

DESIGN DE JOIAS:

CERÂMICA AVANÇADA E A PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA JOALHERIA

Carolina de Araujo Guilgen¹
Gláucia de Salles Ferro²

RESUMO

A competição contínua entre os setores produtivos estimula as empresas a investir em transformações tecnológicas e processos de trabalho. Assim, até mesmo setores tradicionais que utilizam mão de obra artesanal, como o setor joalheiro, vêm empregando novas tecnologias e processos no intuito de melhorar a competitividade, agregando valor aos produtos. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica especulativa a respeito da utilização dos processos da modelagem artesanal, da prototipagem rápida (RP) e também da cerâmica avançada no processo de desenvolvimento da peça de joalheria. O artigo explora o conceito e a aplicabilidade da RP, que vem sendo empregada nos projetos de design de joias, e as possibilidades de otimização desta tecnologia com o uso da cerâmica avançada. Não obstante as peculiaridades dos métodos de modelagem artesanal e da RP, existe um universo a ser explorado com criatividade e competência técnica pelo designer no segmento joalheiro.

1. Mestre,
e-mail: carolinaguilgen@gmail.com
2. Doutoranda,
e-mail: glaucia@frontesul.com.br

PALAVRAS-CHAVE: Design de joias. Prototipagem rápida. Cerâmica avançada.

1 INTRODUÇÃO

O segmento joalheiro possui características únicas, possibilitando ao designer desenvolver projetos singulares com design exclusivo. Ao mesmo tempo, é possível constatar que os métodos de execução de uma joia são os mais variados, sendo alguns deles artesanais e outros industriais.

O desenho manual é uma prática tradicional no design de joias. Mas esta prática só se concretiza se aliada ao conhecimento das técnicas. Salem (1998) faz algumas considerações sobre o designer de joias como: o designer de joias necessita apresentar noções sobre os processos fundamentais de fundição de metais, ligas, soldas e de confecção de peças de joalheria. Além disso, segundo o referido autor, deve ter conhecimento sobre lapidação das gemas, facetamento e o polimento das mesmas e conhecer os distintos tipos de lapidação e cravação para que possa aproveitá-los de maneira correta nas peças. Nos mais diversos setores industriais, os processos de desenvolvimento de projetos e a produção de protótipos operam de maneira homogeneizada com os avanços tecnológicos, como, por exemplo, a utilização de sistemas CAD¹ (VOLPATO et al., 2007). A velocidade e a capacidade desses sistemas de modelagem tridimensional correspondem cada vez mais à necessidade de aceleração da inserção de novos produtos no mercado, pressionados por fatores de “*time to market*”, relacionados com o processo de globalização (LINO; NETO, 2012). Tal realidade gera a demanda para a construção dos protótipos físicos mais rápidos, pois “pela prototipagem rápida é possível produzir com precisão peças de geometria e formas complexas

em menor tempo e com maior qualidade e fidelidade à concepção projetual.” (AMORIM; TEIXEIRA, 2007, p. 2).

Por isso, estudar e conhecer tecnologias novas são requisitos primordiais para os designers. É uma questão de adaptação às necessidades modernas e da indústria, mesmo porque, para se modelar uma joia para prototipagem, é essencial que se tenha conhecimento da parte manual do design de joias. (VOLPATO et al., 2007).

Para Volpato et al. (2007), ao se projetar uma peça, ela deve ter as características técnicas necessárias para que possa tornar-se uma peça piloto numa linha de produção. A prototipagem rápida traz para o profissional de design uma amplitude de funções e ferramentas para o desenvolvimento de suas criações, da mesma forma como propõe vantagens de uso e rapidez. Embora este processo envolva também etapas de manufatura, Costa (2010) acredita que a base está no sistema de produção industrial que envolve diversos profissionais na execução das diferentes fases de desenvolvimento do projeto, quando se especializam em diferentes saberes, competências e habilidades específicas.

São relatadas por Chua; Leong; Lim (2003) as primeiras experiências de utilização da Prototipagem Rápida na produção de joias, que aconteceram no final da década de 90. Segundo os autores, elas ocasionaram certa frustração, pois o resultado foram peças que

¹CAD é a abreviatura para *Computer Aided Design* ou Design Auxiliado por Computador.

precisavam de forte acabamento e os materiais não eram apropriados à produção joalheira. Com a evolução de equipamentos e materiais na RP, nos dias de hoje esta tecnologia transformou-se em um recurso para a melhoria da competitividade do setor em todo o mundo e vem sendo usada cada vez mais nas indústrias do setor joalheiro.

O setor joalheiro já incorpora algumas tecnologias que agilizam o processo de construção de protótipos como as fresadoras de alta velocidade, sistemas de prototipagem rápida e *softwares* 3D, otimizando assim o processo de confecção de diversas peças (VOLPATO et al., 2007). A utilização dessas tecnologias na construção de protótipos poderá contribuir para o avanço da produtividade do setor, sobretudo se forem usadas de maneira complementar ao sistema já existente de fabricação.

Nesse contexto, este artigo tem por objetivo apresentar considerações sobre a joalheria tradicional, a prototipagem rápida em joias e seu uso com a cerâmica avançada, um novo material utilizado em joias. Para tanto, a pesquisa adota uma metodologia do tipo exploratória buscando, por meio de uma pesquisa bibliográfica especulativa, considerações gerais a respeito do uso das novas tecnologias voltadas para o design de joias cerâmicas por meio da prototipagem rápida. Uma pesquisa bibliográfica, segundo Gil (2008, p. 50), é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído de livros e artigos científicos. A busca nos bancos de dados foi realizada usando as palavras-chave: design de joias, prototipagem rápida e joalheria artesanal. Em seguida, buscou-se estudar e compreender melhor o assunto abordado nos estudos encontrados para, então, apresentar uma discussão sobre o tema.

2 CONSIDERAÇÕES SOBRE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

A prototipagem rápida trata de um conjunto de tecnologias utilizadas para a fabricação de objetos físicos a partir de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador denominado CAD (GORNI, 2001). Esses métodos unem materiais, camada a camada, constituindo o objeto esperado (SAURA, 2006).

Eles permitem aos projetistas a criação rápida de protótipos em vez de desenhos bidimensionais, e, feitos mais rapidamente e de baixo custo, constituem um auxílio visual na discussão do projeto, permitindo testes prévios (SAURA, 2006). Segundo Gorni (2001), a construção dos protótipos levam em média de 3 a 72 horas, dependendo da complexidade e tamanho do artefato.

Hoje, existem pelo menos sete diferentes técnicas de RP disponíveis no mercado. O processo de prototipagem rápida aditivo combina camadas de cera, papel ou plástico para a criação de uma peça sólida, permitindo a criação de artefatos com propriedades internas mais complexas (SELHORST JR., 2008; GORNI, 2001). Já no processo de RP subtrativo, como a usinagem, o detalhamento mais complexo interno não é possível, pois é removido material do bloco sólido (VOLPATO et al., 2007).

Conforme Volpato et al. (2007), os processos de RP existentes hoje no mercado são compostos por cinco etapas:

1. criação do modelo CAD do objeto projetado;
 2. conversão do arquivo CAD em STL, adequado para estereolitografia;
 3. fatiamento do STL em camadas transversais;
 4. construção física do modelo, juntado as camadas;
 5. limpeza e acabamento da peça.
3. Cura Sólida na Base (SGC, *Solid Ground Curing*);
 4. Manufatura de Objetos em Lâminas (LOM, *Laminated Object Manufacturing*);
 5. Conformação Próxima ao Formato Final via Laser (LENS, *Laser Engineered Net Shaping*);
 6. Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM, *Fused Deposition Modeling*);
 7. Impressão por Jato de Tinta (MJT, *Multi Jet Modeling*; BPM, *Ballistic Particle Manufacturing*);
 8. Usinagem.

Os sistemas de RP mais utilizados, segundo Volpato et al. (2007) e Gorni (2001), são:

1. Sinterização Seletiva a Laser (SLS, *Selective Laser Sintering*);
2. Estereolitografia (SLA, *Stereolithography*);

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA JOALHERIA

Na joalheria tradicional, a fabricação do modelo é considerada uma das etapas iniciais mais importantes no processo de produção, tendo características específicas para ajustá-lo ao processo de reprodução, pois a partir dele são copiadas as peças (CAMPOS, 2007). Porém, algumas técnicas mais comuns, utilizadas na joalheria tradicional, são de cunho artesanal, tais como recozer, limar, cisalhar, torcer, perfurar, soldar, lixar e polir. Elas podem ser utilizadas nos processos industriais para modificar e transformar as peças, manipulando-as de maneira a deixá-las com uma forma diferente e renovada. Outras técnicas, como a incrustação e gravação também são utilizadas no processo (SALEM, 2000).

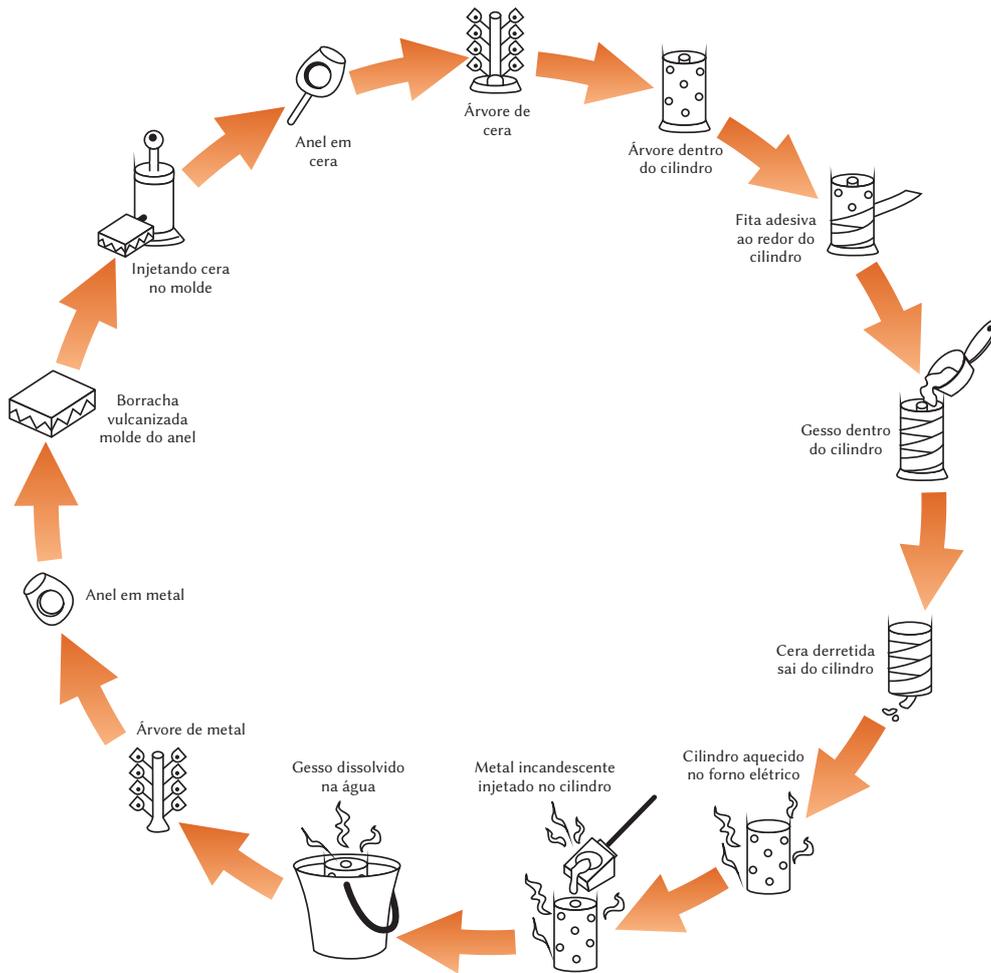
Dentre as técnicas de acabamento tradicionais, estão o polimento, o jateado, o lixado, o martelado, o escovado, o tessuto e a folheação (YONG, 2011).

Além dessas, o vidrado é considerado uma técnica decorativa para colorir a superfície do metal (YONG, 2008).

Na modelagem em cera, outra técnica bastante utilizada no processo industrial para a confecção de modelos na indústria joalheira, permitindo a criação de várias peças idênticas em um curto espaço de tempo, utiliza-se de técnicas de escultura, modelagem e solda, entre outras, até que a peça desejada seja formada. O processo de fundição por cera perdida é definido como o conjunto de atividades requeridas para dar forma aos materiais por meio da sua fusão, conseqüente liquefação e seu escoamento para moldes adequados. (SALEM, 2002).

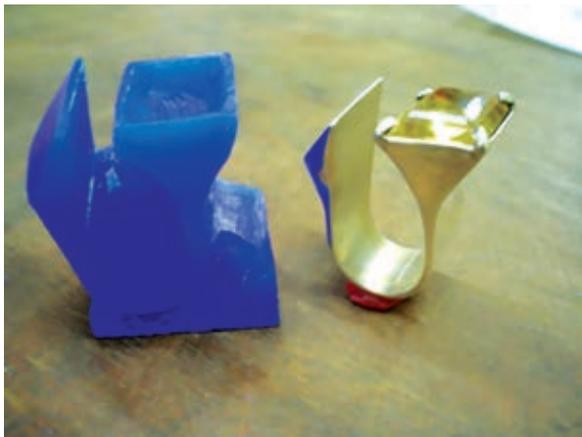
Apresenta-se na Figura 1 o processo de fundição com cera perdida e, na Figura 2, um exemplo de uma joia produzida por esse processo.

Figura 1: Processo de modelagem com cera perdida



Fonte: Pompei (2005)

Figura 2: Joia produzida pelo processo de modelagem de cera



Fonte: Ramo Joalheiro (2012)

Com o passar do tempo, a joalheria vem se apropriando de novas tecnologias, como a prototipagem rápida, que foi criada para desenvolver

protótipos de modo mais célere e buscando aprimorar a prática dos testes. Os protótipos facilitam o entendimento e, assim, os indivíduos têm mais facilidade em compreender e visualizar os objetos tridimensionais. A economia de custo e tempo são efeitos desses avanços, pois os protótipos são utilizados para averiguação de refinamento (HOTZA, 2009). A prototipagem é produzida somente na parte do metal, depois dessa fase concluída é inserida a pedra na peça.

A RP é uma tecnologia que pode construir modelos físicos a partir de um modelo gerado num sistema CAD rapidamente. Porém, “rápido” é um termo relativo, porque o tempo de construção varia entre 3 e 72 horas, de acordo com cada modelo de máquina, tamanho e complexidade dos protótipos. (GORNI, 2001).

NA CONSTRUÇÃO DA PEÇA PELO MEIO DA RP, CADA TECNOLOGIA DIVIDE OS MESMOS PASSOS TÉCNICOS, ONDE O COMPUTADOR ANALISA O SÓLIDO MODELADO EM AMBIENTE VIRTUAL (CAD) E DETERMINA A PRODUÇÃO DO ARTEFATO POR MEIO DE CAMADAS. ESSAS CAMADAS SÃO ENTÃO ORDENADAMENTE RECRIADAS PARA FORMAR UM OBJETO 3D. (WOHLERS, 2003).

O processo de prototipagem rápida apresenta seu início com uma representação tridimensional do artefato a se produzir e, usando um *software* de CAD (*Computer Aided Design*), com arquivos de saída no formato STL (*Stereolithography*), forma-se uma reprodução em malha triangular deste objeto a ser produzido. (HOTZA, 2009). Gorni (2001, p. 230) afirma que “o termo prototipagem rápida designa um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador (CAD)”.

A fase de projeto designada modelagem virtual trata da criação da joia por meio do desenho. Representações adicionais às vezes podem se tornar indispensáveis para a definição de detalhes de produção referentes à lapidação ou cravação de pedras. Nessa fase, o apoio da RP é importante e se enaltece a partir da estruturação

da peça que se dá por meio do uso de *softwares* específicos como CAD, entre eles o Rhinoceros, o Jewel CAD, o Flamingo 3D e o 3DMax para a modelagem de design de joias. (VOLPATO et al., 2007).

Tratando-se de tecnologia informatizada, são inúmeros os recursos CAD/CAE/CAM (projeto, engenharia e manufatura auxiliados por computador) disponíveis no mercado. Eles são amplamente utilizados em diversos tipos de indústrias de forma bem-sucedida (VOLPATO et al., 2007).

Tais *softwares*, tanto o CAD quanto o CAM, oferecem soluções bem aceitáveis para a produção joalheira.

Segundo Amaral et al. (2006), a aplicação de sistemas CAD abrange todas as etapas de criação dos produtos. Como apresenta tridimensionalmente modelo sólido do produto, esses sistemas admitem a realização de diferentes tipos de análises.

As funcionalidades principais do CAD, de acordo com Amaral et al. (2006), são o modelamento geométrico, detalhamento das representações, auxílio estético ao desenho industrial, simulações para o teste virtual da aplicação do artefato, projeto de ferramentas: criação de moldes, cálculo automático das cavidades, integração CAM e processamento de integração entre sistemas.

Após a modelagem do sólido, é passada para a etapa de planejamento do processo de manufatura. Para isso, utiliza-se a Manufatura Auxiliada por Computador (CAM). O processo de implementação dos sistemas CAD/CAM no âmbito joalheiro é considerado um estágio

natural, intrínseco ao próprio processo de transição como em diversos setores industriais que também tiveram mudanças parecidas, desde os anos 80 (BEGUIN, 1994).

As empresas joalheiras estão colocando lentamente os recursos como o CAD/CAM (Projeto Auxiliado por Computador/Manufatura Auxiliada por Computador) como parte do projeto, mesmo já favorecendo outros setores industriais há vários anos, especialmente os que apresentam suas atividades voltadas para a engenharia e o design. (VOLPATO et al., 2007).

Por suas próprias características, esses sistemas apresentam grandes potenciais, já que podem comunicar a fase de projeto com a de produção no setor joalheiro. A utilização do CAD associado a um sistema CAM admite que as parcelas iniciais, como projeto e produção do primeiro modelo da joia, possam ser inteiramente integradas. Um sistema CAD que use modelagem a partir de sólidos admite a simulação de um modelo tridimensional e uma análise de formatos e tamanhos representados visualmente como se a peça tivesse sido produzida de verdade (AMARAL et al., 2006).

As propriedades da peça podem ser vistas e avaliadas com certa facilidade durante a fase de concepção, impedindo interpretações erradas, podendo verificar qualidade do projeto e tornar mínimo as probabilidades de acontecerem falhas.

Para verificar o design final do modelo, por meio da técnica de “*rendering*”, colore-se o modelo com

material adequado como ouro, prata e pedras preciosas, simulando a joia com resultados visíveis muito aproximados do produto real. Podem ser obtidas também diversas versões de um modelo com cores para a avaliação dos resultados (AMARAL, 2006; VOLPATO et al., 2007).

Segundo os referidos autores, o CAD proporciona benefícios em projetos de peças que necessitam de um nível elevado de precisão das medidas. É possível avaliar antecipadamente os mecanismos de encaixe e fixação dos modelos com uma precisão difícil de ser alcançada pelo processo convencional. Também na reprodução de componentes de peças, é possível arquivar os desenhos e reutilizá-los quantas vezes for necessário. Além disso, os dados técnicos imprescindíveis à produção são automaticamente gerados pelo *software* CAD, evitando erros na interpretação do projeto.

Depois da conclusão do projeto em CAD, caso seja feita a opção pela confecção artesanal, o modelo pode ser impresso contendo todas as vistas da peça, com dimensões, diâmetro, volume, e com a possibilidade de visualizar as versões diferentes. No entanto, os benefícios conseguidos com a utilização do CAD podem ser mais aproveitados quando usados junto com o sistema CAM, fazendo a utilização de máquinas de prototipagem rápida para confecção automatizada dos modelos. (VOLPATO et al., 2007).

Apresenta-se, no quadro a seguir, os principais processos utilizados na joalheria tradicional e na RP.

Quadro 1: Processos Utilizados na Joalheria Tradicional e na RP

JOALHERIA TRADICIONAL	PROTOTIPAGEM RÁPIDA
<ul style="list-style-type: none"> ■ Técnicas de produção: modelagem em cera; fundição em cera perdida; recozimento; limada; cisalhada; torcimento; perfuração; solda; lixamento e polimento; incrustação e gravação. ■ Técnicas de acabamento: polimento; jateado; lixado; martelado; escovado; tecido; folheação e vidrado. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Criação do modelo CAD ■ (Rhinceros, o Jewel CAD, Flamingo, 3D e 3DMax para a modelagem de design de joias) do objeto projetado. ■ Conversão do arquivo CAD em STL, adequado para estereolitografia. ■ Fatiamento do STL em camadas transversais. ■ Construção física do modelo, juntando as camadas. ■ Limpeza e acabamento da peça.

Fonte: Adaptado de Salem (2000), Yong (2011) e Volpato et al. (2007)

Tanto no processo artesanal como na RP existe a possibilidade da produção de peças complexas, só que a produção artesanal depende de alguns fatores como: a experiência do artesão relativa à visualização espacial da peça, o tempo de produção, os processos a serem utilizados e os custos envolvidos. A vantagem do processo da RP em relação aos processos artesanais da confecção do modelo é relativa à possibilidade de um controle maior sobre os resultados. O modelo produzido em CAM será exatamente fiel ao projeto com a conveniência da diminuição do tempo de produção e seus respectivos custos. Em uma fase que é indicadora de referência para o ciclo de produção do produto, o apoio desses sistemas como o CAD/CAM pode ser relevante, garantindo que o modelo alcançará as metas de qualidades fundadas no projeto. Depois da modelagem física da joia ilustrada é que a RP assume um papel relevante. (VOLPATO et al., 2007).

NA PRODUÇÃO TRADICIONAL JOALHEIRA, A FASE DE MODELAGEM FÍSICA É ARTESANAL, ALCANÇADA COM CERAS SÓLIDAS ESPECIAIS, ADEQUADAS PARA ESCULPIR, USANDO FERRAMENTAS, QUASE TODAS MANUAIS E NECESSITANDO DA HABILIDADE DO ARTESÃO.

Por meio da RP e a partir do design resultante do uso de *software* específico, de acordo com a peça projetada, pode-se conseguir uma primeira versão física dessa joia em minutos ou horas, mesmo que a peça seja de alta complexidade (VOLPATO et al., 2007). Depois de confeccionada a peça piloto e avaliada, inicia-se a confecção de moldes e/ou ferramentas destinados à produção em série de peças (SALEM, 2002).

Fundamentalmente a partir do tipo de molde e/ou ferramenta, da complexidade geométrica da peça, da durabilidade desejada e dos custos de produção, é determinado o número de peças a se produzir. Quando a geometria é mais simples e a quantidade é expressiva, pode-se optar pela confecção de ferramentas em aço, de grande durabilidade, feitas na maioria das vezes por fresadoras especiais, com a utilização de Controle Numérico Computadorizado (CNC). Entretanto, quando existe alta complexidade geométrica das joias, a quantidade de produção normalmente é pequena, então, opta-se pelo uso de modelos em cera, por meio do processo chamado de fundição por cera perdida (SALEM, 2002).

Volpato et al. (2007) referem-se às diversas formas de se apresentar um produto tridimensionalmente. Dentre elas os autores citam a modelagem manual, a prototipagem/modelagem virtual, a prototipagem por usinagem CNC e a prototipagem rápida propriamente dita. Observa-se que os autores avaliam a prototipagem rápida como sendo uma técnica diferente da usinagem CNC. Contudo, acabam generalizando o conceito de RP, fazendo a diferenciação do processo somente conforme adição ou subtração de material.

Em síntese, a prototipagem rápida, segundo Selhorst Jr. (2008), é baseada em uma técnica de produção que se subdivide em dois nos processos aditivo (prototipagem rápida “original”, impressão 3D etc.) e subtrativo (usinagem CNC, dentre outras). A prototipagem rápida aditiva é baseada em um processo de fabricação por meio da adição de material em forma de camadas planas sucessivas (VOLPATO et al., 2007).

Volpato et al. (2007) dizem o mesmo sobre as fases que formam o processo das tecnologias

de prototipagem por adição de material. Elas são similares e, de maneira geral, envolvem: modelagem tridimensional do produto em um sistema CAD, conversão do arquivo CAD em formato STL, plano do processo para a fabricação por camada e a fabricação camada a camada.

Segundo Selhorst Jr. (2008), os processos de prototipagem rápida por subtração de material fundamentam-se no desgaste do bloco de material até se conseguir o objeto esperado, usando-se um equipamento especial. A vantagem da tecnologia por subtração é “uma melhor precisão dimensional possível de ser alcançada e a gama de materiais que podem ser utilizados” (Volpato et al., 2007, p. 28). Na joalheria, os materiais mais utilizados para esse processo são a resina, cera e madeira.

Conforme Madison (1996, p.5), a “CNC é uma forma específica de controle onde a posição é a principal variável controlada”. Assim, depois de modelar a peças no CAD 3D, determinam-se os valores numéricos no CAM que representam posições de ferramentas e dados de funções secundárias. Esses dados, transformados em códigos, são gravados em um sistema de memória (*chip* etc.) e transformados novamente em sinais que atuarão operando nos eixos da máquina (MADISON, 1996).

Sobre os equipamentos CNC, Selhorst Jr. (2008) assegura que a maior parte usa três eixos comuns de usinagem, apesar muitos virem oferecendo mais eixos, além de trocadores automáticos de ferramentas para a usinagem do verso da peça logo depois da finalização da primeira face do modelo.

Conforme Gorni (2001), os processos de (RP) fazem com que os produtos sejam fabricados em tempo menor, além de possibilitarem que formas complexas sejam produzidas com mais facilidade.

O uso da RP admite a produção direta e seriada de modelos em cera especial para utilização direta na fundição, sem a necessidade de pós-acabamento (VOLPATO et al., 2007). Nesse caso, a fase de confecção do molde de borracha ou silicone pode vir a ser dispensável.

Depois dos moldes finalizados, dá-se início à fundição por cera perdida, onde esse processo corresponde à injeção de cera usando moldes na maioria das vezes de borracha ou silicone e máquinas especiais que são injetoras, fazendo-se a injeção desses moldes com a cera. Nessa fase são utilizadas ceras naturais ou resinas poliméricas/plásticas conforme a qualidade de reprodução exigida. (SALEM, 2002)

Outro fator notado é a vantagem de ter um arquivo virtual da peça a ser produzida, permitindo a previsão de como ficará a mesma e a configuração desta. Esse arquivo oferece o benefício de melhorar espaço físico da fábrica, já que a empresa cria um estoque de arquivos digitais, podendo reutilizá-lo rapidamente para a produção se necessário. Volpato et al. (2007) também antecipam que futuramente não existirão prateleiras para armazenamento e o armazenamento será digital e, oportunamente, os arquivos serão transferidos ao sistema de produção rápido.

As diversas tecnologias de RP existentes, usando materiais bem diferenciados e sob o formato de resinas, fios, pós e outras, vêm ocupando de maneira crescente lugar nos setores produtivos, especialmente nos de bens de consumo duráveis, como o setor joalheiro (VOLPATO et al., 2007). Dentre esses, encontram-se as cerâmicas avançadas.

As cerâmicas avançadas são cerâmicas desenvolvidas por meio de novas tecnologias muito

utilizadas por suas características, pois em sua dimensão permitem a confecção de infraestruturas com propriedades estéticas e mecânicas satisfatórias, fazendo com que as mesmas sejam uma opção às infraestruturas metálicas para as restaurações odontológicas. (KELLY et al., 1996).

Dentre elas, a cerâmica de zircônia, sendo uma cerâmica avançada, é um material muito atrativo para a joalheria devido à sua resistência à flexão e tenacidade à fratura. É muito utilizada na odontologia devido às suas propriedades químicas, estabilidade dimensional, grande força mecânica, tenacidade e por ser similar às ligas de aço inoxidável. As propriedades mecânicas da zircônia são as maiores já registradas em qualquer cerâmica dentária. (COVACCI et al., 1999).

As estruturas de zircônia encontram-se disponíveis em diversos fabricantes de sistemas CAD/CAM, tais como Vita YZ da CEREC inLab (Sirona, Bensheim, Alemanha), Lava (3M/ESPE, Seefeld, Alemanha), Cercon (Dentsply/Degussa, York, PA, EUA), Procera Zirkon (Nobel Biocare, Suécia) e Zirkonzahn (Gais BZ, Itália). Essas empresas destacam-se porque cada vez mais é imprescindível ter *softwares* inteligentes para a otimização de tarefas associadas aos processos industriais de modelagem, sobretudo aqueles com acabamentos de precisão (VERA et al., 2013). Por exemplo, a fresagem de joias, assim como nos materiais odontológicos, abrange um conjunto de processos, máquinas e *softwares* (DENTAL MILLING, 2013).

Uma vez pronto o desenho da peça, o mesmo é enviado em STL para a máquina, onde o próximo passo é a produção da mesma, que é executada na fase CAM. O sistema é organizado por um controle numericamente computadorizado do tipo CNC. A informação obtida é convertida em comandos que são lidos pela máquina de fresagem e em seguida traduzidos em passos de corte (VERA et al., 2013).

4 A PROTOTIPAGEM RÁPIDA NO SEGMENTO JOALHEIRO

A produtividade na joalheria evoluiu nos últimos anos e hoje usa das novas tecnologias para aprimorar a concepção de produtos no mercado atual. O Brasil tem um amplo crescimento no mercado joalheiro atual e também tem representado o design brasileiro no cenário internacional por meio de empresas brasileiras exibindo joias de grande complexidade técnica. Conforme estatísticas de 2004 do Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM), o mercado mundial de joias é liderado pela Itália, seguida pelos Estados Unidos, e o Brasil possui o 29º lugar na produção de joalheira e o 18º como exportador (FONSENCA et al., 2006).

No segmento joalheiro, há características muito específicas, as quais são relacionadas aos aspectos contextuais (políticos, econômicos, geográficos e culturais) dos mercados em que operam.

De maneira geral, a possibilidade de desenvolvimento de projetos com design exclusivo e as características de fabricação tradicional de adornos, unidas à atividade do designer e dos ourives, são identidades específicas do setor.

Atualmente, os designers concebem novas peças para joalheria e seus projetos são encaminhados à linha de produção, onde profissionais especializados partem para a modelagem e o acabamento desses produtos. Portanto, observa-se a importância da representação gráfica no projeto de joias para demonstrar a forma, o detalhamento e as dimensões das peças a serem produzidas. (BATISTA, 2008).

Uma característica importante no setor joalheiro é o diferencial na concepção de produtos, pois

o saber tácito é repassado através das atividades artesanais dos ourives e designers. Mas por outro lado o método de RP dá a possibilidade de continuar mantendo as características da produção artesanal joalheira, mas com precisão e qualidade da peça única que é feita à mão. Por um conjunto de outros fatores em uma dimensão semântica, é possível dizer que as joias são símbolos de identidade e expressão. E que os adornos joalheiros podem continuar se tornando únicos, não só quando produzidos artesanalmente, mas também os produzidos em escala industrial.

O setor joalheiro nacional acabou por incorporar tecnologias que agilizam o processo de construção das peças, como sistemas de RP e *softwares* 3D, fresadoras de alta velocidade, com o objetivo de otimizar o processo de fabricação das joias. A utilização dessas novas tecnologias contribuirá para o avanço de produtividade no segmento joalheiro, especialmente se usada como complemento ao sistema tradicional de produção. Isso significa que a fabricação artesanal poderá contar com o apoio dos sistemas 3D podendo tornar um projeto multidisciplinar, ágil e integrado, sob o aspecto do design e da engenharia.

Segundo Fonseca et al. (2006), a modelagem tradicional/artesanal possui uma restrição no sentido de inovação no design de joias, sobretudo as de complexidade geométrica, com isso é necessário o auxílio da prototipagem rápida para a produção das peças.

A contribuição de novas tecnologias nos processos de criação e produção de joias colabora para a confecção de peças de grande complexidade.

Com isso, o designer possui um papel essencial na escolha do melhor modo de produção da joia. A prototipagem rápida só será eficaz quando tiver um objetivo específico de utilização, incorporando a concepção e fabricação da peça como um sistema que possui início, meio e fim, orientado pelo designer.

A maior contribuição da utilização de tecnologias CAD e CAM administradas para o mercado joalheiro é um maior aproveitamento na escala de criação e produção do produto final. Com isso, o designer tem como sua principal função o uso desse tipo de tecnologia de maneira eficiente, onde a liberdade na criação das peças é aumentada com a facilidade que é gerada pela prototipagem rápida. Ao lado um exemplo do uso da prototipagem rápida no segmento joalheiro.

5 DISCUSSÃO

Dentre os processos frequentemente usados na produção joalheira tradicional estão: lixagem, soldagem, polimento, estampagem, eletroformação e fundição por cera perdida (SALEM, 2000). Neste último processo (cera perdida), a prototipagem rápida torna-se importante nas etapas da modelagem virtual e física, na confecção dos modelos, na injeção da cera e na montagem das “árvores” para a fundição das joias, sendo o processo de cera perdida o mais empregado na produção de peças com complexidade geométrica e maior valor agregado.

Na produção tradicional de joias, a modelagem física é artesanal, feita através de ceras sólidas especiais que são esculpidas com diversas ferramentas, quase todas manuais. Por isso, pode consumir horas, dias e até semanas de trabalho para modelar o modelo de uma joia, encarecendo assim a produção da joia. Em compensação, por meio da RP e a partir do design realizado no

Figura 3: Exemplo de joias desenvolvidas com prototipagem rápida



Fonte: Adaptado de 3D Print Studio (2014) e Bijouterleroy (2014)

software específico, pode-se obter um primeiro modelo físico da peça em pouco tempo, considerando o conhecimento do modelista sobre o *software* utilizado.

A RP é uma tecnologia rápida e de precisão que permite a produção de modelos a partir da modelagem 3D originada no sistema CAD em *softwares* especialmente desenvolvidos para joias, imprimindo esses modelos em resinas próprias para o desenvolvimento joalheiro. Por isso, ela tem como vantagem, além da redução de custo a diminuição do tempo para execução das peças, a prototipagem do modelo em material para fundição, bem como modelos de difícil execução são feitos de forma mais precisa do que no trabalho artesanal, sendo esse um dos fatores preponderantes no comércio de joias. A RP permite também a diminuição de perdas de metal ao longo das etapas produtivas.

Diante das citações apresentadas a respeito da modelagem artesanal e da RP, denota-se que a modelagem artesanal é uma forma de produção que dificulta o atendimento de um mercado em constante mudança. Assim, é possível sugerir que a modelagem artesanal deva ser utilizada para peças que não exijam demandas mercadológicas em curto espaço de tempo para produção e, ao mesmo tempo, que as peças não contenham grande complexidade geométrica. Em contrapartida, o uso da RP permite a produção seriada de modelos em cera especial para a utilização direta na fundição, praticamente sem a necessidade de pós-acabamento num espaço de tempo entre 3 e 72h.

6 CONCLUSÃO

A modelagem artesanal é mais utilizada na fabricação de joias exclusivas que, geralmente, executada apenas uma única peça. Já a RP admite a produção seriada de modelos em cera para o uso na fundição. Esse processo tem sido cada vez mais utilizado na prática da joalheria contemporânea.

A RP possibilita a produção de modelos 3D, e as principais vantagens a redução de custos, o desenvolvimento rápido de peças, visualização do resultado final através da renderização, e a possibilidade de prototipar do modelo em material para fundição e diminuindo as perdas de metal.

Além das vantagens apresentadas, a inclusão de materiais como a cerâmica de zircônia nas joias, faz com que o uso da RP seja cada vez mais frequente. A RP associada à cerâmica de zircônia admite novos desenhos, permitindo aos fabricantes uma atuação no mercado de forma diferenciada.

Os novos materiais como as cerâmicas avançadas, mais especificadamente a cerâmica de zircônia que são muito atrativas devido à sua resistência à flexão e tenacidade à fratura, podem ser utilizados para joias. Nesse sentido, o uso da RP associada à cerâmica de zircônia aceita a oferta de novos desenhos, permitindo aos fabricantes uma atuação no mercado diferenciada. Com isso, nota-se que o uso da RP vem sendo cada vez mais indispensável no setor joalheiro, por permitir ao designer de joias a expansão de sua criatividade aliada a esta técnica que viabiliza rapidamente um protótipo.

Ressalta-se que embora os designers de joias sejam influenciados frequentemente pela indústria da moda com exigências relativas às formas, cores, acabamentos e mistura de materiais, ainda há espaço para projetos de joias produzidos tanto pela modelagem artesanal quanto pela RP. Cabe ao designer idealizar seus projetos levando em conta as novas possibilidades advindas de materiais diferenciados como a cerâmica de zircônia aplicada à RP e sua consequente produção rápida, bem como as limitações e possibilidades ligadas pelo sistema produtivo artesanal. Ao mesmo tempo, as oportunidades trazidas pelas tendências do mercado global, os novos materiais aplicáveis à produção joalheira, e as tecnologias fazem com que o designer de joias tenha sempre um desafio a ser superado com competência e criatividade.



JEWELRY DESIGN:

ADVANCED CERAMIC AND RAPID PROTOTYPING IN JEWELRY

ABSTRACT

The continuous competition between the productive sectors encourages companies to invest in technologies and work processes change. Thus, even traditional sectors that use handcraft work, as the jewelry industry, have been employing new technologies and processes in order to improve competitiveness, adding value to products. This article presents a speculative literature review on the use of the processes of craft modeling, rapid prototyping (RP) and also of advanced ceramics in the development process of the piece of jewelry. The article explores the concept and the applicability of the RP, which has been used for jewelry design projects, and the optimization possibilities of this technology with the use of advanced ceramics. Despite the peculiarities of the methods of craft modeling and RP, there is a universe to be explored with creativity and technical competence by the designer in the jewelry segment.

KEYWORDS: *Jewelry Design. Rapid prototyping. Advanced ceramics.*

REFERÊNCIAS

AMARAL, D. C. et. al. **Gestão de desenvolvimento de produtos:** uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

AMORIM, W. G.; TEIXEIRA, M. B. S.. Integração de tecnologias na fundição simulada de joias de ouro. In: II Encuentro Latinoamericano de Diseño, **Anais...** Palermo: 2007. Disponível em: <http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/encuentro2007/02_auuspicios_publicaciones/actas_diseno/articulos_pdf/A103.pdf>. Acesso em: 15 maio 2014.

BATISTA, C. R. **A Ergonomia no Design de Joias.** In: ABERGO 2004 - XII Congresso Brasileiro de Ergonomia, II Fórum Brasileiro de Ergonomia, I Congresso Brasileiro de Iniciação Científica em Ergonomia, 2004, Fortaleza. Poster... Fortaleza: ABERGO - Associação Brasileira de Ergonomia, 2004.

BATISTA, C. R. **Modelo e Diretrizes para o processo de design de interface web adaptativa** / por Claudia Regina Batista. – Florianópolis: PPGECC / UFSC, 2008. 158 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento. Florianópolis, 2008.

BEGUIN, P. **Travailler avec la C.A.O. en ingénierie industrielle:** de l'individuel au collectif dans les activités avec instruments. (Thèse d'Ergonomie). Paris: Conservatoire National des Arts e Métiers, 1994.

BIJOUTERLERROY. Bijouterleroy. Disponível em: <<http://www.bijouterleroy.com>>. Acesso em: 05 de out 2014.

BROADWAY Dental. **Dental Milling.** Disponível em: <<http://www.broadwaydentallab.com/pages/Dental-Milling.html>>. Acesso em: 08 maio 2014.

CAMPOS, M. A. de M. S. **A Pesquisa de Tendências:** Uma orientação estratégica no design de joias. 2007. 108f. Dissertação (Mestrado em Design) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

CHUA, C. K.; LEONG, K. F. & LIM, C. S. **Rapid Prototyping:** Principles and Applications. Singapore: Ed. World Scientific, 2003.

COSTA LLABERIA, E.M.L. Design de Joias: da arte à produção industrial. In: 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2010. Disponível em: <<http://blogs.anhembibr.com.br/congressodesign/anais/artigos/70356.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

3D PRINT STUDIO. 3D Print Studio. Disponível em: <<http://www.3dprintstudio.co.nz>>. Acesso em: 05 de out 2014.

FONSECA, J. da H. O; XAVIER, L. de S; PEIXOTO, J. A. As possíveis contribuições da prototipagem rápida para a melhoria da competitividade na produção joalheira da cidade do Rio de Janeiro. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2006, Fortaleza, CE, Brasil. **Anais...** Fortaleza: ENEGEP, 2006, p. 8.

GORNI, Antonio Augusto. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. **Revista Plástico Industrial**. São Paulo, p. 230-239, 2001.

HOTZA, D. Prototipagem rápida de pilhas a combustível de óxido sólido. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, p. 1101-1113, 2009.

KELLY, J. R.; NISHIMURA, I.; CAMPBELL, S. J. et al. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 75, p.18-32, 1996.

LINO F. J.; Rui; Neto, J. R. A prototipagem Rápida na Indústria Nacional. In: 2º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica da Ordem dos Engenheiros. **Anais...** Coimbra: Dezembro, 2000, pp. 4.15 - 4.22, 15-16.

MADISON, J. G. **CNC Machining handbook**: basic theory, production data, and machining procedures. New York: Industrial Press Inc., 1996.

POMPEI, M. Técnica & Arte - Modelagem em Cera. **Revista BR&J**, p. 52, jan. 2005. Disponível em: <<http://www.joia-e-arte.com.br/Publicadas/modelcera.htm>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

POMPEI, M. **Técnica & Arte**: Modelagem em Cera. Disponível em: <<http://www.joia-e-arte.com.br/Publicadas/modelcera.htm>>. Acesso em: 05 de out 2014.

RAMO joalheiro. **Curso**: confecção de modelos de joias em cera. 22 dez. 2012. Disponível em: <<http://www.ramojoalheiro.com.br/conteudo/artigos-e-noticias/curso-confeccao-de-modelos-de-joias-em-cera-categoria,1,3930.html>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

RAMO JOALHEIRO. Ramo Joalheiro. Disponível em: <<http://www.ramojoalheiro.com.br/conteudo/artigos-e-noticias/curso-confeccao-de-modelos-de-joias-em-cera-categoria,1,3930.html>>. Acesso em: 05 out. 2015.

SAURA, E. C. **Aplicação da Prototipagem Rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UNICAMP, Campinas - SP: 2003.

SALEM, Carlos. **Joias**: os segredos da técnica. São Paulo: 2000 Joias, 2000.

SALEM, Carlos. **Joias**: modelagem em cera. São Paulo: Múltiplos Editora, 2002.

SELHORST JR., Aguilar. **Análise comparativa entre processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos**: um estudo de caso para determinação do processo mais indicado. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Centro de Ciências Exatas e de tecnologia, Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2008.

VERA, Vicente et al. Applying soft computing techniques to optimise a dental milling process. **Neurocomputing**, 109, p. 94-104, 2013.

VOLPATO, Neri et. al. **Prototipagem Rápida**: tecnologias e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

WOHLERS, Terry. **Rapid Prototyping**: Foundry Management & Technology. EUA: EBSCO Publishing, 2003.

YOUNG, Anastasia. **Directório de materiais y técnicas de joyería**. Barcelona: Editorial Acanto S.A., 2008.

Data de recebimento: 11/12/2014

Data de aprovação: 15/05/2015

SOBRE AS AUTORAS



**Carolina de Araujo
Guilgen**

Possui Graduação em Design com Habilitação em Moda pela Universidade Tuiuti do Paraná(UTP),2009;pós-graduação *latu sensu* em Design

de Interiores na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2010. Pós-graduação *stricto sensu* no Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal do Paraná (PPGDesign/UFPR), 2014. Fez estágios e tem experiência na área de consultoria de moda, figurinos e design de joias e atuou como assistente em disciplina na PUC-Pr (2014).



Gláucia de Salles Ferro

Doutoranda em Design (UFPR). Mestre em Design (UFPR). Especialista em *Marketing* (ESPM-SP). Graduada em *Design de Produto* (FAAP-SP).

Consultora Empresarial no segmento de Franquias - Curitiba - PR. Atuou em empresas como Bicicletas Monark, Eucatex, Edições Paulinas, Corinfo, Salão Mulher Plena, dentre outras. Foi docente nos bacharelados em Design Gráfico, Design de Produto e Design de Moda na Faculdade de Belas Artes de São Paulo e Faculdade Santa Marcelina. Atou em cursos de Pós-graduação na FAAP, Santa Marcelina e UNICURITIBA. Atualmente é docente nos cursos de Design Gráfico, Design de Interiores, Publicidade/ Propaganda e *Marketing* do Centro Universitário Curitiba (UNICURITIBA).

