Revista Brasileira de Expressão Gráfica

DESIGN E TECNOLOGIA: O USO DE MODELAGEM PARAMÉTRICA E MANUFATURA ADITIVA EM FDM NA CRIAÇÃO DE ADORNOS PESSOAIS

DESIGN AND TECHNOLOGY: THE USE OF PARAMETRIC MODELING AND FDM ADDITIVE MANUFACTURING IN THE CREATION OF PERSONAL ADORNMENTS

Cleiton Ricardo Oestreich[1]
Karen Regina Taurino da Roza[2]
Pietra Cristina Medeiros[3]
Léia Miotto Bruscato[4]

Resumo: Investigações arqueológicas indicam que os adornos pessoais têm origens quase tão antigas quanto a própria civilização, remontando a períodos pré-históricos. Nessa fase inicial, o uso de elementos naturais não apenas refletia a gênese do pensamento estético, mas também inaugurava as primeiras práticas de design de joias. Por conseguinte, ao longo dos séculos, essas práticas evoluíram, acompanhando as dinâmicas e as transformações econômicas, culturais e tecnológicas da sociedade. Nas últimas décadas, o Design Assistido por Computador, associado às novas tecnologias de fabricação digital, como o design paramétrico e a impressão tridimensional, trouxe avanços significativos para a produção de peças de joalheria. Inserido nesse contexto de inovação, o presente estudo investiga o uso da modelagem paramétrica no desenvolvimento de adornos pessoais personalizados. Para tanto, propõe-se a criação de uma coleção de peças por meio da fabricação assistida por computador, empregando a impressão tridimensional em termoplástico biodegradável à base de ácido polilático (PLA). Os resultados obtidos demonstram que a integração entre design paramétrico e impressão tridimensional não apenas redefine os processos produtivos, mas também amplia as possibilidades criativas e personalizáveis da joalheria contemporânea.

Palavras-chave: modelagem paramétrica, fabricação aditiva, impressão tridimensional, joias.

[1] Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Design, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. oestreich.cleiton@gmail.com.
[2] Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. karentaurino@gmail.com.
[3] Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. pietra.cristina.medeiros@gmail.com.
[4] Docente do Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. leia.bruscato@ufrgs.br.

Abstract: Archaeological investigations indicate that personal adornments are nearly as ancient as civilization itself, dating back to prehistoric times. In this early stage, the use of natural elements not only reflected the genesis of aesthetic thought but also marked the emergence of the first practices in jewelry design. Consequently, over the centuries, these practices evolved in step with the economic, cultural, and technological transformations of society. In recent decades, Computer-Aided Design, combined with new digital fabrication technologies such as parametric design and three-dimensional printing, has brought significant advances to jewelry production. Within this innovative context, the present study explores the use of parametric modeling in the development of customized personal adornments. To this end, it proposes the creation of a collection of pieces produced through computer-assisted manufacturing, employing three-dimensional printing with biodegradable polylactic acid (PLA) thermoplastic. The results demonstrate that the integration of parametric design and three-dimensional printing not only redefines production processes but also expands the creative and customizable possibilities of contemporary jewelry.

Keywords: parametric modeling, additive manufacturing, tridimensional printing, jewelry.

1 Introdução

Desde os primórdios da civilização, a humanidade tem explorado diferentes formas de expressão, manifestação e registro de sua cultura, tradição e identidade. Influenciado pelo ambiente ao seu redor, o ser humano estabelece padrões comunicacionais por meio da ornamentação corporal, utilizando pinturas, adornos, tatuagens, acessórios e vestimentas. Na busca por atender suas necessidades, interagir socialmente e expressar sua individualidade, ele torna-se produtor de artefatos, modificando tanto a natureza física do próprio corpo quanto os aspectos simbólicos do ser e do fazer (Gombrich, 2007; Simon, 2006).

A utilização de elementos naturais, como ossos, presas, penas, couros, sementes, rochas, madeiras, conchas e fibras vegetais, na confecção de adornos remonta ao período paleolítico, refletindo as primeiras expressões do pensamento estético e do design de joias, presentes nas bases da nossa cultura material (Eichhorn-Johannsen et al., 2021; Baysal, 2019). Segundo Bernabei (2011), o ato de adornar o corpo com objetos ou pinturas foi o precursor da joalheria. Considerada uma manifestação intrínseca à civilização humana, a produção de joias e adornos está intimamente ligada tanto aos contextos culturais, sociais, econômicos e religiosos quanto aos materiais e recursos tecnológicos disponíveis em cada época (Cidade; Palombini, 2022; Efkolidis et al., 2020). Assim, ao longo da história, os adornos pessoais evoluíram de artefatos rudimentares para criações sofisticadas, refletindo não apenas

o progresso técnico e artístico, mas também as aspirações, os valores e as transformações das sociedades.

Nas últimas décadas, a incorporação do *Computer-Aided Design* (CAD), ou Design Assistido por Computador, em língua portuguesa, aliada às novas tecnologias de fabricação digital, como o design paramétrico e a manufatura aditiva, possibilitou avanços significativos nos processos de criação, desenvolvimento e produção de peças de joalheria (Rigoni et al., 2022; Nishimura; Rodrigues, 2014; Volpato, 2007). Segundo Schumacher (2015) e Kolarevic (2003), o design paramétrico pode ser compreendido como uma abordagem projetual que estabelece parâmetros fixos e variáveis, os quais regem relações de restrição ou de interdependência entre os diferentes componentes do projeto. Com base nessas relações, é possível manipular e alterar os valores definidos, gerando soluções alternativas para o problema de design. Dessa forma, a parametrização proporciona flexibilidade e capacidade de adaptação no desenvolvimento do projeto, permitindo a exploração de múltiplas possibilidades dentro de um conjunto de regras previamente estabelecido. Além disso, a produção desses artefatos é viabilizada por máquinas especializadas, como equipamentos de corte, sistemas de usinagem por controle numérico computadorizado (CNC) e impressoras tridimensionais. Essas tecnologias permitem a fabricação de peças complexas e precisas, anteriormente difíceis ou inviáveis com métodos tradicionais de manufatura (Chaturvedi et al., 2022; Amorim; Teixeira, 2007).

Segundo Besten (2011), no Ocidente, a joia é tradicionalmente definida como um adorno feito de metais preciosos e gemas coloridas. No entanto, o autor expande essa concepção, argumentando que, na realidade, qualquer item usado sobre o corpo e que lhe seja adicional, com exceção de chapéus e echarpes, deveria ser incluído no conceito de joalheria. Sob essa ótica, Santos (2003) destaca que o conceito de adorno engloba joias, folheados (ou semijoias) e bijuterias, que se diferenciam pelo tipo de material usado em sua fabricação. Logo, para os fins de pesquisa, as expressões “adorno pessoal” e “ornamento corporal” serão adotadas como termos abrangentes para designar objetos cuja função principal seja adornar o corpo com um propósito simbólico. Além disso, o termo “joia contemporânea” será utilizado para se referir à ampliação estética e simbólica desses objetos, impulsionada pelo uso de novos materiais e tecnologias.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é investigar o uso da modelagem paramétrica na criação e no desenvolvimento de adornos pessoais personalizados, bem como desenvolver uma coleção de peças por meio da fabricação assistida por

computador, utilizando a tecnologia de impressão tridimensional em termoplástico biodegradável à base de ácido polilático (PLA). Além disso, a pesquisa busca analisar como essas tecnologias podem aprimorar o processo projetual de peças de joalheria, identificando tanto benefícios quanto limitações no contexto do design. Assim, considerando que o estudo gera conhecimento com aplicação prática e imediata, este artigo se enquadra na pesquisa de natureza aplicada e abordagem qualitativa. A fim de aprofundar a compreensão dos temas relacionados, realizou-se um estudo exploratório baseado em revisão bibliográfica. Quanto à estrutura, a pesquisa está organizada em cinco seções, detalhadas a seguir: a primeira seção apresenta a introdução ao tema de investigação; a segunda analisa a evolução tecnológica no processo de fabricação de adornos e joias, destacando mudanças significativas ao longo do tempo, com ênfase na aplicação da modelagem paramétrica e da impressão tridimensional na fabricação digital; a terceira descreve a metodologia, materiais e métodos utilizados na pesquisa; a quarta detalha o processo de modelagem e fabricação digital dos adornos; e, por fim, a quinta seção apresenta as considerações finais do estudo.

2 Evolução tecnológica e a mudança nos processos de design e produção de adornos pessoais

Investigações arqueológicas indicam que os adornos pessoais têm origens quase tão antigas quanto a própria civilização, remontando aos períodos pré-históricos. Os primeiros ornamentos corporais, segundo Gola (2013), surgiram por volta de 35.000 a.C., na forma de pingentes confeccionados a partir de ossos e conchas. O formato de joia, tal como o conhecemos atualmente, começou a se consolidar no período Neolítico, quando o ser humano passou a criar adornos mais elaborados. Feitos a partir de diferentes materiais naturais, esses itens eram frequentemente usados como amuletos, talismãs e pantáculos. Esses objetos possuíam significados que iam além de sua dimensão material, incorporando memórias, histórias, valores sociais e espirituais, tanto para aqueles que os usavam quanto para aqueles que os viam (Silva, 2020; Skoda, 2012; Besten, 2011).

Com o desenvolvimento das civilizações e o aprimoramento das técnicas de manuseio de metais, a ornamentação corporal experimentou um salto expressivo, resultando em uma evolução significativa na produção de objetos funcionais e estéticos, além de uma transformação na concepção de joia (Phillips, 2018). Nesse período, de acordo com Skoda (2012), materiais como alabastro, marfim, âmbar, jade

e ametista também eram utilizados. Descoberto por volta de 5.000 a.C., o ouro, tornou-se um material de grande valor simbólico, sendo apreciado por sua estética, maleabilidade e resistência à oxidação, características que favoreceram sua associação ao divino (Baysal, 2019; Gola, 2013). Sua tonalidade e brilho, semelhantes aos do Sol, principal divindade em diversas culturas, reforçaram sua importância e prestígio ao longo da história.

Na Idade do Bronze, a produção metalúrgica de adornos se diversificou em relação à Idade do Cobre, com a utilização de metais de baixo ponto de fusão. A partir de 4000 a.C., civilizações como a egípcia se destacaram por sua rica manifestação artística. Peças de bronze passaram a ser fundidas e utilizadas na joalheria devido ao seu brilho, enquanto o ouro, quando encontrado, era empregado em peças de joalheria mais nobres (Skoda, 2012).

Durante o período Medieval, marcado por intensa religiosidade, o Cristianismo exerceu grande influência sobre a produção cultural e artística, especialmente na Europa, direcionando-a para a valorização do espírito. As joias, restritas às elites, como bispos, príncipes e reis, eram confeccionadas em ouro e prata, adornadas com esmaltes, gemas, como rubis, safiras e esmeraldas, e pérolas. Classes sociais menos privilegiadas utilizavam adornos de cobre e estanho. Acreditava-se que as gemas possuíam poderes espirituais e curativos, enquanto as pérolas estavam associadas a simbolismos místicos cristãos, qualidades terapêuticas e o uso como talismã (Skoda, 2012).

Durante o Renascimento, movimento cultural, artístico e intelectual que emergiu na Itália entre os séculos XV e XVI e se espalhou pela Europa, a joalheria alcançou um período de grande sofisticação, caracterizado por formas elaboradas, cores vivas, esmaltações e o uso de gemas facetadas. Inspiradas na estética clássica, as joias apresentavam figuras mitológicas, narrativas históricas e cenas bíblicas (Gola, 2013). Nessa época, difundiram-se também as joias *memento mori*, adornadas com símbolos da mortalidade, como caveiras e ossos, além dos anéis de sinete, amplamente utilizados por sua função prática (Skoda, 2012).

No século XIX, período de intensas transformações industriais e sociais, a indústria de joalheria incorporou novas técnicas que viabilizaram a produção seriada, tornando as joias mais acessíveis e ampliando seu alcance comercial (Gola, 2013). No entanto, o apreço pelo design artístico e pelo artesanato tradicional manteve-se em muitos contextos, impulsionado pela aura de exclusividade associada aos joalheiros, ourives e artistas. Como resultado, joias exclusivas e personalizadas tornaram-se itens

de alto valor (Costa, 2017; Skoda, 2012). Na segunda metade do século XIX, a industrialização em larga escala separou o design da produção, dando origem aos primeiros designers. No design de joias, isso se concretizou quando os designers começaram a representar suas criações por meio de ilustrações, estabelecendo um novo processo de concepção e desenvolvimento das peças (Chu, 2022). Neste período, também surgiram movimentos artísticos que influenciaram a moda e a joalheria, como o *Art Nouveau* e o *Art Déco* (Gola, 2013).

A consolidação do trabalho em joalheria, especialmente em meados do século XX, trouxe avanços técnicos e artísticos que redefiniram padrões de produção e design. Esse período destacou-se pela integração de métodos tradicionais com inovações tecnológicas, permitindo maior precisão, sofisticação e personalização das peças, refletindo tanto a evolução dos materiais quanto as demandas culturais e econômicas (Efkolidis *et al*., 2020). Posteriormente, a partir de meados do século XX, a joalheria se desenvolveu como uma prática artística e reflexiva, sendo atualmente denominada joalheria contemporânea (Besten, 2011).

2.1 Joalheria contemporânea

A contemporaneidade, por sua vez, trouxe uma nova revolução aos processos de design e fabricação de joias. Novos nichos na arte da joalheria desvincularam-se das associações tradicionais, promovendo uma mudança de perspectiva em que o valor intrínseco do material deu lugar à exploração artística e simbólica. Esse campo passou a valorizar o estudo de materiais, formas, cores e a interação das peças com o corpo.

Consequentemente, os materiais e sua preciosidade tangível deixaram de ser os únicos determinantes do valor monetário de uma joia. A escolha dos materiais, seja ouro, platina, diamantes, esmeraldas, madeira, sementes, tecidos, polímeros, rochas, materiais cerâmicos ou até mesmo resíduos reaproveitados, tornou-se uma decisão de design. As técnicas, tecnologias, acabamentos e conceitos aplicados às joias são desenvolvidos em sintonia com as transformações da sociedade, considerando preferências, aptidões, sustentabilidade, e aspectos sociais, culturais e econômicos (Cidade; Palombini, 2022).

Desse modo, a joalheria contemporânea transcende os materiais clássicos, integrando inovações tecnológicas em diferentes etapas de produção, joias inteligentes e abordagens conceituais (Chu, 2022). Tecnologias emergentes, especialmente a modelagem paramétrica e a manufatura aditiva, sobretudo a impressão tridimensional, inauguram um novo paradigma no design de joias. A

capacidade de personalização, a liberdade criativa e a incorporação de práticas sustentáveis transformaram a arte da joalheria, posicionando a nova abordagem na vanguarda do setor (Sadiku et al., 2024).

2.2 Modelagem paramétrica algorítmica e fabricação digital

Atualmente, grande parte da produção comercial de joias é viabilizada pelo uso de ferramentas CAD. Diversos *softwares* de modelagem tridimensional foram desenvolvidos para otimizar o trabalho dos designers, permitindo a criação de peças de alta qualidade, maior eficiência e em menos tempo (Efkolidis et al., 2020). Há uma ampla variedade de programas voltados para diferentes aplicações e áreas projetuais, como *Rhinoceros*, *3DS Max*, *Blender*, *Revit*, *Maya* e *ZBrush*. Nesses ambientes virtuais, os artefatos são modelados e simulados com base em sua forma, dimensão e material, permitindo avaliações estéticas, testes, ajustes e refinamentos antes da fabricação do modelo físico (Rigoni et al., 2022).

A evolução das ferramentas de modelagem direta impulsionou o desenvolvimento do design paramétrico, permitindo que designers integrem e controlem elementos do projeto por meio de parâmetros ajustáveis. Diferentemente das ferramentas convencionais, em que o designer manipula diretamente a solução final, o design paramétrico concentra-se na definição das relações entre os elementos do projeto. O designer estabelece essas relações, constrói o modelo com base em parâmetros fixos e variáveis e ajusta-os por meio de uma interface de forma dinâmica, refinando continuamente os resultados obtidos (Tavares, 2020). Essa abordagem é especialmente relevante no design de adornos pessoais, que lida com variações antropométricas e diversidade de materiais.

Além do design paramétrico, algumas ferramentas integram algoritmos programáveis à modelagem tridimensional, em um processo conhecido como *Algorithm-Aided Design* (AAD) ou Design Assistido por Algoritmos, em língua portuguesa. *Softwares* como *Grasshopper*, *Dynamo* e *Generative Components*, geralmente utilizados como *plug-ins* ou extensões de outros programas, oferecem ambientes de programação visual integrados, permitindo a criação de modelagens diversas (Tavares, 2020). Além disso, existem *plug-ins* desenvolvidos especificamente para a modelagem de joias, como *Peacock*, *Free Jewels* e *Grasshopper Gold*, que ampliam as possibilidades de design no setor (Rigoni *et al*., 2022).

Segundo Tedeschi (2014), um algoritmo é um procedimento estruturado para resolver um problema ou executar uma tarefa por meio de uma sequência finita e

definida de instruções. Muitos programas de AAD utilizam métodos visuais de programação, permitindo que designers explorem modelagem algorítmica sem necessidade de conhecimento avançado em linguagens de programação. Assim, qualquer modificação em um parâmetro impacta automaticamente todo o modelo, gerando alterações de forma simultânea, sequenciais e otimizadas. No *Grasshopper*, por exemplo, os parâmetros podem ser ajustados intuitivamente por meio de gráficos deslizantes, permitindo a geração de múltiplas variações a partir de um único modelo base. Um exemplo prático dessa abordagem é a modelagem paramétrica de um anel de geometria complexa, na qual o designer pode gerar automaticamente diferentes numerações do aro, estabelecendo parâmetros que garantam a variação do tamanho sem comprometer a espessura desejada do objeto. Sem esse recurso, cada numeração precisaria ser modelada individualmente, já que a simples escala do modelo não é eficaz no método convencional (Rigoni *et al*., 2022). Assim, com a integração de algoritmos complexos, o design paramétrico expandiu seus horizontes, superando limitações humanas de projeto. Algoritmos inspirados em processos naturais, por exemplo, permitem novas formas de experimentação e criatividade, abrindo caminho para inovações estéticas e funcionais no design de joias.

Uma vez criado o modelo digital tridimensional, sua materialização pode ser realizada por meio da impressão tridimensional, que se caracteriza pela construção de peças mediante a sobreposição de camadas horizontais, utilizando diferentes técnicas e materiais (Torreblanca-Díaz, 2022). Subsequentemente, o modelo digital é convertido em um arquivo compatível com programas especializados, os quais realizam o fatiamento da peça, transformando o objeto tridimensional em uma sequência de geometrias bidimensionais. Esse processo gera um protocolo de construção que permite à impressora 3D interpretar e executar a deposição sequencial das camadas até a obtenção da peça (Sadiku *et al*., 2024; Toni, 2022).

2.3 Pesquisas recentes em joalheria contemporânea

O design paramétrico distingue-se do design tradicional por sua capacidade de gerar geometrias complexas e dinâmicas mediante a manipulação de parâmetros variáveis e algoritmos. Essa abordagem promove uma integração inovadora entre matemática, arte e tecnologia, proporcionando novas formas de expressão e soluções projetuais (Demarco *et al*., 2020). Observa-se, nos últimos anos, um crescente interesse acadêmico pelo tema, com pesquisas que exploram de forma inovadora suas múltiplas possibilidades.

A pesquisa de Tavares (2020) explora as potencialidades das tecnologias de design computacional, digitalização tridimensional e realidade estendida na criação de adornos inovadores. Por meio de uma análise documental, o estudo evidencia o potencial expressivo dessas tecnologias através de casos selecionados.

Na pesquisa de Jeong *et al*. (2021), os autores investigam a aplicação do design paramétrico em peças de vestuário mediante modelagem e impressão tridimensional. O estudo envolveu o desenvolvimento de dois modelos distintos, utilizando uma impressora FDM, com materiais TPU e ABS, resultando na confecção de três peças de vestuário e dois acessórios. Os desafios identificados incluem a necessidade de modelagem precisa para garantir a integração dos padrões ao design das roupas, mantendo suas características paramétricas, além da complexidade na fixação dos elementos impressos ao tecido.

Wang *et al*. (2024) propõem um sistema integrado de design e personalização de joias, fundamentado em tecnologia de geração algorítmica paramétrica. Para o estudo, os pesquisadores desenvolveram um *software* interativo que contempla todo o processo de personalização, desde a concepção até a fabricação. Apesar dos resultados promissores obtidos nos testes práticos, o estudo identificou limitações técnicas na impressão de peças de pequenas dimensões e estruturas delicadas. Adicionalmente, os autores destacam a necessidade de um robusto suporte algorítmico para a ampliação do banco de dados tipológico de joias.

No âmbito da fabricação digital, Qingliu e Sharudin (2024) investigam a aplicação e os benefícios da manufatura aditiva no design de joias esmaltadas. Os autores desenvolvem uma análise comparativa entre o processo de produção utilizando impressão tridimensional e o método tradicional de esmaltação, além de examinar as limitações tecnológicas e as perspectivas futuras de desenvolvimento.

Nessa linha de pesquisa, Rigoni *et al*. (2022) identificam as principais tecnologias de modelagem e fabricação digital aplicadas à joalheria. A pesquisa demonstra, por meio de dois projetos de adorno, como a integração dessas tecnologias pode ampliar o potencial criativo do designer, explorando tanto a manufatura aditiva quanto a subtrativa.

Torreblanca-Díaz (2022), por sua vez, desenvolve um projeto voltado à criação de uma série de joias inspiradas em elementos naturais, utilizando tecnologias de design paramétrico e manufatura aditiva. Em uma abordagem similar, Zhang *et al*. (2024) utilizam o software *SolidWorks* 2018 para o desenvolvimento de joias personalizadas mediante design paramétrico e impressão tridimensional.

Na intersecção entre sustentabilidade e tecnologia, Pasricha e Greeninger (2018) investigam a aplicação dos conceitos de desperdício zero na indústria da moda mediante o uso da impressão tridimensional. A metodologia empregou os *softwares Rhinoceros* 5 e *Tinkercad*, utilizando uma impressora *MakerBot Replicator* 2 e filamento de ácido polilático (PLA) para o desenvolvimento de joias. Os pesquisadores implementaram estratégias de design específicas para eliminar a necessidade de suportes durante a impressão, visando à redução de resíduos.

Parolin *et al*. (2024) realizam uma análise comparativa entre o *software Grasshopper* e os sistemas tradicionais *gIBIS* e *QOC*, avaliando sua eficácia como modelo de captura e representação do conhecimento de design. O estudo examina aspectos de sintaxe, representação de parâmetros e fluxo informacional, revelando que o *Grasshopper* apresenta maior eficiência nas fases finais de ideação e nas etapas iniciais de especificação técnica, complementando os sistemas convencionais.

No campo da impressão tridimensional, Ree (2024) apresenta uma revisão dos avanços recentes nessa tecnologia, destacando suas aplicações em diversos setores estratégicos, incluindo automotivo, aeroespacial, militar, eletrônico, biomédico, energético, biotecnológico, farmacêutico e construção civil. O estudo contempla ainda análises de mercado e perspectivas críticas sobre o desenvolvimento e impacto futuro dessa tecnologia.

Seguindo tendências ainda mais atuais, Korkmaz (2024) investiga a convergência entre inteligência artificial, design generativo e impressão tridimensional na criação de joias. O estudo, de natureza aplicada, contribui para o processo de design ao apresentar uma metodologia sistemática que integra a prática criativa como elemento fundamental da pesquisa. De maneira similar, Magge (2024) desenvolve uma análise comparativa entre cinco principais programas de inteligência artificial (*Midjourney*, *DALL-E*, *Stable Diffusion*, *Leonardo* e *Firefly*) na geração de designs a partir de *prompts* textuais e imagéticos, com ênfase na criação de joias realistas. O estudo também aborda questões éticas, legais e regulatórias relacionadas à arte generativa, explorando sua aplicação efetiva no campo do design de joias.

3 Materiais e Métodos

O design paramétrico constitui uma abordagem prática que emprega interfaces de programação, tanto textuais quanto visuais, para a criação e modificação de formas e geometrias complexas de maneira eficiente. Esta metodologia viabiliza a automação dos processos projetuais e possibilita sua integração com ferramentas de fabricação

digital. Inserida neste contexto, a presente pesquisa caracteriza-se como de natureza aplicada, tendo em vista sua orientação para a geração de conhecimento com aplicabilidade prática. A abordagem é qualitativa, contemplando um estudo exploratório direcionado à compreensão da temática. Quanto aos objetivos, classifica-se como descritiva, fundamentando-se na observação e descrição do processo.

No âmbito desta investigação, utilizou-se o *software* de programação visual *Rhino* 8 em conjunto com o editor gráfico de algoritmos *Grasshopper*. Este *plug-in* possibilita a criação de modelos e soluções projetuais de forma dinâmica e interativa, mediante a definição de parâmetros que regulam as relações entre os elementos do projeto. O sistema opera através da sequenciação de componentes que executam transformações específicas sobre os dados. Cada componente, responsável por uma transformação particular, possui parâmetros de entrada (*input*) e saída (*output*), sendo que a interligação desses componentes possibilita a geração das morfologias pretendidas, como mostrado na Figura 1.

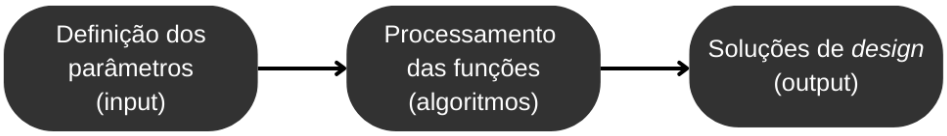


Figura 1 - Representação esquemática da operação do *software* paramétrico *Grasshopper*. Fonte: dos autores

O processo criativo das peças de joalheria fundamentou-se no desenvolvimento de um *Moodboard*, ferramenta metodológica que integra a fase preparatória do projeto (Baxter, 2011). Este instrumento consiste em um painel de referências visuais que sintetiza e materializa o conceito visual pretendido, orientando o desenvolvimento projetual mediante a organização sistemática de elementos imagéticos representativos. Para o desenvolvimento das joias contemporâneas propostas nesta pesquisa, adotou-se como referência morfológica as estruturas geométricas presentes na natureza, com ênfase particular na forma hexagonal característica dos favos de mel, exemplificando o conceito de biomimetismo na concepção das peças. Outros elementos podem ser vistos no *Moodboard* da Figura 2. Assim, com base na seleção de referências, optou-se por criar a coleção de anéis e braceletes denominada “Favo”, cujo design remete às estruturas geométricas das colmeias de abelhas. De modo geral, a fabricação digital do modelo base envolve três etapas principais: (i) modelagem algorítmica, (ii) impressão tridimensional e (iii) acabamento.



Figura 2 - *Moodboard* com referências visuais do projeto. Fonte: dos autores

Para a etapa de modelagem algorítmica do modelo base, optou-se pelo bracelete. A escolha desta peça deve-se, sobretudo, à sua geometria particularmente adequada à experimentação proposta. Seu formato circular permite o desenvolvimento de uma malha hexagonal contínua, explorando de maneira eficiente as possibilidades do design paramétrico. Além disso, o formato do bracelete oferece uma base versátil que pode ser facilmente escalonada ou ajustada para compor outros tipos de joias, como brincos e colares. Essa flexibilidade não apenas amplia as possibilidades de personalização e repetição modular, como também demonstra a capacidade do processo de modelagem e impressão 3D de gerar peças com coerência estética e funcional em diferentes tipologias de adorno.

Por conseguinte, utilizou-se a interface do *Grasshopper* para construir a geometria inicial da peça e definir os parâmetros ajustáveis, como os diâmetros interno e externo, a espessura e a largura, todos passíveis de serem alterados dinamicamente por meio de gráficos deslizantes, de acordo com as dimensões desejadas em projeto. Em seguida, utilizou-se comandos da própria base de recursos do *Grasshopper* para gerar um padrão hexagonal, estabelecendo relações lógicas com os parâmetros definidos para a estrutura do bracelete. Com o modelo paramétrico definido, é possível explorar variações tanto nas propriedades fundamentais da peça quanto na configuração dos hexágonos, ampliando as possibilidades formais e funcionais do design. A representação visual do algoritmo pode ser observada na Figura 3.

Como pode ser visto, a interface do *Grasshopper* organiza os parâmetros em pequenas caixas interconectadas por “fios”, criando uma estrutura visual intuitiva. Na prática, funciona como um tabuleiro no qual o designer insere e relaciona parâmetros *input* e *output*, observando de maneira dinâmica as transformações na geometria do modelo.

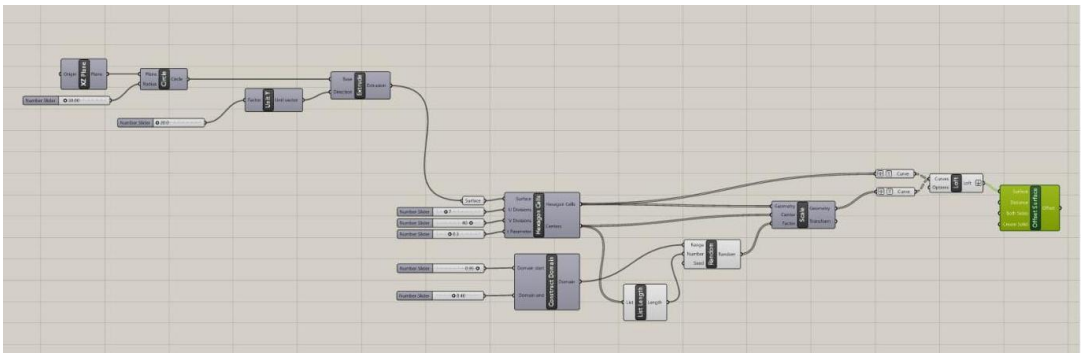


Figura 3 - Representação visual do algoritmo de modelagem. Fonte: dos autores

4 Resultados

Após a finalização do modelo paramétrico, a geometria pode ser exportada para o *Rhinoceros*, onde, se necessário, pode ser refinada utilizando as ferramentas tradicionais de modelagem. Posteriormente, a peça é convertida para um formato adequado à impressão tridimensional. Para a pesquisa, foram desenvolvidos três padrões distintos para o bracelete, denominados Bracelete 1, Bracelete 2 e Bracelete 3, variando o número de elementos na direção horizontal e vertical, bem como o tamanho dos favos, como pode ser visto na Figura 4.

O Bracelete 1 foi projetado com uma malha mais “robusta”, composta por um número reduzido de hexágonos na direção vertical e favos de diâmetro interno menor, conferindo-lhe uma configuração semelhante à de uma pulseira. Para o Bracelete 2, optou-se por hexágonos maiores e mais evidentes, com menor número de favos na direção horizontal e a inclusão de duas camadas adicionais na direção oposta, a fim de alcançar um equilíbrio estético. O Bracelete 3, por sua vez, recebeu um arranjo com maior quantidade de favos em ambas as direções e diâmetro interno de tamanho intermediário, resultando em células menores que o Bracelete 2 e em uma estrutura de aparência mais leve. Na etapa seguinte, a materialização dos braceletes foi realizada mediante dois modelos distintos de impressoras, utilizando diferentes filamentos.



Figura 4 - Adornos pessoais gerados por modelagem algorítmica paramétrica. Fonte: dos autores

A primeira impressão empregou a impressora *Bambu X1 Carbon*, um equipamento *CoreXY* robusto capacitado para impressões em alta velocidade. Segundo Diaz Mauricio (2023), o equipamento incorpora dois sistemas de calibração que asseguram a precisão da primeira camada. O sistema integra uma câmera com inteligência artificial para monitoramento e detecção de falhas, além de um sensor acoplado ao cabeçote que analisa múltiplos pontos da plataforma de impressão, complementado por um sensor *lidar*. Os dados coletados são processados por um algoritmo que compensa as irregularidades da base.

A impressão na *Bambu X1 Carbon*, configurada através do *software Bambu Studio*, utilizou os seguintes parâmetros: espessura de camada de 0,20 mm, *default strength*, ângulo de aplicação de 155°, raio de fechamento da lacuna da fatia de 0,049 mm e resolução de 0,012. O processo, utilizando filamento PLA *Extrafil* nas cores azul e marrom, foi executado a temperaturas entre 200°C e 250°C, com duração de 40 minutos. A interface do *software Bambu Studio* pode ser vista na Figura 5.

A segunda impressão foi realizada na *Creality Ender-3*, uma impressora tridimensional de movimentação triaxial. O equipamento utiliza o extrusor *Creality Sprite*, que suporta temperatura máxima de 260°C, incorporando sensores de esgotamento de filamento e recuperação de energia, além de eixo Z duplo para maior estabilidade. A impressão foi configurada com espessura de camada de 0,25 mm, utilizando filamentos PLA nas cores branca e preta, a 200°C, com duração aproximada de 3 horas e 30 minutos. Os modelos impressos podem ser vistos na Figura 6.

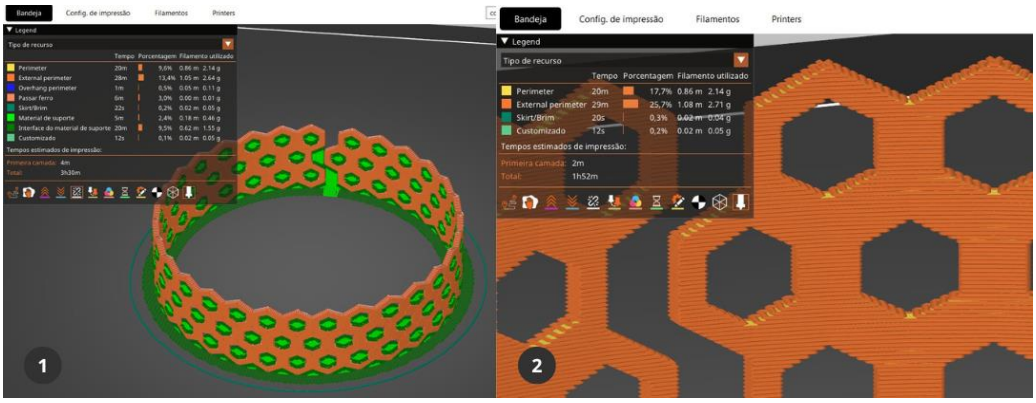


Figura 5 - Interface de configuração do software de fatiamento Bambu Studio. Fonte: dos autores

A comparação entre os braceletes impressos na *Bambu X1 Carbon* evidencia diferenças significativas em relação à definição e à qualidade superficial daqueles obtidos na *Creality Ender-3*. As duas peças geradas pela *Bambu X1 Carbon* (Figuras 6-1 e 6-2) apresentaram acabamento liso, uniforme e praticamente isento de marcas

de suporte, enquanto um dos modelos fabricados na *Ender-3*, mostrado na Figura 6-3, exibiu grande quantidade de *stringing*, ou “teias” de filamento, especialmente nas regiões vazadas dos favos. O segundo modelo produzido nessa impressora, apresentado na Figura 6-4, apresentou tamanha solidez que impossibilitou a remoção adequada dos suportes.

Essas diferenças podem ser atribuídas a uma combinação de fatores de *hardware* e de parâmetros de impressão. A *Bambu X1 Carbon* é um equipamento dotado de sistema de movimentação mais preciso, controle térmico avançado e recursos de calibração automática que garantem estabilidade durante todo o processo. A camada de 0,20 mm, associada à resolução de 0,012 mm e ao ângulo de aplicação, favoreceu a deposição uniforme do filamento, que, mesmo com um tempo de impressão reduzido, resultou em superfícies mais lisas e mais bem acabadas. Já na *Creality Ender-3*, a camada configurada em 0,25 mm proporcionou menor resolução vertical, tornando mais perceptíveis as linhas de deposição. Além disso, a ausência de um sistema de resfriamento mais eficiente contribuiu para variações na extrusão, favorecendo a formação das “teias” de filamento.

Por conseguinte, após um período de resfriamento de 15 minutos, iniciou-se a etapa de acabamento. Para assegurar a qualidade estética e tátil das peças, as superfícies foram cuidadosamente lixadas com lixas de gramatura 600 e 120, visando a remoção de imperfeições e a obtenção de um acabamento uniforme. Em seguida, os braceletes foram submetidos a um leve aquecimento, variando entre 150°C e 200°C, com o propósito de eliminar rebarbas residuais e suavizar eventuais irregularidades, conforme ilustrado na Figura 7.

Após essa etapa, constatou-se que os modelos impressos na *Bambu X1 Carbon* apresentaram ótimo acabamento superficial, com irregularidades quase imperceptíveis na região lateral interna dos favos. No modelo produzido na *Ender-3*, foi possível atenuar, mas não eliminar por completo os vestígios das “teias” de filamento. Já o segundo exemplar dessa impressora, diante da impossibilidade de remoção dos suportes, teve apenas a superfície suavizada por meio do processo abrasivo combinado à ação controlada da temperatura.

Como etapa final de acabamento, aplicou-se, primeiramente, uma camada de *primer* em *spray*, funcionando como base preparatória para a coloração. Após um intervalo de 20 minutos, procedeu-se à aplicação da camada final de tinta, utilizando dois tipos distintos de acabamento: i) tinta *spray* aerossol dourado, que confere um brilho metálico homogêneo, e ii) tinta *spray* metálica ouro, como mostrado na Figura 8.



Figura 6 - Braceletes impressos na *Bambu X1 Carbon* (1 e 2) e *Creality Ender-3* (3 e 4). Fonte: dos autores



Figura 7 - Braceletes submetidos ao lixamento manual (1) e aquecimento (2). Fonte: dos autores

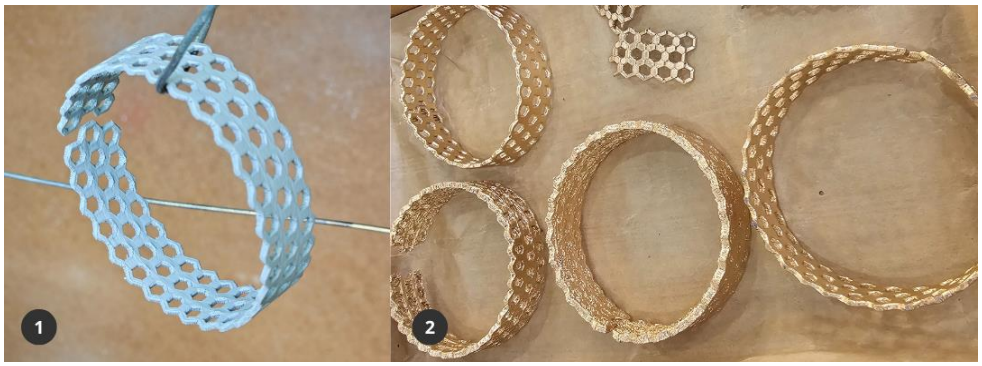


Figura 8 - Braceletes submetidos à pintura com primer (1) e tinta spray metálica ouro (2). Fonte: dos autores

5 Conclusões

No design de adornos pessoais, os sistemas de desenho auxiliado por computador substituíram o esboço em papel na comunicação de ideias e, em conjunto com a fabricação digital, transformaram a modelagem manual em cera e etapas tradicionais da ourivesaria. No contexto da joalheria contemporânea, o impacto dessas inovações tecnológicas foi profundo. A implementação da impressão tridimensional não apenas otimizou os tempos de produção, mas também aprimorou a produtividade, viabilizando tanto a produção seriada quanto a customização de peças. Diversos estudos, aos quais se incluiu esta pesquisa, mostraram que a convergência entre o design paramétrico e a manufatura aditiva estabeleceu um novo paradigma na área do design, distanciando mais as práticas convencionais baseadas na destreza manual e abrindo caminho para uma produção mais ágil, precisa e criativa.

Neste contexto, o presente estudo evidenciou o potencial transformador da modelagem paramétrica aliada à manufatura aditiva em FDM na criação de adornos pessoais personalizados. O uso do *plug-in Grasshopper*, integrado ao *software Rhino 8*, demonstrou ser particularmente eficiente na geração dos modelos, possibilitando a criação de múltiplas variações a partir de um único algoritmo base. A coleção “Favo”, inspirada hexagonalidade dos favos de mel, exemplificou de maneira consistente como o design paramétrico pode ser explorado para desenvolver peças com coerência visual e alto grau de personalização. Deste modo, conclui-se que a metodologia e os recursos adotados permitiram a experimentação formal e estética, ao passou que reafirmou o papel das tecnologias digitais como catalisadoras de inovação no campo da joalheria contemporânea.

A comparação entre os modelos impressos, por sua vez, evidenciou a influência direta do equipamento na qualidade final das peças, destacando a superioridade da *Bambu X1 Carbon* em relação à *Creality Ender-3* no que tange ao tempo de impressão (que foi de 40 minutos na *Bambu X1 Carbon* frente a 3 horas e 30 minutos da *Creality Ender-3*), à precisão e ao acabamento. Em síntese, a impressora *Bambu X1 Carbon* produziu modelos com melhor definição e acabamento superficial, enquanto a *Creality Ender-3* evidenciou limitações relacionadas à resolução e à formação de resíduos durante o processo de impressão. Esses resultados reforçam a importância da escolha criteriosa dos parâmetros e do equipamento adequado para garantir a qualidade final das peças.

Ademais, o estudo mostrou que houve a necessidade de acabamento manual, realizado por meio de técnicas complementares, como lixamento e aquecimento, a fim

de aprimorar a estética das peças impressas após a etapa de pintura. Em relação, ao revestimento com tinta *spray*, ressalta-se a facilidade de aplicação e a melhora considerável na aparência estética dos modelos.

Conclui-se que a adoção das tecnologias de modelagem paramétrica e impressão tridimensional possibilitou a concepção de peças em ótimos níveis de complexidade, expandindo as possibilidades estéticas e funcionais do design de joias. Esse avanço não apenas redefine os processos produtivos, mas também impulsiona a joalheria para um futuro altamente inovador e dinâmico.

Por fim, diante dos resultados obtidos, ainda que tais aspectos não tenham constituído o foco desta investigação, recomenda-se que pesquisas futuras abordem: (i) a resistência mecânica e química das peças, bem como de seus revestimentos; (ii) o comportamento dos materiais ao longo do tempo em contato com a pele humana; (iii) a aplicação de técnicas adicionais, como a pintura eletrostática; (iv) a integração de sensores e componentes eletrônicos visando à criação de joias inteligentes com funcionalidades interativas; (v) o desenvolvimento de algoritmos generativos mais complexos, capazes de incorporar variáveis simbólicas, antropométricas e culturais ao processo de design; e (vi) a análise da recepção estética e simbólica das peças junto a usuários reais, por meio de estudos de usabilidade e percepção.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

Referências

AMORIM, W. G.; TEIXEIRA, M. B. S. **Integração de tecnologias na fundição simulada de joias de ouro**. Relatório técnico final de pesquisa de iniciação cientifica. Belo Horizonte: UEMG, 2007.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para design de novos produtos**. São Paulo: Blucher, 2011.

BAYSAL, E. L. **Personal Ornaments in Prehistory: An Exploration of Body Augmentation from the Palaeolithic to the Early Bronze Age**. Oxford: Oxbow Books, 2019.

BERNABEI, R. **Contemporary Jewellers Interviews with European Artists**. London: Berg, 2011.

BESTEN, L. **On Jewellery: A Compendium of International Contemporary Art Jewellery**. Stuttgart: Arnoldsche Art Publishers, 2011.

CHATURVEDI, I.; JANDYAL, J.; WAZIR, I.; RAINA, A.; UL HAQ, M. I. **Biomimetics and 3D printing- Opportunities for design applications**. Sensors International, Vol. 3, p. 1-9, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100191.

CHU, H. **Research on 3D Jewelry Design Based on Virtual Reality Technology**. Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing, Article ID 3119037, p. 1-8, 2022. DOI: https://doi.org/10.1155/2022/3119037.

CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L. **Design de joias: proposição de metodologia para ensino voltado ao mercado joalheiro**. Design & Tecnologia, vol. 12, n. 24, p. 57-72, 2022. DOI: https://doi.org/10.23972/det2022iss24pp57-72.

COSTA, E. **A joia: arte, design e moda**. In: DAYÉ, C.; CORNEJO, C.; COSTA, E. Joalheria no Brasil: História, mercado e ofício. Barueri, São Paulo: Disal, 2017.

DEMARCO, F.; BERTACCHINI, F.; SCURO, C.; BILOTTA, E.; PANTANO, P. **Algorithms for Jewelry Industry 4.0**. In Lecture Notes in Computer Science: Vol. 11973. Springer International Publishing, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39081-5_37.

DIAZ MAURICIO, D. **Proyecto de diseño y construcción de una impresora de capacidad industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universitat Politècnica de Catalunya, 2023.

EFKOLIDIS, N.; MINAOGLOU, P.; AIDINLI, K.; KYRATSIS, P. **Computational design used for jewelry**. DOI: https://doi.org/10.24867/GRID-2020-p60.

EICHHORN-JOHANNSEN, M. (org.); RASCHE, A. (org.); BÄHR, A. (org.); SCHNEIDER, S. (org.). **25,000 Years of Jewelry**. Munich: Prestel, 2021.

GOLA, E. **A joia: história e design**. 2ª ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2013.

GOMBRICH, E. H. **Arte e ilusão: um estudo da psicologia da representação pictórica**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

JEONG, J.; PARK, H.; LEE, Y.; KANG, J.; CHUN, J. **Developing parametric design fashion products using 3D printing technology**. Fashion and Textiles, vol. 8 n. 22, p. 1-25, 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s40691-021-00247-8.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age**. Design and Manufacturing. New York-London: Spon Press-Taylor & Francis Group, 2003.

KORKMAZ, S. F. **Explaining a Jewelry Design Process: Using a generative Design Method Called Shape Grammars and Producing the Product with 3D Printing**. Art and Design Review, vol. 12, p. 1-10, 2024. DOI: https://doi.org/10.4236/adr.2024.121001.

MAGGE, M. **Generative artificial intelligence as a tool for jewelry design**. Gems & Gemology, vol. 60, n. 3, p. 330–347, 2024. DOI: http://dx.doi.org/10.5741/GEMS.60.3.330.

NISHIMURA, P. L. G.; RODRIGUES, O. V. **A prototipagem rápida aplicada à joalheria**. In: Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Blucher Design Proceedings, vol. 1, n. 4, p. 2365-2374. São Paulo: Blucher, 2014. DOI: https://doi.org/10.5151/designpro-ped-00689.

PAROLIN, G.; BRUSCATO, L. M.; RIBEIRO, V. G. **Caracterização do sistema de Design Paramétrico Grasshopper 3D como modelo de conhecimento de Design**. Revista Brasileira de Design da Informação, v. 21, n. 1, p. 1-15, 2024.

PASRICHA, A.; GREENINGER, R. **Exploration of 3D printing to create zero-waste sustainable fashion notions and jewelry**. Fashion and Textiles, vol. 5, p. 1–18, 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s40691-018-0152-2.

PHILLIPS, C. **Jewelry: From Antiquity to the Present**. London: Thames & Hudson, 2018.

QINGLIU, C.; SHARUDIN, S. A. **Research on the Application of 3D Printing Technology in Enamel Jewelry Design**. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, vol. 14, n. 1, 2024. DOI: http://dx.doi.org/10.6007/IJARBSS/v14-i7/21878.

REE, B. J. **Critical review and perspectives on recent progresses in 3D printing processes, materials, and applications**. Polymer, vol. 308, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.127384.

RIGONI, F. M. M.; DIAS, M. R. A. C.; AMORIM, W. G. **A integração das tecnologias computacionais no desenvolvimento de joias**. In: Anais do 14º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Blucher Design Proceedings, vol. 10, n. 5, p. 1-19. São Paulo: Blucher, 2014. DOI: https://doi.org/10.5151/ped2022-2634996.

SANTOS, I. A. **Adornos pessoais: uma reflexão sobre as relações sociais, processo de design, produção e formação acadêmica**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Artes & Design, Programa de Pós-graduação em Design, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2003.

SCHUMACHER, P. **Design Parameters to Parametric Design**. In The Routledge Companion for Architecture Design and Practice, Routledge, 2015.

SILVA, R. C. **A joia: história, simbolismos e emoções**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Artes Visuais, Escola de Belas Artes, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2020.

SIMON, H. **Las ciencias de lo artificial**. Granada: Editorial Comares, 2006.

SKODA, S. M. O. G. **Evolução da Arte da Joalheria e a Tendência da Joia Contemporânea Brasileira**. Dissertação. Programa de Pós-graduação Interunidades em Estética e História da Arte, Universidade de São Paulo, 2012.

TAVARES, T. S. **Novas Tecnologias e os Paradigmas no Design de Adornos Pessoais: Conceitos e Explorações**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Artes & Design, Programa de Pós-graduação em Design, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2020.

TEDESCHI, A. **AAD Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies using Grasshopper**. Potenza: Le Penseur Publisher, 2014.

TONI, M. L. **Coleção Aurea: O design paramétrico na joalheria**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Design, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

TORREBLANCA-DÍAZ, D. A. **Biodigital jewelry through parametric design and additive fabrication technologies**. SIGraDi 2022. Critical Appropriations, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2022.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Editora Blücher, 2007.

WANG, X.; WANG, Y.; BAI, X. **Research on Interactive Jewelry Customization Design Driven by Intelligent Technology**. IN: Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Design and Innovative Technology (ICIDIT 2023), p. 172-182, 2023. DOI: https://doi.org/10.2991/978-94-6463-266-8_19.