª edição. Nova Iorque: Firefly Books, 2008, p. 11.

projetista, e quem a confecciona, isto é, o executante ou artesão. Esta revisão bibliográfica tem como finalidade principal demonstrar que muitas das ferramentas e técnicas de fabricação tradicional de joias desenvolvidas no mundo antigo mantêm sua essência até os dias atuais, embora, obviamente, equipamentos, ferramentas e matérias-primas tenham sido aprimorados devido à evolução tecnológica nos processos de fabricação e desenvolvimento de novos materiais. Neste sentido, é necessário este estudo para se demonstrar o potencial revolucionário da utilização dos processos de fabricação das tecnologias digitais, que serão estudadas e exploradas nos capítulos II, III e IV.

E, como objetivo secundário, este capítulo busca fomentar o debate de como os materiais disponíveis, o conhecimento tradicional, as ferramentas concebidas pelo intelecto humano e os resultados alcançados na manufatura de joias e adornos corporais pela aplicação deste conjunto de variáveis apresentaram, desde o início da história da joalheria, uma relação bastante direta e, em algum grau, indissociável.

1.1 A importância do antigo Egito Antigo e as técnicas básicas da joalheria tradicional

Como dito na introdução do capítulo, outras civilizações da região da Mesopotâmia iniciaram a arte da joalheria há longínquos sete mil anos. Contudo, a concentração na joalheria egípcia se justifica por esta civilização contemplar a totalidade da essência das técnicas tradicionais – e, considerando irrelevante para a discussão a questão do estilo, que decerto diferenciava-se de uma civilização para outra –, procedendo-se à análise dos seus feitos e criações em joalheria do ponto de vista técnico.

As principais técnicas de fabricação, o uso de diferentes materiais e a maneira com que o trabalho de joalheria estava organizado no antigo Egito e seu estado da arte são identificados pelas joias que eram destinadas ao uso dos homens cuja fortuna e poder estavam amparados na crença de serem criaturas divinas: os Faraós. Em vida, seus bens preciosos – bem como toda a estrutura organizacional necessária para sua confecção – simbolizavam o domínio inquestionável do monarca sobre o seu reino. Após sua morte, os Faraós eram sepultados com peças que se fundavam no simbolismo de serem âncoras espirituais no mundo material que permitiam à alma prosseguir sua existência em

outros planos. A este costume egípcio de enterrar seus mortos com suas joias – não só reservados aos Faraós, mas extensível a população em geral – se deve à preservação para a posteridade das joias produzidas ao longo das dinastias.¹⁶

Surpreende que, mesmo dispondo de ferramentas e técnicas tão simples, os processos de fabricação de joias desenvolvidos pelos Egípcios não se distanciam muito daqueles utilizados pelos artesãos e ourives da atualidade. Os Egípcios foram capazes de fazer joias dotadas de notável qualidade técnica e razoável variedade de formas. O emprego do ouro em altas quilatagens como material principal na composição das joias contribui decisivamente para tais resultados¹⁷, já que a pureza do ouro é diretamente proporcional a sua maleabilidade e seu ponto de fusão.

O ouro é um metal normalmente encontrado no interior dos veios de rochas de origem vulcânica. Essas rochas são erodidas pela ação da corrente de rios e da chuva, que carregam partículas do mineral ao longo de seu curso. Por esse motivo, o metal inicialmente não era extraído diretamente destas rochas, mas sim obtido em depósitos aluviais, sendo posteriormente separados dos outros minerais por processos bastante simplórios, mas já com o uso de artefatos construídos para esta finalidade.¹⁸ Após a separação, a próxima etapa consistia em aquecer pequenas quantidades de metal em um fogareiro a carvão e fundi-las em lingotes que depois seriam trabalhados pelos artesãos.

O processo de produção de uma joia era iniciado pela transformação do lingote em itens básicos que, ao serem cortados, deformados e soldados pela exímia técnica do artesão tornavam-se uma joia. Primeiramente envolvia-se o lingote em couro ou papiro. Este envoltório protegia o naco de metal, ao qual seriam aplicados golpes consecutivos enquanto posicionado sobre uma superfície rígida e plana. Este processo configurava o primeiro destes itens básicos: a chapa. A força de compressão impressa pela ferramenta e a resistência da superfície na qual deitava-se o metal, aliadas à maleabilidade do ouro faziam com que o

¹⁶ PHILLIPS, Clare. **Jewelry**: From Antiquity to the Present. Londres: Thames and Hudson, 1996, p. 12.

¹⁷ PHILLIPS, Clare. **Jewelry**: From Antiquity to the Present. Londres: Thames and Hudson, 1996, p. 8.

¹⁸ GREGORIETTI, Guido. **Jewelry**: History and Technique from the Egyptians to the Present. Verona: Officine Grafiche di Arnaldo Momdadori, 1979, p. 11-12.

lingote, batida após batida, fosse perdendo espessura ao mesmo tempo em que ganhava área.¹⁹

Tal como ilustrado na figura 2, pelo corte longitudinal das chapas eram obtidas fitas de secção quadrada ou triangular. Cinzéis configurados a partir de sílex, bronze ou cobre ao serem golpeados por macetes constituídos de madeira de relevante dureza segmentavam as chapas em fitas que poderiam ser assim utilizadas ou modificadas em fios.²⁰

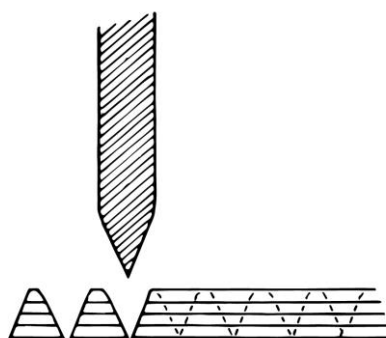


Figura 2: Esquema que demonstra de que maneira a pressão exercida pelo cinzel segmentava uma chapa em fios de secção triangular. Fonte: ALDRED, Cyril.²¹



Figura 3: Conta de cornalina em fio de ouro, artefato que, tal como os braceletes, era utilizado em volta dos braços de múmias, *circa* 1479–1425 AC. Fonte: The Metropolitan Museum of Art²²

Considera-se pouco provável que as feiras²³ figurassem no repertório de ferramentas do artesão do antigo Egito. Dada a ausência de registro acerca destes

¹⁹ GREGORIETTI, Guido. **Jewelry Thought the Ages**. Verona: Officine Grafiche di Arnaldo Mondadori, 1969, p. 24.

²⁰ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 25.

²¹ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 25.

²² THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. The Collection Online. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/collection/the-collection-online/search/547641>>. Acesso em: 13 maio 2014.

processos, há especulação em torno de quais procedimentos eram adotados pelos artesãos para conformar fitas em fios. Segundo Aldred, seriam dois os métodos mais prováveis de utilização: o primeiro deles tratava de encapar com uma fita de ouro um mandril ou um pedaço de fio ou fibra – fazendo referência, para uma melhor visualização, ao processo de fabricação de canudos de papel; o outro método consistia em, por intermédio da torção da fita em seu comprimento se obter uma espiral que a seguir era fortemente deslizada entre ferramentas planas e rígidas. A força e fricção não só desbastavam ligeiramente as espirais, mas também as compactavam e, desta forma, perfis de secção mais arredondada eram alcançados.²⁴ Aldred também faz menção a uma possível uniformização da superfície destes fios por um método cujo cerne é muito similar ao da trefilação atual – embora tivesse sido empregado para fins de acabamento e não de conformação. O artífice, com o fio, trespassava uma conta perfurada feita a partir de rochas duras e fortes, em repetidos movimentos de vai e vem. Conclusivamente, as técnicas mencionadas não permitiam confeccionar fios muito longos, o que era solucionado pela soldagem de uma série de fios de menor comprimento.²⁵

Afinal, é no corte e deformação destes itens básicos que versavam as primeiras técnicas de joalheria. Riscando-as repetidamente com objetos afiados, chapas de pouca espessura permitiam ser cortadas. Já nas lâminas mais espessas, os riscos delimitavam a trajetória em que o material se partiria após sofrer sucessivas flexões.²⁶ De posse da chapa em seu tamanho adequado, atribuíam-se volume a ela valendo-se principalmente de três técnicas, como veremos a seguir.

1.1.1 Repuxo

A primeira delas é o repuxo. Deitavam-se as placas em um recipiente recoberto por uma massa de material cujas características principais eram a capacidade de aderir-se às próprias placas metálicas e apresentar algum tipo de

²³ Fieiras são ferramentas utilizadas pelos ourives da atualidade para a transformação de lingotes em fios. A ferramenta consiste em uma chapa metálica com furos em diâmetros e formatos variados que, ao puxar-se o lingote através deles, tem seu formato alterado para os tamanhos e geometrias dos furos.

²⁴ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 25

²⁵ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 26.

²⁶ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 24.

resistência física. Estima-se que cera ou uma mistura de cera, resina e lama eram usados para tal, assim como o piche é utilizado nos trabalhos executados pelos ourives da atualidade. O artesão, com o auxílio de instrumentos, golpeava uma ferramenta de punção feita provavelmente de ossos ou madeira rígida. Desta forma, a força impressa na superfície da placa pelo conjunto afundava-a no material definindo assim a volumetria básica do objeto trabalhando pelo seu avesso, tal como na figura 4.²⁷



Figura 4: Esquema do processo de repuxo: (i) recipiente; (ii) massa pastosa; (iii) placa de metal; (iv) cinzel; (v) ferramenta para golpear e (vi) corte mostrando o afundamento da placa pelo golpe do cinzel.



Figura 5: Bracelete de criança encontrado na tumba de Khasekhemui, *circa* 2650 AC, exemplificando os resultados obtidos pelo emprego da técnica de repuxo. Fonte: The Metropolitan Museum of Art²⁸

1.1.2 Cinzelagem

Com a evolução do trabalho do artesão e, por consequência, a implementação de melhorias em suas ferramentas, surgiu a técnica de cinzelagem.

²⁷ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 24.

²⁸ THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. **The Collection Online**. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/collection/the-collection-online/search/547440>>. Acesso em: 13 maio 2014.

Esta segue o mesmo princípio do repuxo, com a diferença de se trabalhar diretamente no exterior da peça ao invés do seu interior a fim de executar o detalhamento das joias. Considerando o nível de precisão conquistado pelos artífices, estima-se que ferramentas de bronze ou osso eram utilizadas nos trabalhos de cinzelagem por serem mais rígidas e, portanto, mais precisas que as de madeira.²⁹

A exemplo de aplicação destas técnicas, que normalmente eram utilizadas em conjunto nos trabalhos de ourivesaria, pode-se conferir dois peitoris abaixo. O primeiro deles é uma joia cuja propriedade se atribuiu à princesa Sit-Hathor-Yunet. A figura 6 ilustra a parte frontal desta peça, que teve seus vazados preenchidos por incrustações de lápis lazúli, turquesas e cornalinas, enquanto a figura 7 exhibe o verso da peça, em um excelente exemplo do nível de detalhamento que pode ser alcançado pela técnica de cinzelagem.



Figura 6: Vista frontal do primeiro peitoral de Sit-Hathor-Yunet, com pedras incrustadas, circa 1887–1878 AC. Fonte: The Metropolitan Museum of Art³⁰

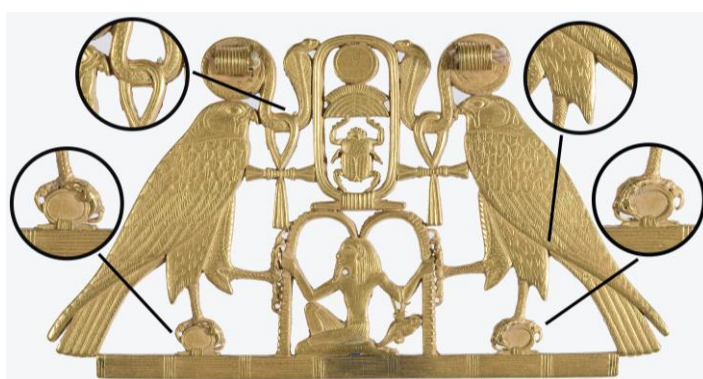


Figura 7: Vista posterior do primeiro peitoral de Sit-Hathor-Yunet, um belíssimo exemplo de trabalho preciso de cinzelagem dos artífices egípcios. Fonte: Adaptada de The Metropolitan Museum of Art³¹

²⁹ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 25.

³⁰ THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. **The Collection Online**. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/collections/search-the-collections/544232>>. Acesso em: 12 maio 2014.

O próximo exemplar (figuras 8 e 9) é um peitoril conformado em *electrum*³², especialmente escolhido para demonstrar o interior da peça que teve suas incrustações desprendidas, de modo a permitir a observação de como ocorre a conformação das partes internas das joias a partir da técnica de cinzelagem. Observando pela vista frontal a cabeça da figura central da peça, é possível notar pequenas elevações características do trabalho com a cinzelagem, obtidas ao se aplicar força na superfície externa da peça com o cinzel.

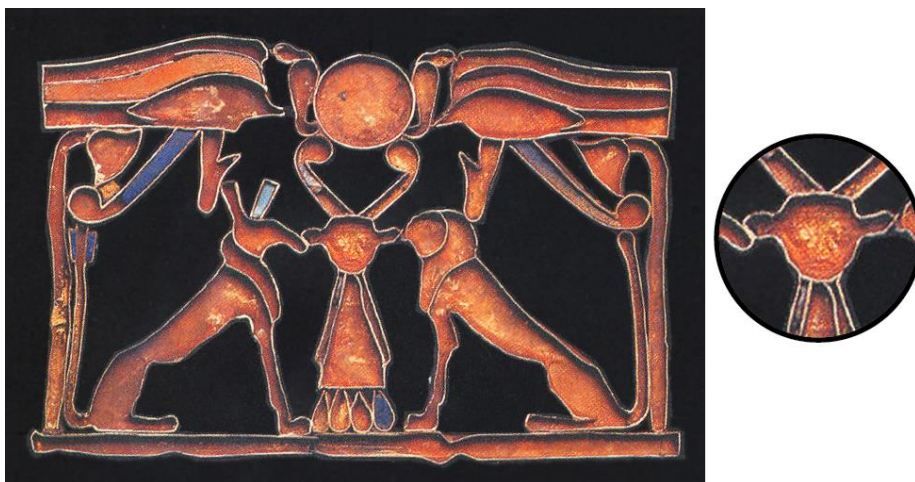


Figura 8: Vista frontal revelando o interior do peitoril atribuído à Senwosret II ou III, *circa* 1897-1841 A.C. Fonte: Adaptada de The Metropolitan Museum of Art³³



Figura 9: Vista posterior do peitoril atribuído à Senwosret II ou III, exemplificando o trabalho pela técnica de cinzelagem, *circa* 1897-1841 A.C. Fonte: The Metropolitan Museum of Art³⁴

³¹ THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. **The Collection Online**. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/collections/search-the-collections/544232>>. Acesso em: 12 maio 2014.

³² *Electrum* é um tipo de liga metálica em proporções 1:1 de ouro e prata, metal este que confere ao conjunto a tonalidade de um amarelo esmaecido. Este tipo de liga era encontrada no ambiente.

³³ SPURR, Stephen (Org.). **Egyptian Art at Eton College: Selections from the Myers Museum** (Metropolitan Museum of Art). Nova Iorque: Metropolitan Museum Of Art, 2000.

1.1.3 Estampagem

Assim sendo, pode-se concluir que o trabalho oriundo das duas primeiras técnicas era complementar e consistia na configuração de peças individualmente, resultando em conformações de características únicas. Contudo, a terceira técnica de trabalho com chapas veio a tornar possível algum grau de padronização nas joias. Desta forma, a estampagem durante o período do Egito Antigo era adotada na composição de peças que seriam utilizadas repetidamente, como, por exemplo, contas de colares e cintas. Embora a ausência de registros incentive a especulação acerca dos procedimentos elegidos pelos artífices da época, evidências indicam a considerar duas maneiras de se atingir os resultados almejados: a primeira delas consistia em esculpir em madeira um molde tridimensional e positivo da forma que se desejava replicar. Ao comprimir com o auxílio de instrumentos uma fina lâmina de ouro neste molde, o plano tomava o volume básico daquela primeira peça em madeira. Outro método historicamente aceitável seria de, sobre um recipiente apinhado de uma substância macia e pastosa – e.g. argila – posicionar a folha de metal precioso, aplicando sobre ela com golpes de macete o molde positivo, conferindo a lâmina o mesmo desenho volumétrico, desta vez pelo seu verso. Claramente, estas duas técnicas não permitiam um nível de detalhes tão primoroso, fazendo com que os artífices incutissem melhorias ou acrescentassem minúcias às peças por intermédio da técnica de cinzelagem.³⁵



Figura 10: Detalhe da cinta de Sithathoryunet, mostrando as contas de leopardo confeccionadas a partir da técnica de estampagem melhorada por cinzelagem, *circa* 1887–1813 A.C. Fonte: The Metropolitan Museum of Art³⁶

³⁴ SPURR, Stephen (Org.). **Egyptian Art at Eton College: Selections from the Myers Museum** (Metropolitan Museum of Art). Nova Iorque: Metropolitan Museum Of Art, 2000.

³⁵ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 25.

³⁶ THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. **The Collection Online**. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/collection/the-collection-online/search/544080>>. Acesso em: 16 maio 2014.

1.1.4 Refino e soldagem

O próximo salto tecnológico permitiu aos artesãos criar joias com ambas as faces trabalhadas, mas que se originou primordialmente do avanço no conhecimento e manejo das ligas metálicas e suas propriedades. Neste sentido, sabe-se que o ouro raramente é encontrado puro no ambiente, mas quase sempre misturado a outros metais – normalmente à prata – e alcança seu estado legítimo pelo refino. Entretanto, as técnicas de purificação no Antigo Egito datam de períodos proporcionalmente muito recentes, i.e., cerca de 500 A.C. – embora alguns autores considerem como mais provável o ano 2000 A.C., devido a relevos esculpidos na tumba de Bagt em Beni Hassan que provavelmente ilustram o processo.³⁷

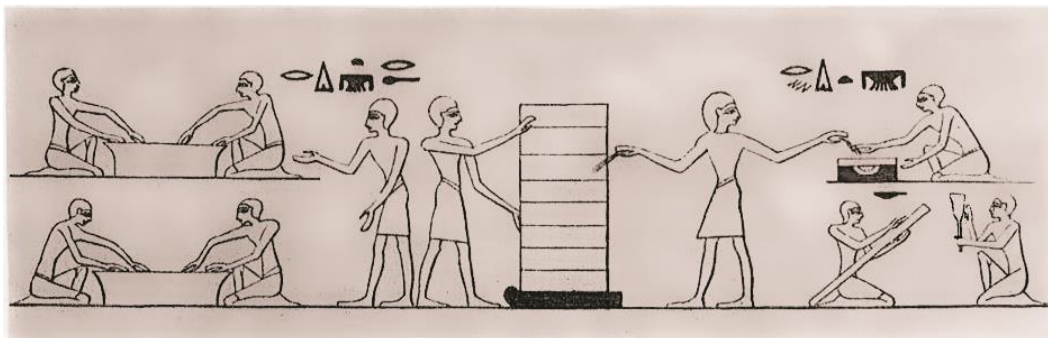


Figura 11: Relevos esculpidos na tumba de Bagt em Beni Hassan, descrevendo a maneira com que os artesãos refinavam o ouro. Fonte: NOTTON, J. H. F..³⁸

Ainda segundo Aldred, ao manejar metais oriundos de diferentes localidades e, portanto, compostos por elementos distintos, o artesão egípcio teria compreendido que estas ligas apresentavam diferentes pontos de fusão e que tais propriedades poderiam ser utilizadas em benefício de seu trabalho. Ou, como é ainda mais provável, a ciência que residia na fabricação do bronze – uma liga de cobre e estanho – proveu aos egípcios o devido conhecimento para a criação de ligas voltadas para a soldagem, cujos pontos de fusão se diferenciam justamente pelo acréscimo de outros metais àquele metal originalmente encontrado.³⁹ Por exemplo, em uma solda denominada fraca, mais cobre é empregado e funde-se aplicando uma menor quantidade de calor do que uma solda tida como média, que

³⁷ NOTTON, J. H. F.. **Ancient Egyptian Gold Refining: A Reproduction of Early Techniques.** Gold Bulletin. Londres, p. 50-56. jun. 1974, p. 50. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF03215038>>. Acesso em: 10 maio 2014.

³⁸ NOTTON, J. H. F.. **Ancient Egyptian Gold Refining: A Reproduction of Early Techniques.** Gold Bulletin. Londres, p. 50-56. jun. 1974, p. 53. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF03215038>>. Acesso em: 10 maio 2014.

³⁹ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Dynastic Period.** Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 27.

por sua vez tem uma quantidade superior de cobre e ponto de fusão mais baixo do que aquela considerada forte. Evidências demonstram que as soldas fortes já eram empregadas na fabricação de peças datadas desde 2600 A.C.⁴⁰, período bastante anterior ao possível advento das técnicas de refino.

Independente da sua época de origem, as soldas foram viabilizadoras da construção de objetos de dupla-face no Antigo Egito: as cascas modeladas pelas técnicas estudadas passariam a compor metades de objetos que, quando unificadas, detinham gesso guardado no seu interior. Tal como os fios de ferro utilizados atualmente pelos ourives, Aldred atribui ao gesso a finalidade de manter as partes encostadas e posicionadas corretamente durante a aplicação do calor para o derretimento da solda.⁴¹ Indo além, o gesso poderia também absorver uma parte deste calor, o que também era uma vantagem. Vale ressaltar que os equipamentos de soldagem dispostos pelos artífices eram dos mais imprecisos e rudimentares, de modo que qualquer chama aplicada de forma errônea ou em intensidade maior que a devida poderia terminar por fundir a peça por completo, arruinando o investimento de horas, senão dias de trabalho.

Nos limites em que uma parte e outra da peça se encontravam, eram assentados os palhões de solda que, por terem um ponto de fusão menor que o da casca, fundiam-se e escoavam preenchendo os vãos existentes entre as partes sólidas. Para determinar o caminho que a solda percorria após fundida e impedir a oxidação do metal durante seu aquecimento, os artífices se valiam da aplicação de *natron*, uma mistura de bicarbonato e carbonato de sódio.⁴² Isto, de modo geral, evidencia o conhecimento dos egípcios acerca de substâncias que poderiam operar como fluxos de soldagem, tal como o bórax é tão utilizado pelos ourives de hoje.

A figura 12 retrata as duas faces de um amuleto soldado pelo método anteriormente descrito. Ao analisar a peça, nota-se um pequeno desalinhamento das suas metades na área que representa a cabeça do peixe, evidenciando que foram feitas independentemente.

⁴⁰ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs**: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 26.

⁴¹ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs**: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 26.

⁴² ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs**: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 27.



Figura 12: Verso e parte frontal de um amuleto de peixe *circa* 1981–1640. Fonte: The Metropolitan Museum of Art⁴³

1.1.5 Gravação

A gravação em metais é baseada no princípio de subtração de material de uma determinada superfície, obtendo-se assim um baixo relevo da figura desejada. Embora enquanto processo sua essência seja simples e análoga a entalhar ossos, chifres e ambares tal como já ocorria na pré-história, ferramentas de osso, bronze, madeira e pedra não teriam os requisitos para realizar tais feitos. Seria inviável fabricar instrumentos longos e pontiagudos através destes materiais e que oferecessem a resistência e a precisão dimensional agora exigida pelo metal. Desta maneira, somente a introdução do ferro e aço no conjunto de materiais disponíveis é que possibilitou ao artesão fabricar ferramentas voltadas à gravação⁴⁴, técnica comumente aplicada nos sinetes utilizados pelos oficiais que estavam a serviço do Faraó. Esses anéis possuíam uma parte plana na qual era inserida a cártula do Faraó, e funcionavam como uma assinatura pessoal utilizada para autenticar documentos ao imprimir o relevo desta marcação em cera ainda quente.



Figura 13: Sinete com a cártula do Tutancâmon, *circa* 1336–1327. Fonte: The Metropolitan Museum of Art⁴⁵

⁴³ THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. **The Collection Online**. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/collection/the-collection-online/search/546769>>. Acesso em: 17 maio 2014.

⁴⁴ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 25.

⁴⁵ THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. **The Collection Online**. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/collection/the-collection-online/search/549200>>. Acesso em: 17 maio 2014.

1.1.6 Modelagem em cera e fundição por cera perdida

Obviamente, guardadas as devidas proporções do desenvolvimento tecnológico da época, a fundição por cera perdida, uma das principais técnicas utilizadas atualmente tanto pela joalheria artesanal quanto a industrial, já era dominada pelos egípcios. Em um pedaço de cera de abelha, o artesão delicadamente esculpia uma figura que posteriormente seria recoberta por um material cerâmico – muito provavelmente argila fina.⁴⁶ Ao endurecer, o conjunto era levado a um forno para ser aquecido, fazendo com que a cera se liquefizesse e escoasse originando uma cavidade cujos detalhes e volume eram a cópia negativa da figura originalmente esculpida. Na cavidade vertia-se o metal fundido que tomava o feitiço das paredes do molde em gesso. Após o metal ter arrefecido, o molde era quebrado liberando a escultura metálica, que era posteriormente processada. Este processo mantém-se em sua essência até hoje, como se pode observar no item 4.1.1.1 deste trabalho.

Contudo, embora tenha sido largamente utilizada na confecção de estatuetas, na fabricação de joias foi empregada de maneira bastante comedida. Enquanto o repuxo, a cinzelagem e a estampagem originavam objetos leves constituídos por finas cascas, pelo processo da cera perdida eram elaborados objetos maciços ou levemente cavados e, portanto, dispendiosos de quantidades consideráveis de metal para sua fabricação. Por conseguinte, raras eram as joias feitas inteiramente a partir desta técnica, sendo a cera perdida mais frequentemente elegida para fabricar joias ou partes em separado cuja natureza das três técnicas inviabilizava sua realização, quer seja pelas características geométricas da escultura, ou até mesmo de ordem de logística de processo, tais como as perdas de metal oriundas de entalhes, cortes e gravações.⁴⁷

1.1.7 A divisão do trabalho na joalheria no Antigo Egito

Por intermédio desta pequena análise da produção joalheira no Antigo Egito, pode-se tomar conhecimento da origem das técnicas básicas de joalheria, cujas particularidades mantêm-se até os dias atuais, com a melhoria de ferramentas e a construção de máquinas para o auxílio do artesão, tais como os

⁴⁶ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Dynastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 29.

⁴⁷ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Dynastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 29.

laminadores, as centrífugas, fundidoras e injetoras de cera. De todo modo, é importante observar que o trabalho do joalheiro sempre esteve ligado ao saber fazer; a replicação deste saber e de como tirar melhor proveito da técnica e suas ferramentas para um determinado objetivo. E isso acaba refletindo, inclusive, na forma como o trabalho de ourivesaria do Antigo Egito estava organizado.

Um dos aspectos mais curiosos do Antigo Egito era certamente a forma de trabalho de criação das joias: a divisão do trabalho de quem toma as decisões de criação e concepção das peças e daquele que, na prática, produz a peça projetada. Embora ainda não houvesse representação gráfica na joalheria da época, o homem que poderia ser entendido como o “joalheiro chefe” – uma posição de prestígio, com treinamento de escriba e letrado – tinha a incumbência de pensar e conceber as peças que seriam executadas, sob suas ordens, pelos ourives da época – cuja habilidade estava no trabalho manual e no conhecimento técnico-prático.⁴⁸

Como pode-se concluir, as técnicas básicas de ourivesaria foram sendo melhoradas ao passo que o repertório de ferramentas do artesão ia sendo acrescido e aprimorado. Estes implementos também davam origem a outras técnicas, a exemplo da filigrana. Embora esta não tenha sido inicialmente idealizada pelos egípcios, mas sim por outros povos na região da Mesopotâmia, a filigrana versa na deformação e soldagem de fios finos que constituíam delicados desenhos. Assim, justifica-se o lapso de tempo neste estudo, visto que as demais técnicas eram, na verdade, derivações destas primeiras, ou tão somente eram aplicadas às superfícies das joias, como é o caso da esmaltação e a granulação.

1.2 Lapidação de gemas preciosas

Superado o problema histórico da conformação de metais preciosos pelas técnicas básicas, as técnicas de lapidação, – tal como reconhecidas atualmente – ao contrário das técnicas tradicionais de ourivesaria, surgiram em períodos já bastante avançados se considerarmos toda a linha do tempo da história da joalheria.

Na Antiguidade, a maneira mais comum de se conformar uma pedra preciosa era através do atrito com materiais abrasivos encontrados na natureza, desbastando e polindo sua superfície até que alcançasse os formatos e texturas

⁴⁸ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs**: Egyptian Jewelry of the Dynastic Period. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 20.

desejados. Os artesãos conseguiam confeccionar por esta técnica pequenos fragmentos para incrustação em metal como os do peitoral da figura 6 deste capítulo, cabochões⁴⁹ e também contas perfuradas – primeiramente as de meio furo e depois com furo trespassante. Segundo Aldred, por volta de 2030–1640 A.C. no Egito estima-se que antes de serem trabalhados, os segmentos de pedras eram perfurados e somente depois desbastados para ganharem as formas de contas.⁵⁰ Este artifício provavelmente evitava com que os minerais viessem a se partir por conta da imprecisão das rudimentares ferramentas e a força adotada pelo artesão nos procedimentos de perfuração.

Desde então, as ferramentas e técnicas foram se desenvolvendo; mas, somente a partir do período barroco as técnicas de lapidação avançaram de tal forma que viabilizaram o facetamento das gemas. Estas melhorias deslocaram o foco do trabalho técnico e criativo do metal, e as pedras preciosas também passaram a contribuir de forma impactante no design da joia como um todo.⁵¹

Consequentemente, o uso do diamante na joalheria torna-se mais frequente no século XVII também por conta de avanços tecnológicos que possibilitaram cortar de forma mais eficiente este mineral – que recebe o grau 10 na escala de Mohs de dureza.⁵² Antes deste período, os diamantes eram cortados em formatos bastante básicos, dotados de poucos efeitos óticos, tais como brilho e refração.

Tal como será importante para a fabricação digital do futuro, a experimentação e o investimento em pesquisa mostraram-se valiosos para a inovação no ramo. Em 1640, o cardeal italiano Jules Mazarino, grande colecionador e entusiasta das artes e da joalheria, patrocinou os estudos de um grupo de lapidários. Estes experimentos viabilizaram a invenção de uma lapidação de 18 facetas que provia mais brilho e reflexão que as anteriores e foi nomeada de Cardinal, em homenagem ao patrono e financiador do estudo.⁵³ Também no fim

⁴⁹ Cabochão é a denominação dada as gemas de lapidação arredondada – sem facetas – em sua parte superior, sendo a sua parte inferior plana ou levemente convexa.

⁵⁰ ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Dynastic Period**. Nova Iorque: Ballantine Books, 1978, p. 30.

⁵¹ GREGORIETTI, Guido. **Jewelry Thought the Ages**. Verona: Officine Grafiche di Arnaldo Mondadori, 1969, p. 207.

⁵² GEMOLOGICAL INSTITUTE OF AMERICA INC.. **Diamond**. Disponível em: <<http://www.gia.edu/diamond>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

⁵³ GREGORIETTI, Guido. **Jewelry Thought the Ages**. Verona: Officine Grafiche di Arnaldo Mondadori, 1969, p. 210.

dos anos de 1600, o italiano Vincenzo Peruzzi desenvolveu a lapidação triplo brilhante, com 58 facetas, muito utilizada até em trabalhos atuais.⁵⁴

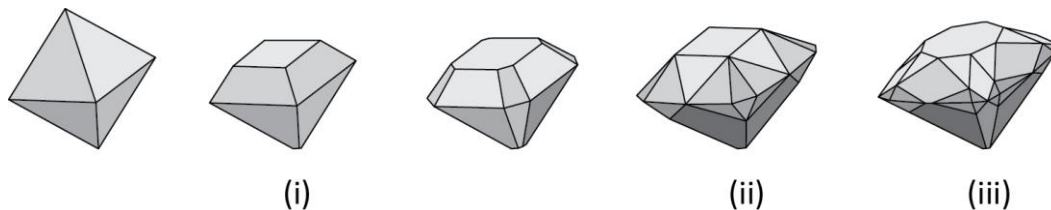


Figura 14: Evolução do corte em diamantes: (i) primeiras lapidações; (ii) Cardinal e (iii) Peruzzi.

A importância do desenvolvimento das técnicas de lapidação está não somente na forma como este desenvolvimento se deu historicamente, mas também para demonstrar que este avanço não pode estagnar – neste caso, pela constatação do esforço ativo dos homens do século XVII e, posteriormente, com a criação das modernas tecnologias de serra por laser que propiciam a precisão necessária para as detalhadas lapidações tipo fantasia atuais, impossíveis de serem feitas com técnicas tradicionais.

1.3 Representação em joalheria

A Revolução Industrial trouxe profundas mudanças, ainda que restritas ao estilo e à inclusão de maquinário no processo de produção – mudanças essas que infelizmente regressariam à divisão do trabalho na criação e a produção de joias. O retorno da separação desses papéis (aquele que conceitua a peça e aquele que constrói a peça) nas figuras centrais dos trabalhos em joalheria, portanto, tornou impossível a inovação. Afinal, o designer – figura que surgiria no século XX – como profissional que se dedicaria inicialmente à área criativa e conceitual, trataria de replicar os modelos históricos da forma das joias, restringindo sua expertise à questão da representação bidimensional. Esta se daria por intermédio de ilustrações das formas visualizadas no que o professor Eugene Fergusson definiria como “o olho da mente”⁵⁵, isto é, as imagens geradas no imaginário do projetista e somente por ele visualizadas. O trabalho com lápis de cor, a aquarela e o ecoline se encarregavam de transferir para o papel uma noção de cor, brilho, texturas e uma perspectiva daquele objeto idealizado. O desenho técnico por

⁵⁴ GREGORIETTI, Guido. *Jewelry Thought the Ages*. Verona: Officine Grafiche di Arnaldo Momdadori, 1969, p. 275.

⁵⁵ FERGUSSON, Eugene S.. *Engineering and the Mind's Eye*. Londres: The Mit Press, 1992.

vistas ortográficas também provia as dimensões básicas da peça para a sua fabricação.

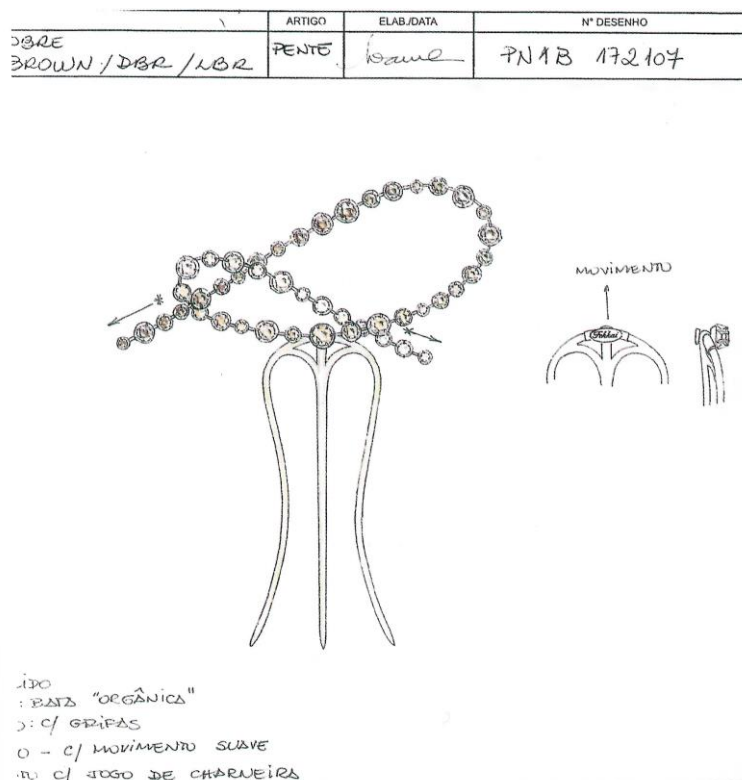


Figura 15: Desenho técnico de pente da joalheria Hstern Fonte: ASENSIO, Paco (Ed.).⁵⁶

A ausência do contato do designer com a experimentação e a prática do ourives – que poderia impulsionar o uso de novas formas e materiais na joalheria do século XX – tornou possível tão somente a reprodução de um modelo conhecido e “comprovadamente acertado”, repetidamente. Anéis, colares, tiaras e demais adereços não tiveram seu conceito desafiado, mantendo seus limites historicamente estabelecidos, como apontado por Cross:

“Há uma grande riqueza de conhecimento carregada pelos objetos de nossa cultura material. Se você quer saber como um objeto deve ser concebido – ou seja, que formas e tamanhos que deveriam ter, a partir de que tipo de material deve ser feito – observe os exemplos existentes do tipo de objeto, e simplesmente copie (ou seja, aprenda!) a partir do passado. Esse, é claro, era o “processo de design” que foi tão bem sucedido em gerar a cultura material da nossa sociedade artesanal: o artesão simplesmente copiou o design de um objeto a partir de seus exemplos anteriores.”⁵⁷

⁵⁶ Fonte: ASENSIO, Paco (Ed.). **Diseño de joyas: paso a paso**. Barcelona: Reditar Libros, 2008, p. 285.

⁵⁷ Tradução livre do original: “There is a great wealth of knowledge carried in the objects of our material culture. If you want to know how an object should be designed – ie what shapes and sizes it should have, what material it should be made from – go and look at existing examples of what

O artesão, por outro lado, que guardaria o conhecimento prático para inovar nas geometrias e nos materiais – tendo contato direto com as ferramentas e maquinários da produção industrial e artesanal – ficaria restrito tão somente à execução dos planos do designer, deixando de realizar qualquer contribuição criativa direta.

“Essa distinção nos processos fez com que a maioria das empresas separasse a atividade de “desenhar” da atividade de “fazer” a joia, já que os conhecimentos necessários eram muito diferentes. Mesmo entre os designers de joias há uma separação entre aqueles que criam as peças diretamente no metal e os que fazem o desenho da joia. Essa separação é tão profunda, que aqueles que criam a peça diretamente no metal não se denominam, muitas vezes, designers de joias, mas sim autores de joias. E há no setor uma discussão que tenta definir qual desses dois profissionais tem um status maior do que o outro, qual deles é mais criativo, qual deles faz o “verdadeiro” design.”⁵⁸

Some-se a isso a necessidade da indústria do século XX de conter custos e produzir ao público joias acessíveis, e a estagnação criativa na joalheria estaria garantida. Não se trataria, certamente, de uma estagnação de estilos, mas uma estagnação no raciocínio de produzir e pensar o design de joias.

1.4 Metais não-nobres e materiais artificiais

Como dito anteriormente, a Revolução Industrial instaurou uma nova forma de pensar e fabricar produtos. Aquilo que outrora era único e exclusivo pelas características artesanais e artísticas dos processos, cederia espaço para itens maquinofaturados e que, portanto, necessitariam ser projetados de maneira a permitir uma produção seriada, em quantidade e velocidade superiores. Assim, a produção de joias alcançou uma redução em custos, o que possibilitou o acesso a uma maior parcela da população de determinados produtos anteriormente relegados à elite. Antes da Revolução Industrial as joias eram objetos que, não só pela raridade e valor dos materiais utilizados, mas principalmente, pela natureza e perícia da fabricação artesanal, continham um grau de originalidade que era indicação de genuíno requinte.

kind of object, and simply copy (ie learn!) from the past. This, of course, was the “design process” that was so successful in generating the material culture of our craft society: the craftsman simply copied the design of an object from its previous examples.” CROSS, Nigel. **Designerly ways of knowing**. Design Studies Vol 3 No 4 (October 1982), pp 221-227.

⁵⁸ BENZ, Ida Elisabeth; MAGALHÃES, Claudio Freitas de. **Interação entre design de joias e novas tecnologias**. 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. p. 4.

O século XIX trouxe uma série de avanços tecnológicos de grande impacto na fabricação de joias e suas imitações em materiais mais baratos – as bijuterias. As máquinas de estampagem a vapor rapidamente conferiam volume, detalhes e texturas em chapas metálicas, fabricando diferentes bases para a montagem de brincos, tarraxas, pingentes, broches, etc. Com as máquinas, a produção seriada era mais rápida e simples, havendo inclusive equipamentos de fabricar correntes que se igualavam ao montante da produção de 70 homens, obviamente excedendo em muito o resultado da produção artesanal em termos de qualidade e precisão, quando considerada a homogeneização das peças.⁵⁹

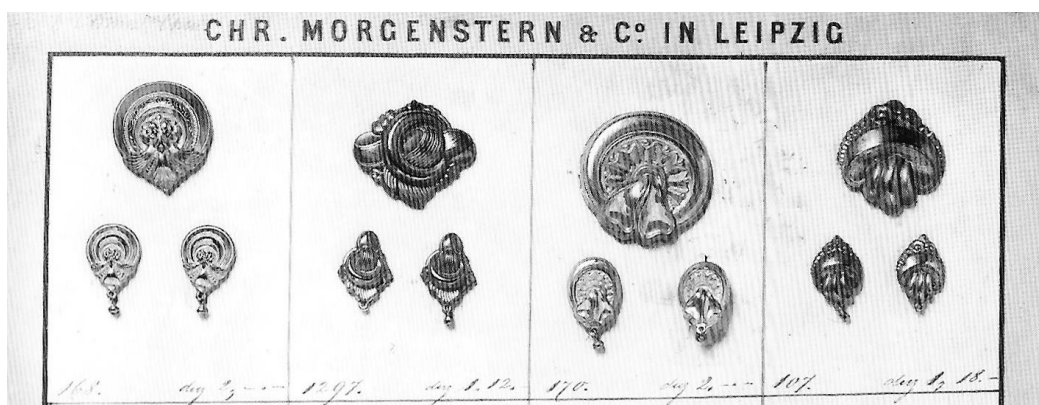


Figura 16: Conjuntos de brincos e pingentes produzidos através do processo de estampagem de máquina a vapor, *circa* 1865-1870. Fonte: PHILLIPS, Clare.⁶⁰

A descoberta da eletrólise em 1840 levou aos processos de galvanoplastia, popularmente conhecidos como “banhos”. O procedimento – que ainda hoje é realizado – consiste em revestir metais mais baratos com outros de natureza nobre, conferindo à peça maior proteção contra oxidação, além de atributos estéticos. A galvanoplastia é uma alternativa mais eficiente e segura do que a técnica anteriormente usada, que residia na aplicação superficial de uma solução de pó de ouro e mercúrio que, ao ser aquecida, agregava-se à joia.⁶¹ Por conta disso, não é surpresa que muitos ourives perdiam a visão devido ao vapor de mercúrio.

Na década de 1920, surgem novos materiais cujas propriedades físico-químicas melhor se adequariam a essa nova lógica proporcionada por uma produção industrializada e estandardizada, tais como os polímeros sintéticos.

⁵⁹ PHILLIPS, Clare. **Jewelry: From Antiquity to the Present**. Londres: Thames and Hudson, 1996, p. 152.

⁶⁰ PHILLIPS, Clare. **Jewelry: From Antiquity to the Present**. Londres: Thames and Hudson, 1996, p. 153.

⁶¹ PHILLIPS, Clare. **Jewelry: From Antiquity to the Present**. Londres: Thames and Hudson, 1996, p. 152.

No que diz respeito à joalheria, a apropriação dos polímeros pelo setor merece uma menção, em especial ao baquelite. Fruto de experimentos particulares do belga Leo Hendrik Baekeland, o baquelite foi o primeiro polímero fabricado totalmente a partir de substâncias sintéticas e, portanto, homogêneas, em contraste aos polímeros anteriores que eram obtidos pela reação de substâncias *in natura* de origem animal ou vegetal. Já na década da sua invenção, o baquelite revolucionou toda a indústria de bens de consumo, inclusive o mercado de adornos pessoais.⁶²

O baquelite é uma resina líquida e viscosa que, vazado em moldes metálicos, torna-se sólido ao ser aquecido. No caso da produção de bijuterias, o produto do vazamento era trabalhado manualmente por processos de corte e entalhe manuais que poderiam também ser auxiliados por tornos.⁶³ Ironicamente, nas bijuterias era a perícia artesanal que conferia forma a um material que, a época, era o ápice tecnológico.



Figura 17: Pulseiras esculpidas manualmente em tubos de baquelite, *circa* 1930. Fonte: Coleção Gerson Lessa.⁶⁴

Com o passar dos anos e o desenvolvimento tecnológico, outros plásticos foram inventados e tiveram aplicação na produção de adornos pessoais, a exemplo do nylon e o acrílico.

⁶² LESSA, Gerson. **Materialidade, inovação e obsolescência: O Baquelite**. In: DOHMANN, Marcus. *A Experiência Material: A Cultura do Objeto*. Rio de Janeiro: Rio Books, 2013, p. 197.

⁶³ LESSA, Gerson. **Materialidade, inovação e obsolescência: O Baquelite**. In: DOHMANN, Marcus. *A Experiência Material: A Cultura do Objeto*. Rio de Janeiro: Rio Books, 2013, p. 198 e 199.

⁶⁴ LESSA, Gerson. **Bakelite Bangles, 1930s/40s**. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/galessa/2020579727/in/set-72157621770256697>>. Acesso em: 13 jan. 2014.

1.5 Soldagem a frio: laser e gás de tungstênio inerte

A técnica de soldagem em metais preciosos manteve-se em sua essência desde os trabalhos das civilizações mais antigas: como visto neste capítulo, os egípcios já se utilizavam de uma liga metálica de ponto de fusão mais baixo que, ao ser aquecida, agregava-se às partes constituídas de uma liga de ponto de fusão mais alto. Evidentemente, com os avanços técnicos oriundos do intelecto humano, ferramentas adotadas no processo de soldagem foram aperfeiçoadas. A exemplo dos maçaricos que, ao proporcionarem uma chama mais precisa e oferecerem uma simplificação do manuseio, procederam diretamente em melhorias nos trabalhos de joalheria.

Entretanto, a invenção de tecnologias de soldagem por laser e gás de tungstênio inerte (TIG, do inglês *Tungsten Inert Gas*) representaram um salto importante para o design de joias. Diferentemente do processo anterior de soldagem que implica em aquecer ao mesmo tempo tanto a parte avulsa que deve ser soldada quanto o corpo da peça, as novas tecnologias de soldagem permitem o aquecimento e fusão pontual e precisa de apenas uma pequena área do conjunto, tal como esquematizado na figura 18.

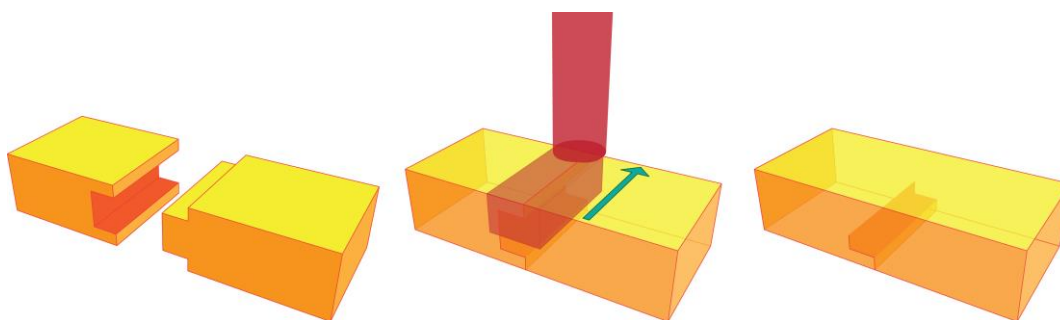


Figura 18: Esquema de soldagem a frio por laser demonstrando o aquecimento e fundição de um pequeno encaixe.

Por este motivo, faz-se referência ao termo “soldagem a frio” para ambas as tecnologias. Por não aquecerem todas as partes para agregá-las em um só conjunto, trazem para a joalheria uma série de vantagens, como o desenvolvimento de delicados encaixes e novas estruturas para a cravação de pedras ou materiais que são danificáveis pelo calor. Entretanto, visto que o aquecimento e a fusão de partes ocorrem apenas em áreas mais superficiais dos componentes soldados, as estruturas agrupadas pelas técnicas de solda a laser e TIG são mais frágeis do que aquelas realizadas com a técnica tradicional, e não são indicadas para unir componentes que sofrerão constantes torções ou flexões.



Figura 19: Anel assinado pelo designer brasileiro Antonio Bernardo exemplificando o original aprisionamento de uma pérola natural em uma estrutura feita em ouro, permitido apenas pelas tecnologias de soldagem a frio. Fonte: Site do próprio.⁶⁵

1.6 Conclusões

Ao avaliar-se a história da joalheria, confirma-se que as técnicas manuais foram desenvolvidas em períodos bastante remotos. Embora tenham sido aprimoradas desde então e a tecnologia utilizada em conjunto a elas atualizada, as técnicas manuais – até o advento das tecnologias digitais – não foram substituídas no seu cerne.

Ainda que não se tenha um registro confirmado da forma do surgimento das primeiras técnicas, o investimento em experimentação com os materiais e ferramentas provou-se decisivo para o desenvolvimento de novas técnicas, tais como o caso da lapidação de pedras durante o período barroco e a invenção de plásticos sintéticos.

Sob a lógica do que foi exposto, segue-se o estudo das novas técnicas de fabricação digital.

⁶⁵ ANTONIO BERNARDO. **Natal 2014**. Disponível em: <<http://www.antoniobernardo.com.br/catalogo/natal-2014>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

Capítulo II – Apresentação de tecnologias digitais para o setor joalheiro

Conforme explicitado na introdução, antes de adentrar-se na experimentação, é essencial enumerar e descrever as tecnologias digitais que são atualmente empregadas em diversas etapas da fabricação de adornos pessoais e elucidar suas vantagens, desvantagens e aspectos em que elas superam processos de fabricação convencionais. A análise crítica que se deve realizar está no grau de aproveitamento ou subaproveitamento destas novas tecnologias, excedendo em resultado a solução de problemas do passado tais como rapidez, precisão e acabamento – abordagem tradicional da indústria – para considerar a inovação.

Considerando-se que as existentes definições do que vem a ser a manufatura digital e manufatura rápida são confundidas e muitas vezes sobrepostas, a compreensão dos fatores que determinam e configuram estes tipos de processos é por muito prejudicada. Para efeito desta pesquisa, entende-se a fabricação rápida como parte integrante da manufatura digital.

Esta, por sua vez, é considerada uma nova disciplina da ciência de materiais e processos. Por sua interdisciplinaridade, é bem mais ampla do que apenas fabricar produtos diretamente, e não se apropria tão somente das tecnologias de fabricação direta. Em termos:

“A Manufatura Digital é um processo de fabricação que, com o apoio de tecnologias como realidade virtual, redes de computadores, prototipagem rápida e banco de dados, baseia-se na demanda do consumidor, de modo a analisar, organizar e recombina informações acerca de produtos, processos e recursos, implementando o design do produto e simulação de funções, bem como prototipagem rápida, e então realizar a fabricação rápida para atingir a demanda do consumidor e os padrões de qualidade. Como uma nova disciplina da ciência dos processos de fabricação, sintetiza várias disciplinas de processos de fabricação e representa a principal direção do desenvolvimento da Tecnologia de Fabricação Avançada.”⁶⁶

⁶⁶ Tradução livre do original: “*Digital Manufacturing is a manufacturing process which, with the support of technologies such as virtual reality, computer networks, rapid prototyping and database, is based on customer demand so as to analyze, organize and recombine the product information, process information and resource information, implement the product design and function simulation as well as rapid prototyping, and then to perform rapid production to meet*”

Ademais, o próprio termo “manufatura rápida”, do inglês *Rapid Manufacturing* merece uma consideração antes de se prosseguir. O que se procura, no significado do termo, é a relação entre o processo de fabricação e a obtenção de um protótipo (caso em que se usa, de forma costumaz e apropriada, o termo “prototipagem rápida” ou “fabricação indireta”) ou de um produto finalizado (fabricação direta), através de técnicas conhecidas como fabricação por adição de material – impressão tridimensional – ou subtração de material – corte e gravação por laser ou jato d’água e usinagem.

Desta forma, a fabricação rápida – como estudar-se-á mais a fundo ainda neste capítulo – permite que, por intermédio da automação de uma máquina, um item seja produzido valendo-se das informações de modelos concebidos em desenho assistido por computador ou objetos reais digitalizados. Ao ser adicionada sequencialmente em camadas ou subtraída para a conformação de chapas ou blocos, a matéria-prima constitui, agora no mundo real, as informações geométricas representadas virtualmente nos desenhos. Em outras palavras, estas tecnologias operam intermediando a transposição de *bits* em átomos. Desta lógica surge um outro termo muito utilizado para referir-se a estas tecnologias: “fabricação digital”.

Há ainda aqueles que afirmam que o termo “fabricação rápida” pode ser aplicado a qualquer processo de produção que encontre a fabricação por adição como etapa em qualquer fase de sua cadeia produtiva.⁶⁷ Não obstante, os professores DICKENS, HAGUE, e HOPKINSON são categóricos ao afirmar: “fabricação rápida é definida como o uso de um processo de fabricação por adição automatizado baseado em desenho assistido por computador (ou CAD, do inglês *Computer Aided Design*) para construir partes que são usadas diretamente como produtos finalizados ou componentes”⁶⁸. Mas, para efeito de ampliação desta

customer demand and quality standards. As a new discipline of manufacturing science, it synthesizes various manufacturing disciplines and represents the mainstream development direction of Advanced Manufacturing Technology”.

CHEN, Dejun.; XIE, Shane.; ZHOU, Zude. **Fundamentals of digital manufacturing science**. Nova Iorque: Springer, 2012, p. 6.

⁶⁷ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 1.

⁶⁸ Tradução livre do original: “*Rapid Manufacturing is defined as ‘the use of a computer aided design (CAD)-based automated additive manufacturing process to construct parts that are used directly as finished products or components’.*”

DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 1.

noção, os referidos professores assumem consecutivamente que as partes assim produzidas podem ser pós-processadas em algum grau por outras técnicas de fabricação, o que garantirá um escopo mais amplo a esta pesquisa.

2.1 Desenho auxiliado por computador (CAD)

Não há como se explorar o impacto das tecnologias digitais em sua total extensão sem antes indicar a relação histórica entre o desenho assistido por computador dentro da evolução do design e o surgimento da prototipagem rápida, até a sua utilização na consolidação da fabricação digital direta.

Os primeiros sistemas de CAD (do inglês *Computer Aided Design*) apareceram ao mercado internacional ainda na década de 1970, praticamente impulsionados pelas indústrias automotiva e aeroespacial.⁶⁹ Na época, o objetivo dos projetistas era alcançar ferramentas que os auxiliassem a produzir desenhos bidimensionais – de modo que funções tridimensionais sequer existiam –, com a finalidade de substituir as transparências e ferramentas tradicionais dos designers.

Isso certamente trazia uma série de vantagens: correções nos desenhos poderiam ser feitas em tempo real, sem prejuízo do desenho original ou de rasuras; cópias poderiam ser distribuídas a vários projetistas diferentes, que poderiam estudar paralelamente soluções para o mesmo problema. No entanto, a observação do modelo tridimensional só viria mais tarde, através do recurso de desenho básico (*wire-frame*), superfícies e sistemas de modelagem de sólidos – que finalmente tornou-se a norma.⁷⁰

Não obstante, no início do desenvolvimento do CAD, o desafio estava em tentar alcançar formas eficientes de se definir geometrias complexas, já que a capacidade de processamento e a memória dos computadores (pessoais ou não) era bastante limitada pelo desenvolvimento tecnológico do período e pelo alto preço destes equipamentos no mercado.

Assim, embora formas simples (como esferas, cubos, cones, etc.) não fossem um problema para a utilização do CAD, a maior parte dos produtos no mercado não poderia ser representado somente nestes termos, por questões estéticas, funcionais ou mesmo ergonômicas.

⁶⁹ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 39.

⁷⁰ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 39.

Nesse sentido, a indústria automotiva impulsionou, mais uma vez, o desenvolvimento do CAD para a geração de formas curvas. Isso provocou o surgimento do que se conhece como NURBS (do inglês *Non-Uniform Rational Basis-Spline*), um modelo matemático onipresente no CAD que permite a representação, em computação, de superfícies e linhas curvas.⁷¹

Por tudo acima explicitado, foi justamente o sistema NURBS aquele que possibilitou ao setor joalheiro a se apropriar das tecnologias digitais de início. Por intermédio de superfícies originadas neste modelo matemático, passou a ser viável representar virtualmente e em três dimensões objetos com a precisão dimensional e formas adequadas às demandas da joalheria.

Na modelagem NURBS, como pode ser visto na figura 20, partindo-se de linhas retas ou curvas, arcos e figuras geométricas de dimensões deliberadas pelo usuário que, por exemplo, ao serem revolucionadas em um eixo, deslocadas a partir de um referencial ou extrudadas, geram superfícies para compor um modelo. Há também a alternativa de iniciar uma modelagem a partir de sólidos geométricos, isto é, prismas, pirâmides, cones e esferas, cujos parâmetros – tais como diâmetro, altura e lado da base – são numericamente definidos pelo usuário. As estruturas resultantes são passíveis de sofrer escalas, flexões, torções e cortes constituindo assim outras que podem ser unidas, subtraídas ou interseccionadas por operações booleanas⁷², originando diferentes formas a partir das primeiras, resultando em modelos cujo caráter é mais geométrico do que escultórico.

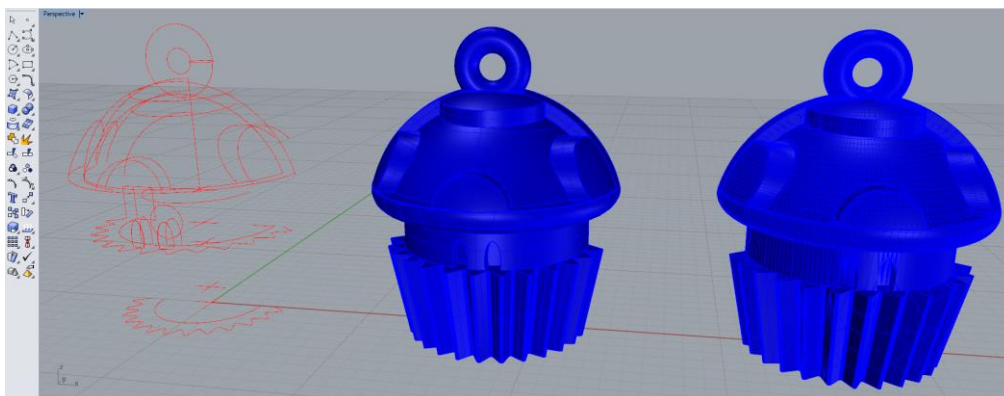


Figura 20: Exemplo de modelagem de pingente construído em NURBS, demonstrando as curvas empregadas na construção das superfícies, bem como a malha de polígonos resultante da exportação para o formato STL. Fonte: Captura de tela do software Rhinoceros.

⁷¹ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 40.

⁷² Operações booleanas, são assim definidas pela sua similaridade com as expressões lógicas *and* (e), *or* (ou) e *not* (não), mas têm uma série de aplicações e seu conceito-base está diretamente relacionado com operações de subtração, união e interseção.

2.2 Formato STL, malhas poligonais (*Meshes*) e escultura digital

O surgimento da estereolitografia em 1988 trouxe consigo um novo formato para a representação virtual de objetos, o STL (do inglês *Standard Triangulation Language*), escolhido pelos projetistas como um formato neutro entre os sistemas de CAD. Ademais, partindo destes arquivos STL é que os sistemas de prototipagem e fabricação rápida criarão seus próprios formatos para alimentar diferentes máquinas.⁷³ Este formato de arquivo guarda geometrias originadas a partir de superfícies delimitadas por triângulos, isto é, um *Mesh*. As malhas poligonais podem variar de densidade, sendo as com o número maior de polígonos determinadas como *High-Poly* e aquelas de resolução mais baixa como *Low-Poly*. Esta razão entre área e quantidade de polígonos é diretamente proporcional para a determinação do quanto um objeto deve ser detalhado.

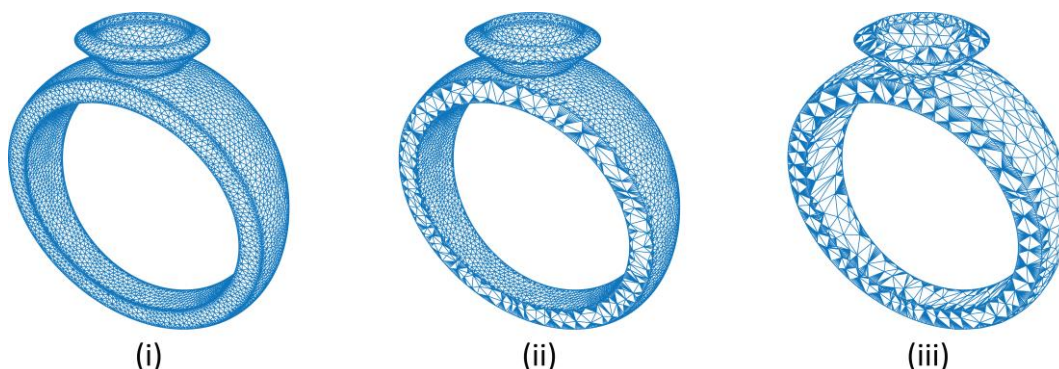


Figura 21: *Meshes* de um mesmo anel em diferentes aproximações poligonais, sendo: (i) 23808 triângulos (100%); (ii) 16664 triângulos (70%) e (iii) 7142 triângulos (30%).

Com isso em vista, trabalhar com a escultura digital, de um modo geral, assemelha-se em muito ao ato de esculpir em materiais macios e deformáveis como argilas, plastilinas ou *clays* – com a diferença, logicamente, de se estar trabalhando com ferramentas virtuais ao invés das mãos. A lógica de construção de objetos é idêntica a da escultura real que, do mesmo modo, parte de uma forma inicial básica ou um arranjo de várias outras a serem agrupadas e deformadas para alcançar a configuração desejada. Este primeiro *sketch* delimita-se por um *Mesh*, tal como um arquivo STL.

Na escultura digital a superfície do *Mesh* é deformada através de ferramentas que permitem ao usuário realizar várias ações, dentre elas puxar, suavizar, aplanar, inflar ou pressionar uma área da superfície poligonal. Tanto a intensidade quanto a dimensão da área de atuação destes recursos podem ser

⁷³ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 43.

estabelecidos, facilitando em muito a conformação e o detalhamento de um objeto esculpido digitalmente. Ao final da modelagem, pode-se atribuir uma espessura interna constante e uniforme ao modelo, conforme ilustrado na figura 22.



Figura 22: Exemplo de coruja esculpida digitalmente, evidenciando a maneira que um dos olhos foi modelado e a atribuição de uma espessura interna contínua ao modelo.

Assim sendo, as plataformas permitem tanto esculpir inteiramente um objeto por essa técnica quanto acrescentar ou modificar detalhes e conferir espessuras à *Meshes* provenientes de outras fontes, tais como o escaneamento digital e modelagens NURBS e AAD, como visto na figura 23.



Figura 23: Modificações executadas por escultura digital em um modelo tridimensional digitalizado por tecnologia de luz estruturada: (i) modelo digitalizado; (ii) modelo modificado.

2.3 Desenho auxiliado por algoritmos (AAD)

O próximo passo rumo ao avanço na joalheria decorre da implementação de técnicas de programação, e do aumento da complexidade e das possibilidades dos algoritmos generativos para a representação de produtos, em *softwares* de interfaces cada vez mais acessíveis ao usuário.

O desenho auxiliado por algoritmos – do Inglês, *Algorithm-Aided Design*⁷⁴ –, ao contrário da modelagem direta por NURBS, cria relações e dependências entre as entidades geométricas que originam e compõem um objeto. Portanto, o desenho auxiliado por algoritmos requer um planejamento do profissional na

⁷⁴ TEDESCHI, Arturo. *AAD_Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper®*. Napoli: Edizioni Le Pensur, 2014.

estruturação de uma definição que será seguida com o objetivo de se alcançar um determinado resultado a partir da entrada de dados.

Ou seja, em questão de definição para plataformas operadas por algoritmos, é possível construir um objeto que mantenha a sua espessura em um determinado valor independente de qual escala se atribua a ele, ou que garras e caixas pré-modeladas de um anel acompanhem as dimensões e formas de diferentes lapidações e tamanhos de pedras – como ilustrado na figura 24 –, entre outras infinitas possibilidades.



Figura 24: Render de variações de modelo tridimensional de caixa de pedras para anel parametrizadas em relação ao valor do diâmetro das pedras que a compõem: (i) exemplo com pedras alocadas; (ii) pedra central com 9mm de diâmetro e maracanã com 13 pedras de 2,4mm de diâmetro; (iii) pedra central com 19mm de altura, 9 mm de largura e maracanã com 20 pedras de 2,4mm de diâmetro; (iv) pedra central com 19mm de diâmetro e maracanã com 21 pedras de 2,4mm de diâmetro e (v) pedra central com 19mm de diâmetro e maracanã com 34 pedras de 1,7mm de diâmetro. Fonte: Núcleo de Experimentação Tridimensional da PUC-Rio, projeto desenvolvido por Antônio Carlos Thiele e DSc. Claudio Freitas de Magalhães.

Indo além, há de se considerar que a lógica de se conceber uma joia por técnicas manuais é completamente modificada pela modelagem por algoritmos. Uma nova carga de conhecimentos e habilidades que não são decorrentes da habilidade manual do ourives, mas de perícia mental e estudo, passam a ser relevantes para o trabalho do designer de joias do século XXI. Como exemplo, temos abaixo na figura 24 um trabalho de Jessica Rosenkrantz e Jesse Louis-Rosenberg, ambos do MIT⁷⁵. Os designers trabalham com conceitos de matemática aliados à modelagem por algoritmos, resultando em joias cuja estética é bastante particular e irreprodutível através de processos manuais.

Por tudo exposto acima, os modelos concebidos em plataformas NURBS e AAD têm caráter mais geométrico do que escultórico, e no caso deste estudo, são ideais para a configuração de estruturas de precisão, tais como encaixes e articulações e outros objetos que possam ser representados de forma geométrica.

⁷⁵ *Massachusetts Institute of Technology.*



Figura 25: Colar articulado da coleção *Kinematics*, impresso já completamente montado pela tecnologia de SLS em Nylon, apresentando módulos de tamanhos randomizados e definidos pelos parâmetros de um algoritmo. Fonte: Nervous System⁷⁶

2.4 Popularização da modelagem digital

Recentemente, foi iniciada uma expansão na criação e oferta de aplicativos para dispositivos móveis, *websites* e *softwares* para computadores domésticos, todos com a finalidade de tornar acessível ao público leigo a construção de modelos tridimensionais sem a necessidade de conhecimento técnico avançado e o dispêndio de grandes investimentos financeiros. Este movimento reflete a tendência mundial de popularização das tecnologias digitais como forma de produção individualizada, customizada e descentralizada⁷⁷, deslocando-se da “produção em massa” para a “customização em massa”⁷⁸.

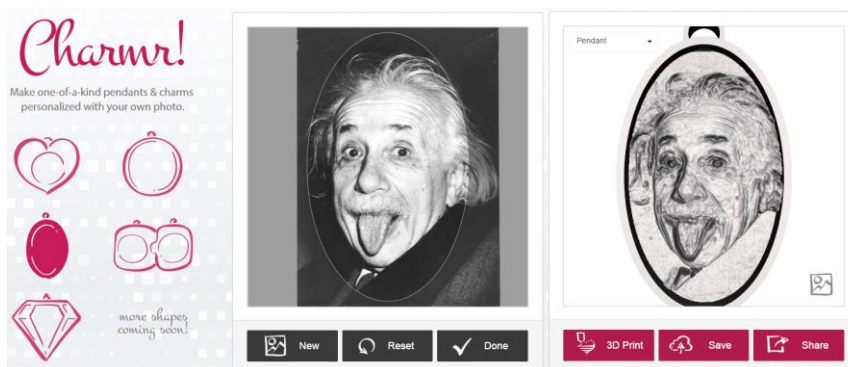


Figura 26: Modelo tridimensional virtual de pingente criado automaticamente pelo aplicativo do site *Charmr!* através do *upload* de uma fotografia e da escolha pelo usuário por uma forma básica para a joia. Fonte: *Print-Screen* do site *Charmr!*⁷⁹

⁷⁶ NERVOUS SYSTEM. **Kinematics Jewelry**. Disponível em: <<http://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/kinematics-jewelry/>>. Acesso em: 11 dez. 2014.

⁷⁷ WIRED. **Democratizing Design: Autodesk's CEO Carl Bass Announces 123D**. Disponível em: <<http://www.wired.com/business/2011/05/democratizing-design/>>. Acesso em: 27 de Dezembro de 2013.

⁷⁸ CAMPBELL, Thomas; GARRET, Banning; INANOVA, Olga; WILLIAMS, Christopher; **Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing**. Washington: Atlantic Council, 2011, p. 9.

⁷⁹ AUTODESK. **Autodesk 123D**. Disponível em: <<http://apps.123dapp.com/charmr>>. Acesso em: 11 dez. 2014.

Estas séries de aplicativos têm a impressão 3D como principal recurso de fabricação. Os diversos fornecedores de soluções para modelagem vêm se juntando a outras empresas que provêm tão somente serviços de impressão de projetos, com a finalidade de permitir que indivíduos possam encomendar a fabricação destes objetos integralmente e/ou em partes – e, neste último caso, será o próprio consumidor final quem receberá as peças para fazer a montagem do produto final.⁸⁰ Além disso, os usuários poderão também criar lojas virtuais para comercializar peças fabricadas sob demanda ou até mesmo confeccionar suas criações em casa com impressoras 3D domésticas.

2.5 Digitalização de objetos tridimensionais

Os sistemas de escaneamento tridimensionais operam na transferência de volumes e texturas do mundo físico para o digital. Para o setor joalheiro, isto permite que joias que já existam tenham seu desenho modificado ou melhorado digitalmente, ou que joias sejam feitas a partir da digitalização de pessoas, esculturas e variados tipos de objetos. Atualmente existe no mercado uma boa variedade de tecnologias para a digitalização em três dimensões, diferindo em aplicações, resultados alcançáveis de custo e investimento tecnológico. A seguir, serão expostas quatro das tecnologias mais utilizadas.

2.5.1 Escâneres de luz estruturada e luz pulsada

As tecnologias de digitalização por luz estruturada apresentam uma grande versatilidade, visto que são capazes de digitalizar objetos das mais variadas dimensões – de moedas a carros – apenas pela troca de suas lentes. Estes escâneres são largamente adotados para a digitalização da superfície de objetos.

Ao centro de uma mesa giratória automática posiciona-se o modelo a ser digitalizado. Uma série de planos de luz são projetados e varrem a superfície do objeto ao se deslocarem. As câmeras do escâner registram a posição da projeção destes planos na superfície do objeto sob a forma de pontos.⁸¹ Após as medições,

⁸⁰ WIRED. **Democratizing Design: Autodesk's CEO Carl Bass Announces 123D**. Disponível em: <<http://www.wired.com/business/2011/05/democratizing-design/>>. Acesso em: 27 de Dezembro de 2013.

⁸¹ PARK, Johnny; DESOUZA, Guilherme N.; KAK, Avinash C.. **Dual-Beam Structured-Light Scanning for 3-D Object Modeling**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON 3D DIGITAL IMAGING AND MODELING, 3., 2001, Quebec. Proceedings... . Los Alamitos: Computer Society, 2001. p. 65 - 72. Disponível em: <<https://engineering.purdue.edu/RVL/Publications/Park01DualBeam.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.

a mesa giratória efetua uma pequena rotação, e a varredura é novamente realizada para cada nova posição do objeto, num âmbito de 360 graus. Desta forma, uma série de *scans* é efetuada e, em seguida, automaticamente alinhada de acordo com as coordenadas dos pontos e fundidos em uma só malha de triângulos (chamada *Mesh*) pelo *software* do dispositivo, conforme demonstrado na figura 27.

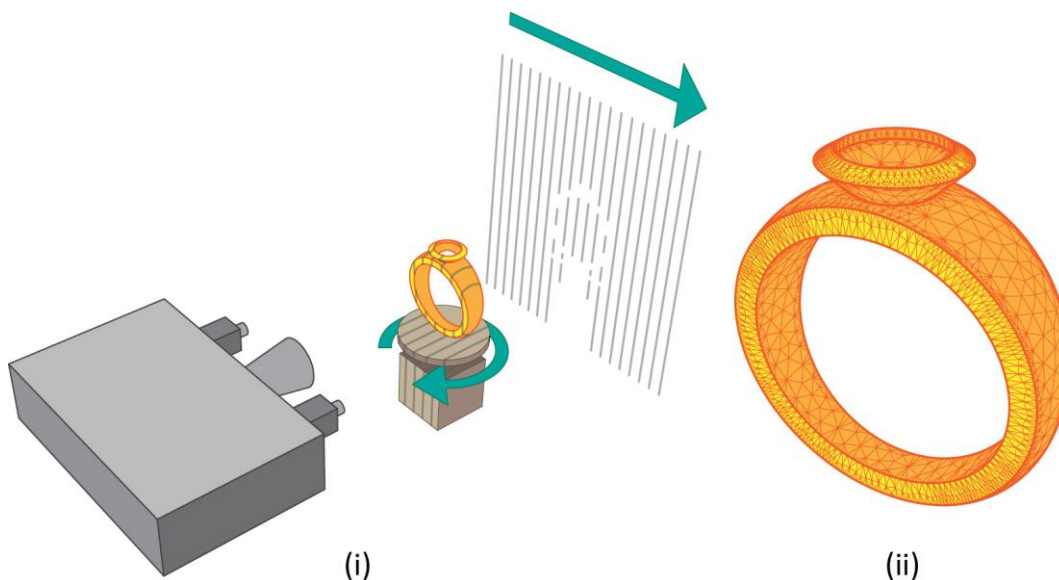


Figura 27: Fases da digitalização feita pela tecnologia de escaneamento por luz estruturada em que: (i) esquema do processo ilustrando a projeção e movimentação dos planos de luz ao varrer o objeto e (ii) objeto exportado para malha poligonal (*Mesh*).

Esta malha pode apresentar algumas irregularidades que necessitarão de reparo posterior por um profissional, tais como o preenchimento de discontinuidades, a separação de triângulos sobrepostos, a redução de eventuais ruídos, tal como exemplificado na figura 28.

Indo além, a digitalização é prejudicada em objetos cujas superfícies são reflexivas, visto que a leitura dos padrões de luz projetados pelo escâner é lesada pela distorção ocasionada pela refração. Por este motivo, pós e sprays reveladores são aplicados na superfície com a finalidade de atenuar a refração. De modo geral, esta técnica é bastante eficiente, mas encontra alguns obstáculos: como é o caso de peças que podem ser arruinadas pela aplicação dos reveladores, ou os reveladores podem vir a cobrir minúcias tais como detalhes e texturas que não serão digitalizados propriamente.

Já os escâneres de luz pulsada têm a sua principal distinção na natureza intermitente do feixe de luz que varre o objeto. Além disso, ao invés do escâner estar fixado em uma posição em uma mesa giratória mover o objeto a ser digitalizado – como ocorre na luz estruturada –, é o escâner que deve ser movido

por um profissional ao redor do objeto, permitindo assim sua inteira digitalização. Note que, neste caso, a dificuldade real em se digitalizar objetos de pequena dimensão, tornando esta técnica hábil apenas para grandes objetos.



Figura 28: Modelo em cera com aplicação de spray revelador digitalizado por um escâner de luz estruturada e sequência de tratamento da digitalização, demonstrando o alinhamento das superfícies, a redução de ruídos e o preenchimento de discontinuidades na malha poligonal.

2.5.2 Microtomografia por raios-X (MicroCT)

Os tomógrafos são equipamentos que auxiliam na obtenção de imagens de objetos de modo não invasivo. Em outras palavras, a tomografia computadorizada – em contraste aos outros métodos de digitalização de superfícies – permite a visualização de itens que não se encontram aparentes e que, sem o uso deste recurso, só poderiam ser observados segmentando a amostra. Por esta característica, o uso de tomógrafos e microtomógrafos foi apropriado por distintas áreas de conhecimento para a resolução de questões referentes à visualização e quantificação, tais como a análise de estruturas ósseas e órgãos internos, o reconhecimento de fósseis e múmias ainda que guardados no interior de rochas e sarcófagos, o exame de micro estruturas e composição tanto de materiais naturais quanto aqueles feitos pelo homem. Estes são apenas alguns exemplos dos múltiplos estudos viabilizados pela tecnologia.

Considerando-se seu funcionamento, os tomógrafos são divididos em duas principais categorias: quanto à natureza da energia (se de transmissão ou de emissão) e disposição dos raios emitidos (paralelos ou divergentes). Os experimentos descritos no capítulo IV foram realizados em um microtomógrafo de transmissão e feixes divergentes e, adicionalmente, sendo esta a tecnologia mais frequente, fora a eleita para a descrição de seu funcionamento.

Os raios-X emitidos pelo equipamento trespassam a amostra, cuja densidade atenua a energia inicialmente emitida, e a diferença é medida e

registrada por um sensor. Posicionada sobre uma base giratória, a amostra movimenta-se horizontalmente a uma pequena e constante angulação programada pelo aparelho, tendo uma nova medição realizada a cada nova posição até completar 360 graus⁸², como é esquematizado na figura abaixo:

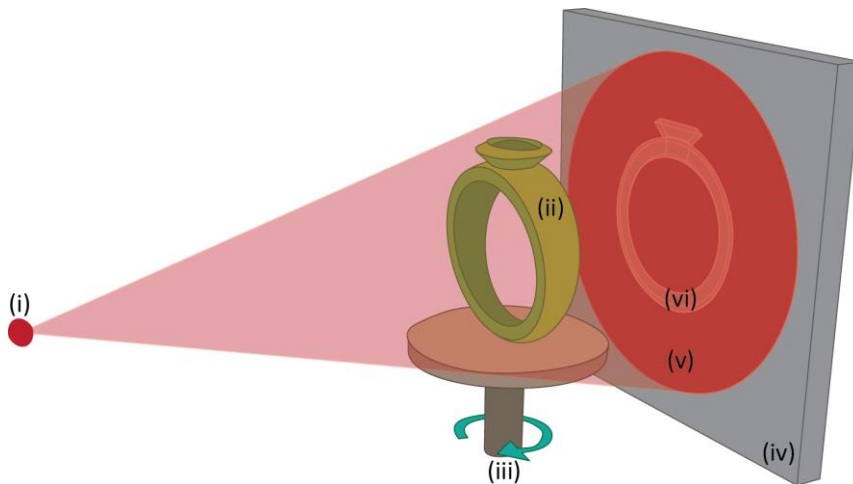


Figura 29: Esquema do funcionamento da microtomografia computadorizada: (i) fonte emissora de raios-X; (ii) amostra não-metálica; (iii) base giratória; (iv) detector; (v) medição dos raios que foram atenuados pela amostra e (vi) medição dos raios que não foram atenuados pela amostra.

A partir destas medições originam-se as projeções horizontais (figura 30,[i]), com base nas quais reconstroem-se imagens bidimensionais, ou seja, uma representação gráfica em *pixels* de cada fatia horizontal do objeto (figura 30,[ii]). De posse das imagens, procede-se à construção de um objeto tridimensional pelo processo de segmentação, em que *softwares* para este fim definem os limites da amostra na imagem bidimensional (figura 30,[iii]). Estas informações, somadas ao valor numérico que representa o intervalo entre uma imagem e outra, isto é, a altura existente entre cada uma das fatias da amostra, permite ao *software* criar uma superfície poligonal que configura o modelo tridimensional virtual do objeto micro tomografado (figura 30,[iv]).

Esta técnica é muito útil para a digitalização de peças ou objetos que tenham detalhes internos ou de volume oco, bem como pequenos objetos com diminutas estruturas, tais como folhas, flores, esponjas e outros elementos. Deve-se também atentar que, em casos de falha no uso da luz estruturada – como refração da luz, áreas de sombra, impossibilidade do uso de reveladores – a microCT é um excelente recurso para a joalheria. No entanto, suas limitações

⁸² ALVES, Haimon Diniz Lopes. **Análise da porosidade de sedimentos geológicos usando a técnica de microtomografia computadorizada**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012, p. 33.

estão em não poder ser aplicada para objetos confeccionados em metal, restringindo o seu uso para a digitalização de joias – mas aplicável aos seus respectivos modelos em cera.

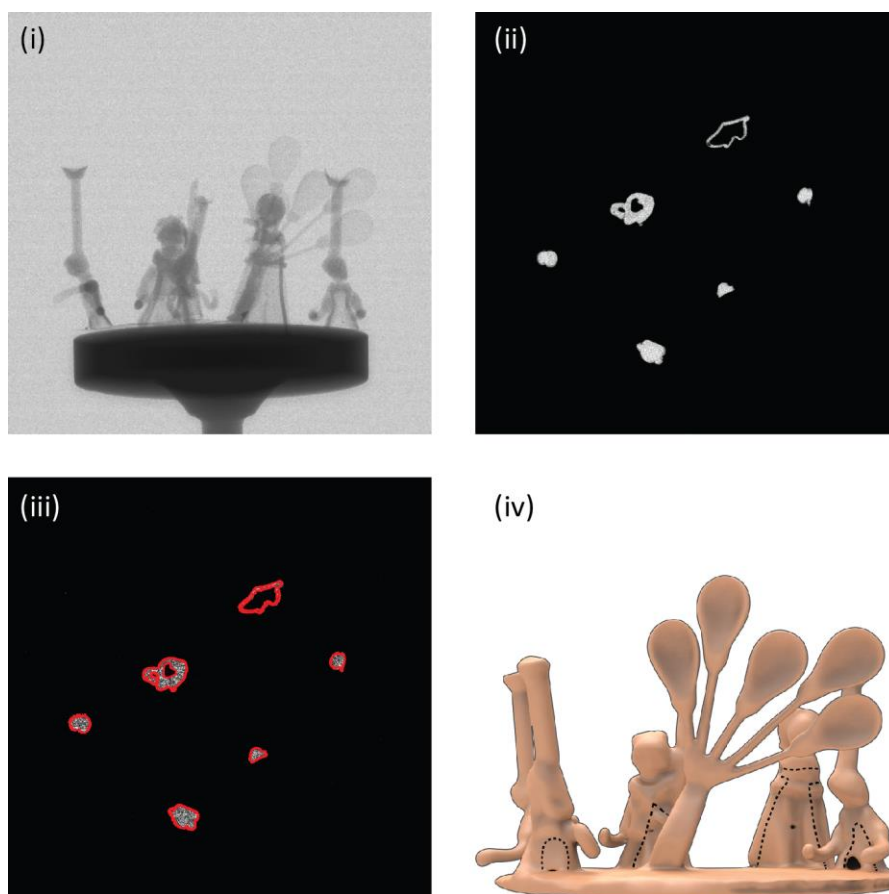


Figura 30: Passos para a construção de um modelo tridimensional a partir de microCT: (i) projeção horizontal de uma posição das amostras; (ii) reconstrução de uma camada das amostras; (iii) segmentação dos contornos que delimitam a amostra e (iv) modelo tridimensional reconstituído a partir das camadas da MicroCT ilustrando a espessura das amostras.

2.5.3 Sensores de câmera RGB-D

Câmeras RGB-D existem há muitos anos no mercado, mas o seu desenvolvimento e barateamento possibilitou uma verdadeira revolução em certos campos tecnológicos. Os primeiros sensores, por exemplo, custavam cerca de US\$ 10.000,00 cada, em contraste aos mais novos e populares, que custam cerca de US\$ 200,00.⁸³

Atualmente, os sensores que se tornaram mais acessíveis e conhecidos por sua aplicação foram criados para a indústria de *videogames* (um deles lançado em Novembro de 2010). Embora não tenham sido inicialmente idealizados para a

⁸³ LITOMISKY, Krystof. **Consumer RGB-D Cameras and their Applications**. Disponível em: <<http://alumni.cs.ucr.edu/~klitomis/files/RGBD-intro.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2014.

tarefa de digitalizar objetos tridimensionais (tal como os escâneres), sua capacidade de leitura de movimentos e de informar a profundidade dos *pixels*, tornaram possível estudos de reconstrução tridimensional de objetos, realidade virtual e mapeamento 3D, o que importa dizer no seu potencial também para o presente estudo.

O sensor projeta um padrão sobre o objeto em infravermelho, que é imediatamente capturado pela câmera infravermelha do mesmo dispositivo. A distorção do padrão ao atingir o objeto é registrada por outra câmera e comparada às referências do padrão original emitido. Essa comparação é importante para que o dispositivo possa calcular a profundidade de cada ponto, de modo que uma imagem tridimensional possa ser formada a partir do escaneamento do objeto de vários ângulos.⁸⁴

Ao mesmo tempo, a informação sobre a profundidade do sensor infravermelho é cruzada e correlacionada com os dados obtidos pela câmera RGB. O resultado é uma imagem que “veste” a forma tridimensional do objeto, em que cada ponto tridimensional (*voxel*) possui informação de cor e profundidade a ele associada.

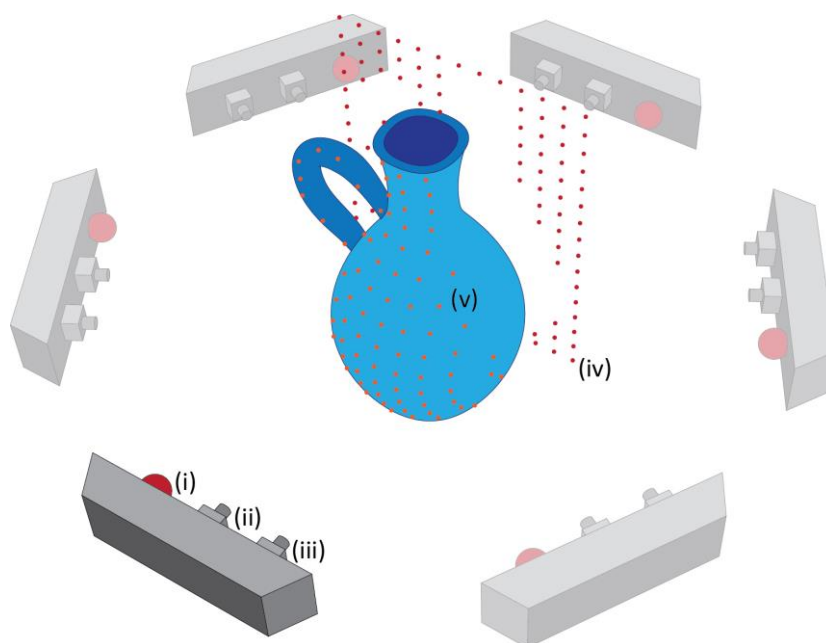


Figura 31: Esquema que ilustra o processo de escaneamento por um sensor equipado por RGB-D: (i) fonte emissora de infravermelho; (ii) câmera RGB que registra as informações de cor; (iii) câmera responsável por ler as medidas de profundidade; (iv) padrão não projetado na superfície do objeto e (v) padrão projetado na superfície do objeto. O sensor deve capturar as informações do objeto em vários ângulos para digitalizá-lo.

⁸⁴ LITOMISKY, Krystof. **Consumer RGB-D Cameras and their Applications**. Disponível em: <<http://alumni.cs.ucr.edu/~klitomis/files/RGBD-intro.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2014.

No entanto, uma importante limitação desses dispositivos está no seu campo de visão mais restrito do que sensores especializados em mapeamento 3D – fato compreensível, já que esses dispositivos mais acessíveis são projetados para serem interfaces com o usuário de videogames. Infelizmente, a consequência imediata dessa desvantagem técnica é a deterioração da resolução da imagem obtida à medida que o objeto se afasta do sensor. Ainda assim, é relevante apontar que os sensores mais modernos e recém-lançados possuem um campo de visão maior, com resolução ainda mais aproveitável para o mapeamento tridimensional, indicando a tendência de superação destas dificuldades.

Esta é uma alternativa para escaneamento de baixo custo, acessível ao usuário comum, e que certamente tem e terá cada vez mais influência em trabalhos de customização e personalização em joalheria. Como exemplos do uso da tecnologia, pode-se citar o escaneamento de partes do corpo humano para o desenvolvimento de joias *custom-fit*, ou a digitalização de pessoas de uma família para constituir um pingente.



Figura 32: Modelo tridimensional digitalizado e *render* de pingente concebido a partir da digitalização.

2.6 Processos de fabricação digital

Os processos de fabricação digital por adição e subtração de matéria-prima descritos nesta seção são aqueles que, de uma forma ou de outra, têm se mostrado preciosos ou têm grande potencial ainda inexplorado para o setor joalheiro.

Assim, embora não se faça referência a muitos outros – e não se pretenda, certamente, fazer um apanhado sobre todos os processos de fabricação por adição e subtração que existem atualmente –, tal escolha se justifica por necessidade prática: são descartados aqueles processos que não servem ao design de joias, seja

pela impossibilidade de se produzir, através deles, pequenas ou detalhadas geometrias, seja pela baixa qualidade de acabamento resultante do seu processo produtivo ou baixa resistência do material em uso.

Sendo assim, todos os processos detalhados abaixo começam, necessariamente, com um arquivo STL ou vetor de um objeto, geralmente criado com um *software* ou aplicativo que funcione com o sistema CAD ou através da digitalização de um objeto tridimensional real⁸⁵, como já foi verificado anteriormente.

As peculiaridades de cada processo serão analisadas adiante. O primeiro fato a se notar, assim, é que foi realizada uma divisão para facilitar a compreensão destes processos, em fabricação indireta e direta.

2.6.1 Fabricação direta

Para efeitos deste estudo, consistem em processos de fabricação direta aquele ou aqueles que, sem intervenção ou contribuição de outros processos de fabricação, alcançam a produção de produtos finais. Isto certamente não quer dizer que tais processos não possam fazer parte da fabricação indireta ou que os produtos fabricados não possam receber algum tipo de pós-processamento com a finalidade de melhoria de acabamento superficial dos produtos.

Ratifica-se que esta análise limita-se, tão somente, aos processos de fabricação direta que possuem importância e relevância para o design de joias contemporâneo.

2.6.1.1 Fabricação por adição de material

De maneira essencial, as tecnologias de fabricação por adição iniciam a construção do objeto por um arquivo do modelo tridimensional STL que é virtualmente segmentado por um *software* em camadas planas de espessuras mínimas, de onde serão extraídas curvas de níveis 2D indicadoras dos locais a serem preenchidos ou não por material. Com base nessas informações, as fatias são materializadas uma sobre a outra sucessivamente, construindo o objeto por inteiro. De acordo com os requisitos dos materiais aplicados a estas tecnologias, durante a preparação de um arquivo para a sua impressão, o *software* pode ou não

⁸⁵ CAMPBELL, Thomas; GARRET, Banning; INANOVA, Olga; WILLIAMS, Christopher; **Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing**. Washington: Atlantic Council, 2011, p. 3.

gerar automaticamente estruturas para auxiliar a construção do modelo, as quais são chamadas de suporte. O processamento do arquivo digital para a impressão tridimensional pode ser visualizado na figura 33.

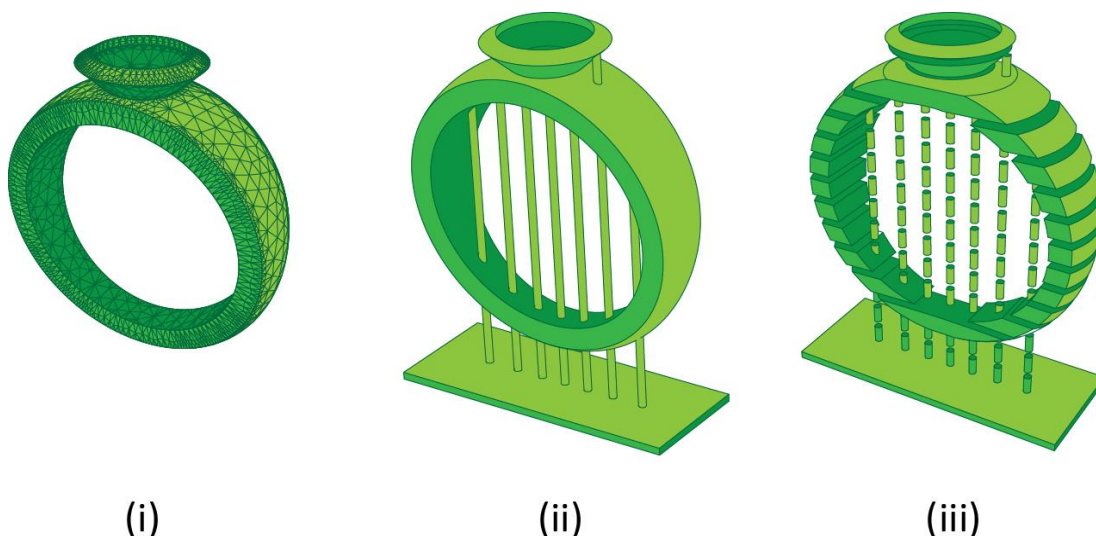


Figura 33: Sequência de processamento de um arquivo 3D: (i) arquivo digital em formato STL; (ii) geração de suportes para auxiliar a construção da peça; (iii) fatiamento do conjunto peça-suporte.

Esta lógica de construir objetos camada a camada origina geometrias impossíveis de serem obtidas pelo processo tradicional de modelagem de joias em cera, justamente por conta do alcance das ferramentas do artesão, inclusive com a máxima eficiência no uso de materiais e mínima espessura de parede. A impressão tridimensional também supera o potencial geométrico de outros processos industriais clássicos como a injeção de polímeros, que exige considerar o desmolde da peça no momento do design da forma.⁸⁶

A orientação de construção da peça influencia diretamente na resistividade do produto à aplicação de forças externas, visto que para cada eixo de construção, as propriedades mecânicas apresentadas pelo modelo diferem. Esta característica é chamada de anisotropia, e deve ser observada ao se projetar conformações delgadas como pinos ou regiões mais delicadas que podem se partir por flexão.⁸⁷

⁸⁸ A aplicação da peça deverá ser considerada no momento da escolha da orientação da impressão, de modo a conferir-lhe melhor resistência.

⁸⁶ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 6.

⁸⁷ VOLPATO, Neri (Ed.). **Prototipagem Rápida**: Tecnologias e Aplicações. São Paulo: Blücher, 2007; pág. 125.

⁸⁸ SCAGLIUSI, Natascha. **Joias destinadas à coleção The Girl who lived in a Tree de Alexander McQueen**. 2011. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Desenho Industrial Habilitação Projeto de Produto, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011, p. 27.

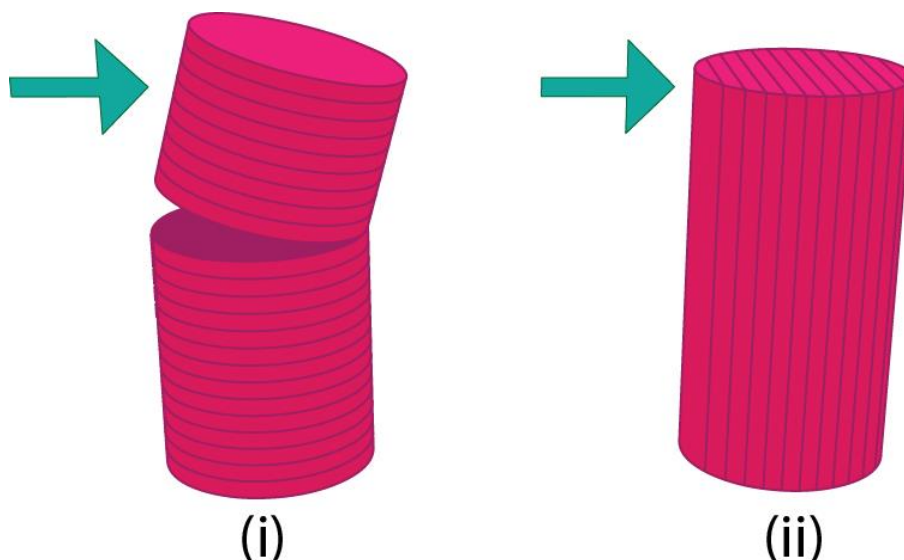


Figura 34: Objeto impresso em diferentes orientações apresentando resistividade diversa a forças de igual sentido e intensidade: (i) objeto impresso em sua altura e (ii) objeto impresso em seu comprimento. Fonte: Adaptado de VOLPATO, Neri (Ed.).⁸⁹

2.6.1.1.1 Impressão 3D tipo Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

A Sinterização Seletiva a Laser, do inglês *Selective Laser Sintering* ou SLS, é uma tecnologia inteiramente dedicada ao uso de pó no processo de fabricação por adição. Embora nem todas as aplicações deste processo possam envolver materiais interessantes à joalheria, a variedade de materiais (polímeros, metais e cerâmica) passíveis de serem utilizados em produtos finais é sem dúvida um diferencial no aumento da funcionalidade dos componentes de uma peça.

Neste processo, a sinterização ocorre em um compartimento isolado onde temperatura e atmosfera interiores são controladas. O pó que dará forma à peça é distribuído em uma fina camada na superfície de trabalho e um feixe de laser descreve na superfície do pó a informação geométrica contida na fatia virtual. Desta forma, pela ação do laser, as partículas do metal agregam-se umas às outras e formam uma camada da peça. Isto feito, o sistema desloca o compartimento de impressão para baixo e acomoda mais uma camada de pó acima da anterior. O processo é repetido até que a última camada do objeto seja construída. Ao final da impressão, se obtém a peça imersa em pó não-sinterizado.⁹⁰

⁸⁹ VOLPATO, Neri (Ed.). **Prototipagem Rápida**: Tecnologias e Aplicações. São Paulo: Blücher, 2007; pág. 125.

⁹⁰ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 64.

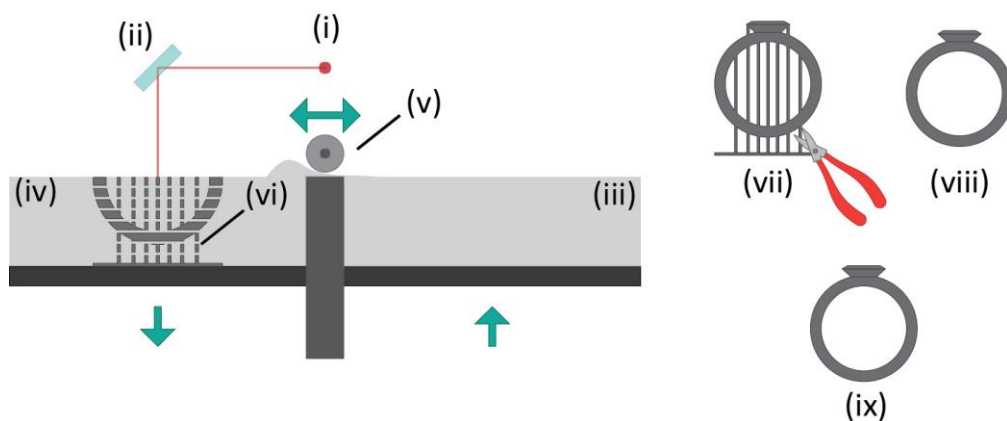


Figura 35: Esquema da impressão por SLS: (i) fonte de laser; (ii) sistema de varredura; (iii) alimentador de pó; (iv) compartimento de impressão; (v) sistema de acomodamento de pó; (vi) objeto sendo impresso; (vii) remoção de suporte de modelo (metal); (viii) produto final da DMLS (materiais metálicos) e (ix) produto final da SLS (demais materiais).

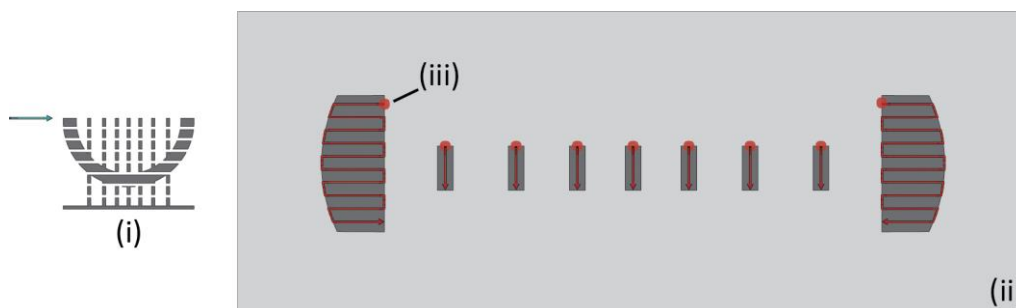


Figura 36: Esquema de impressão de camada na SLS: (i) camada do objeto a ser impressa; (ii) pó que não foi sinterizado e (iii) laser percorrendo um caminho para a construção da camada bidimensional.

Nos processos fundados em materiais tanto plásticos quanto cerâmicos, o próprio pó não-sinterizado opera como uma estrutura auxiliadora na construção do objeto desejado, dispensando assim a construção de estruturas físicas de suporte, ao contrário dos sistemas de sinterização seletiva de metais – que recebem o nome de *Direct-Metal Laser Sintering* (DMLS). A sinterização direta em metais requer a construção de estruturas físicas cuja finalidade é também dissipar a alta energia proveniente do laser, que tende a se acumular – já que metais são materiais condutores de calor. Desta forma, a DMLS apresenta maiores limitações de construção geométrica que as demais tecnologias de SLS, visto que o designer deve conceber a forma dos produtos de maneira que a retirada das estruturas de suporte seja viável, ou seja, que as ferramentas adotadas no corte tenham o alcance necessário.



Figura 37: Joias impressas em aço por DMLS, evidenciando as estruturas de suporte que auxiliam a construção das camadas e a dissipação do calor do laser.



Figura 38: Exemplo de retirada de suporte com auxílio de um disco de corte e uma micro retífica.

Apesar de requisitar muito trabalho manual para o acabamento – tendo em vista que a retirada do suporte e a qualidade superficial nesse tipo de impressão exigem desbaste e polimento vigoroso – as tecnologias de Sinterização Seletiva a Laser são relevantes para a joalheria à medida que permitem a fabricação de partes integradas e funcionais que dispensam montagem posterior, o que viabiliza a impressão direta de modelos articulados e também peças plásticas únicas ou em pequenas séries – antes limitadas pelo alto custo dos moldes de aço adotados nos processos de injeção.⁹¹

⁹¹ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 6.



Figura 39: Pulseira concebida pelos designers da *Digital Forming* impressa já montada e articulada, sendo posteriormente cravadas gemas de diferentes cores. Fonte: Cooksongold⁹²



Figura 40: Bracelete de poliamida (nylon) fabricado em SLS. Fonte: SCAGLIUSI, Natascha.⁹³

2.6.1.1.2 Impressão 3D tipo *Fused Deposition Modeling (FDM)*

Este processo de fabricação tem por base a utilização de matéria sólida, ao invés da matéria em pó, e tem sido utilizado desde a década de 90. O processo funciona da seguinte forma: peças são criadas ao se prensar e expelir material aquecido – polímeros termoplásticos, via de regra – através de um bico que se movimenta nos eixos x e y, criando assim camadas bidimensionais de material. O

⁹² COOKSONGOLD EMANUFACTURING. **Design Gallery**. Disponível em: <<http://www.cooksongold-emanufacturing.com/gallery.html>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

⁹³ SCAGLIUSI, Natascha. **Joias destinadas à coleção The Girl who lived in a Tree de Alexander McQueen**. 2011. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Desenho Industrial Habilitação Projeto de Produto, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011, p. 66.

sistema elevador onde o objeto está sendo impresso desce um valor no eixo z, dando sequência à impressão de uma nova camada do objeto.⁹⁴

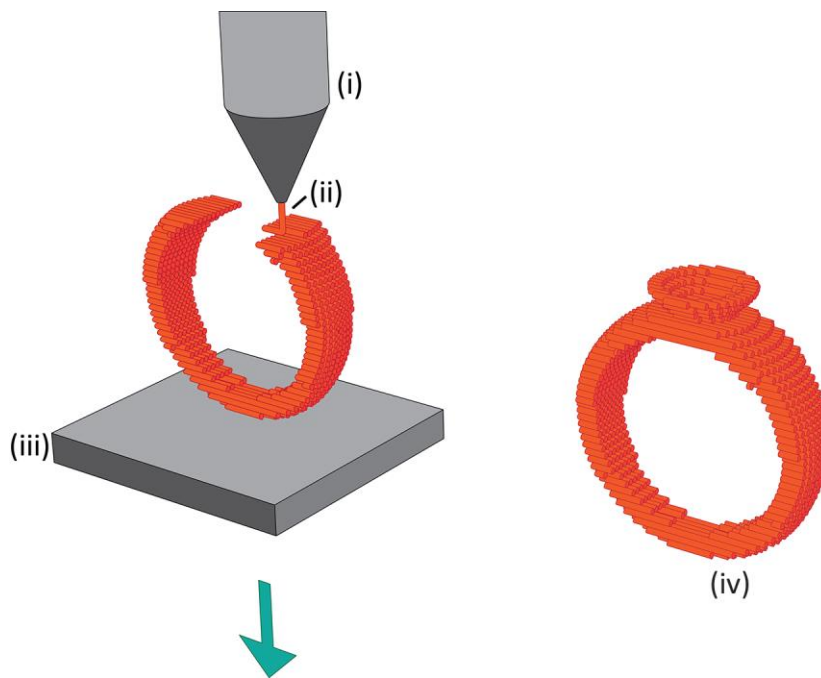


Figura 41: Esquema de impressão 3D por FDM: (i) bico extrusor; (ii) polímero fundido sendo depositado em parte da camada; (iii) sistema elevador para a impressão e (iv) objeto ao fim da impressão.

A impressão por FDM precisará recorrer também à estratégia da criação de alicerces que sustentem as camadas enquanto estão sendo construídas – os já referidos suportes. O suporte é construído automaticamente pelo *software* que processa as camadas no momento anterior ao da impressão. Por este motivo, os sistemas FDM apresentam alternativas que se subdividem em dois tipos:

- Suporte em materiais secundários: Configura-se em uma estrutura que é impressa por camadas junto ao objeto, tendo como objetivo sustentá-lo durante sua construção. Ao fim da impressão, o suporte – feito em um material diferente – perde sua serventia e deve ser retirado. Desta forma, mergulha-se o conjunto em uma solução que dissolve o suporte, mas mantém íntegro o objeto.
- Suporte em material similar: Este tipo de estrutura deve ser removida manualmente, cortando-se e partindo-se as estruturas que são impressas no mesmo material do modelo.⁹⁵

⁹⁴ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 75.

⁹⁵ GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent. **Additive Manufacturing Technologies**. Nova York: Springer, 2010, p. 152.

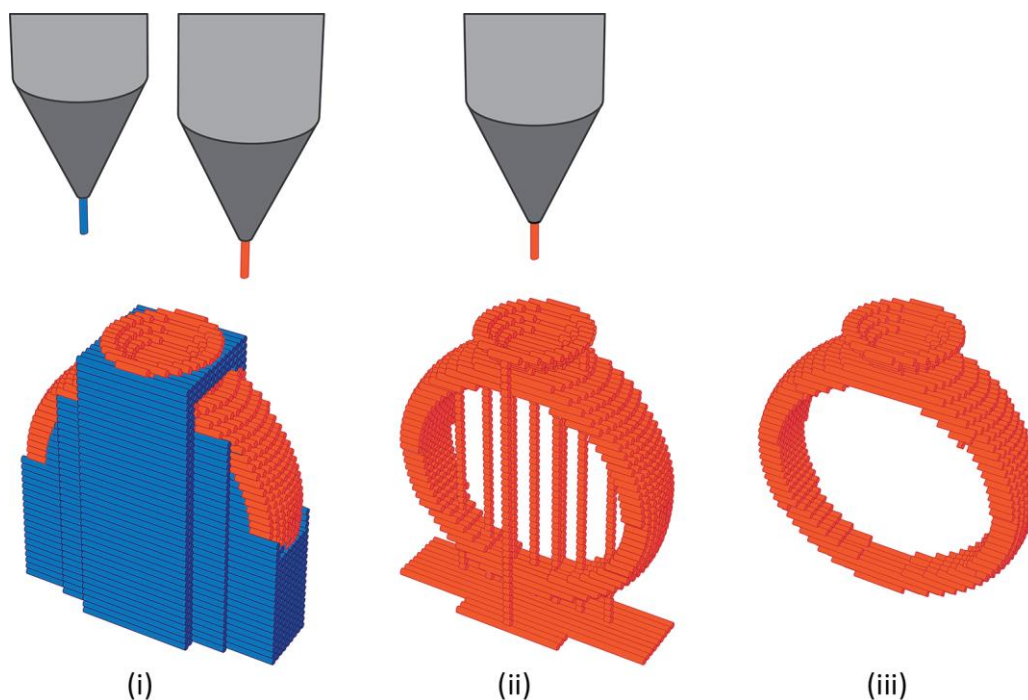


Figura 42: Esquema de impressão FDM ilustrando diferentes tipos de suporte: (i) uso de suporte em materiais secundários, onde cada bico extrusor é responsável por adicionar um material; (ii) uso de suporte em material similar e (iii) objeto impresso após a remoção dos suportes.



Figura 43: Anel impresso por FDM em plástico ABS.

2.6.1.2 Fabricação por subtração de material

Os processos de conformação por subtração de material, tal como o nome diz, consistem em conformar geometrias pela remoção de matéria-prima. Neste sentido, possuem grande aplicabilidade para a joalheria e uma certa variedade de modalidades, tais como o corte e a gravação por jato d'água ou laser e também a usinagem. Enquanto o processo de gravação por jato d'água e laser será melhor

descrito adiante – entre os processos de fabricação direta – a usinagem estará melhor explorada na seção sobre fresagem de cera – um processo de fabricação indireta. Esta escolha se faz necessária já que a usinagem no setor da joalheria é muito mais utilizada para a produção de modelos em cera destinados à fabricação tradicional do que do produto final, em si.

2.6.1.2.1 Corte e gravação por jato d'água e laser

Os processos por laser são indicados e largamente utilizados pelas mais diversas indústrias no corte de materiais disponibilizados em forma plana, tais como chapas, folhas e lâminas de acrílico, couro, polipropileno, PVC, papéis, entre outros. Já para o corte de chapas metálicas, recomenda-se a adoção de maquinários de jato d'água, visto que a alta reflexibilidade do material permite ao laser tão somente gravá-lo.⁹⁶ O diferencial destas tecnologias para a joalheria reside nas suas características enquanto processo de fabricação, ao permitir resultados inviáveis a outras tecnologias, como o corte limpo e preciso de materiais frágeis, produção de peças de dimensões muito pequenas ou partes planas com encaixes.⁹⁷

A vantagem do corte preciso em materiais delicados se deve ao fato do equipamento projetar um feixe de laser em uma diminuta área da superfície do material a ser cortado. Esta área – de dimensões tão pequenas que podem ser comparadas a um ponto – é aquecida a temperaturas muito elevadas, resultando na remoção do material apenas nos locais onde o feixe laser é aplicado. Desta forma, a trajetória de projeção do feixe é definida pelas curvas contidas nos arquivos digitais e a projeção do laser, por sua vez, define a área de corte.

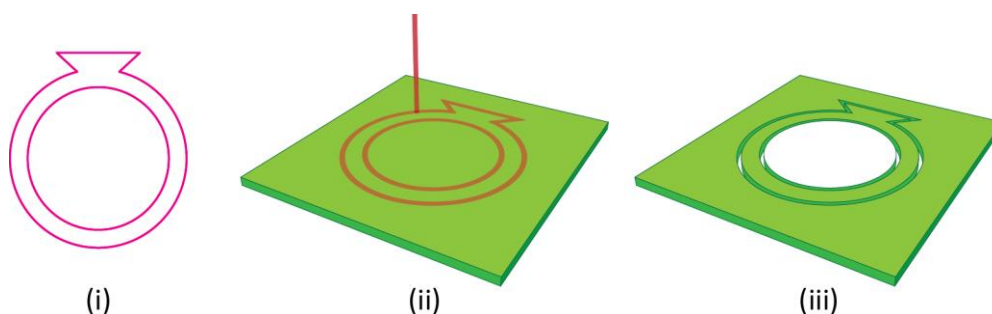


Figura 44: Esquema do corte por laser: (i) desenho em curvas contido num arquivo digital; (ii) varredura do feixe laser no contorno do desenho e (iii) objeto já cortado, mostrando o vazio originado pela projeção do laser.

⁹⁶ YOUNG, Anastacia. **The workbench guide to jewelry techniques**. Loveland: Interweave, 2010, p. 267.

⁹⁷ KULA, Daniel. **Materiologia: o guia criativo de materiais e tecnologias**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012, p. 258.

Outra função do laser é operar como uma ferramenta gravadora. Para esta finalidade, o feixe de laser tem sua intensidade diminuída. É justamente esta redução de intensidade que permite a sensibilização das camadas mais superficiais do material, porém mantendo íntegras as camadas mais profundas.



Figura 45: Peças da joalheria alemã *Niessing*, portadoras de uma delicada volumetria poligonal originada de vincos e dobraduras em uma chapa de ouro. O trabalho artesanal de dobradura foi orientado por marcações realizadas por um sistema de gravação por laser no metal. Fonte: *Red Dot Design Award*.⁹⁸

O corte por jato d'água tem funcionamento análogo ao do laser, sendo apenas substituído por um forte jato d'água contendo material particulado e abrasivo que, ao percorrer o contorno estipulado pelo desenho digital, corta a matéria-prima.

2.6.2 Fabricação indireta

Para efeitos deste estudo, consistem em processos de fabricação indireta aquele ou aqueles que servem à fabricação de moldes ou modelos que serão destinados a processos de fabricação tradicionais, que no caso da joalheria, são os processos de fundição por cera perdida. Ou seja, tais processos não obtêm um produto finalizado, mas tão somente auxiliam os processos de fabricação tradicionais e os tornam mais eficientes.

Reitera-se que a análise a que se propõe este trabalho acadêmico limita-se, tão somente, aos processos de fabricação indireta que possuem importância e relevância para o design de joias contemporâneo.

2.6.2.1 Impressão 3D tipo *Digital Light Processing* (DLP)

O Processamento Digital de Luz ou DLP (do inglês *Digital Light Processing*) é o único processo de fabricação por adição abordado neste estudo baseado em líquidos. Como já fora mencionado anteriormente, processos de

⁹⁸ RED DOT DESIGN AWARD. **Red Dot Award:** Product Design. Disponível em: <<http://red-dot.de/pd/online-exhibition/work/?lang=en&code=12-05354-2014&y=2014&c=180&a=0>>. Acesso em: 25 dez. 2014.

fabricação por adição fundados em líquidos geralmente encontram obstáculos de eficácia, ao serem aplicados à joalheria. São múltiplas as razões, já que as propriedades materiais de partes fotocuradas são insatisfatórias quando comparadas a outros processos, podendo ser comprometidas pela umidade ou mesmo serem especialmente afetadas pela luz ambiente, que continua o processo de cura, podendo modificar diretamente a aparência dos materiais – que ganha tonalidade amarelada – e suas propriedades mecânicas durante o passar do tempo.⁹⁹

Ainda assim, este tipo de impressão permite a produção de joias pelos processos de fundição convencionais, quer seja na confecção de modelos tridimensionais positivos para a obtenção dos negativos em silicone – adotados para a replicação de modelos em cera, tais como no experimento descrito no item 4.1.1.1 deste trabalho – ou na fabricação de modelos que podem ser impressos em uma resina que viabiliza a sua fundição direta. Ao tornar facultativa a necessidade da técnica da injeção de cera no molde de silicone para replicá-los, liberta-se o design da joia das restrições do processo de desmolde. Assim sendo, a impressão por DLP traz maiores possibilidades geométricas ao permitir múltiplas impressões de um único modelo tridimensional virtual.

Softwares especializados fatiam em cortes transversais o arquivo STL do objeto a ser impresso em camadas, culminando na criação de um outro arquivo com esses dados que será enviado à máquina. Esta, por sua vez, cria o objeto através da adição do material escolhido, camada após camada. Para melhor entendimento, basta notar que os dados sobre o objeto são divididos em uma série de cortes 2D do objeto 3D com uma largura finita, para que seja possível à máquina adicionar sequências de camadas para formar a parte física.¹⁰⁰

Como os sistemas DLP são baseados em líquido, o material de construção encontra-se primeiramente liquefeito e a materialização de um objeto se dá através da transformação da matéria para o estado sólido. Seguindo os dados geométricos gerados pelo fatiamento do arquivo, uma luz-UV é projetada por um conjunto de espelhos e lentes em um recipiente contendo uma resina foto-curável, solidificando de uma só vez toda uma camada do objeto. As estruturas de suporte

⁹⁹ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age**. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 59.

¹⁰⁰ GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent. **Additive Manufacturing Technologies**. Nova York: Springer, 2010, p. v/iv.

vão sendo construídas em uma plataforma que fixa o objeto, e conforme ela se movimenta para cima, uma outra camada de resina é curada. Este processo é repetido até que todo o modelo seja impresso.¹⁰¹

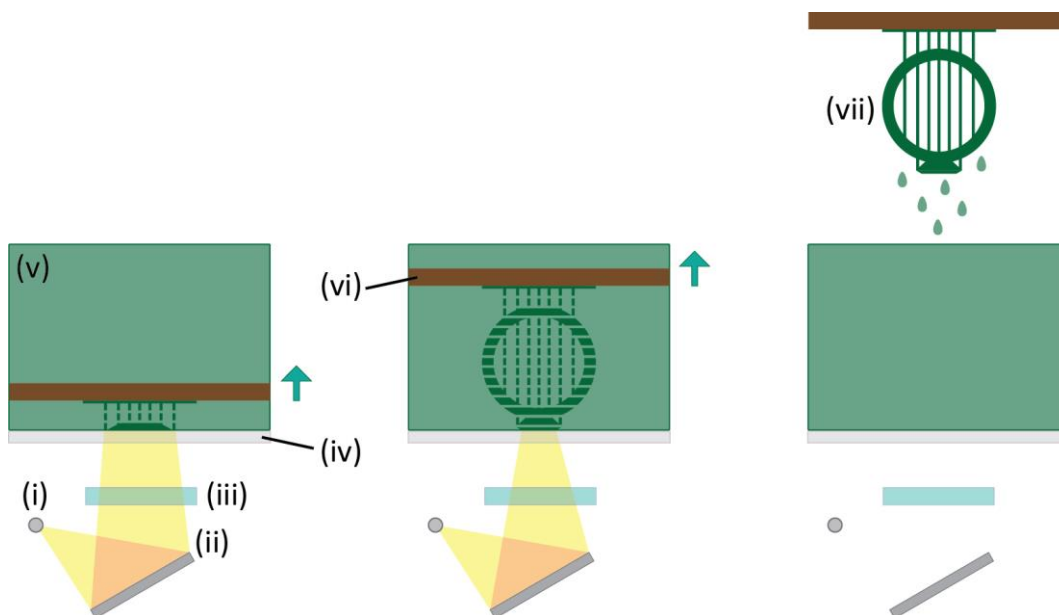


Figura 46: Esquema da impressão por DLP: (i) fonte emissora de luz; (ii) conjunto de espelhos; (iii) lentes; (iv) bandeja transparente; (v) recipiente com resina líquida; (vi) plataforma e (vii) modelo impresso.

O conjunto peça-suporte é levado a uma câmara de fotopolimerização para a melhoria das propriedades físicas do modelo – aumentando sua resistência – e a finalização da cura da resina. Ao final, retira-se manualmente o suporte com ferramentas de corte. Como as camadas que constituem o objeto são da ordem de micrômetros, sendo muito discretas e quase imperceptíveis, a necessidade de acabamento superficial posterior é praticamente eliminada, com exceção das aparas às rebarbas do suporte do modelo com tesouras, alicates e estiletes. Posteriormente, dá-se acabamento com uma lixa fina e solvente, de forma delicada. Além da qualidade superficial dos modelos, essa tecnologia permite impressões altamente detalhadas e em diminutas dimensões, em paralelo à alta precisão dimensional, todos importantes requisitos para as demandas da produção de joias.

¹⁰¹ DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 59.



Figura 47: Exemplo de modelos de anéis impressos pela tecnologia DLP em resina de fundição direta, evidenciando o nível de detalhamento permitido pela tecnologia.

2.6.2.2 Fresagem em cera

A usinagem, como processo de fabricação indireta, possui grande aplicabilidade para o setor da joalheria. Ainda assim, como processo de fabricação de joias por cera perdida, tem sido experimentalmente substituída por tecnologias de fabricação por adição de material¹⁰². Parte se deve às limitações de alcance da ferramenta esculpadora, limitando as geometrias passíveis de obtenção pela usinagem entre outros entraves da tecnologia como o grande desperdício de material e maquinário que requer constante atenção de um operador para a programação e trocas de ferramentas, todos radicalmente superados pela impressão tridimensional por DLP.

Em uma perspectiva mais específica, é a fresagem, um processo particular da usinagem, que é, no caso da joalheria, a técnica aplicada à cera. Neste processo, uma ferramenta de corte conhecida como “fresa de topo”, move-se horizontalmente e, respondendo às instruções do computador e do modelo digital, trabalha a peça removendo-lhe material, em todas as direções. Deve-se ressaltar que a peça também é movimentada pela máquina¹⁰³, permitindo assim maior celeridade no processo de conformação, bem como uma maior gama de geometrias.

¹⁰² KULA, Daniel. **Materiologia**: o guia criativo de materiais e tecnologias. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012, p. 309.

¹⁰³ KULA, Daniel. **Materiologia**: o guia criativo de materiais e tecnologias. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012, p. 309.

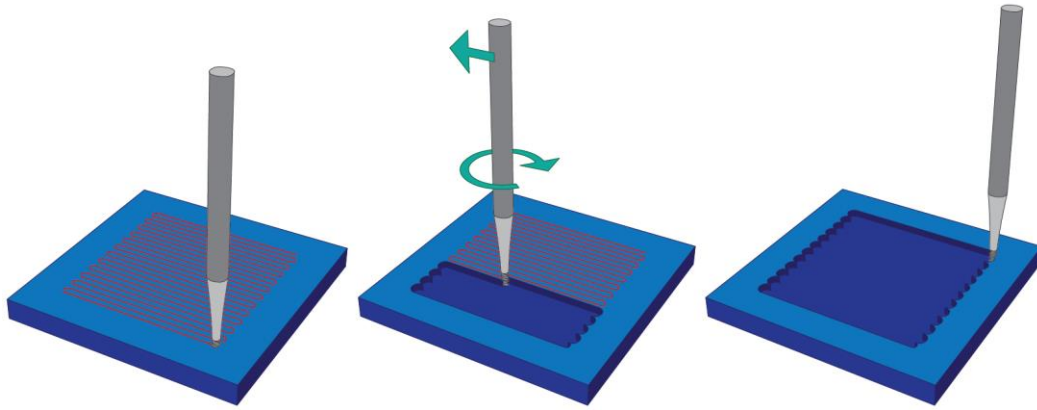


Figura 48: Exemplo de bloco de cera sendo desbastado pela ação de uma fresa de topo.

Contudo, por conta dos problemas listados acima, este processo deveria estar sendo mais utilizado na fabricação direta, para produzir peças ou partes a partir de blocos de madeira, acrílico, entre outros materiais.

2.7 Conclusões

Em síntese, embora as técnicas e tecnologias apresentadas existam há muitos anos no mercado e tenham sido apropriadas por algumas áreas da indústria (como de automóveis), o mesmo só ocorreu na indústria joalheira recentemente. É importante verificar por intermédio de pesquisa as vantagens comerciais e técnicas e no que sua aplicação pode incorrer nesta indústria.

Diante disto, segue-se ao estudo sobre experiências das tecnologias digitais no mercado mundial e nacional.

Capítulo III – Impacto e experiências das tecnologias digitais no mercado mundial e brasileiro

Um passo importante na verificação das vantagens das tecnologias digitais para o ramo da joalheria está justamente na desconstrução da noção de que a manutenção das características de concepção tradicional do produto (através do trabalho do ourives e do modelista em cera) seja uma identidade marcante do setor.¹⁰⁴

Afinal, o que importa a joalheria (ao menos em sua essência), de fato, não é o trabalho manual em si (ou sua manutenção), mas a concepção da peça ou, em suma, o trabalho de criação da forma. Não é incomum, portanto, que peças assinadas por criadores como Antonio Bernardo sejam hoje inteiramente projetadas digitalmente e então produzidas através de tecnologias digitais, sem com isso aceder a qualquer desvalorização do seu trabalho.

Em síntese, ao consumidor não importa o meio, mas o fim – aquilo que se pode averiguar e perceber no ato de consumir. Àqueles que poderiam argumentar que ao consumidor final se poderia vender a ideia do trabalho manual dedicado (o que poderia justificar um diferencial positivo no valor de mercado da joia), se contrapõe o fascínio do público quanto ao uso de uma tecnologia tão nova e cheia de potencial também como valor de mercado, além do diferencial prático de dar ao consumidor o poder de customizar seu próprio produto e visualizá-lo antes mesmo que exista no mundo concreto. O artifício de se incluir uma carga tal de valores em um produto não é incomum na joalheria – na verdade, é uma das suas características:

"Os produtos podem tornar-se únicos e especiais, não só quando oriundos de produções exclusivas, mas também os que serão produzidos em escala industrial (onde são obtidas réplicas a partir de um modelo inicial). A joia é um suporte material do relacionamento social. O seu corpo (sua forma, construção, estilo e funções) torna-se veículo de afirmação de valores, convenções, aspirações, diferenciação, integração e pertencimento pelos privilégios comuns; identidade;

¹⁰⁴ FERREIRA, Cristiano Vasconcellos; SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos; SILVA, Jorge Vicente Lopes da. Exemplos de Aplicações da Prototipagem Rápida. In: VOLPATO, Neri (Ed.). **Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações**. São Paulo: Blücher, 2007. p. 200.

classificação social; preferências e modelos de atitude adotados ou almejados."¹⁰⁵

Com vista nisso, (e superada a noção de que a tradição precisa ser mantida pela pressão do público ou do aspecto financeiro) passar-se-á à análise das diversas experiências práticas, no Brasil e no mundo, da aplicação direta e indireta das tecnologias digitais no ramo da joalheria.

Espera-se, com isso, demonstrar como as tecnologias digitais têm sido subutilizadas no mercado em geral, cujos dados serão mais bem apresentados através dos experimentos do próximo capítulo.

3.1 Fabricação Digital: Revolucionando as formas de comércio

O impacto das tecnologias digitais sobre os processos produtivos no setor de joias gerou resultados interessantes, inclusive possibilitando que um ramo tradicional se adaptasse à realidade *on-demand*, um feito que pode revolucionar uma indústria de US\$ 275 bilhões.¹⁰⁶

Nos Estados Unidos, a empresa *American Pearl* destacou-se no ano de 2014 lançando sua plataforma virtual de personalização dos produtos, literalmente capacitando consumidores para customizarem suas próprias joias.

Para o processo produtivo, a impressão 3D do modelo virtualmente adaptado economiza trabalho por parte do designer de joias e do ourives. A tecnologia reduz o montante inicial para a criação de uma joia, visto que as peças exibidas para a venda não correm risco de não serem vendidas: no site, as joias ainda não existem fisicamente, são apenas ilustrações feitas por técnicas digitais de computação gráfica – chamadas de *renders*. Como não há estoque, a fabricação acontece de acordo com a demanda, o que reduz significativamente o investimento do empresário no negócio.

No site da joalheria, durante a customização de uma joia, é possível escolher itens como diferentes designs, lapidação e cor das pedras, ligas e cores do metal que as compõem ou até mesmo adicionar uma gravação personalizada. Esta infinidade de parâmetros modificáveis viabilizam várias combinações, que

¹⁰⁵ FERREIRA, Cristiano Vasconcellos; SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos; SILVA, Jorge Vicente Lopes da. Exemplos de Aplicações da Prototipagem Rápida. In: VOLPATO, Neri (Ed.). **Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações**. São Paulo: Blücher, 2007. p. 200.

¹⁰⁶ O'CONNOR, Clare. **How A Jewelry Company Is Making \$250,000 Pieces Using 3D Printing And Google Earth**. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/clareoconnor/2014/02/28/how-a-jewelry-company-is-making-250000-pieces-using-3d-printing-and-google-earth/>>. Acesso em: 19 maio 2014.

são então consolidadas em um arquivo digital para impressão do modelo destinado à fundição no metal escolhido. A personalização atinge praticamente todas as faixas de produtos e preços da empresa, alcançando um número muito grande de consumidores.

De forma surpreendente, todo o processo, do momento do envio do arquivo digital pelo site até a entrega do produto finalizado é de até 4 dias¹⁰⁷, com preços mais competitivos do que os concorrentes ainda fundados em processos dependentes de estoque.

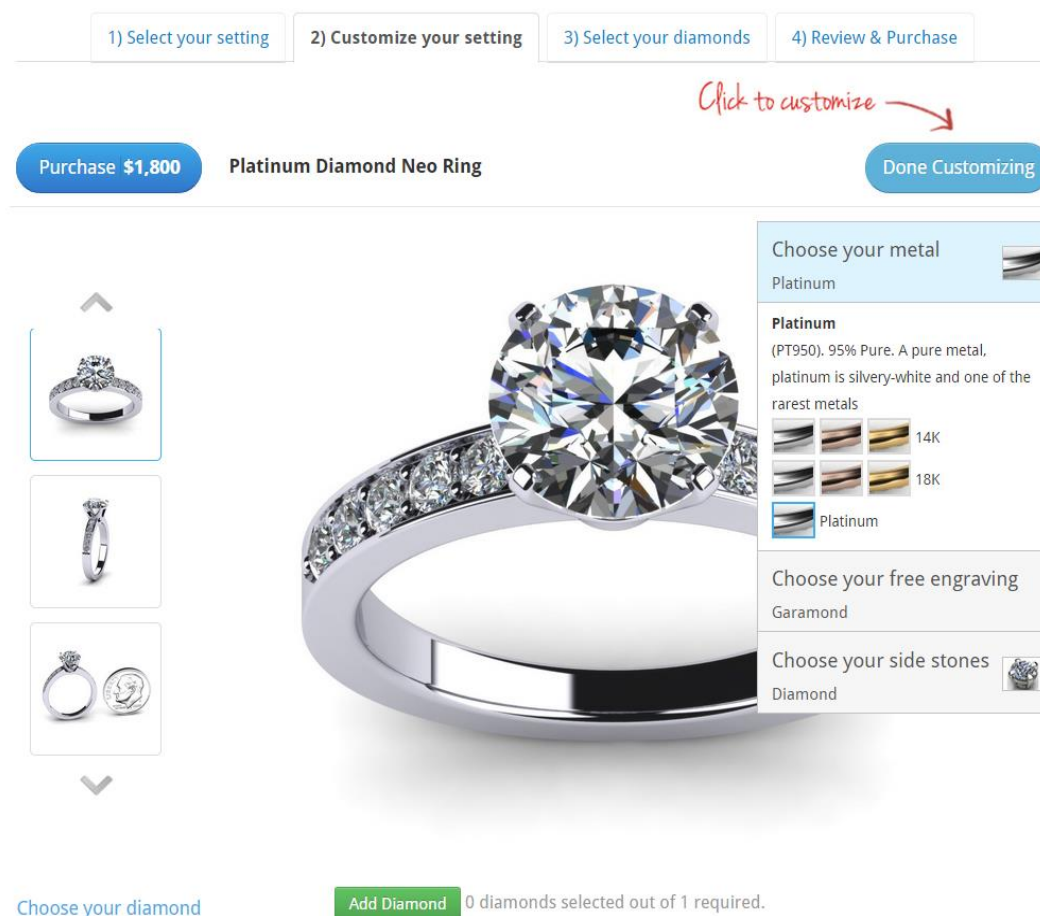


Figura 49: Tela apresentada ao consumidor para a personalização de um anel da joalheria norte-americana American Pearl. Fonte: *Print-Screen* do site da própria.¹⁰⁸

Já o site *brilliance.com* traz o uso da impressão 3D com a finalidade de serviço agregado, i.e., permitindo que seus consumidores experimentem protótipos em nylon de anéis antes de adquiri-los – um efeito da tecnologia sobre

¹⁰⁷ O'CONNOR, Clare. **How A Jewelry Company Is Making \$250,000 Pieces Using 3D Printing And Google Earth**. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/clareoconnor/2014/02/28/how-a-jewelry-company-is-making-250000-pieces-using-3d-printing-and-google-earth/>>. Acesso em: 19 maio 2014.

¹⁰⁸ AMERICAN PEARL. **Neo Diamond Ring .30 carats t.d.w.** Disponível em: <<http://www.americanpearl.com/round-sapphire-platinum-ring-with-diamond.html>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

a interação do produto com o consumidor final. Com um modelo físico em mãos, o consumidor pode ter a experiência real de valores de difícil percepção por uma foto ou *render* como, por exemplo, a interação da peça com o corpo, a verificação se o aro do anel estaria adequado ao tamanho do dedo do usuário ou até mesmo tomar conhecimento das reais dimensões de uma gema.

Segundo o *3D Print Industry*¹⁰⁹, a resposta do mercado tem sido excelente, salvando não apenas tempo e recursos dos consumidores, minimizando a questão de trocas de mercadoria neste tipo de *e-commerce*, mas também da empresa, que pode produzir por demanda e com menos risco.



Figura 50: Anéis e respectivos protótipos em nylon. Fonte: 3D Printing Industry¹¹⁰

Mesmo para os produtores que não trabalham com modelos editáveis, as ferramentas virtuais de análise viabilizam um rápido cálculo do peso do modelo em diversos metais e ligas que variam em sua quilatagem, recurso este voltado ao planejamento da produção, garantindo uma noção bastante precisa da quantidade de material que será empregada no projeto. Isso permite tomadas de decisão importantes, como adequar o projeto ao orçamento, e fazer alterações de acordo com os requisitos do cliente.

Diante destes exemplos, é importante notar que a fabricação digital não é apenas um novo processo de produção fundado em novas tecnologias (como a Internet, realidade virtual, impressão 3D e etc.), mas também um meio de se gerar

¹⁰⁹ 3D PRINTING INDUSTRY. **3D Printed Engagement Rings to Try Out, Now That's a Brilliance Idea**. 2014. Disponível em: <<http://3dprintingindustry.com/2014/04/30/3d-printing-engagement-rings-brilliance/>>. Acesso em: 30 abr. 2014.

¹¹⁰ 3D PRINTING INDUSTRY. **3D Printed Engagement Rings to Try Out, Now That's a Brilliance Idea**. 2014. Disponível em: <<http://3dprintingindustry.com/2014/04/30/3d-printing-engagement-rings-brilliance/>>. Acesso em: 30 abr. 2014.

produção sob demanda que permita a organização, análise e recombinação das informações do produto, implementando e desenvolvendo o design do produto e a simulação da sua função – e com isso alcançando as exigências de qualidade e demanda do consumidor final.¹¹¹

3.2 Fabricação digital: Revolucionando as formas na joalheria

Com o surgimento da Era da Informação e do modelo tridimensional virtual, pela primeira vez, a impressão tridimensional tornaria o trabalho do designer aquele que guiaria a produção do início ao fim do processo, apoderando-se da totalidade do conhecimento de produzir. Afinal, a partir de um modelo virtual em três dimensões seria possível ao designer construir em máquinas computadorizadas o objeto projetado no material escolhido pelo projetista.

Essa fusão automática dos papéis do ourives, do modelista e do designer tornou possível, ao mesmo tempo, a inovação e o desafio das formas tradicionais, já que o pensamento abstrato do designer não estaria mais ignorante às possibilidades restritas pela técnica, mas totalmente consciente das novas possibilidades permitidas por esta nova tecnologia.

“A difusão da modelagem 3D na criação de joias mexe com essas “certezas” e com esses paradigmas, já que o designer que antes expressava a sua ideia no papel através de um desenho artístico ou mesmo de um desenho técnico de sua joia, tem que trabalhar com dimensões precisas na construção dos modelos 3D, como por exemplo espessura de chapa, peso real da peça, espaços internos e externos para a execução dos moldes em borracha ou silicone, etc... Além desses conhecimentos, o designer de joias usando as novas tecnologias terá ainda que entender do processo de prototipagem rápida, das possibilidades que cada uma das tecnologias disponíveis no mercado oferece, das desvantagens e vantagens que cada uma delas, etc.”¹¹²

Esta cascata de novos conhecimentos levaria, já no século XXI, a estudos de experimentação com novas geometrias e novos materiais no design de joias, modificando inclusive a forma tradicional de pensar o design.

“Já quando a joia é projetada através da modelagem 3D, o designer de joias tem que ser também um ‘fazedor de formas’ através de um modo que não é exigido no processo convencional de concepção através do desenho. No processo convencional, o designer cria, na verdade, apenas uma imagem

¹¹¹ CHEN, Dejun.; XIE, Shane.; ZHOU, Zude. **Fundamentals of digital manufacturing science**. Nova Iorque: Springer, 2012, p. 6.

¹¹² BENZ, Ida Elisabeth; MAGALHÃES, Claudio Freitas de. **Interação entre design de joias e novas tecnologias**. 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. p. 4.

do objeto a ser confeccionado. A transposição da forma é feita na realidade através da competência do modelista de joias. Nesta etapa ao modelista de joias é permitido que ‘desenhe’ com o material através de sua enorme gama de conhecimento tácito, e, por conseguinte, realize uma tradução orientada para a produção relativamente eficiente das intenções [do designer]; em efeito o modelista de joias é, essencialmente, o mediador entre o designer e a fase de produção. Mas nos sistemas CAD/CAM, designers, sem experiência suficiente ‘do fazer’, precisam determinar não só as características da joia, mas também as dimensões precisas do objeto, ou seja, eles têm que fazer uso, na verdade, de uma forma mais ‘engenheira’ para criar as imagens”.¹¹³

No entanto, estas experimentações de novas geometrias e novos materiais amparadas na fabricação digital ainda têm sido muito tímidas ou limitadas a resolução de problemas tradicionais, tais como, facilidade de criação de moldes, celeridade de produção, produtividade, economia no processo de modelagem, entre outros.

Como exemplo da prévia estagnação do pensar design, tem-se as joias abaixo nas figuras 51 e 52, que embora estejam separadas por quase três mil e quinhentos anos de história e desenvolvimento tecnológico, apresentam o mesmo tipo de articulação feita a partir do princípio de pinos. Somente com o surgimento da impressão 3D foi possível aos designers projetarem e fabricarem diretamente partes integradas e articuladas, dispensando montagem e soldagem posterior, permitindo, ainda que conceitualmente, que se desafie modelos antigos. Daí a crítica à replicação de padrões adequados às técnicas anteriores se valendo de uma tecnologia que permitiria ir muito além do que já foi feito.

Na sequência, dá-se início ao estudo documental e histórico da aplicação prática destes processos no âmbito nacional, em especial do Estado do Rio de Janeiro, através de iniciativas públicas e privadas.

¹¹³ SIU, Norman W. C. ; DILNOT, Clive. **The challenge of the codification of tacit knowledge in designing and making**: a case study of CAD systems in the Hong Kong jewellery industry, 2001. In: BENZ, Ida Elisabeth; MAGALHÃES, Claudio Freitas de. **Interação entre design de joias e novas tecnologias**. 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. p. 6.



Figura 51: Braceletes egípcios, circa 1479–1425 A.C, com articulações e fechos construídos a partir do princípio de pinos. Fonte: The Metropolitan Museum of Art¹¹⁴



Figura 52: Bracelete articulado impresso diretamente em ouro 18K, dispensando a necessidade de montagem de partes isoladas e sua posterior soldagem, tais como as técnicas anteriores. Fonte: Nervous System¹¹⁵

3.3 Projeto AJORIO / IBGM / INT

A primeira iniciativa que merece destaque no ramo do design de joias, no Brasil, se deu somente entre os anos de 2001 e 2002, sob o projeto “Centro de Prototipagem Rápida” do INT¹¹⁶, que foi possível com o apoio da FAPERJ¹¹⁷, do IBGM¹¹⁸ e da AJORIO¹¹⁹.

¹¹⁴ THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. **The Collection Online**. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/collection/the-collection-online/search/545163>>. Acesso em: 12 maio 2014.

¹¹⁵ NERVOUS SYSTEM. **Nervous System Blog**: Kinematics 3D Printed In Gold. Disponível em: <<http://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=5451>>. Acesso em: 05 maio 2014.

¹¹⁶ Instituto Nacional de Tecnologia.

¹¹⁷ Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro.

¹¹⁸ Instituto Brasileiro de Gemas e Metais.

¹¹⁹ Associação de Joalheiros do Rio de Janeiro.

Líder da iniciativa, o pesquisador Ph.D. Jorge Roberto Lopes dos Santos já escrevia em 2007 sobre o estado do uso das tecnologias digitais no Brasil – e que, de certo modo, reflete a visão tímida e conservadora com que o mercado brasileiro entendia a relação entre a tecnologia e a necessária conservação das formas tradicionais de produção:

“O setor joalheiro nacional incorporou recentemente algumas tecnologias que agilizam o processo de construção de protótipos e detalhamento de projetos, tais como fresadoras de alta velocidade, sistemas de prototipagem rápidas e *softwares* 3D, objetivando otimizar o processo de confecção e desenho dos seus produtos. Estas tecnologias encontram-se em fase de adaptação. O uso recente dessas novas tecnologias na construção de protótipos deverá e/ou poderá contribuir para o aumento da produtividade do segmento, principalmente se forem utilizadas de forma complementar ao sistema atual de fabricação. É importante estabelecer uma harmonia de atividades, onde o uso de tecnologias não tenha um caráter meramente substitutivo, e sim complementar às atividades existentes. Isto significa a possibilidade de manutenção das atividades de concepção tradicional e fabricação artesanal (estudos, ilustrações e atividades de ourives), utilizando novas ferramentas como, por exemplo, os sistemas 3D, para onde são transferidos e/ou gerados os aspectos artísticos diferenciais que tornam um projeto inovador, principalmente pela ocorrência da interferência humana direta no ato de criação.”¹²⁰

É importante notar ainda, que o aspecto tradicional da produção pela indústria nacional ainda envolvia a conservação do desenho conceitual das peças a mão livre - o que, segundo os profissionais da época, garantia uma maior liberdade de criação. Depois de aprovados, esses desenhos eram transferidos para o computador e convertidos para o sistema CAD para a futura impressão do modelo em resina que seguiria as etapas convencionais do processo de fundição por cera perdida. As dificuldades surgiam assim, no contínuo distanciamento entre o papel do designer e do ourives, já que além dele surgiu uma nova figura intermediária: o "cadista" – profissional que trabalha nos sistemas CAD que convertia o trabalho do designer em um modelo tridimensional virtual.

E certo afirmar, assim, que a unificação de todos esses papéis depende exclusivamente de dois pontos: (i) o aprendizado individual do designer sobre a utilização dos sistemas CAD, as tecnologias de fabricação e aplicações (que só

¹²⁰ FERREIRA, Cristiano Vasconcellos; SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos; SILVA, Jorge Vicente Lopes da. Exemplos de Aplicações da Prototipagem Rápida. In: VOLPATO, Neri (Ed.). **Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações**. São Paulo: Blücher, 2007. p. 201.

viria a ocorrer recentemente, com a introdução desta disciplina em universidades, cursos livres e de extensão) ou (ii) a simplificação da interface dos programas de sistemas CAD, que também somente ocorreu recentemente.

O INT, fundado em 1921, tem historicamente participação ativa no desenvolvimento – e até mesmo no incentivo – da assimilação nacional de soluções tecnológicas para as atividades de produção, razão primária para que estivesse envolvido em uma iniciativa que englobava as tecnologias digitais, até então consideradas o próximo núcleo da nova revolução industrial.

É compreensível, portanto, que o projeto em questão tenha seguido à sua operacionalização logo após sua implantação, com o objetivo, inclusive, de desenvolver novas formas de modelagem tridimensional virtual que permitissem um melhor acabamento dos protótipos produzidos através destas tecnologias digitais, facilitando os processos de fabricação tradicionais posteriores, como a fundição por cera perdida.

À época, a impressora 3D adquirida pelo IBGM e doada ao Centro de Prototipagem Rápida do INT, permitia que se obtivesse rapidamente um protótipo impresso com base em um modelo 3D, no que consistia no que se chamava na época de prototipagem rápida – e que até então não era utilizada no setor de joias no Brasil.

As vantagens para o mercado, quando da sua introdução, seriam de produzir modelos com maior precisão dimensional e complexidade geométrica – e também maior rapidez do que os processos tradicionais (de uma média de sete dias para 1 dia na construção de um protótipo) – embora este último aspecto tenha se desenvolvido bastante desde então.

Com relação à precisão dimensional, a atuação do Centro de Prototipagem Rápida do INT que merece destaque é o caso Art'Lev, em que o principal desafio consistiu na aplicação de marcas figurativas na superfície das joias, tal como na figura 53. Certamente não poderia haver distorções de forma que impedissem as pessoas de reconhecer as marcas, bem como nos textos que foram inseridos ao seu redor, que deveriam poder ser interpretados – e cuja inclusão com precisão não seria possível, pelo processo tradicional da modelagem em cera manual. O uso da projeção da marca na superfície do modelo virtual e a impressão do protótipo, então, foram uma necessidade e um diferencial.



Figura 53: Anel da Art'Lev com a marca figurativa da *Harley-Davidson*. Fonte: Arquivo do INT.

Com relação à experimentação com novas geometrias, merece destaque o caso de um dos experimentos realizados com uma das peças da Antônio Bernardo. Assim estão descritas as experimentações, tal como foram incorporadas ao Projeto de Operacionalização do Primeiro Centro de Prototipagem Rápida da América Latina para o Setor de Gemas, Joias, Bijuterias e Afins:

“Neste modelo foram experimentadas duas alternativas distintas para a solução das dificuldades encontradas. A primeira, para melhorar a distribuição do metal fundido no preenchimento do molde durante o processo de fundição, foi feita a inclusão do modelo de cera, dos canais de injeção que anteriormente eram acrescentados após a confecção do protótipo piloto.

A segunda, por se tratar de um modelo extremamente delicado em forma de espiral. Esta espiral gera uma força como uma mola, que tende a se desenrolar fraturando sua frágil superfície. Para evitar que isso aconteça foram criadas quatro nervuras de ligação entre cada volta da espiral que serão retiradas após a fundição, já que quando o modelo se torna metálico passa a ser mais resistente a estas forças.”¹²¹

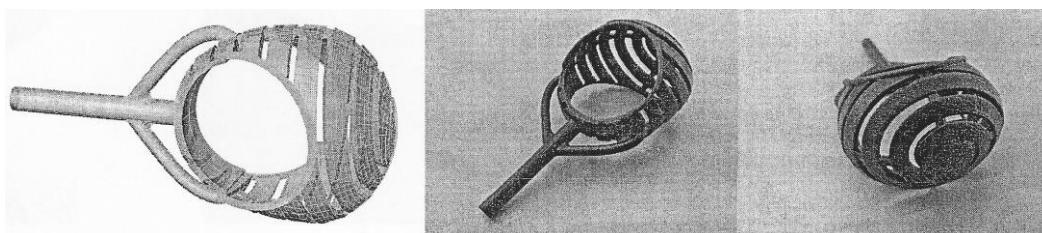


Figura 54: Modelo virtual em NURBS do anel do Antônio Bernardo e seu modelo físico já impresso com as nervuras de ligação. Fonte: Projeto de Operação do Primeiro Centro de Prototipagem Rápida da América Latina para o Setor de Gemas, Joias, Bijuterias e Afins¹²².

¹²¹ SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos. **Projeto de Operação do Primeiro Centro de Prototipagem Rápida da América Latina para o Setor de Gemas, Joias, Bijuterias e Afins**. Rio de Janeiro, 2001, p. 3.

¹²² SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos. **Projeto de Operação do Primeiro Centro de Prototipagem Rápida da América Latina para o Setor de Gemas, Joias, Bijuterias e Afins**. Rio de Janeiro, 2001, p. 3.

Infelizmente, embora pudesse ampliar a capacidade do designer de joias, a iniciativa não obteve êxito, já que o setor produtivo, até então, costumava realizar os desenhos das peças à mão. O esforço principal do Centro de Prototipagem Rápida do INT, assim, esteve na formação e treinamento de bolsistas e profissionais e no fomento de cursos de especialização que fizessem da modelagem tridimensional virtual sua principal ferramenta de criação de joias – induzindo o surgimento de uma nova cultura profissional nacional.

As novas tecnologias implementadas pelo Centro de Prototipagem Rápida do INT envolviam também escâneres 3D, com a finalidade de – em processo análogo ao de engenharia reversa – permitir ao designer incluir em seus projetos peças já produzidas por processos de escultura manual. Uma outra aplicação inovadora deste tecnologia se deu na adaptação de obras de arte em joias, como no caso Venétia Santos, em que uma escultura da artista foi digitalizada e suas dimensões proporcionalmente reduzidas para tornar possível a produção de um protótipo de joia para a fundição do que é uma perfeita reprodução da escultura original, como pode-se conferir na figura 55.



Figura 55: Escultura de Venétia Santos e pingente feito a partir da digitalização da escultura. Fonte: A cor da casa¹²³

Assim, se antes as tecnologias digitais eram consideradas como “um sistema complementar ao trabalho tradicional”, isto não é absoluto hoje. A

¹²³ A COR DA CASA. **Na onda da arte + inovação**. Disponível em: <<http://acordacasa.com.br/2014/07/03/na-onda-da-arte-inovacao/>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

modelagem digital pode hoje subsistir isoladamente, como principal forma de construção de novas peças pelo designer – e mesmo peças finalizadas podem ser obtidas através de processos produtivos oriundos exclusivamente das tecnologias digitais, existindo hoje equipamentos e *softwares* especializados em sua produção.

A assimilação das tecnologias digitais pelo mercado de joias brasileiro, embora não tenha ocorrido tão rápido como pretendia o Centro de Prototipagem Rápida do INT, acelerou-se esta iniciativa pioneira, cuja principal realização pode a de ter sido o fomentador de conhecimentos e pesquisas voltados à aplicação das tecnologias digitais no design de joias no Brasil, além de permitir a interação entre os profissionais da ramo e sua atualização quanto ao uso das tecnologias digitais. Por essa e outras iniciativas, o movimento de transição dos designers para o uso das tecnologias digitais tem avançado, por várias razões, entre elas: (i) novas possibilidades técnicas e vantagens econômicas que não seriam possíveis com a tecnologia tradicional; (ii) o pouco tempo exigido de aprendizado e treinamento; (iii) a motivação para se aprender uma nova tecnologia; e (iv) fabricação em acordo com as especificações do projeto, sem possibilidade de desvios ou erros.¹²⁴

3.4 Projeto de implementação de novas tecnologias na criação e produção de joias (INOTEC)

Embora a iniciativa de parceria do IBGM e da AJORIO com o INT tenha sido a primeira, no sentido de provocar a absorção das tecnologias digitais de fabricação (com foco na modelagem 3D e da prototipagem rápida) pelas empresas de joias brasileiras, uma outra proposição merece um estudo com foco.

Para isso, a pesquisa empírica da DSc. Ida Elisabeth Benz junto ao Projeto INOTEC¹²⁵, em parceria com empresas participantes do Arranjo Produtivo Local de Joias e Bijuterias – APL Joia Carioca e a PUC-Rio, mostra-se bastante valiosa. A tecnologia então utilizada em 2007 pelo INOTEC e apresentada às empresas brasileiras foi a usinagem que traz grande vantagem competitiva em relação ao

¹²⁴ BENZ, Ida Elisabeth. **Inovação no processo de design de joias através da modelagem 3D e da prototipagem rápida**. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009, p 114.

¹²⁵ O INOTEC (Projeto de implementação de novas tecnologias na criação e produção de joias) foi aprovado no âmbito da Chamada Pública MCT/FINEP/SEBRAE - 10/2005.

mercado – tem baixo custo, grande precisão e aceita uma grande variedade de materiais.¹²⁶

Em primeiro momento, a adaptação das empresas brasileiras à nova tecnologia mostrou-se complicada, visto que as peculiaridades de trabalho, do processo criativo e mesmo da cultura informal de cada empresa não tornaram possível unificar o fluxograma de trabalho de todas as participantes do programa no momento da implementação da inovação, dificultando sua absorção. Em alguns casos, como na iniciativa anterior do INT, os desenhos técnicos ainda eram feitos à mão – ou então constituíam meros rascunhos do produto final.¹²⁷

Isto nos demonstra que ao designer esteja disposto a trabalhar com as tecnologias digitais de fabricação não cabe apenas o aprendizado sobre o uso de *softwares* e recursos informacionais, mas também a expertise da técnica em joalheria.

Por isso mesmo, no caso da iniciativa do INOTEC, notou-se que a absorção das novas tecnologias pelas empresas brasileiras não teria sido espontânea. Não fosse uma fonte externa de incentivo, é possível que os profissionais jamais tivessem buscado estas novas tecnologias, permanecendo com o uso das tecnologias já conhecidas indefinidamente. Nem mesmo quando confrontados com as vantagens do uso das novas tecnologias, buscaram os designers e empreendedores brasileiros estudar suas possibilidades e adequar-se ao seu uso.

Em fato, no projeto em questão, nenhuma das empresas produziu uma peça inteiramente dentro da plataforma virtual, utilizando-se de todas as novas possibilidades de construção de peças garantidas pela nova tecnologia. A experiência se deu, praticamente, com a conversão de objetos de construção tradicional para a plataforma digital – esta conversão por uma equipe estranha à equipe de criação das joias sem dúvida extinguiu todas as possibilidades exploratórias da experimentação.

¹²⁶ BENZ, Ida Elisabeth. **Inovação no processo de design de joias através da modelagem 3D e da prototipagem rápida**. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009, p 116.

¹²⁷ BENZ, Ida Elisabeth. **Inovação no processo de design de joias através da modelagem 3D e da prototipagem rápida**. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009, p 119 e 120.

Esta questão demonstra também aquilo que se verificou na introdução do presente estudo e reiterou-se neste capítulo – a necessidade de se incluir o ensino para o uso destas plataformas em universidades, cursos técnicos e cursos de extensão. Esta tendência é relevante para transformar o designer de joias – como qualquer profissional do design – em um usuário das novas tecnologias, gerando assim uma transformação do mercado.

Por outro lado, a tecnologia utilizada, que exigia conhecimento técnico para a troca constante das fresas e a presença constante de um profissional habilitado, dificilmente poderia ser absorvido pelas empresas brasileiras participantes sem com isso incorrer em aumento de custo.¹²⁸ Nesse sentido:

“Mesmo que o designer adquira todos os conhecimentos técnicos necessários para acumular as funções de: i. Criar as joias, ii. Modelá-las em um programa CAD, iii. Preparar as estratégias de prototipagem em um programa CAM, iv. Acompanhar o processo de prototipagem fazendo todos os ajustes necessários para cada etapa, e v. Fazer, no final, a suspensão das “hastes” manualmente através de serra e lima, o trabalho técnico e demorado de prototipagem da peça consome tempo de criação de novos modelos. Apesar dele conseguir com o acúmulo de todas estas funções um maior controle do processo de modelagem, em um processo industrial onde a especialização de funções garante uma maior velocidade de produção, este acúmulo criaria um gargalo e uma sobrecarga para o(s) designer(s).

O ideal para uma empresa de joias seria dividir o processo em uma equipe formada por designer(s), que cuidariam da criação e da modelagem 3D das peças, e técnico(s) em prototipagem rápida, responsável por todo o processo de execução do modelo. Trabalhando lado a lado, os dois poderiam trocar ideias durante os processos de criação/modelagem e prototipagem, e teriam tempo de se especializarem em suas funções, realizarem pesquisas as novidades de cada uma das áreas.”¹²⁹

3.5 Conclusões

Ora, diante disso, o conhecimento de fabricação tradicional de joalheria não estaria integrado às novas tecnologias, além de ter sido criado o “cadista”,

¹²⁸ BENZ, Ida Elisabeth. **Inovação no processo de design de joias através da modelagem 3D e da prototipagem rápida**. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009, p 125.

¹²⁹ BENZ, Ida Elisabeth. **Inovação no processo de design de joias através da modelagem 3D e da prototipagem rápida**. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009, p 125.

uma terceira pessoa que estaria entre o trabalho do designer e o ourives. Isto em nada avança na liberdade de criação do designer em relação à indústria tradicional, como possibilitado pelas tecnologias digitais de fabricação. No caso do INOTEC, na verdade, talvez a questão tenha sido justamente a tecnologia escolhida e o momento de desenvolvimento desta tecnologia:

“Como pode ser visto, o processo é muito trabalhoso e dispendioso para que seja usado na execução de peças que podem ser feitas de modo mais rápido através do processo tradicional (modelista). Por isso a autora acredita que os dois processos irão conviver paralelamente até que a tecnologia se torne mais simples, e sua capacitação se torne mais acessível.”¹³⁰

Tendo em vista esta conclusão do projeto do INOTEC e os resultados da iniciativa do INT, mostrou-se necessária, para uma análise mais atualizada e prática das possibilidades das tecnologias digitais na joalheria, a experimentação quanto à aplicação destas tecnologias junto a uma empresa carioca de joias. Os dados dos resultados estarão expostos na medida em que são aferidos, demonstrando assim de imediato o potencial das tecnologias empregadas.

¹³⁰ BENZ, Ida Elisabeth. **Inovação no processo de design de joias através da modelagem 3D e da prototipagem rápida**. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009, p 125.

Capítulo IV – Diferenciação e experimentação

A revolução das tecnologias digitais – programas de desenho e tratamento de imagem, escaneamento 3D e fabricação digital – chegou até mesmo para a joalheira, um setor condicionado aos processos de produção artesanais para construir, distinguir e valorizar os seus produtos.

Tal como no segmento de alta costura, a joalheria permaneceu por séculos atida e detida na arte e avessa à forma homogeneizada com que os avanços tecnológicos guiaram o desenvolvimento de produtos e a produção de protótipos em vários ramos industriais.¹³¹ Ou seja, o setor ateve-se sobre o desenvolvimento das técnicas de ourivesaria e modelagem em cera para fundição, inserida em um contexto definido principalmente pelos materiais de alto valor e produtos personalizados ou semi-industriais.

Desta maneira, o setor se deteve ao contexto tradicional, em grande parte, devido a certas características do processo artesanal envolvido na produção de joias, que garante ao artista, designer ou empresa a possibilidade de desenvolver designs exclusivos e peças únicas, valorizadas pela dedicação exclusiva e direta de profissionais na sua produção, que impregna seus traços pessoais – tal como na escultura.

No caso da modelagem em cera, técnica de escultura tradicional do setor joalheiro, o trabalho inicia com a concepção da peça em uma representação bidimensional (desenho artístico ou técnico), seguindo-se à produção de um modelo de cera que deveria ser esculpido à mão com ferramentas precisas. Este trabalho, além de despender tempo, poderia ser atrasado pela quebra do modelo de cera durante o processo, dada a sua fragilidade. Finalizado este modelo, teria-se, pela primeira vez, a visualização tridimensional da peça terminada – de modo que mudanças que fossem consideradas necessárias no seu desenho ou estrutura

¹³¹ FERREIRA, Cristiano Vasconcellos; SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos; SILVA, Jorge Vicente Lopes da. Exemplos de Aplicações da Prototipagem Rápida. In: VOLPATO, Neri (Ed.). **Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações**. São Paulo: Blücher, 2007. p. 200.

anulariam todo o esforço do profissional até este momento, exigindo retrabalho ou mesmo o recomeço de todo o processo.

Em seguida, haveria a produção de um molde que permitisse a fundição do metal precioso. Após a fundição, seria mais fácil para o profissional trabalhar no material mais duro, escavando a peça para acabamento ou economia de matéria-prima e redução do peso do produto. Infelizmente, esse processo é dificultado pela imprecisão do trabalho manual, com duas consequências: (i) desperdício de matéria-prima, já que no esforço de reduzir ao máximo as paredes da joia, as ferramentas do profissional encontram limitações geométricas e estruturais nas peças, não havendo outra opção que não a produção de joias com mais material, e (ii) irregularidades no peso e nas dimensões entre peças que deveriam ser seriadas, problema esse que além de atingir diretamente o cálculo de custo de cada peça, arrisca o relacionamento do artista, designer ou empresa com seu consumidor final.

Considerando que todos os contratempos apontados não podem ser resolvidos pelo processo tradicional de produção de joias – já que todos decorrem dele – o desafio seria a busca de um processo alternativo que solucionasse esses problemas, mantendo o diferencial da tradicional modelagem escultórica em cera.

Como visto anteriormente, as tecnologias digitais não são exatamente uma novidade, e vêm há muito amplificando o trabalho do designer em diversos outros setores. A utilização dos sistemas CAD, por exemplo, revolucionou diversos setores de engenharia de produtos, inclusive acelerando o tempo de colocação desses produtos no mercado.

A diferença, para a joalheria atual, está na criação de *softwares* e dispositivos que facilitam a interação do profissional com o desenho tridimensional. Aliados a sistemas de escaneamento digital, fresadoras de alta precisão, sistemas de prototipagem rápida ou fabricação digital 3D por adição adequados à precisão exigidas pelo setor, torna-se atualmente possível a capacitação dos profissionais deste setor através de pouco treinamento técnico, para a completa transposição ou integração do processo tradicional aos processos digitais.

Assim, o objetivo deste experimento foi buscar um novo processo digital de criação de joias que elimine os problemas do processo tradicional de produção e que mantenha todas as características e identidade deste setor.

A metodologia utilizada para isto foi o estudo de caso.¹³² Os problemas apontados são tanto técnicos quanto comerciais, já que nascem de uma demanda prática do setor. Os resultados, embora não demonstrem de forma cabal a adaptação do setor e sua conversão, certamente apontam para esta capacidade em longo prazo.

4.1 O artesanal e novas tecnologias no design de joias

Este estudo de caso surgiu da demanda de uma empresa do setor joalheiro que visava a solução de problemas complexos de produção que não puderam ser resolvidos de forma completa ou eficiente através de processo tradicional.

A empresa foco deste estudo encontra-se inserida no ramo de joias em metais preciosos, tendo como um dos principais diferenciais de seus produtos perante os concorrentes a perícia e artesanania de suas joalheiras, isto é, o aspecto único que é dado aos seus produtos como resultado do processo artesanal de criação de seus produtos. Não se trata, como já dito, da mera manutenção dos processos de fabricação tradicional por conta de uma percepção de valor de mercado, mas sim a conservação – e quem sabe a ampliação – do estilo criativo e do nível de detalhes que permite a artesanania como um método tradicional de produção.

A própria empresa concluiu que utilizando novas tecnologias (escaneamento e modelagem digital) seria possível resolver seus problemas de design, de produção e de custo. Desta maneira, a empresa aplicou e recebeu recursos do governo estadual através de um edital da FAPERJ. No entanto, apesar de adquirir tecnologias como o escâner 3D, a empresa não possuía conhecimento técnico para utilizá-lo e nem acesso a prestadores de serviço, que em sua maioria não aceitaram o desafio imposto pelos seus objetivos técnicos e comerciais.

¹³² EISENHARDT, Kathleen M.. **Building Theories from Case Study Research**. The Academy Of Management Review. Nova Iorque, p. 532-550. out. 1989.



Figura 56: Alguns produtos da empresa do estudo de caso em questão: (i) pingente “Beatriz e os Balões”; (ii) pingente “Pinocchio”, (iii) pingente “Coelho da Alice”; (iv) pingente “Sofia” e (v) anel “Alice na Xícara”.

Em um ramo onde a matéria-prima possui custo elevado como o ouro, todo material passível de ser retirado ou não empregado resulta em grande economia ao se considerar toda a linha de produção, mesmo que ao se observar uma única peça a redução aparente seja insignificante.

Ainda com relação ao custo, outra questão que deve ser solucionada por este estudo é o da redução máxima da dimensão das peças e, consequentemente, de seu peso, sem com isso sacrificar muito do seu nível de detalhamento; buscando assim uma tecnologia que permita este tipo de otimização com o diferencial de guardar as características únicas que a produção artesanal teria até então garantido.

Sendo assim, foi necessária uma abordagem experimental para a aplicação de tecnologias digitais nos seus processos produtivos. Desta maneira, a experimentação e investigação característica de um ambiente de pesquisa mostrou-se determinante para a pesquisa dos processos produtivos e solução do problema.

Os objetivos específicos da pesquisa foram: (i) diminuir o peso final dos produtos (diminuição da quantidade de metal nobre); (ii) padronizar a quantidade de material a ser utilizado em cada peça (já que qualquer pequena flutuação teria grande impacto sobre o cálculo do preço final de cada peça e sua oferta ao consumidor final); (iii) reduzir a dimensão das peças, mantendo o nível de detalhes e (iv) aumentar o valor agregado dos produtos (encaixes mais precisos, articulações mais sofisticadas e maior variedade de texturas). Além disso, neste

caso específico, há a exigência que as joias, além de manterem as características peculiares tradicionais da empresa, sejam produzidas em pequena escala.

4.1.1 Problemas dos processos artesanais

A opção de utilização dos metais preciosos como matéria-prima nos produtos tornava relevante, principalmente, dois fatores integrados: (i) A relação peso das peças e a quantidade e uniformidade de material, já que qualquer pequena flutuação teria grande impacto sobre o cálculo do preço final de cada peça e sua oferta ao consumidor final; e (ii) a possibilidade de redução das dimensões das peças, a manutenção e melhoria dos detalhes e texturas e a inclusão de articulações e encaixes.

4.1.1.1 Redução do peso e material final dos produtos

Para o processo tradicional de modelagem e fundição por cera perdida o procedimento de redução do material nas peças é trabalhoso e, de fato, em certos casos pode não ser executável.

A técnica de modelagem em cera é comumente adotada por artesãos na produção de joias fabricadas a partir de fundição. Como existem atualmente duas técnicas principais de modelagem em cera, isto é, (i) aquela que se vale das ceras macias, que são comercializadas em lâminas e fios maleáveis e (ii) a que trabalha com ceras rígidas em blocos e tubos de diferentes formatos, tamanhos e durezas, é importante esclarecer que este artigo cobrirá a segunda. Nesta técnica, o processo de confecção de uma joia inicia-se pela conformação de cera de joalheria nas formas tridimensionais desejadas.

Com o auxílio de ferramentas para odontologia e protéticos (tais como escavadores, espátulas e curetas), máquinas elétricas (micro retíficas e pirógrafos), arcos de joalheria, serras e até mesmo agulhas, profissional removem material de um bloco ou tubo de cera, gentilmente esculpindo formas que apresentam detalhes como texturas, marcas de ferramenta e inscrições. Algumas minúcias também podem ser acrescentadas pela aplicação de cera fundida em determinadas áreas da superfície de um modelo.¹³³ É importante notar que modelos de grandes volumes

¹³³ PIERCE, Ruth. **Creative Wax Carving**: For The Hobbyist, Sculptor & Serious Jewelry Designer. Denison: Ruth Pierce Designs, 1989, p. 34.

normalmente precisam ter seu interior cavado¹³⁴, originando peças cuja espessura mínima de parede tem o objetivo de estar em conformidade com os requisitos da fundição em metais preciosos que serão listados ao longo deste estudo. Após alcançarem a forma desejada, é dado acabamento superficial nos modelos com o auxílio de materiais e substâncias abrasivos, a exemplo de lixas d'água, palha de aço e solvente de cera.

Deste modelo positivo se extrai um molde negativo em silicone, que será utilizado para replicar várias cópias ao injetar-se cera em sua cavidade. Estas cópias têm seus canais de ataque fixados a um cilindro, igualmente conformado em cera de joalheria. A esse conjunto composto por modelo, canais de ataque e cilindro denomina-se árvore. Esta é posicionada em um recipiente que será posteriormente revestido por uma mistura de gesso e água que endurecerá à temperatura ambiente. O sólido conjunto é levado à estufa, onde a cera irá aquecer com o calor, fundir e escoar, gerando um molde negativo da árvore de cera. Este molde é calcinado para ganhar propriedades de superfície interna e o metal é vertido para o seu interior por intermédio de uma tecnologia de fundição (normalmente centrífuga ou vácuo) ou manualmente. O molde em gesso é arrefecido em água, partindo-se por choque térmico, o que possibilita a retirada da árvore metálica de seu interior.¹³⁵¹³⁶ As peças são extraídas do conjunto e seguem para a finalização, o que inclui montagens, soldagens, polimentos, cravações, esmaltações, entre outras técnica de joalheria. O fluxo de trabalho da fundição por cera perdida encontra-se sintetizado no esquema da figura 57.

Entretanto, a cera de joalheria é um material delicado e quebradiço, podendo rachar ou partir, o que dificulta a modelagem de peças muito pequenas e delgadas. Ao se quebrar, um modelo raramente arruína um trabalho definitivamente, mas seu reparo demanda um trabalho extra por parte do artesão.

¹³⁴ TSUYUKI, Hiroshi. **Basic Wax Modeling: An Adventure in Creativity**. 2ª. ed. Japão: Matsubara-Kashiwa Books Inc., 1999, p. 20.

¹³⁵ KLIAUGA, Andréa Madeira; FERRANTE, Maurizio. **Metalurgia Básica para Ourives e Designers: do Metal à Joia**. São Paulo: Blucher, 2009, p. 187.

¹³⁶ SCAGLIUSI, Natascha. **Joias destinadas à coleção The Girl who lived in a Tree de Alexander McQueen**. 2011. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Desenho Industrial Habilitação Projeto de Produto, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011, p. 18.

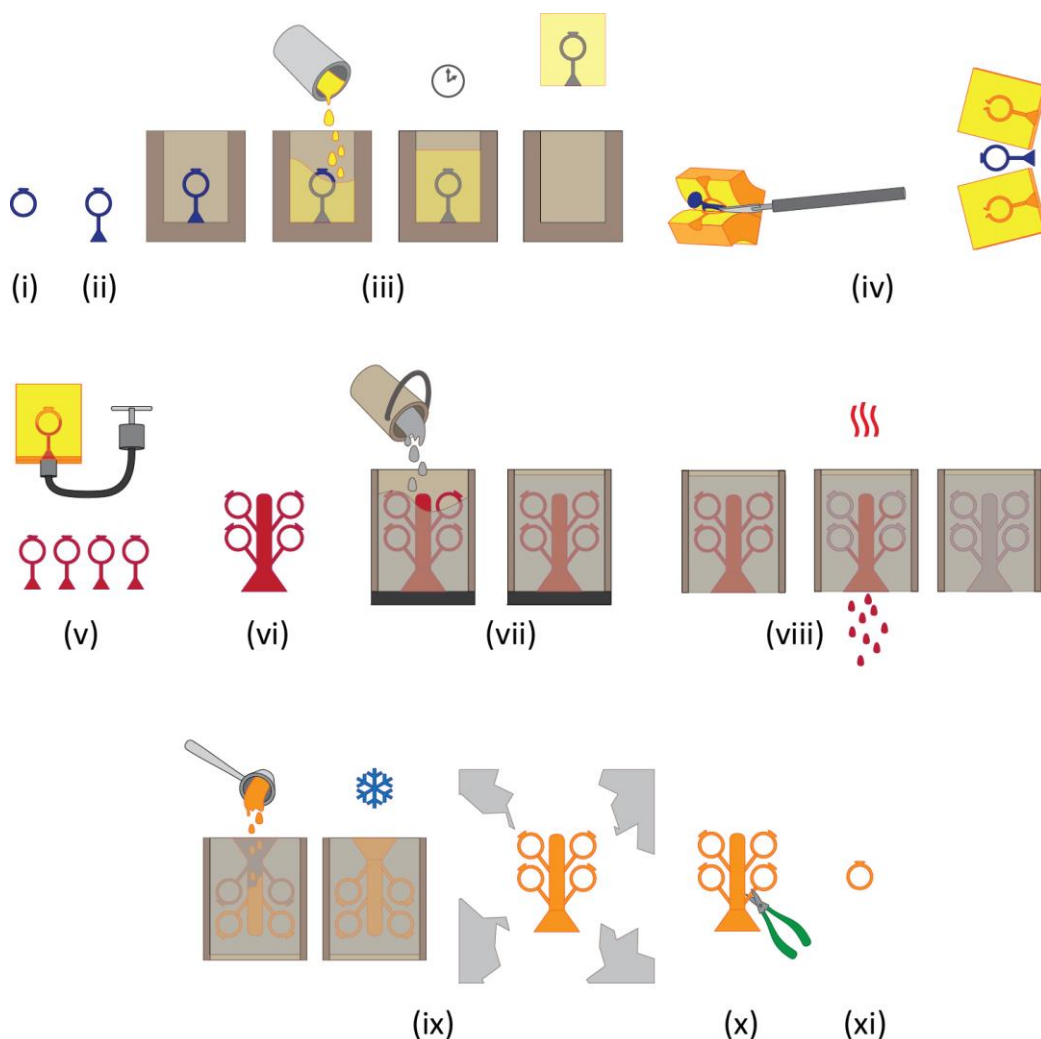


Figura 57: Esquema do processo de fundição por cera perdida: (i) modelo esculpido em cera; (ii) colocação do canal de ataque; (iii) confecção do molde de silicone; (iv) desmolde do modelo de cera com auxílio de bisturi; (v) replicação do modelo de cera a partir de injeção de cera fundida no molde de silicone; (vi) posicionamento das cópias na árvore de cera, (vii) revestimento da árvore de cera com gesso; (viii) aquecimento do conjunto molde de gesso e árvore, escoando a cera e deixando uma cavidade; (ix) metal sendo vertido no molde de gesso e o conjunto posteriormente resfriado e partido liberando a árvore de cera; (x) remoção das peças da árvore e (xi) produto da fundição que seguirá para acabamento. Fonte: Adaptada de KLIAUGA e FERRANTE, 2009.¹³⁷

Além disso, como demonstrado abaixo, o ferramental utilizado na produção do modelo de cera com uma espessura mínima de parede, dificilmente permitiria a produção de um modelo com um máximo de eficiência tal como requerido pelos objetivos comerciais da empresa. O processo de ocar uma peça muitas vezes é impedido pelo tamanho e forma das ferramentas, além de certas áreas do modelo poderem ser inalcançáveis por elas, o que resulta em deixar um volume de cera extra além daquele que o idealizador da joia possa ter planejado ou aquilo que é o mínimo requisitado pelas técnicas de fundição.

¹³⁷ KLIAUGA, Andréa Madeira; FERRANTE, Maurizio. **Metalurgia Básica para Ourives e Designers: do Metal à Joia**. São Paulo: Blucher, 2009, p. 188.

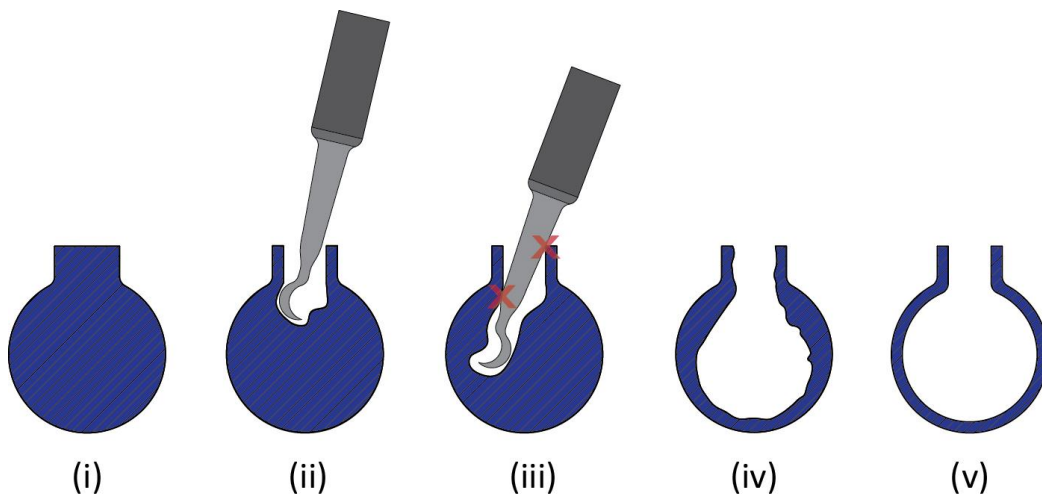


Figura 58: Exemplo de alcance das ferramentas em que (i) seção do modelo em cera ainda inteiro; (ii) esculpido removendo o material do modelo; (iii) dimensões e geometria da ferramenta impedindo o alcance a determinadas áreas do modelo; (iv) o máximo que se consegue cavar com ferramenta padrão, de forma não homogênea e (v) modelo ideal com paredes regulares.

O trabalho manual é impreciso, e manter uma espessura constante das paredes de um modelo de cera é um aspecto desafiador. Também, as irregularidades presentes na espessura da parede são transferidas para os moldes de silicone. Como visto na figura 57, esses moldes tridimensionais negativos são usados para gerar réplicas positivas do objeto pela injeção de cera fundida em sua cavidade. Após o arrefecimento da cera, uma nova cópia sólida é removida de seu interior. Como a cera perde calor e se solidifica mais rapidamente nas áreas finas do molde de silicone, pode formar bloqueios que impedem o fluxo do restante do material alcançar todas as cavidades do molde de borracha.

Também é importante mencionar que um molde de gesso gerado por um modelo defeituoso pode apresentar dificuldades de o metal fluir em seu interior por uma razão similar, já que, como a cera, o metal pode esfriar mais rapidamente em áreas mais delgadas do molde, não permitindo que ele cubra todas as superfícies da matriz de gesso.

No que diz respeito ao design das joias, este precisa ser planejado e executado de forma que o modelo em cera seja replicável pelos moldes de silicone, e o ângulo de extração da cópia em cera de seu interior deve ser considerado e respeitado. Em certas situações, a complexidade geométrica dos modelos permite que sejam diretamente fundidos mas não copiados pelos moldes de silicone, uma vez que a cópia não poderia ser retirada sem quebrar o molde, o que funciona muito bem para a fabricação de peças únicas, mas não seriadas.

Por estas razões, reduzir o peso dos produtos na joalheira é uma tarefa complexa e que pode ser melhor manejada com a aplicação de tecnologias digitais, como se verá adiante.

4.1.1.2. Redução das dimensões com manutenção dos detalhes

Em joias feitas a partir da modelagem em cera, um dos maiores diferenciais dos produtos de um designer, empresa ou artista perante outros é a expressão formal originada por habilidades manuais. No entanto, a mesma mão humana que garante a unicidade e agrega valor imaterial ao produto impõe limitações no tocante a modelagem. Indo além, as habilidades de modelagem variam de um profissional para outro, assim como as menores dimensões que determinado indivíduo pode esculpir e detalhar com as ferramentas e técnicas tradicionais. Por esse motivo, não-raro o profissional precisa trabalhar em escalas bem maiores que as desejadas ou planejadas, resultando em modelos de grande volume e demandantes de muito material para ser fundido e, portanto, onerosos para a fabricação em materiais preciosos.

Outra particularidade da modelagem manual em cera é a conformação de encaixes e articulações. Com a natureza imprecisa do trabalho manual e a fragilidade da cera, as dificuldades de esculpir são agravadas pelas pequenas dimensões das peças, o que normalmente permite apenas modelos de geometrias muito simples para articulações e encaixes.

O desafio, então, está em conseguir, através de tecnologia e técnica, obter um resultado ótimo no equilíbrio entre redução da dimensão dos produtos finais para economia máxima do uso de materiais e manutenção dos detalhes artísticos que são, como foi apontado, um diferencial da empresa e dos seus profissionais, além da manutenção das funções dos encaixes e articulações originalmente incluídos pelo profissional na peça.

4.2 O diferencial das tecnologias digitais para o setor joalheiro

Levando em conta o caráter experimental da pesquisa, este estudo desenvolveu-se no sentido de recorrer às tecnologias digitais para solucionar os problemas acima e, quando possível, executar melhorias nos modelos, sempre mantendo suas importantes características artesanais como texturas, pequenos detalhes, movimento fluido da modelagem, entre outras.

4.2 Resultados

Tendo em vista as peculiaridades de cada tecnologia, os melhores resultados obtidos da aplicação destas tecnologias digitais no setor joalheiro envolveram uma mistura dos processos descritos anteriormente no capítulo II.

A empresa em questão adquiriu um escâner de pequeno porte com tecnologia Multi-Laser e um *software* para tratamento de digitalizações. Inicialmente, coube aos pesquisadores do NEXT¹³⁸ o reconhecimento da forma que tanto este escâner como o seu *software* operam, para então repassar estas informações à empresa.

Para fins de compreensão do potencial da tecnologia, foram realizados alguns testes de escaneamento da peça "Alice", uma das três componentes que constituem o produto "Alice na Xícara", apresentada na figura 59 abaixo:



Figura 59: Modelo em cera da Alice.

Valendo-se das quatro mais altas configurações de resolução disponibilizadas pelo *software* do escâner obtivemos quatro amostras de digitalização. Infelizmente, os resultados não foram satisfatórios por dois motivos: (i) todas as digitalizações apresentaram uma alta incidência de ruído e distorções, tal como pode-se inferir da figura 60; (ii) o *software* do escâner não obteve êxito no pós processamento do escaneamento, ou seja, na união das múltiplas superfícies que compõem uma digitalização e o preenchimento de eventuais descontinuidades na superfície do modelo.

¹³⁸ Núcleo de Experimentação Tridimensional da PUC-Rio.

A partir deste teste, foram realizados testes comparativos com o escâner de tecnologia de luz estruturada do laboratório NEXT, que se mostrou melhor no que se refere à ausência de ruídos e precisão da geometria do objeto – após o processamento da digitalização com o *software* do próprio escâner.

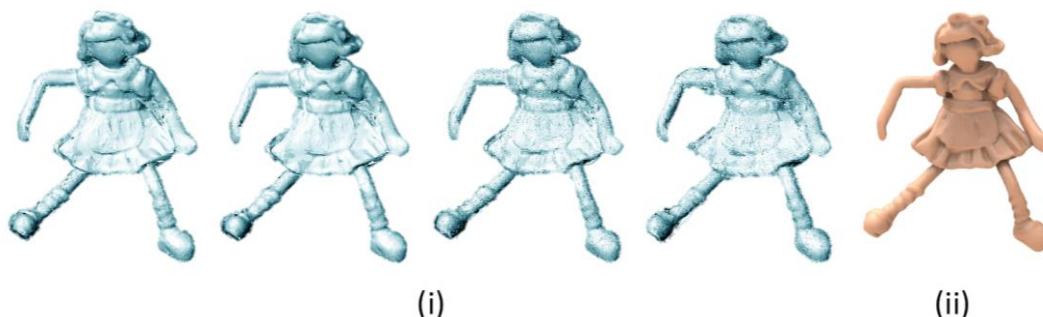


Figura 60: Comparativo de digitalizações já tratadas com (i) escâner da empresa, da esquerda para a direita em ordem crescente de resolução e (ii) escâner do laboratório NEXT.

Para a experimentação, foram escolhidos cinco produtos artesanais com o objetivo de verificar os benefícios que as tecnologias digitais poderiam trazer aos problemas advindos da produção tradicional. Todas as peças e seus componentes em cera – no caso, as réplicas das modelagens feitas pela injeção de cera nos moldes de silicone – foram digitalizados pela tecnologia de luz estruturada.

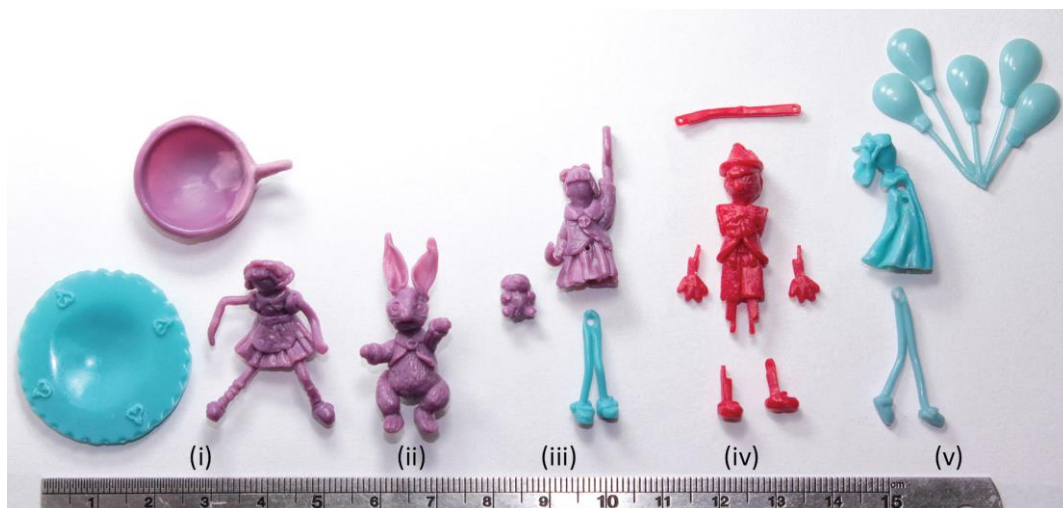


Figura 61: Modelos em cera digitalizados para este estudo: (i) anel “Alice na Xícara”; (ii) pingente Coelho da Alice; (iii) pingente “Sofia”; (iv) pingente “Pinocchio” e (v) pingente Beatriz e os Balões”.

Estes arquivos digitais passaram por processos que seguiram diretrizes especialmente formuladas para as peculiaridades de cada componente, sempre considerando as características de cada tecnologia ou técnica que a tornava mais adequada para a solução do problema, conforme a tabela 1 a seguir:

Nome do Produto	Problemas apresentados pelo processo de produção tradicional	Soluções possíveis com as tecnologias digitais
Anel Alice na Xícara	(i) peça pesada para fundição em ouro e em prata; (ii) detalhes e texturas pouco marcados.	(i) cavar digitalmente a peça escaneada da boneca em espessura contínua de 0.6mm, retirando toda a parte de trás do vestido que fica oculto pela xícara; remodelar parametricamente a xícara e o pires; fazer uma escala menor do conjunto especialmente para a fundição em ouro; (ii) detalhar e melhorar a digitalização por escultura digital.
Pingente Coelho da Alice	(i) peça pesada para fundição em ouro e em prata; (ii) detalhes e texturas pouco marcados.	(i) segmentar digitalmente o corpo do pingente escaneado em duas partes ocas com encaixes e 0.6mm de espessura contínua; fazer uma escala menor da peça especialmente para a fundição em ouro; (ii) detalhar e melhorar a digitalização por escultura digital.
Pingente Sofia	(i) peça pesada para fundição em ouro e em prata; (ii) detalhes e texturas pouco marcados; (iii) articulações pesadas e disformes; (iv) ursinho com metades assimétricas	(i) segmentar digitalmente o corpo do pingente em duas partes ocas com encaixes e 0.6mm de espessura contínua; fazer uma escala menor da peça especialmente para a fundição em ouro; (ii) detalhar e melhorar a digitalização por escultura digital; (iii) remodelar diretamente as articulações; (iv) conferir simetria lateral por escultura digital.
Pingente Beatriz e os Balões	(i) articulações grosseiras; (ii) detalhes e texturas pouco marcados; (iii) balões com forma inadequada.	(i) reprojetar a peça para imprimir-la em metal já com suas articulações montadas; (ii) detalhar e melhorar a digitalização por escultura digital; (iii) remodelar os balões diretamente.
Pingente Pinocchio	(i) articulações grosseiras e (ii) detalhes e texturas pouco marcados.	(i) reprojetar a peça para imprimir-la em metal já com suas articulações montadas e (ii) detalhar e melhorar a digitalização por escultura digital.

Tabela 1: Relação de problemas e soluções estudadas por peça

À exceção dos pingentes “Beatriz e os Balões” e “Pinocchio” que foram impressos diretamente em aço por DMLS, todos os componentes das demais joias tiveram seus modelos impressos pela DLP. Os produtos seguiram as etapas

convencionais do processo de fundição por cera perdida e, posteriormente, as fundições foram montadas por técnicas tradicionais de ourivesaria e solda a laser.



Figura 62: Modelos impressos em DMLS e DLP.

4.2.1 Redução de peso final dos produtos

Os resultados de redução de peso das peças foram significativos, em decorrência das vantagens de formas geométricas permitidas pela impressão 3D. Abaixo pode-se verificar, para fins de comparação, uma digitalização através de microtomografia computadorizada do corpo do pingente Sofia original em cera. Os limites pontilhados identificam o volume que era possível manter oco com ferramentas tradicionais e, posteriormente, com as novas tecnologias digitais.

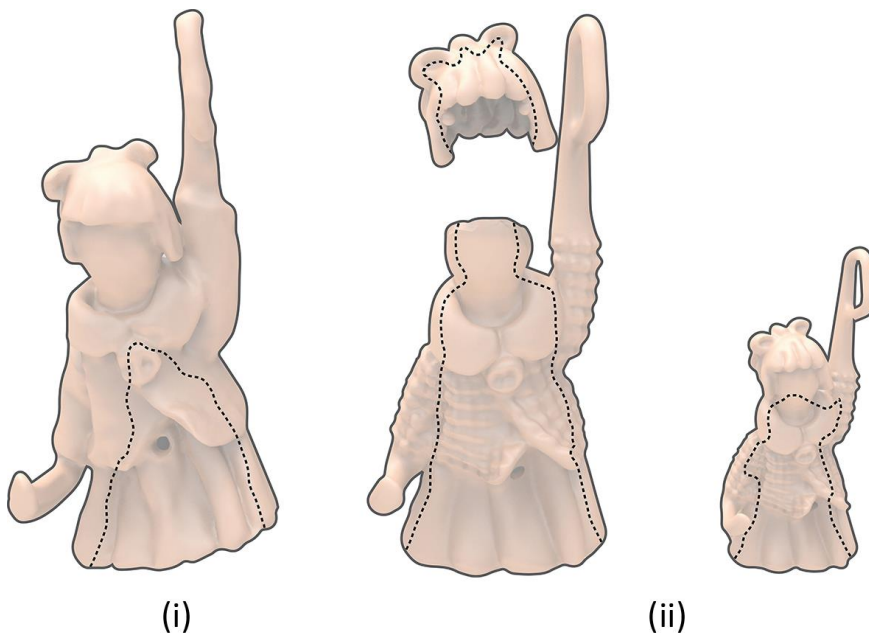


Figura 63: Diferença qualitativa de áreas ocas: (i) ferramentas tradicionais e (ii) tecnologias digitais.

Para uma visualização quantitativa dos dados relativos a economia de material conferida pelo novo processo, tem-se as tabelas na sequência:

Anel “Alice na Xícara” em Ouro 18K ¹³⁹			
	Original (produção tradicional)	Escala Original (tecnologias digitais)	Escala reduzida (tecnologias digitais)
Peso (em gramas)	28,928	18,183	12,172
Percentual de massa aproximado	100%	62%	42%
Economia por peça¹⁴⁰ (USD)	0	324,81	506,52
Economia em 50 peças (USD)¹⁴⁰	0	16.240,60	25.325,97

Tabela 2: Resultados quantitativos da redução de material e peso do anel “Alice na Xícara” em ouro 750.

Anel “Alice na Xícara” em Prata ¹³⁹			
	Original (produção tradicional)	Escala Original (tecnologias digitais)	Escala reduzida (tecnologias digitais)
Peso (em gramas)	18,993	11,939	7,992
Percentual de massa aproximado	100%	62%	42%
Economia por peça¹⁴⁰ (USD)	0	3,98	6,21
Economia em 50 peças¹⁴⁰ (USD)	0	199,11	310,52

Tabela 3: Resultados quantitativos da redução de material e peso do anel “Alice na Xícara” em prata 950.

¹³⁹ Ouro 18k (ou 750) e prata 950 são ligas que apresentam o teor do metal principal em 750 e 950 partes sobre 1000. Para fins de cálculo do custo da liga, o metal considerado para completá-la foi o cobre.

¹⁴⁰ Valores em USD, segundo cotação de 22/10/2014: 1g de prata 1000 (COMEX) = 0,559110054 USD; 1g de ouro 24k (COMEX) (1000) = 40,0829502 USD e 1g de cobre (COMEX) = 0,66767345 USD. Fonte: <http://www.bloomberg.com/markets/commodities/futures>

	Pingente “Coelho da Alice” em Ouro 18k (750) ¹³⁹		
	Original (produção tradicional)	Escala Original (tecnologias digitais)	Escala reduzida (tecnologias digitais)
Peso (em gramas)	14,383	9,153	1,128
Percentual de massa aproximado	100%	63%	8%
Economia por peça¹⁴⁰ (USD)	0	158,10	400,69
Economia em 50 peças¹⁴⁰ (USD)	0	7.904,92	20.034,36

Tabela 4: Resultados quantitativos da redução de material e peso do pingente “Coelho da Alice” em ouro 750.

	Pingente “Coelho da Alice” em Prata 950 ¹³⁹		
	Original (produção tradicional)	Escala Original (tecnologias digitais)	Escala reduzida (tecnologias digitais)
Peso (em gramas)	9,440	6,010	0,741
Percentual de massa aproximado	100%	63%	8%
Economia por peça¹⁴⁰ (USD)	0	1,94	4,91
Economia em 50 peças¹⁴⁰ (USD)	0	96,82	245,55

Tabela 5: Resultados quantitativos da redução de material e peso do pingente “Coelho da Alice” em prata 950.

	Pingente Sofia em Ouro 18K (750) ¹³⁹		
	Original (produção tradicional)	Escala Original (tecnologias digitais)	Escala reduzida (tecnologias digitais)
Peso (em gramas)	10,443	7,883	2,227
Percentual de massa aproximado	100%	75%	21%
Economia por peça¹⁴⁰ (USD)	0	77,39	248,36
Economia em 50 peças¹⁴⁰ (USD)	0	3.869,32	12.418,13

Tabela 6: Resultados quantitativos da redução de material e peso do pingente “Sofia” em ouro 750.

	Pingente Sofia em Prata 950 ¹³⁹		
	Original (produção tradicional)	Escala Original (tecnologias digitais)	Escala reduzida (tecnologias digitais)
Peso (em gramas)	6,857	5,176	1,462
Percentual de massa aproximado	100%	75%	21%
Economia por peça¹⁴⁰ (USD)	0	0,95	3,04
Economia em 50 peças¹⁴⁰ (USD)	0	47,45	152,28

Tabela 7: Resultados quantitativos da redução de material e peso do pingente “Sofia” em prata 950.

4.2.2 - Redução das dimensões com manutenção de detalhes

Esta etapa, além de tratar de detalhes visuais e texturas – que são extremamente importantes para a valorização da peça tal como feita pelo profissional –, diz respeito também à funcionalidade das articulações e simetria

das peças, anteriormente prejudicadas pelo processo tradicional por todas as razões expostas nos item 4.1.1.

A seguir, temos as peças tal como foram produzidas no processo tradicional e no novo processo que utiliza tecnologias digitais em conjunto com as técnicas tradicionais. Como se observa, no que se refere à qualidade do resultado visual e das texturas, as peças que utilizam o novo processo são muito mais detalhadas, o que configura uma vantagem técnica e comercial, tal como exigida pela empresa no item 4.1.



Figura 64: Anel “Alice na Xicara”: (i) processo de produção tradicional, (ii) novo processo de produção com tecnologia digital



Figura 65: Pingente “Coelho da Alice”: (i) processo de produção tradicional, (ii) novo processo de produção com tecnologia digital



Figura 66: Pingente “Sofia”: (i) processo de produção tradicional, (ii) novo processo de produção com tecnologia digital

Com relação à funcionalidade das articulações e correção de simetria, o caso que merece destaque é do pingente “Sofia”, cujas soluções foram estudadas e executadas durante o processo de redução de suas dimensões.

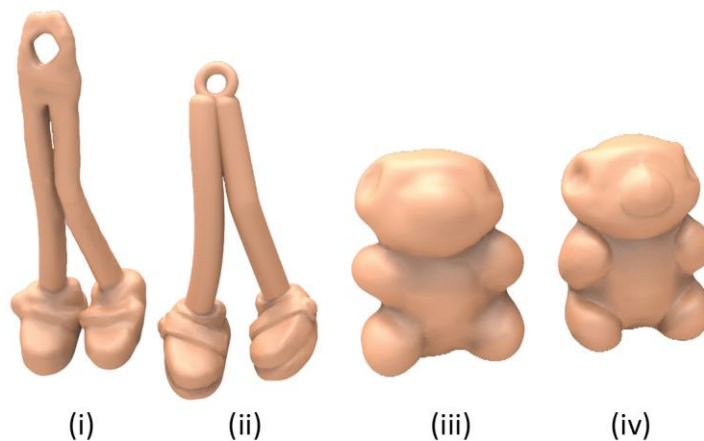


Figura 67: Detalhe das pernas e do ursinho do Pingente “Sofia”: (i) articulações no processo de produção tradicional; (ii) articulações no novo processo de produção com tecnologia digital; (iii) forma do ursinho no processo de produção tradicional e (iv) forma do ursinho no novo processo de produção com tecnologia digital.

Estas vantagens também foram aplicadas a outras peças com a finalidade de melhorar as articulações e a forma dos pingentes “Beatriz e os Balões” e “Pinocchio”. Sem a necessidade de qualquer modificação nas suas dimensões

originais, foram impressas diretamente em aço com seus componentes já montados.



Figura 68: Pingente “Beatriz e os Balões”: (i) processo de produção tradicional, (ii) novo processo de produção com tecnologia digital



Figura 69: Pingente “Pinocchio”: (i) processo de produção tradicional, (ii) novo processo de produção com tecnologia digital

O objetivo desta pesquisa foi buscar um novo processo digital de criação de joias que elimine os problemas do processo tradicional de produção e que mantenha todas as características e identidade deste setor.

Os resultados demonstram que as tecnologias digitais, quando aplicadas na modelagem em cera: (i) conservam os traços do profissional na peça; (ii) permitem uma economia máxima de material; (iii) permitem a criação de modelos de cera com menor dispêndio de tempo e trabalho; (iv) permitem a visualização do protótipo com maior eficiência; (v) possibilitam a criação de encaixes, estruturas, geometrias e articulações com menos limitações e (vi) garantem uma produção de peças seriadas em pequena escala.

Todas essas evidências comprovam a hipótese de que a redução do peso e das dimensões das peças usando estas novas tecnologias são viáveis técnica e comercialmente. Isto implica, também, que este novo processo de produção baseado nas tecnologias digitais tem o potencial de coexistir ao processo de produção tradicional de modelagem em cera, ainda que para isso seja necessário um período de capacitação dos profissionais do ramo ou a contratação de designers e tecnologistas especialistas na área. Ao contrário do que o setor joalheiro acredita, a compra de equipamentos e de novas tecnologias não é, isoladamente, a salvação idealizada. E este estudo aponta a importância da capacitação dos profissionais do setor de joalheria, em especial aos designers.

De todo modo, as vantagens econômicas que são obtidas com investimentos nessa etapa mais do que compensam, como se pode perceber das tabelas apresentadas no item 4.2.1.

4.3 Limitações e sugestões para pesquisas futuras

Este estudo examina apenas um caso de uma empresa do setor joalheiro que possui como diferencial a artesanania voltada à produção seriada. Ainda assim, os resultados obtidos com as técnicas desenvolvidas neste estudo podem ser igualmente replicadas em outros casos, não se modificando o resultado técnico, mas tão somente o resultado comercial.

Embora as tecnologias digitais tenham servido em todo o seu potencial para resolver as questões apontadas pela empresa, um ponto negativo foi a retirada do suporte na peça impressa diretamente em aço por DMLS, que é extremamente difícil dependendo da geometria da peça. Ainda assim, esta etapa

adicional no processo produtivo não é suficiente para prejudicar a eficiência dos resultados obtidos. No entanto, futuramente, quando forem viáveis estruturas de suporte que não apresentem tantas dificuldades para serem removidas, este cenário poderá se modificar radicalmente. Neste momento, mais pesquisas são necessárias para solucionar este contratempo no caso de impressões feitas em aço ou mesmo em ouro pelo processo de DMLS.

Assim, ainda há espaço para pesquisas que tenham por finalidade aprimorar as tecnologias digitais construídas para a joalheria, principalmente no sentido de se reduzir ou modificar a estrutura dos suportes na impressão 3D – o que decerto tornaria ainda mais eficiente este novo processo de produção.

Conclusão

A forma de pensar o design de joias, embora a princípio devesse ter uma relação direta com o desenvolvimento técnico e tecnológico – já que o design é entendido por alguns autores até mesmo como uma “cultura tecnológica” – não sofreu as transformações que eram esperadas do avanço técnico humano.

No entanto, as tecnologias digitais de fabricação, ao centralizarem todo o processo criativo na figura do designer, tornaram possível o desafio deste modelo tradicional, permitindo de forma inovadora que se questione não apenas o que se quer alcançar e o que se quer produzir, mas também ao como se quer fazê-lo. Estas novas tecnologias também permitem que se idealizem novas soluções para problemas técnicos do passado, com grandes vantagens econômicas e de investimento.

Além disso, esta nova forma de pensar o design na joalheria está desaguando em novas possibilidades de interação com o consumidor, com a implementação da “customização em massa”, que já é realidade em outros ramos. Ademais, tornam possível o desafio de conceitos mais tradicionais, com o surgimento de peças que não se encaixam nos padrões esperados da joalheria, com novos usos, novas geometrias e materiais que antes teriam sido considerados de pouco uso para o setor.

Assim, a tendência de se revolucionar o ensino da joalheria no mundo todo pode tornar este novo design de joias uma nova realidade – estímulo esse que pode estar amparado na ambição da indústria do ramo de obter as vantagens econômicas e técnicas que foram alcançadas através deste estudo. As técnicas apresentadas e aplicadas na experimentação demonstram um grande apelo em sua aplicação – ao contrário do que ocorria no passado, já que houve grande avanço nas plataformas CAD, nas máquinas que utilizam tecnologia de fabricação digital e nas interfaces com o usuário, que tornam possível o investimento para o profissional e a empresa de joias contemporâneos.

No entanto, mais do que uma nova tecnologia para solucionar velhos problemas de forma mais eficiente, as tecnologias digitais de fabricação podem e

devem significar o nascimento de uma nova cultura de pesquisa e experimentação dentro e fora das universidades, onde o próprio designer poderá projetar e tornar disponível à população mundial as criações que, certamente, instituirão novos paradigmas e surpreenderão o mercado. É este, afinal, o potencial que pode revolucionar este ramo.

O potencial explorado e comprovado neste estudo, portanto, deve servir apenas como um convite à esta revolução.

Referências Bibliográficas

ALDRED, Cyril. **Jewels of the Pharaohs: Egyptian Jewelry of the Disnastic Period.** Nova Iorque: Ballantine Books, 1978

ASENSIO, Paco (Ed.). **Diseño de joyas: paso a paso.** Barcelona: Reditar Libros, 2008, p. 285.

CAMPBELL, Thomas; GARRET, Banning; INANOVA, Olga; WILLIAMS, Christopher; **Could 3D Printing Change the World?** Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing. Washington: Atlantic Council, 2011.

CHEN, Dejun; XIE, Shane; ZHOU, Zude. **Fundamentals of Digital Manufacturing Science.** Nova Iorque: Springer, 2012.

DICKENS, Phill; HAGUE, Richard; HOPKINSON, Neil. **Rapid manufacturing:** an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. xvii.

EISENHARDT, Kathleen M.. **Building Theories from Case Study Research.** The Academy Of Management Review. Nova Iorque, p. 532-550. out. 1989.

FERGUSSON, Eugene S.. **Engineering and the Mind's Eye.** Londres: The MIT Press, 1992.

FLUSSER, Vilém. **The Shape of Things:** a Philosophy of Design. 3a edição. Londres: Reaktion Books, 2012.

GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent. **Additive Manufacturing Technologies.** Nova York: Springer, 2010.

GREGORIETTI, Guido. **Jewelry: History and Technique from the Egyptians to the Present**. Verona: Officine Grafiche di Arnoldo Mondadori, 1978.

GREGORIETTI, Guido. **Jewelry Thought the Ages**. Verona: Officine Grafiche di Arnoldo Momdadori, 1969.

KLIAUGA, Andréa Madeira; FERRANTE, Maurizio. **Metalurgia Básica para Ourives e Designers: do Metal à Joia**. São Paulo: Blucher, 2009.

KULA, Daniel. **Materiologia: o guia criativo de materiais e tecnologias**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

LESSA, Gerson. Materialidade, inovação e obsolescência: O Baquelite. In: DOHMANN, Marcus. **A Experiência Material: A Cultura do Objeto**. Rio de Janeiro: Rio Books, 2013. p. 193-207.

PHILLIPS, Clare. **Jewelry: From Antiquity to the Present**. Londres: Thames and Hudson, 1996.

PIERCE, Ruth. **Creative Wax Carving: For The Hobbyist, Sculptor & Serious Jewelry Designer**. Denison: Ruth Pierce Designs, 1989.

SCAGLIUSI, Natascha. **Joias destinadas à coleção The Girl who lived in a Tree de Alexander McQueen**. 2011. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Desenho Industrial Habilitação Projeto de Produto, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SPURR, Stephen (Org.). **Egyptian Art at Eton College: Selections from the Myers Museum (Metropolitan Museum of Art)**. Nova Iorque: Metropolitan Museum Of Art, 2000.

TAIT, Hugh. **7000 Years of Jewelry**. 4ª edição. Nova Iorque: Firefly Books, 2008.

TSUYUKI, Hiroshi. **Basic Wax Modeling**: An Adventure in Creativity. 2ª. ed. Japão: Matsubara-Kashiwa Books Inc., 1999.

VOLPATO, Neri (Ed.). **Prototipagem Rápida**: Tecnologias e Aplicações. São Paulo: Blücher, 2007.

YOUNG, Anastacia. **The workbench guide to jewelry techniques**. Loveland: Interweave, 2010.

Referências Eletrônicas

3D PRINTING INDUSTRY. **3D Printed Engagement Rings to Try Out, Now That's a Brilliance Idea**. 2014. Disponível em: <<http://3dprintingindustry.com/2014/04/30/3d-printing-engagement-rings-brilliance/>>. Acesso em: 30 abr. 2014.

A COR DA CASA. **Na onda da arte + inovação**. Disponível em: <<http://acordacasa.com.br/2014/07/03/na-onda-da-arte-inovacao/>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

ANTONIO BERNARDO. **Natal 2014**. Disponível em: <<http://www.antoniobernardo.com.br/catalogo/natal-2014>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

AMERICAN PEARL. **Neo Diamond Ring .30 carats t.d.w.** Disponível em: <<http://www.americanpearl.com/round-sapphire-platinum-ring-with-diamond.html>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

AUTODESK. **Autodesk 123D**. Disponível em: <<http://apps.123dapp.com/charm>>. Acesso em: 11 dez. 2014.

ALVES, Haimon Diniz Lopes. **Análise da Porosidade de Sedimentos Geológicos Usando a Técnica de Microtomografia Computadorizada**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.con.ufrj.br/MScDissertacoes/2012/Dissertacao_Haimon.pdf>. Acesso em: 10 out. 2014.

BENZ, Ida Elisabeth. **Inovação no processo de design de joias através da modelagem 3D e da prototipagem rápida**. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Design, Pontifícia Universidade

Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/14760/14760_1.PDF>. Acesso em: 24 nov. 2014.

BENZ, Ida Elisabeth; MAGALHÃES, Claudio Freitas de. **Interação entre design de joias e novas tecnologias**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 9., 2010, São Paulo. Anais... . São Paulo: P&d Design, 2010. p. 4891 - 4907. Disponível em: <<http://blogs.anhembi.br/congressodesign/anais/artigos/69290.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

COOKSONGOLD EMANUFACTURING. **Design Gallery**. Disponível em: <<http://www.cooksongold-emanufacturing.com/gallery.html>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

FENN, Jackie. **Emerging Technology Hype Cycle 2010: What's Hot and What's Not**. Disponível em: <http://www.gartner.com/it/content/1395600/1395613/august_4_whats_hot_hype_2010_jfenn.pdf>. Acesso em: 5 de Janeiro de 2014.

GEMOLOGICAL INSTITUTE OF AMERICA INC.. **Diamond**. Disponível em: <<http://www.gia.edu/diamond>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

LESSA, Gerson. **Bakelite Bangles, 1930s/40s**. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/galessa/2020579727/in/set72157621770256697>>. Acesso em: 13 jan. 2014.

LITOMISKY, Krystof. **Consumer RGB-D Cameras and their Applications**. Disponível em: <<http://alumni.cs.ucr.edu/~klitomis/files/RGBD-intro.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2014

THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. **The Collection Online**. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/collection/the-collection-online/>>. Acesso em: 17 maio 2014.

NERVOUS SYSTEM. **Nervous System Blog**: Kinematics 3D Printed In Gold. Disponível em: <<http://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=5451>>. Acesso em: 05 maio 2014.

NOTTON, J. H. F.. **Ancient Egyptian Gold Refining**: A Reproduction of Early Techniques. Gold Bulletin. Londres, p. 50-56. jun. 1974. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF03215038>>. Acesso em: 10 maio 2014.

O'CONNOR, Clare. **How A Jewelry Company Is Making \$250,000 Pieces Using 3D Printing And Google Earth**. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/clareoconnor/2014/02/28/how-a-jewelry-company-is-making-250000-pieces-using-3d-printing-and-google-earth/>>. Acesso em: 19 maio 2014.

PARK, Johnny; DESOUZA, Guilherme N.; KAK, Avinash C.. **Dual-Beam Structured-Light Scanning for 3-D Object Modeling**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON 3D DIGITAL IMAGING AND MODELING, 3., 2001, Quebec. Proceedings. . Los Alamitos: Computer Society, 2001. p. 65 - 72. Disponível em: <<https://engineering.purdue.edu/RVL/Publications/Park01DualBeam.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.

RED DOT DESIGN AWARD. **Red Dot Award**: Product Design. Disponível em: <<http://red-dot.de/pd/online-exhibition/work/?lang=en&code=12053542014&y=2014&c=180&a=0>>. Acesso em: 25 dez. 2014.

THE WHITE HOUSE. **Manufacturing Innovation Institutes Explained in 60 Seconds**. Disponível em: <<http://www.whitehouse.gov/blog/2013/05/09/clock-manufacturing-innovation-institutesexplained>> e <<http://www.youtube.com/watch?v=JOasvuAbG0>>. Acesso em: 28/07/2013.

WIRED. **Democratizing Design: Autodesk's CEO Carl Bass Announces 123D**. Disponível em: <<http://www.wired.com/business/2011/05/democratizing-design/>>. Acesso em: 27 de Dezembro de 2013.