

# Método para determinação de parâmetros de gravação e corte a laser CO<sub>2</sub> com aplicação na joalheria contemporânea

**Mariana K. Cidade**, [mariana.cidade@ufsm.br](mailto:mariana.cidade@ufsm.br) – Departamento de Desenho Industrial, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

**Felipe L. Palombini**, [felipe.palombini@ufrgs.br](mailto:felipe.palombini@ufrgs.br) – Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

**Natasha F. F. Lima**, [lima.natasha@gmail.com](mailto:lima.natasha@gmail.com) – Designer, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, Brasil

**Lauren C. Duarte**, [lauren.duarte@ufrgs.br](mailto:lauren.duarte@ufrgs.br) – Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento de Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

## Resumo

*A tecnologia de gravação e corte a laser CO<sub>2</sub> é um dos principais processos de fabricação da atualidade, unindo versatilidade, precisão e velocidade, sendo uma importante ferramenta para o design de joias contemporâneas. A utilização do equipamento depende de diversas variáveis relacionadas aos materiais utilizados ou aos projetos executados. Contudo, a obtenção dos melhores parâmetros frequentemente é realizada de forma empírica, tornando a padronização imprecisa e prejudicando a qualidade das peças. Na joalheria contemporânea, é essencial a busca por peças com grande nível de acabamento e que mesquem a utilização de materiais nobres com alternativas não-convencionais. Esta pesquisa trata do desenvolvimento de um método para a obtenção de parâmetros ideais para a utilização da tecnologia de gravação e corte a laser CO<sub>2</sub>, com desenhos vetoriais, através de etapas que considerem as variáveis do projeto, do material e do equipamento do tipo galvanométrico. Para aplicação, o método foi empregado no desenvolvimento de joias utilizando-se borracha EPDM com prata. Foram conduzidos testes de aplicação de velocidades e número de passadas de feixe laser, determinando a configuração ideal para utilização deste processo no material. Imagens analisadas via MEV auxiliaram na avaliação dos efeitos do feixe laser no elastômero, como a zona de abrangência térmica e a efetividade do corte. Com um método para obtenção dos parâmetros para boa definição de corte e uniformidade do traço, essa pesquisa objetiva auxiliar estudantes, profissionais e indústrias na execução de seus projetos.*

**Palavras-chave:** Padronização de tecnologia laser, Elastômero EPDM, Design de joias contemporâneas.

## Method for the determination of CO<sub>2</sub> laser engraving and cutting parameters with application in contemporary jewelry

### Abstract

*CO<sub>2</sub> laser engraving and cutting technology is currently one of the main manufacturing processes, associating versatility, precision and speed, as well as being an important tool in the design of contemporary jewelry. The use of the equipment depends on several variables related to the materials used or the projects executed. However, obtaining the best parameters is often done empirically, making standardization inaccurate and impairing the quality of the products. In contemporary jewelry, the high finishing level the combined use of noble materials with non-conventional alternatives is essential. This research addresses the development of a method to obtain ideal parameters for the use of CO<sub>2</sub> laser engraving and cutting technology, with vector drawings, through steps that consider the variables of design, material and the galvanometric-type equipment. For application, the method was used in the development of jewelry using EPDM rubber with silver. Several application tests of speed and number of passes of laser beam were conducted to determine the ideal settings for the usage of this process in the material. Analyzed SEM images assisted the understanding of the effects of the laser beam into the elastomer, such as the thermal range zone and the cutting effectiveness. With a method to obtain parameters for good cut definition and trace uniformity, this research aims to assist students, professionals and industries in the execution of their projects.*

**Keywords:** Laser cutting standardizing, EPDM elastomer, Contemporary jewels design.

## 1. INTRODUÇÃO

O designer tem papel fundamental na criação e escolha do melhor modo de produção de seus produtos (CIDADE, 2012; CIDADE; DUARTE, 2014). O profissional tem à disposição diversas tecnologias que podem aumentar as possibilidades de detalhamento e uniformidade de seu projeto. O processo criativo no desenvolvimento de produtos não é esquecido, sendo desempenhado em conjunto com as inovações disponíveis de forma harmoniosa. A tecnologia é simplesmente o meio facilitador e inovador de materializar produtos com elevado nível de precisão e detalhamento, tendo importante papel na trajetória do design (MENEZES; PASCHOARELLI, 2009). Ela não pode ser vista como um meio para substituir o designer, mas, sim, auxiliá-lo. Nesse sentido, os processos de fabricação precisam ser utilizados através da escolha dos melhores parâmetros para materialização de projetos.

A padronização de processos de fabricação está relacionada com o estudo, análise e caracterização dos melhores parâmetros para serem empregados (CIDADE, 2012). Uma vez definidas as características do processo, é possível realizar a manufatura seriada de um determinado projeto mantendo resultados uniformes. Contudo, para a determinação dos parâmetros do processo é necessário conhecimento tanto sobre o equipamento e os materiais utilizados, quanto sobre as características do projeto a ser produzido (LEFTERI, 2013). Com o advento de novas tendências, os conceitos de materiais, processos e acabamento em um projeto apresentam mudança, de modo a se adaptarem aos novos requisitos (ASHBY; JOHNSON, 2011). Mesmo em indústrias com materiais e processos clássicos e bem estabelecidos, como a joalheira, o surgimento de novos estilos abre caminho para a reorganização dos sistemas de manufatura. Desse modo, com a grande disponibilidade de materiais disponíveis na indústria, torna-se necessário, então, o estabelecimento de métodos para padronizar determinados processos de fabricação.

A joalheira desenvolve-se juntamente com a evolução da sociedade e com as mudanças na arte, moda, cultura, bem como com os avanços tecnológicos da contemporaneidade. As formas de processar as diversas matérias-primas são refinadas com o passar dos anos, com o homem dando forma aos materiais encontrados na natureza (GOLA, 2013). A atração pela arte, o desejo de se expressar e o costume de se adornar constituem elos com nossos antepassados. No cenário da produção joalheira do século XXI, podemos observar uma explícita mudança no valor associado aos materiais e processos utilizados na manufatura destes produtos. Esse novo contexto de joalheira traz traduções da nossa atual sociedade, a então chamada “joalheira contemporânea”, utilizando novos materiais e processos inovadores de fabricação (CIDADE, 2012; CIDADE; DUARTE, 2014). Desse modo, são aliados novos materiais, não convencionais, a materiais metálicos nobres, como ouro (Au) e a prata (Ag). Ou ainda, a utilização apenas de materiais não convencionais, mas através de peças de alto nível de acabamento, tornando-as “joias” legítimas. A inovação no mercado joalheiro dá-se através da utilização de materiais inusitados e novos processos tecnológicos de fabricação, aliando pesquisa, materiais e tecnologia.

Entre os principais processos de fabricação de alta precisão, encontram-se os baseados na tecnologia laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, ou amplificação da luz por emissão estimulada de radiação). O processo permite o corte ou gravação devido à alta focalização de uma fonte de calor, com movimentação controlada por computador (CALLISTER; RETHWISCH, 2006). No equipamento, é possível ao operador definir diversos parâmetros que influenciam diretamente a execução do processo e a qualidade de acaba-

mento das peças (CIDADE; DUARTE, 2014). Cada um dos parâmetros deve ser adaptado com base no tipo de material utilizado, nas propriedades do equipamento, além das características do projeto a ser executado. Entretanto, o processo de levantamento e seleção dos melhores parâmetros costuma-se dar de forma empírica, sem seguimento de um fluxo determinado. Desse modo, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um método para determinação dos melhores parâmetros para corte a laser de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), do tipo galvanométrico, a ser utilizado em diferentes tipos de materiais, naturais ou sintéticos, com base em requisitos de projeto. Esta pesquisa aborda a execução de projetos compostos por desenhos vetoriais. Inicialmente é realizada uma breve fundamentação teórica sobre a tecnologia laser CO<sub>2</sub> e do cenário atual da joalheira contemporânea, com sua influência nos materiais e processos utilizados. Então, o fluxo de caracterização e escolha de parâmetros de corte são apresentados. Por fim, as etapas são aplicadas como exemplo em lençol de borracha, através de um projeto de joalheira contemporânea, no desenvolvimento de três peças de uma coleção.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 TECNOLOGIA LASER CO<sub>2</sub>

Desde sua descoberta nos anos 1960, a tecnologia laser tem sido utilizada em diversas aplicações industriais (STEEN; MAZUMDER, 2010). O princípio fundamental diz respeito à focalização de um feixe eletromagnético de alta intensidade em uma superfície pequena, levando ao aquecimento pontual e rápido do material da amostra. Nos equipamentos laser mais utilizados, uma câmara contendo uma mistura de gases de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e hélio (He) é excitada com elétrons. A excitação das ligações químicas do CO<sub>2</sub> libera fótons no comprimento de onda de infravermelho, os quais são colimados em uma região na superfície do material a ser usinado (POWELL, 1998). Ao atingir a amostra, a radiação aquece sua superfície e efeitos físicos e químicos levam à remoção de material, deixando desde efeitos de gravação ao corte total da mesma. Assim, a tecnologia permite ser empregada em um grande número de materiais, através de instrumentos de altíssima precisão geométrica (CIDADE, 2012; CIDADE; DUARTE, 2014). A tecnologia destaca-se pela diversidade de usos em áreas do conhecimento técnico e científico (BAGNATO, 2008).

O estudo desta inovação tecnológica ainda permanece distante de ser totalmente compreendido, constituindo-se de uma das mais ativas áreas da investigação científica (BAGNATO, 2008). Os efeitos da interação da radiação com a matéria possuem diversas características, conforme o tipo de material a ser trabalhado. A eficiência do processo também é fator de estudo, voltando-se à diminuição dos custos energéticos e torna-lo ainda mais economicamente interessante (STEEN; MAZUMDER, 2010). Na indústria, os mecanismos para a utilização da tecnologia laser CO<sub>2</sub> crescem devido às suas características de baixa divergência dos feixes, *i.e.*, obtêm-se uma grande quantidade de energia concentrada, aliando-se ao fato de que os materiais a absorvem relativamente bem (BAGNATO, 2008). À exceção encontram-se alguns tipos de materiais, especialmente os metálicos não-ferrosos, devido tanto à alta condutividade térmica quanto à reflexividade superficial da radiação recebida, impedindo que seja absorvida (POWELL, 1998; STEEN; MAZUMDER, 2010).

O laser CO<sub>2</sub> é uma ferramenta que permite ao usuário controlar a forma e a quantidade de energia dirigida a uma série de determinadas coordenadas, tendo como principais tipos os com base em espelhos com eixos galvanométricos e do tipo *plotter*, esquematizados na Figura 1 (HECHT; TERESI, 1998;

THOMPSON, 2011). O sistema de óptica móvel do tipo *plotter* (Figura 1 A), consiste no deslocamento do canhão do feixe, paralelamente à superfície a ser processada, através dos eixos X e Y, sendo o mais utilizado para corte a laser em projetos de grandes dimensões (DAHOTRE; HARIMKAR, 2008). Isso se deve à maior possibilidade de dimensão da área de trabalho, uma

vez que o canhão do feixe pode percorrer toda a extensão, sem perda de foco. Outra característica importante deste equipamento é a precisão de corte em peças com dimensões mais espessas, devido à constante ortogonalidade do feixe ao plano de corte, mantendo o processamento sempre a 90° da superfície (DAHOTRE; HARIMKAR, 2008).

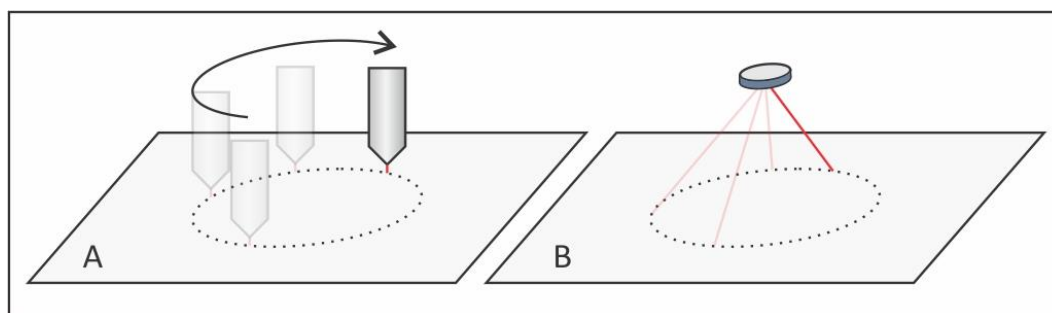


Figura 1: Esquema movimentação do feixe laser CO<sub>2</sub> em equipamento: (A) *plotter* e (B) galvanométrico.

Já o laser do tipo galvanométrico (Figura 1 B) é considerado um dos mais importantes e utilizados para a gravação e corte de materiais naturais e poliméricos, devido à sua alta precisão e rapidez (CIDADE, 2012; CIDADE; DUARTE, 2014). O seu funcionamento consiste basicamente na movimentação de dois espelhos, em eixos independentes, para direcionar o feixe de radiação a uma lente, focalizando, então, à superfície do material (SCHAEFFER, 2012). Este equipamento, portanto, é mais indicado para a gravação de materiais diversos e para o corte preciso de materiais de espessuras finas. Sua principal vantagem em comparação aos equipamentos do tipo *plotter* é a velocidade de gravação, uma vez que o posicionamento do feixe laser é realizado pela fina angulação dos espelhos galvanométricos. Desse modo, não há a necessidade de movimentação inteira do canhão do feixe e da objetiva, com o uso de esteiras.

A determinação da área total de corte ou gravação e da consequente resolução do processo, em equipamentos laser do tipo galvanométrico, depende da escolha da lente a ser utilizada e, logo, da distância focal entre a mesma e a superfície da amostra (CIDADE, 2012; SCHAEFFER, 2012). Desse modo, para a obtenção de bons resultados em um equipamento de corte a laser CO<sub>2</sub> do tipo galvanométrico é necessário considerar a altura da mesa de trabalho – conforme o tipo de lente acoplada, visando ao ajuste do ponto focal –, a espessura do material a ser trabalhado, bem como a potência e velocidade delimitantes (CIDADE, 2012; CIDADE; DUARTE, 2014).

Instrumentos com base em laser CO<sub>2</sub> são meios precisos e eficientes para corte e gravação de diversos materiais. Como instrumento de corte, a vantagem reside no fato de fundir e vaporizar o material no local da linha a ser cortada, removendo automaticamente o subproduto com uma consideravelmente menor produção de resíduos, em comparação a outros processos de usinagem (BAGNATO, 2008; DAHOTRE; HARIMKAR, 2008). No local do corte encontra-se a porção de material removido e, em sua adjacência, uma zona do material que é levemente afetada, chamada de região termicamente modificada (CIDADE, 2012). Esta região surge devido à grande quantidade de energia depositada no local percorrido pelo feixe, também aquecendo as regiões adjacentes. A incidência de um feixe laser sobre um ponto da peça é capaz de fundir e vaporizar até o material em volta desse ponto (BAGNATO, 2008; DAHOTRE; HARIMKAR, 2008). Deste modo, é necessário estipular os padrões de uso da tecnologia de acordo com a proposta de desenho original, de maneira que o efeito resultante seja o mais próximo do projetado.

A potência do feixe é fator determinante na capacidade de interação do laser com o material a ser cortado ou gravado. Quanto maior for, mais intensamente atingirá o material e, conseqüentemente, mais profunda será sua ação de corte e de interação com zonas adjacentes (CIDADE, 2012). Em geral, potências altas permitem cortar ou gravar com velocidades maiores, ou seja, com menor tempo de interação do feixe laser no material. De um modo geral, velocidades menores tendem a cortar e, velocidades maiores, a apenas gravar suas superfícies. Entretanto, essa regra acaba não se aplicando para determinados tipos de materiais, necessitando considerar tanto a velocidade quanto a potência do feixe. A exemplo, o papel, quando cortado no laser, permite que tanto os parâmetros de potência quanto de velocidade sejam maiores devido à composição de suas fibras e à espessura da folha. Já um material mais resistente à ação do feixe, com espessura maior e composição diferente, como uma chapa de MDF, exige potência maior, mas com velocidade menor. A velocidade de corte deve ser, então, levada em consideração juntamente com o tipo de material escolhido, a potência do feixe determinada e a lente acoplada no equipamento (CIDADE; DUARTE, 2014).

Além da determinação dos parâmetros de velocidade e potência do feixe, para obtenção de efeitos de gravação ou corte do material, é importante também considerar as características do projeto a ser executado. Para trabalhos com uma complexidade formal e maior densidade de linhas – como, por exemplo, desenhos com muitas linhas próximas e em uma pequena área – deve-se considerar o efeito de acúmulo das zonas termicamente modificadas adjacentes. Assim, uma vez que a espessura do feixe laser mantém-se constante, se diversas passadas próximas são realizadas, as zonas afetadas pelo calor tenderão a se interferir, prejudicando a qualidade final do traçado e, conseqüentemente, o acabamento da peça. Portanto, para seleção dos parâmetros de gravação ou corte a laser, além de conhecer sobre o material e o equipamento, é importante saber aplica-los da melhor forma ao projeto.

## 2.2 JOALHERIA CONTEMPORÂNEA: CENÁRIO ATUAL

Segundo Gola (GOLA, 2013), o homem produz, desde o início de sua existência, elementos artísticos associados a ornamentos – as joias –, revelando assim sua criatividade, representando os símbolos de cada época e colocando, em destaque, a dimensão estética do mundo material, ou mesmo das formas naturais. Ornamento, ornamentação, ornamental, são derivações do verbo latino “*ornare*”, que significa, na acepção latina original, “adornar”, manifestando um acréscimo de qualidade e melhoria (GOLA, 2013, p. 15). A forma de adornar o corpo é

uma das primeiras características da joia. Em todos os tempos, a joia, como adorno, tem a intenção de construir novas linguagens e, com elas, significados eficientes na elaboração e identidade (GOLA, 2013).

O designer de joias, além de encontrar caminhos criativos e produtivos, precisa entender as dimensões simbólicas de suas criações e sua capacidade de analisar e interpretar as necessidades e o perfil do usuário do produto. Essa compreensão permite a associação da criação à emoção que a joia pode despertar. Assim, o desenvolvimento de uma joia vai além da configuração estética e exige conhecimentos de diversas áreas por parte do designer, a partir do entendimento de todos os elementos e etapas de que se compõem o projeto deste produto.

Com o expressivo desenvolvimento da indústria da moda e a necessidade atual dos jovens consumidores em expressar sua individualidade através de um visual diferenciado, o cenário joalheiro está se modificando e desafiando as opiniões tendenciosas sobre joias (PRESS, 2011). Segundo Siqueira (2011), o entendimento de que a joia tem uma forte ligação com o design e a moda vem conduzindo o setor joalheiro no Brasil a um novo patamar, muito mais atraente, atuante e competitivo. Para o Instituto Brasileiro de Gemas e Metais – IBGM (2012), a integração joia/moda tornou-se inevitável e benéfica, considerando a dinâmica do mercado.

Uma nova interpretação do design de joias, que valoriza a estética e inovações, e não mais prioriza a exibição de luxo e ostentação de riqueza com a utilização de materiais nobres, vem surgindo no mercado comprador. A chamada joalheria contemporânea caracteriza-se pela diversidade de possibilidades formais e conceituais, tendo sua produção vinculada aos fluxos da moda, onde a relevância material é substituída pelo valor da tendência, do design e da atualidade. Em suma, a joalheria contemporânea pode ser entendida pela atual inclusão de materiais inusitados e diferenciados a este mercado, tais como polímeros, cerâmicos, madeiras, couros, fibras, sementes, entre outros (CIDADE; PALOMBINI; KINDLEIN JÚNIOR, 2015). Sua contemporaneidade ultrapassa o sentido e a função básica de adorno, esperando-se que ela revele um novo significado, expresse emoções e a atitude perante a vida de um determinado indivíduo. Segundo o IBGM (2012), as joias contemporâneas são um nicho de mercado em ascensão. Ao traduzir as inquietações do nosso tempo, elas levam à forte identificação nos consumidores, os quais buscam a individualidade em suas expressões estéticas. Desse modo, designers contemporâneos, com sua expressividade, oferecem um amplo repertório de possibilidades criativas à medida que recriam formas, estilos e técnicas seculares da ourivesaria. A joalheria é, sem dúvida, o resultado de milhares de anos de história e investigação, e seus criadores continuam a utilizar metais e gemas como essência, sem deixar de renovar, reinventar e experimentar outros materiais, técnicas e conceitos (ARROYO, 2012).

As joias contemporâneas vêm sendo comercializadas em espaços alternativos aos tradicionais da joalheria, como galerias e museus, onde as criações são formas de expressão pessoal, independentes e originais (LLABERIA, 2009). Algumas joias de designers brasileiros e estrangeiros, utilizando materiais não convencionais a materiais nobres, podem ser visualizadas na Figura 2. As Figuras 2A, 2B e 2C exemplificam a utilização de madeira e acrílico aliados a metais nobres, como a prata e o ouro. Já as Figuras 2D e 2E mostram o trabalho de joias contemporâneas que utilizam apenas materiais não-convencionais. As criações apresentadas na Figura 2 são exemplos de que o significado da palavra “joia” pode ser utilizado em peças com considerável nível de acabamento, enaltecendo o projeto. De modo diferente, o mesmo não se aplica a peças com a utilização desses mesmos materiais, contudo com um acabamento de nível inferior.



**Figura 2:** Joias contemporâneas - (A) anel em madeira, gema e prata; (B) anel em madeira, ouro e gema; (C) colar em resina e prata; (D) bracelete em borracha e (E) bracelete e anel em madeira com corte a laser. Fonte: (A) e (B) Ricardo Coacci (COACCI, 2016); (C) Yoko Shimizu (SHIMIZU, 2016); (D) Marzio Fiorini (FIORINI, 2016) e (E) Anthony Roussel (ROUSSEL, 2015).

Conforme Mansell (2008) “a joalheria contemporânea propõe uma reflexão sobre o que se considera nobre e valioso”, ao ponto que ao misturar materiais nobres com os não convencionais, o conceito tradicional de valor é naturalmente desafiado. A prata (Ag), do latim *argentum*, é um metal em ascensão no mercado joalheiro. Para adquirir maior resistência, ductilidade e elasticidade, este metal é ligado a outros metais, em geral ao cobre (KLIAUGA; FERRANTE, 2009). Para proporcionar brilho e durabilidade às peças fabricadas com este metal, faz-se necessário um tratamento de superfície, através de um banho de ródio (Rh) ou prata. Mesmo se tratando de um metal nobre, por uma questão cultural, vinha sendo desvalorizada ao ser direcionada a joias mais simples, de menor valor. No entanto, com a recente e acentuada valorização do ouro, algumas joias criadas com esta matéria-prima tornaram-se comercialmente inviáveis. Diante deste cenário, o mercado joalheiro precisou adaptar-se a essa realidade, resgatando a prata, associando-a, ou não, ao ouro e diamantes, valorizando-a através de conceitos, design e marcas. A participação crescente das joias em prata tem-se dado tanto pelo seu menor custo, quanto pela agregação de valor, com design diferenciado e uso maior de gemas naturais,

incluindo as gemas coradas, diamantes e pérolas. A prata, então, passa a ser associada ao conceito de contemporaneidade, diversidade, permitindo ilimitadas soluções formais, criatividade e inovações, de modo acessível e viável.

Atualmente, no mercado joalheiro, as novidades ocorrem tanto pelo viés tecnológico, abrindo um leque de novas soluções de design e de produção, como pela adoção de materiais não convencionais e sua mistura aos já tradicionais metais e gemas (SIQUEIRA, 2011). O design de joias busca, na atualidade, uma aceleração dos processos de produção através da inovação, reduzindo o tempo entre projeto e comercialização através de novas soluções e experimentações estéticas e funcionais (SIQUEIRA, 2011).

O design de produto se apoia no desenvolvimento tecnológico, a fim de tornar os objetos mais adequados para suprir as necessidades dos consumidores (STÜRMER, 2010). Muitas são as possibilidades de processos tecnológicos na área de fabricação e de materiais, trazendo melhores condições e maior eficiência na execução de bens de consumo de forma mecanizada e seriada. Porém, a base do desenvolvimento de joias continua dependente do processo de criação do pensamento humano, mesmo com as mudanças sociais históricas (CIDADE, 2012; CIDADE; DUARTE, 2014).

A fim de tornar o processo criativo mais uniforme, rápido e eficiente, quando através de um viés tecnológico, é necessário ao designer apropriar-se de padrões já estabelecidos de um determinado processo de fabricação. Desse modo, a utilização

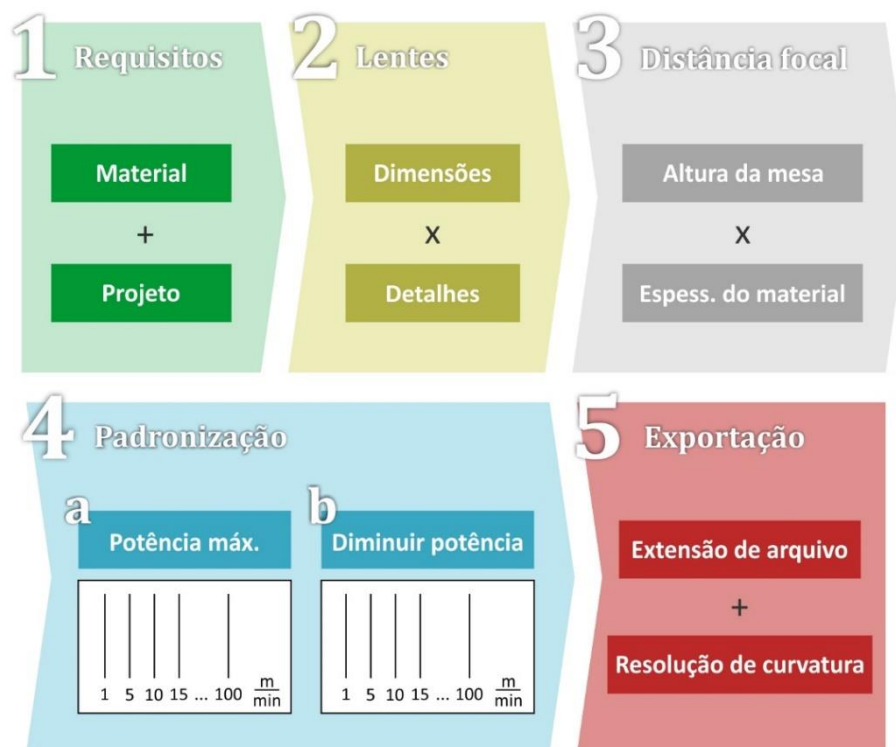
de padrões estabelecidos pode minimizar o tempo entre a conceituação da peça e sua produção, tornando-a mais expedita e ágil, além de permitir sua rápida flexibilização, conforme as necessidades do mercado.

### 3. DETERMINAÇÃO E APLICAÇÃO DE PARÂMETROS

Unindo as informações teóricas sobre o funcionamento da tecnologia laser CO<sub>2</sub>, bem como das características da joalheria contemporânea, é possível basear-se para determinar a padronização do projeto. Nesse sentido, este tópico trata da apresentação e exemplificação de um método para obtenção de parâmetros para corte ou gravação a laser CO<sub>2</sub>, através de um equipamento do tipo galvanométrico. Para a aplicação do método definido, baseando-se nos conceitos e características da joalheria contemporânea, as peças desenvolvidas foram definidas contendo a união de um material diferenciado e alternativo com um nobre e tradicional. Sendo assim, foram selecionados para o projeto a borracha e a prata.

#### 3.1 Método para Obtenção de Parâmetros para Corte ou Gravação a Laser CO<sub>2</sub>

Como visto, a seleção dos parâmetros ideais para gravação e corte a laser CO<sub>2</sub>, em um sistema do tipo galvanométrico, depende de diversos fatores, desde os dados do projeto às características dos materiais e do equipamento. Desse modo, a figura 3 apresenta a sequência de etapas para obtenção dos parâmetros para desenhos vetoriais.



**Figura 3:** Sequência de etapas (1 a 5) para determinação dos melhores parâmetros de gravação ou corte em um equipamento laser CO<sub>2</sub> do tipo galvanométrico. Fonte: os autores.

Inicialmente, (Figura 3, etapa 1) o processo de escolha descrito neste trabalho baseia-se em um cenário em que tanto o material que se deseja trabalhar já foi determinado, quanto os dados técnicos do projeto já foram definidos. A escolha do material utilizado na manufatura está relacionada com sua composição e características físicas, devendo estar de acordo com as limitações técnicas do equipamento laser utilizado. Contudo, nesta sequência de etapas, é assumido que o material não possui um precedente conhecido e já otimizado de parâmetros, para as mesmas características desejadas de

projeto. Desse modo, faz-se necessário seguir o processo de obtenção e análise de parâmetros, de modo que o material requisitado correspondesse a uma alternativa totalmente nova ao projetista. Já as informações do projeto dizem respeito à complexidade do traçado, em termos de quantidade e proximidade de linhas, bem como às suas dimensões externas totais. Desse modo, ambos os fatores são vistos como sendo requisitos do processo de corte ou gravação a laser, permanecendo como elementos balizadores do decorrer do fluxo de definição de parâmetros.

Com as características do projeto a ser gravado ou cortado a laser, no equipamento, passa-se para a escolha da lente apropriada (Figura 3, etapa 2). O principal fator a ser considerado na escolha da lente é quanto às dimensões totais do projeto a ser executado. Para uma melhor qualidade da gravação ou corte, é recomendado sempre utilizar a lente com a menor área de trabalho e, conseqüentemente, a menor distância focal possível (CIDADE, 2012). Assim, é possível obter um traçado mais uniforme em toda a extensão do processo. Para projetos com peças pequenas e detalhadas, a qualidade do traçado torna-se ainda mais importante, visto que, relativamente, terá uma influência maior no acabamento. Por outro lado, mesmo com peças pequenas e detalhadas, é interessante também considerar o uso de lentes com maiores áreas de trabalho para permitir a execução de mais peças simultaneamente.

Por se tratar de um equipamento do tipo galvanométrico, em que a lente permanece imóvel em relação à área de trabalho, o feixe laser possui apenas uma região focal específica. Desse modo, é imprescindível considerar a distância da lente à área de trabalho. A maioria dos equipamentos deste tipo utiliza objetivas do tipo *f-theta*, as quais possuem ajuste da região focal de modo a permanecer paralela à área de trabalho, com uma determinada precisão (SCHAEFFER, 2012). Contudo, para o uso de áreas de trabalho maiores, mantendo o foco em toda sua extensão, faz-se necessário a adição do chamado terceiro eixo. Este consiste em uma objetiva que se move axialmente antes do feixe laser atingir os espelhos galvanométricos, realizando um ajuste fino do foco (SCHAEFFER, 2012).

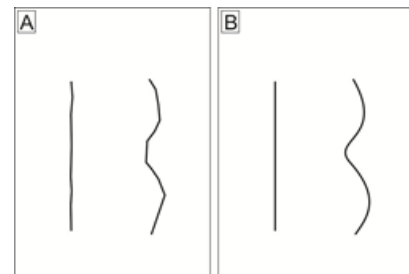
Tanto nos equipamentos galvanométricos de 2 ou 3 eixos, após ponderar as características do projeto a ser executado, o próximo passo é realizar a medição da distância focal, de acordo com a lente escolhida (Figura 3, etapa 3). Na prática, essa distância é mensurada entre a superfície do material a ser gravado e a lente. Para corte de materiais com espessuras maiores, como chapas de acrílico ou MDF, o uso de laser galvanométrico pode levar à geração de regiões chanfradas, nas regiões mais periféricas da área de trabalho. Isso se deve à posição central da lente, que leva a um corte em ângulo. Já para os processos de gravação, ou para corte de materiais com espessuras mais finas, como papéis ou couro, esse efeito não se torna perceptível a vista desarmada. O ajuste da distância focal é, então, realizado através da movimentação do eixo Z, perpendicular à mesa de trabalho, conforme o material e a objetiva escolhida.

Com a altura da mesa definida, é possível passar para a avaliação dos parâmetros do feixe laser, conforme o tipo de material (Figura 3, etapa 4). O processo consiste na execução, com potência máxima do equipamento, de linhas paralelas, variando-se a velocidade de gravação (etapa 4a). A potência máxima, medida em watts, é inicialmente utilizada com o intuito de aumentar a velocidade de execução do processo de corte ou gravação, permitindo, assim, que mais peças sejam gravadas. A velocidade do feixe, definida em metros por minuto, é variada progressivamente para cada linha, para comparação visual ou instrumental, dos melhores resultados (CIDADE, 2012). Desse modo, quanto menor for a velocidade, mais tempo o feixe permanecerá em contato com o material, aumentando seu efeito de corte ou gravação. Também pode ser avaliado a possibilidade de aumentar o número de passadas do feixe laser, para cada linha, mantendo a potência e velocidade. No caso de todas as linhas apresentarem resultados insatisfatórios devido a um grande aquecimento da região, mesmo com a velocidade máxima do feixe definida, parte-se para a diminuição da potência do laser (etapa 4b). Assim, as linhas com variação progressiva de velocidade são regravadas na nova potência em uma nova região do material. O processo pode ser repetido variando-se potências menores do laser e

número de passadas até encontrar um valor adequado para o processo.

A adequação dos melhores parâmetros de potência e velocidade é determinada por meio de inspeção à vista desarmada ou com o auxílio de equipamentos de microscopia. São buscados os parâmetros que permitam um traçado (de corte ou gravação) uniforme em toda a extensão da peça. Para corte a laser, o melhor parâmetro será o que permitir atravessar completamente o material em todos os seus contornos, mantendo a menor região de zona de abrangência térmica. Já para gravação, as melhores propriedades de potência e velocidade serão as que permitirem a ação do laser apenas superficialmente, com traçado bem definido e sem rugosidade (CIDADE, 2012; CIDADE; DUARTE, 2014).

Com a definição dos melhores parâmetros de potência e velocidade para o material escolhido, parte-se para a última etapa antes da execução do processo: a definição das propriedades de exportação (Figura 3, etapa 5). Para a gravação ou corte de desenhos vetoriais, é utilizado o formato de extensão do tipo PLT (Arquivo de plotadora HPGL). O formato transforma os desenhos vetoriais em coordenadas numéricas, que serão interpretadas pelo equipamento e percorridas pelo feixe laser, durante o processo. Ao realizar a exportação de um desenho vetorial para a extensão PLT, é necessário determinar a resolução de curvatura do mesmo. Esse valor determina a quantidade de coordenadas que irão compor o desenho, levando-o a permanecer com um traçado mais ou menos uniforme. A Figura 4 apresenta um exemplo de dois traçados vetoriais exportados com resoluções de curvatura distintas. Na resolução de exportação padrão de 0,508 mm (Figura 4 A), obtida automaticamente por um *software* de desenho vetorial bidimensional, é possível visualizar a presença de vértices nos traçados curvos.



**Figura 4:** Configurações de exportação de arquivos - (A) visualização de desenho com vértices; (B) configuração com exportação definida pelo usuário para a obtenção de um traçado sem vértices e mais bem definido. Fonte: Adaptado de Cidade e Duarte (2014); Cidade (CIDADE, 2012).

Ao modificar a resolução de curvatura para 0,01 mm (Figura 4 B), através das opções avançadas de exportação, no mesmo *software*, o traçado torna-se mais uniforme, contínuo e com menor presença de vértices (CIDADE, 2012; CIDADE; DUARTE, 2014). Com os valores de exportação definidos manualmente para uma maior resolução de curvatura, os arquivos de projeto podem ser executados através dos parâmetros definidos.

### 3.2 Exemplo de Aplicação

Para esta pesquisa, o método proposto foi utilizado na obtenção dos melhores parâmetros para o corte a laser para uma coleção de peças de joalheria contemporânea, misturando-se um material inusitado com um metal nobre. Para o material principal, optou-se pela escolha de um lençol de borracha EPDM através de corte a laser CO<sub>2</sub> em equipamento do tipo

galvanométrico, analisando e caracterizando qual o melhor parâmetro a ser utilizado, conforme as etapas definidas na seção anterior. O metal utilizado na coleção foi a prata, através de processo industrial e artesanal para a fabricação de caixas para a inserção de gemas, com a cravação inglesa. Esta cravação consiste em uma caixa, no formato da lapidação da gema, com quatro garras, as quais são pressionadas até prendê-la.

A escolha da borracha como base, deve-se ao fato de tratar-se de um material relativamente acessível, com características de flexibilidade, leveza, boa aderência à pele e resistência a intempéries. Segundo Lima (LIMA, 2006), a borracha EPDM é considerada um elastômero classificado como um copolímero de etileno-propileno (e dieno) tendo um bom comportamento a elevadas temperaturas, boa elasticidade, poder isolante, e excelente resistência a alguns agentes químicos (LIMA, 2006). Utilizou-se a borracha EPDM comercializada no mercado, no formato de lençol ou manta, na cor preta e espessura de, aproximadamente, 1,2 mm.

O corte a laser da borracha foi executado no equipamento Mira 3007, da empresa Automatisa<sup>®</sup>. Foi utilizada a lente de 30 cm x 30 cm (900 cm<sup>2</sup>) em virtude das dimensões totais das peças, com utilização de potência máxima do equipamento de 60 W, e velocidades variando de 5 m/min a 1 m/min, com uma a seis passadas de feixe laser, conforme as etapas descritas na figura 3. Devido à possibilidade de uso seriado deste método, optou-se por utilizar a potência máxima do equipamento. Assim, o processo de fabricação das peças seria configurado para priorizar tanto a maior qualidade do acabamento quanto ao menor tempo de execução. Os traços das peças da coleção foram desenvolvidos em um *software* de desenho vetorial bidimensional, e exportados em extensão do tipo PLT, com resolução de curvatura avançada de 0,01 mm. Todos os desenhos foram abertos no *software* do equipamento, Automatisa Laser Draw<sup>®</sup>, para execução do processo.

Para a determinação dos parâmetros de corte na borracha, foram feitos traços retos, de aproximadamente 20 mm de comprimento. Como o lençol de borracha continha uma espessura de 1,2 mm, optou-se por utilizar inicialmente velocidades









mais baixas para os testes de corte. A análise dos cortes e avaliação da superfície das amostras cortadas, conforme velocidades e número de passadas, deu-se através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), em equipamento Hitachi<sup>®</sup> modelo TM 3000, com imagens eletrônicas do tipo BSE (*back scattered electron*). A aceleração do feixe de elétrons utilizada foi de 15 KeV. A microscopia eletrônica de varredura é hoje considerada uma das mais importantes ferramentas de investigação disponíveis para o estudo de microestruturas superficiais de amostras. As imagens são de alta resolução, e os equipamentos MEV são os mais utilizados atualmente em pesquisa de materiais. As superfícies das amostras a serem examinadas são varridas com um feixe de elétrons que são refletidos e retroespalhados, dentre outros efeitos (CALLISTER; RETHWISCH, 2006; CANEVAROLO JR., 2004).

Para a fabricação das caixas de sustentação das gemas, com cravação inglesa, devido às suas dimensões e quantidades, foi utilizado o processo de fundição por cera perdida (microfusão), a fim de se obter peças com bom acabamento e em escala. Por fim, para a cravação inglesa e a fixação das mesmas na borracha, foi utilizado o processo artesanal de ourivesaria.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Iniciando as etapas descritas na metodologia, para padronização de parâmetros para corte e gravação a laser CO<sub>2</sub> do tipo galvanométrico, os ajustes da lente e da distância focal, através da altura da mesa de trabalho foram realizados. Na etapa de padronização, os resultados obtidos com o corte de 8 amostras, com o desenho de traços retos, podem ser visualizados no Quadro 1. Conforme a etapa estabelecida, os testes do material foram realizados com a potência máxima de 60 W do equipamento, com velocidades variando de 5 m/min a 1 m/min, e até seis passadas de feixe laser. Com as primeiras análises visíveis das amostras cortadas, sem a utilização de equipamentos de microscopia, foi possível observar e identificar a qualidade dos traços retos.

**Quadro 1:** Amostras de borracha cortadas a laser com potência fixa de 60 W, com suas respectivas velocidades, número de passadas do feixe laser e detalhe do corte.

Amostra	A	B	C	D	E	F	G	H
Velocidade (m/min)	5	5	2	2	2	2	1	1
Número de Passadas	1	6	1	2	3	4	1	2
Corte								

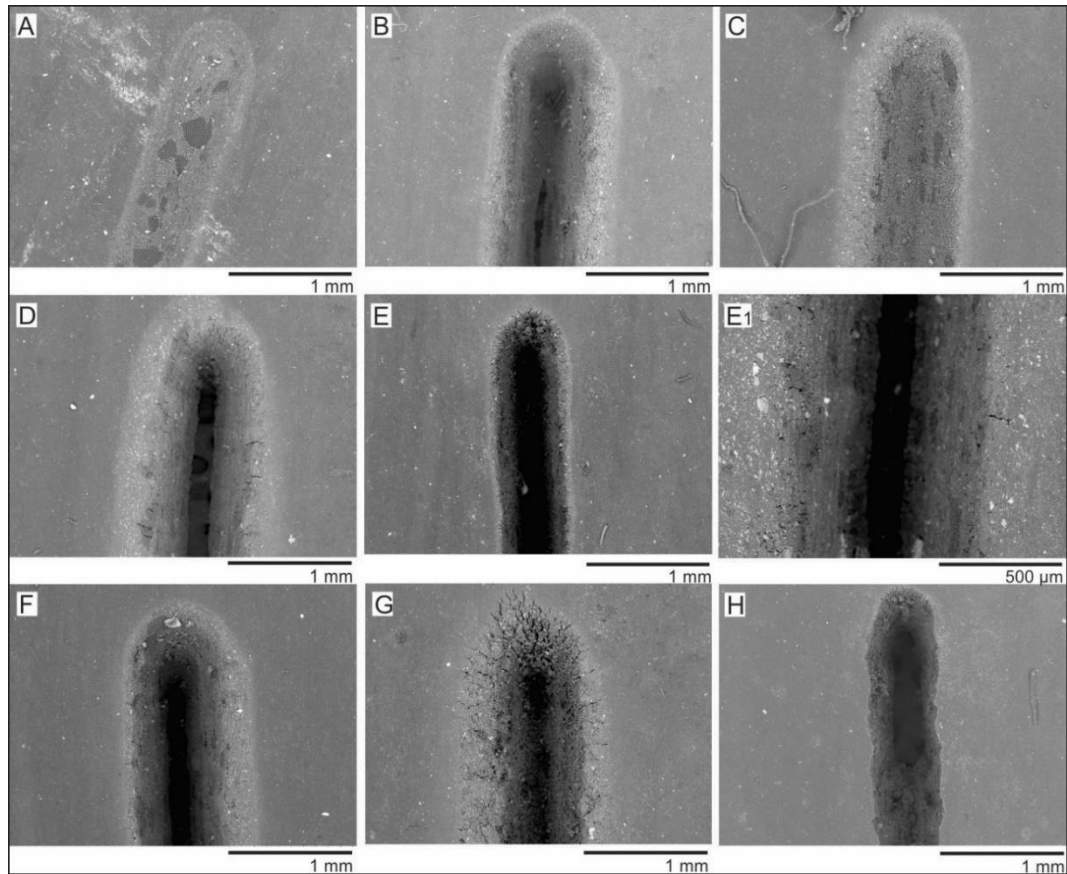
No primeiro traço executado, foi utilizada a velocidade de 5 m/min com 1 passada de feixe laser, onde se observou, à vista desarmada, que o corte do laser não atravessou a borracha, gerando uma marcação superficial (Quadro 1, amostra A). Com a velocidade de 5 m/min e 6 passadas de feixe laser (Quadro 1, amostra B), o corte quase atravessou a amostra. Após a análise visual destes primeiros cortes, classificando-os como insatisfatórios, optou-se por utilizar velocidades mais baixas, para a ação do laser permanecer por mais tempo no material. Nas amostras C e D (Quadro 1) com a

utilização de velocidade de 2 m/min e, respectivamente, 1 e 2 passadas de feixe, foi observado que o corte também não estava definido. Já na amostra E (Quadro 1), também com a velocidade de 2 m/min, mas com 3 passadas de feixe laser, o corte atravessou o material, obtendo um traço mais bem definido nas adjacências e cortando a amostra por completo.

Mesmo com a obtenção de um traço de corte satisfatório, achou-se necessário testar outras velocidades e passadas, com o intuito de ter referências na escolha de qual padronização poderá ser utilizada futuramente. No teste

seguinte, amostra F (Quadro 1), com velocidade de 2 m/min e 4 passadas de feixe, foram analisadas na superfície do material algumas marcas de queima na borracha. Com isto, optou-se por diminuir ainda mais o valor de velocidade e também o número de passadas, como observado nas amostras G e H (Quadro 1). Esta opção teve o intuito de aumentar a intensidade da ação do feixe laser na amostra, entretanto os traços apresentaram uma ampla espessura de rasgo e resquílios de queima no material.

Para uma análise mais precisa do corte, utilizou-se imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV), onde as micrografias executadas mostram a ação do laser na borracha, como podemos visualizar na Figura 5. O intuito destas análises é verificar a ação do laser no material conforme mudanças das variáveis (velocidade e número de passadas de feixe laser) e as respectivas zonas de abrangências das linhas cortadas. As imagens eletrônicas das linhas cortadas, obtidas por MEV, validam as análises visuais feitas anteriormente e indicam outras informações relevantes.



**Figura 5:** Imagens por MEV do corte a laser das amostras de borracha - (A) amostra A com velocidade de 5 m/min e 1 passada de feixe laser; (B) amostra B com velocidade de 5 m/min e 6 passadas de feixe laser; (C) amostra C, velocidade de 2 m/min e 1 passada de feixe; (D) amostra D, velocidade de 2 m/min e 2 passadas; (E) amostra E, velocidade de 2 m/min e 3 passadas de feixe laser; (E1) detalhe da amostra E, com aumento de 150x; (F) amostra F com velocidade de 2 m/min e 4 passadas de feixe laser; (G) amostra G, velocidade de 1 m/min e 1 passada de feixe laser; e (H) amostra H com velocidade de 1 m/min e 2 passadas de feixe laser. Fonte: os autores.

Nas imagens microscópicas das amostras das Figuras 5 A, 5 B e 5 C, nota-se que o traço ficou superficial na borracha, não obtendo um corte e, sim, uma gravação no material. Contudo, mesmo com a superficialidade da ação do laser, é possível observar a presença de zonas termicamente modificadas, adjacentes à gravação. Na Figura 5 D, observa-se que o laser cortou o material, contudo o traçado não ficou definido, obtendo um tamanho de corte maior na superfície superior e um menor na inferior, resultando em um corte em formato de vale. Já na amostra da Figura 5 E, visualiza-se um corte mais bem definido, validando as análises feitas anteriormente. Em comparação com a amostra D, devido à dupla passada do feixe laser, a região em vale teve mais material removido, resultando em uma gravação uniforme por toda a espessura. Nota-se no detalhe da Figura 5 E1, com a ampliação de 150x do corte da Figura 5 E, a parede do corte da borracha fica uniforme, sem partes rugosas resultantes do aquecimento térmico. Nos ensaios das Figuras 5 F, 5 G e 5 H, a ação do laser é mais agressiva ao material. Com a adição de uma 4ª passada, a 2

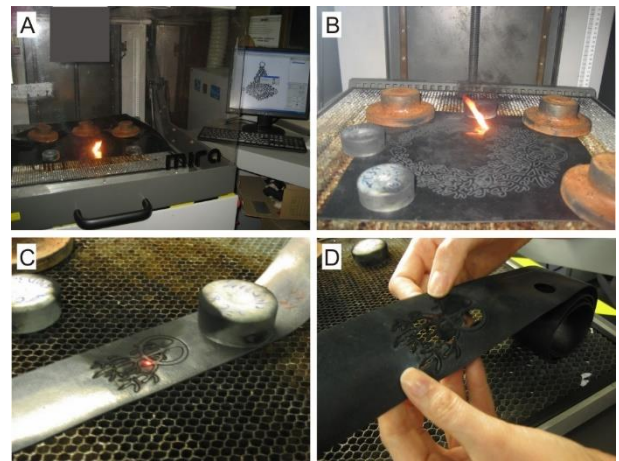
m/min, na amostra F, o laser acabou iniciando a formação de um novo vale, na região adjacente. Já a diminuição da metade da velocidade na amostra G levou à acentuação da região de vale. A maior área de abrangência deve-se à interação por mais tempo no material da alta temperatura do feixe laser, gerando um elevado aquecimento, ocasionando a geração de marcas no contorno do corte. Na análise feita anteriormente, à vista desarmada, da amostra H, nota-se a presença de um traço tremido, onde, nas imagens feitas por MEV, observa-se esta informação além da adição de áreas de aquecimento dentro do traço cortado.

Com os resultados obtidos na execução da etapa de padronização dos parâmetros do laser CO<sub>2</sub>, partiu-se para a etapa de exportação dos desenhos vetoriais das peças da coleção, conforme segue a etapa seguinte. Desse modo, foi selecionada a configuração de exportação no formato avançado, com resolução de curvatura de 0,01 mm, para a obtenção de um traçado sem a presença de vértices (CIDADE, 2012; CIDADE; DUARTE, 2014). Para a execução do processo de



corde, foi selecionado, portanto, a velocidade de 2 m/min, com 3 passadas de feixe laser e potência fixa de 60 W, conforme os resultados da amostra E. Com estas definições, partiu-se para os cortes a laser das três peças da coleção, as quais um colar, uma pulseira-anel e um par de brincos, utilizando-se o mesmo lençol de borracha EPDM (Figura 6).

Após o desenvolvimento do projeto das peças a serem cortadas, os arquivos digitais foram exportados para uso no equipamento laser, visualizado na Figura 6 A. Na Figura 6 B é mostrado o processo de corte do colar, com o lençol de borracha EPDM posicionado à mesa de trabalho, no interior do equipamento. As Figuras 6 C e 6 D apresentam o processo de corte do par de brincos. Os resultados das peças obtidas com base nos parâmetros desta pesquisa foram considerados satisfatórios com relação ao material e ao processo utilizados para a fabricação das joias. Ao seguir a metodologia de padronização desenvolvida, foi possível realizar o corte de todas as peças de modo uniforme, isto é, mantendo-se o mesmo nível de acabamento de acordo com as amostras ensaiadas e analisadas por microscopia eletrônica. Por fim, podemos visualizar na Figura 7, as joias finais desenvolvidas com a aplicação da tecnologia de corte a laser CO<sub>2</sub>.



**Figura 6:** Processo de corte a laser na borracha: (A) equipamento laser com a programação do desenho a ser cortado; (B) corte do colar; (C) e (D) corte do brinco. Fonte: os autores.



**Figura 7:** Joias em borracha EPDM: (A) colar, (B) detalhe da peça e (B1) do corte a laser CO<sub>2</sub> e caixas com gemas; (C) pulseira-anel, (D) detalhe da peça e (D1) corte e caixa com gemas; (E) brincos, (F) detalhe das peças e (F1) do corte e gemas. Fonte: os autores.

Nas Figuras 7 A e 7 B, é mostrado o colar finalizado evidenciando o acabamento uniforme do corte e a cravação das gemas (Figura 7 B, detalhe 71). A pulseira-anel é apresentada nas Figuras 7 C e 7 D, com ampliação na Figura 7 D, detalhe D1. Já as Figuras 7 E e 7 F mostram o par de brincos e acabamento (Figura 7 F, detalhe F1). Com os parâmetros utilizados, baseados nos resultados, as regiões gravadas das peças não apresentaram rebarbas ou imperfeições, mesmo com o nível de detalhes, bem como com a proximidade das formas curvilíneas.

Os desenhos gráficos das peças anel-pulseira e colar foram registrados como Desenho Industrial na Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (SEDETEC/UFRGS), sob número de registro BR 30 2015 001017-7 e BR 30 2015 001016-9, respectivamente.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia laser CO<sub>2</sub> do tipo galvanométrico é um instrumento facilitador para materializar produtos com elevado nível de precisão e detalhamento. Através das análises executadas, considera-se que a mesma pode auxiliar o designer no desenvolvimento de produtos. Contudo, é essencial a utilização de configurações adequadas a cada tipo de material e projeto, para se obter um melhor nível de acabamento. Entretanto, muitas vezes o processo de obtenção de parâmetros para gravação ou corte a laser costuma ser realizado de forma empírica, levando a um aumento do tempo de realização do processo. Em um cenário produtivo de inovação, indicado pela variação de materiais e possibilitado, principalmente, pela adequabilidade da tecnologia laser CO<sub>2</sub>, é economicamente interessante encontrar rapidamente os melhores parâmetros de processo para cada projeto.

O presente trabalho apresentou um método de etapas essenciais para a determinação de parâmetros de corte a laser CO<sub>2</sub> em equipamentos do tipo galvanométrico. Com um breve entendimento do funcionamento do equipamento foram definidos os passos para padronizar o processo, iniciando pela escolha da lente, ajuste da distância focal e pelos ensaios de potência, velocidade e passadas, até a exportação dos arquivos vetoriais. A sequência de etapas foi proposta para utilização em um equipamento laser do tipo galvanométrico, em que permite gravações e cortes com grande velocidade e precisão, contudo trazendo limitações aos tipos de materiais e ao projeto a ser executado. O processo permite sua adaptação para diversos tipos de materiais, como polímeros, papéis, madeiras, couros, gemas e rochas, entre outros.

Para fins de aplicação das etapas descritas na metodologia, esta pesquisa apresentou o desenvolvimento de uma coleção de joias, segundo a tendência da joalheria contemporânea. Esse atual viés de adornos está caracterizado pela utilização de materiais nobres e consagrados da ourivesaria em conjunto com alternativas inusitadas. A definição de joia contemporânea transcende apenas o uso de materiais nobres e ostentação de riqueza, sendo associada a peças com um considerável nível de acabamento e detalhes. Desse modo, a tecnologia laser CO<sub>2</sub> permite a sua aplicação direta em projetos de joias inovadoras, aliado a processos artesanais de ourivesaria.

Com a intenção de inovar não somente através do uso contextualizado e expressivo do adorno, mas também de materiais inusitados e processos aplicados, as três peças criadas – brinco, pulseira-anel e colar – foram projetadas em elastômero EPDM (lençol de borracha) com caixas em prata para a cravação inglesa de gemas. Os resultados obtidos mostram que, segundo as etapas de padronização descritas, para o emprego de tecnologia de corte a laser CO<sub>2</sub> galvanométrico, neste material, os melhores parâmetros a serem utilizados são através da configuração de exportação no formato avançado, juntamente com o emprego de velocidade de 2 m/min, 3 passadas de feixe

laser e potência fixa de 60 W. Esses parâmetros permitiram a obtenção de peças com corte uniforme, preciso, conforme observação por vista desarmada e através de microscopia eletrônica de varredura.

Os processos laser têm evoluído progressivamente com o passar dos anos, substituindo ou adequando-se aos métodos convencionais utilizados nos processos de produção de produtos. Considera-se que as variáveis da tecnologia (potência, velocidade e número de passadas do feixe laser) são fatores importantes e delimitantes para a obtenção de um corte preciso e uniforme, conforme as especificações e características de cada material. Esta pesquisa disponibilizou uma metodologia para obtenção de parâmetros de corte ou gravação a laser CO<sub>2</sub> através de um equipamento galvanométrico. As etapas aplicadas em borracha EPDM levaram à geração dos parâmetros ideais de fabricação para o material, os quais permitem o futuro desenvolvimento e criação de peças com bom acabamento. A esquematização das etapas para determinação de parâmetros visa a auxiliar indústrias, designers e demais profissionais da área, no que tange à fabricação de produtos inovadores e seriados através da tecnologia laser, com diversos tipos de materiais.

## 6. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa teve apoio financeiro do MCT/CNPq – Universal – 014/2008, intitulado: Tecnologia de gravação e corte a laser, como ferramenta de inovação para o design de gemas e joias. Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (SEDETEC/UFRGS).

## 7. REFERÊNCIAS

- ARROYO, N. M. **Atlas de joias contemporaneas**. Barcelona: MaoMao Publications, 2012.
- ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materiais e design : arte e ciência na seleção de materiais em projeto de produto**. 2ª ed. Rio de Janeiro: CAMPUS, 2011.
- BAGNATO, V. S. **Laser e suas aplicações em ciência e tecnologia**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais : uma abordagem integrada**. 2a. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2006.
- CANEVAROLO JR., S. V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2004.
- CIDADE, M. K. **Caracterização e padronização do processo de gravação a laser em ágata aplicado ao design de joias**. 2012. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Porto Alegre, 2012.
- CIDADE, M. K.; DUARTE, L. C. **Gravação a laser no design de joias : caracterização e padronização do processo aplicado em ágata**. Saarbrücken (AL): Novas Edições Acadêmicas, 2014.
- CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L.; KINDLEIN JÚNIOR, W. **Biônica como processo criativo : microestrutura do bambu como metáfora gráfica no design de joias contemporâneas**. **Educação Gráfica (Online)**, v. 19, n. 1, p. 91–103, 2015.
- COACCI, R. **Joias brasileiras**. Disponível em: <<http://www.coacci.com.br>>.
- DAHOTRE, N. B.; HARIMKAR, S. **Laser fabrication and machining of materials**. New Jersey: Springer Science & Business Media, 2008.
- FIORINI, M. **Marzio Fiorini**. Disponível em: <[www.marzioriorini.com.br](http://www.marzioriorini.com.br)>.

- [12]. GOLA, E. **A jóia : história e design**. 2ª ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2013.
- [13]. HECHT, J.; TERESI, D. **Laser : light of a million uses**. New York: Dover Publications, 1998.
- [14]. IBGM - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEMAS E METAIS PRECIOSOS. **O setor em grandes números : situação atual e perspectivas do mercado interno e externo**. Brasília: IBGM, 2012.
- [15]. KLIAUGA, A. M.; FERRANTE, M. **Metalurgia básica para ourives e designers: do metal à jóia**. São Paulo: Blücher, 2009.
- [16]. LEFTERI, C. **Como se faz : 92 técnicas de fabricação para design de produtos**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2013.
- [17]. LIMA, M. A. M. **Introdução aos materiais e processos para designers**. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna Ltda., 2006.
- [18]. LLABERIA, E. M. L. DA C. **Design de joias: desafios contemporâneos**. 2009. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Anhembi Morumbi, 2009.
- [19]. MANSELL, A. **Adorno: Nueva Joyería**. Barcelona: Art Blume, 2008.
- [20]. MENEZES, M. DOS S.; PASCHOARELLI, L. C. (EDS.). **Design e planejamento : aspectos tecnológicos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.
- [21]. POWELL, J. **CO2 laser cutting**. 2. ed. London: Springer London, 1998.
- [22]. PRESS, C. **Contemporary jewelry art : innovative materials**. Berkeley: Ginkgo Press Inc., 2011.
- [23]. ROUSSEL, A. **Jewellery**. Disponível em: <[www.anthonyrussel.com](http://www.anthonyrussel.com)>.
- [24]. SCHAEFFER, R. D. **Fundamentals of laser micromachining**. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2012.
- [25]. SHIMIZU, Y. **Yoko Shimizu | contemporary jewellery**. Disponível em: <[www.yokoshimizu.it](http://www.yokoshimizu.it)>.
- [26]. SIQUEIRA, M. A. DE M. **A prospecção do cenário futuros integrada ao processo de design : a geração de conhecimento para a inovação no design de joias**. 2011. 180 f. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.
- [27]. STEEN, W. M.; MAZUMDER, J. **Laser material processing**. 4. ed. London: Springer London, 2010.
- [28]. STÜRMER, P. G. DOS S. **Materiais naturais : design e tecnologia no desenvolvimento de joias inspiradas na cultura gaúcha**. 2010. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- [29]. THOMPSON, R. **Prototyping and low-volume production**. London: Thames & Hudson, 2011.