Joalheria Contemporânea: aplicação de tecnologia laser CO₂ em borracha EPDM

Contemporary jewelry: application of CO₂ laser technology on EPDM rubber

CAMARGO, Kevyann Rodrigues; Acadêmico; Universidade Federal de Santa Maria

kevyannrodrigues@gmail.com

BLAYA, Liliane Raquel Gaida; Acadêmica; Universidade Federal de Santa Maria

lili.lrgb@gmail.com

GARCIA, Wagner Jesus da Silva; Doutor; Universidade Federal de Santa Maria

wagnerjgarcia@hotmail.com

CIDADE, Mariana Kuhl; Professora Adjunta; Universidade Federal de Santa Maria

mariana.cidade@ufsm.br

Resumo

O desequilíbrio ambiental é um dos transtornos mais preocupantes gerados pela ação do homem na natureza. Grande parte dos materiais descartados são problemáticos pois possuem ciclos de vida complexos de serem solucionados, como a câmara de ar de pneus de bicicleta. O designer, profissional capaz de promover soluções criativas para diferentes problemas, pode remodelar esse contexto ao aliar suas habilidades, novas tecnologias e sustentabilidade visando ao prolongamento do ciclo de vida desses materiais. Diante dessas considerações, esse trabalho tem como objetivo ressignificar a borracha das câmaras de ar utilizando o corte e gravação a laser para o desenvolvimento de joias contemporâneas. Foram padronizadas configurações a laser que proporcionem o melhor resultado estético e evidenciem as propriedades da borracha EPDM, e desenvolvido um pingente através dos processos artesanais e industriais de joalheria.

Palavras Chave: reutilização de materiais; processos tecnológicos e design de joias.

Abstract

Environmental inequity is one of the most worrying disorders generated by the action of men in nature. Most discarded materials are considered problematic due to their complex life cycles, such as bicycles' tire chambers. The designer, a professional capable of promoting creative solutions to different problems, can reshape this context by combining his skills, new technologies, and sustainability aiming to extend the life cycle of these materials. In view of these considerations, this work aims to propose a new meaning for the rubber of tire chambers by means of laser cutting and engraving, and for the development of contemporary jewelry. Laser settings were standardized to provide the best aesthetic result and demonstrate the properties of EPDM rubber, being developed a pendant through artisanal and industrial processes of jewelry.

Keywords: reuse of materials; technological processes and jewelry design.

1 Introdução

A sociedade contemporânea carrega consigo diversos problemas que tomam dimensões globais, como a busca de um equilíbrio entre a natureza e a ação do ser humano. A preocupação com os impactos ambientais tornou-se cada vez mais relevante a partir das décadas de 50 e 60, no período pós-guerra, onde a reflexão sobre os danos causados ao meio-ambiente passou a acompanhar a comunidade e poderes públicos (VIOLA *et al.*, 2015). Desde então, estabeleceu-se uma responsabilidade globalizada para construir um planeta mais equilibrado. Diante desse cenário, Camargo e Cidade (2017) relatam que a atuação do designer industrial pode ser determinante para o desenvolvimento de projetos sustentáveis, tanto no começo, quanto no final de sua cadeia produtiva.

Levando em consideração o ciclo de vida de cada produto, o profissional criativo tem a possibilidade de selecionar, estrategicamente, materiais e processos produtivos que causem menos impactos negativos ao meio-ambiente (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Além da preocupação com a cadeia produtiva, o designer também tem como desafio lidar com resíduos gerados pelas indústrias e seu descarte inadequado. De acordo com Rodrigues Jorge, Ferreira e Claro Neto (2004), muitos desses materiais podem ter sua vida útil ampliada por meio da reciclagem e reutilização, fato que contribui para a redução de retirada de recursos naturais e aumento da longevidade de aterros sanitários ou lixões.

No cenário urbano, a borracha sintética, utilizada em câmaras de pneus de bicicleta, por exemplo, encontra-se como um dos materiais mais poluentes depois de serem descartados. Rodrigues Jorge, Ferreira e Claro Neto (2004) afirmam que tal fato ocorre devido à baixa compressibilidade do material, que contribui para a redução da vida útil dos aterros sanitários. De acordo com Recicloteca (2018), a borracha encontrada nos pneus de carro já possui processos estabelecidos que transformam o resíduo em novos produtos como tapetes para automóveis, colas, solas de sapatos e asfalto para rodovias. O mesmo não acontece com o material utilizado nos pneus de bicicleta, classificado como elastômero EPDM (borracha etileno-propileno-dieno) (ASHBY e JOHNSON, 2011), encontrando-se desvalorizado e sem descarte adequado. O desenvolvimento tecnológico dos meios de produção e processamento de materiais permitiram um avanço nas atividades de reciclagem e reutilização de resíduos. Dentro das atividades exercidas pelo designer, Camargo e Cidade (2017) relatam que os novos métodos produtivos permitem que o profissional criativo possa ultrapassar certos moldes de criação tradicionais, alcançando ideias inovadoras. De acordo com Cidade *et al.* (2016), essa nova perspectiva é adotada até mesmo em indústrias que possuem processos e materiais já estabelecidos ao longo dos anos – como a joalheria, caracterizada por seguir um sistema manufatureiro e tradicional.

Considerando todos os aspectos apresentados até então, este trabalho tem como objetivo aliar os conhecimentos e soluções já existentes relacionados à reutilização da borracha EPDM, suas principais propriedades e a tecnologia de corte e gravação a laser CO₂ para a aplicação na área da joalheria. Este trabalho está vinculado ao grupo de pesquisa Design e Inovações Tecnológicas (CNPq).

2 Joalheria Contemporânea

De acordo com Gola (2013), a joia é um elemento criativo presente na história da

humanidade que sempre acompanhou o desenvolvimento social e artístico dos períodos aos quais pertenceram. Além do legado histórico, o ato da ornamentação revela um desejo particular de afirmação pessoal no momento em que o homem começa a utilizar os adornos como uma forma de destacar-se entre seu grupo (CORBETTA, 2007). Segundo Guyot Brothers (2018), esse comportamento teve influência de uma certa identificação emocional com a joia, já que, durante sua história, ela adotou papéis estéticos, místicos e materiais. Essa ligação afetiva deu-se graças à implementação de crenças à imagens, gemas e metais nobres que assumiram diferentes associações simbólicas (GOLA, 2013).

Alguns aspectos tradicionais, como a valorização do ouro, acompanharam a joalheria durante muito tempo. Algumas dessas questões começaram a ser questionadas com o desenvolvimento de novos meios produtivos e a aproximação da joalheria com a moda, fato que proporcionou uma nova perspectiva dentro do setor joalheiro. Gola (2013) relata que, a partir da década de 50, a criação de adornos apresentou uma explosão de ideias, formas e materiais alternativos que caracterizaram um período com muita liberdade criativa dentro da história da joalheria, denominado Joalheria Contemporânea. Além de experimentos com novas soluções estéticas, essa época inaugurou a utilização de processo de produção auxiliados pela tecnologia, causando uma importante revolução nas etapas de desenvolvimento de uma joia (CIDADE *et al.*, 2013). O caráter inovador presente na joalheria contemporânea trouxe tanto vantagens criativas, quanto produtivas para a indústria joalheira, otimizando o tempo e o consumo de energia na hora da produção. Ao passo em que essas mudanças ocorriam na joalheria, aos poucos, a preocupação com os impactos ambientais causados pela ação do homem foi sendo difundida em várias áreas à procura de soluções para esses problemas, incluindo o design. Redig (1977) define essa atividade do designer como “o equacionamento simultâneo de fatores ergonômicos, perceptivos, antropológicos, tecnológicos, econômicos e ecológicos, no projeto dos elementos e estruturas físicas necessárias à vida, ao bem-estar, e/ou à cultura do homem”, sendo o último fator um dos principais a serem considerados no projeto de produtos. Tendo a sustentabilidade em mente, o designer deve encontrar soluções que sejam tecnicamente possíveis de serem executadas e ecologicamente corretas, como o reuso de resíduos industriais (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

Dentro da joalheria contemporânea, o design sustentável foi adaptando-se graças à flexibilidade característica do período, onde a utilização de materiais inusitados abriu portas para discussões referentes ao ciclo de vida dos produtos (CADORE, 2015). Essa ideia de consumo guiado por escolhas de produtos ecologicamente corretos e mais duráveis ganhou força no universo da moda, definindo um estilo de vida mais sustentável denominado *slow fashion* (FLETCHER e GROSE, 2011). A união de sustentabilidade e design têm proporcionado resultados interessantes que se encaixam no ideal defendido por Ashby e Johnson (2011) de que produtos desenvolvidos com o uso inteligente de materiais são preservados por serem considerados tesouros simbólicos e atraentes. A abordagem apresentada pelos autores pode ser exemplificada na Figura 1, onde são demonstrados alguns exemplos de joias contemporâneas que destacam o uso de materiais descartados.

Segundo Cidade *et al.* (2016), por muito tempo, a prata (Ag) foi utilizada para confeccionar joias de menor valor, mesmo sendo considerada um metal nobre. Entretanto, na joalheria contemporânea, seu uso foi cada vez mais valorizado, principalmente quando combinada a novos materiais. De acordo com Camargo e Cidade (2017), além de ser uma alternativa economicamente mais acessível, a prata ainda pode ser reutilizada por meio do processo de fundição, combinada com

metais como o cobre para melhorar suas propriedades físicas. Outra vantagem apresentada por Cadore (2015) é a extração desses tipos de metais de fontes que seriam descartadas inadequadamente. A autora relata a possibilidade de extrair prata de radiografias utilizando o processo de purificação e cobre de componentes de equipamentos eletrônicos e utilizá-los para produzir joias. Após a compreensão dos problemas referentes a esse trabalho e as possibilidades de aplicação da borracha EPDM na joalheria, é necessário aprofundar o conhecimento sobre o material de estudo, principalmente em relação às suas propriedades e como funciona seu descarte no meio-ambiente.

Figura 1 - Joalheria contemporânea e sustentabilidade: (A) adorno confeccionado com sacolas plásticas, de Malgosia Kalinska, (B) colar Sereia Ouro, feito de garrafas PET, de Mana Bernardes e (C) peças desenvolvidas por Eduarda Cadore, utilizando metais recuperados de eletroeletrônicos e lapidação de vidro descartado.

Fonte: (A) Vogue (2018); (B) Bernardes (2018) e (C) Cadore (2015).

3 Borracha EPDM

No setor industrial, os polímeros são materiais amplamente utilizados devido à flexibilidade de suas propriedades físicas, capaz de assumir inúmeras formas, texturas e cores. Estes possuem uma classificação geral em termoplásticos, termofixos e elastômeros, podendo ainda serem categorizados em orgânicos ou inorgânicos, naturais ou sintéticos (ASHBY e JOHNSON, 2011; LIMA, 2006). Dentro dessa divisão, a borracha enquadra-se como elastômero, o qual difere-se dos polímeros termoplásticos e termofixos por apresentar características mecânicas diferenciadas (ASHBY e JOHNSON, 2011; LIMA, 2006).

De acordo com Lima (2006), ainda há a existência de elastômeros de caráter termofixo e termoplástico, os quais possuem processamento e reciclagem semelhantes aos de polímeros de

mesma nomenclatura. Como exemplo, Lefteri (2014) cita processos como extrusão, termoconformação, moldagem por injeção e por sopro. As propriedades físicas da borracha oferecem não só vantagens produtivas, mas também podem ser o caminho para proporcionar novas experiências ao usuário. O design contemporâneo traz consigo um pensamento que valoriza as características de materiais para construir novas narrativas, acentuar sentidos e fortalecer a relação entre consumidor e produto (LEFTERI, 2014).

Segundo Ashby e Johnson (2011), a borracha da câmara de ar de pneus de bicicleta é classificada como elastômero EPDM, sendo um copolímero de dois monômeros: propileno-etileno. Suas principais propriedades são alta capacidade de estiramento, resistência à atividade de produtos químicos, intempéries, ozônio e abrasão, além de apresentar resiliência regular, pouca absorção de água e permitir o manuseio com temperaturas entre -50°C à 150°C (LIMA, 2006). As câmaras de ar também apresentam uma válvula metálica em seu interior, fixada pelo processo de vulcanização, cuja função é controlar a pressão do ar (CAMARGO e CIDADE, 2017). Segundo Beretta *et al.* (2014), a utilização da bicicleta como meio de transporte é uma tendência forte dos dias atuais que aumenta significativamente a produção e consumo das câmaras de ar. Os autores destacam que o descarte inadequado do material em aterros sanitários é um dos problemas mais alarmantes desse resíduo de baixa compressibilidade, prejudicando a vida útil desses locais. Campos (2006) destaca também os obstáculos envolvidos na reciclagem da borracha EPDM, principalmente em relação ao custo elevado resultante da dificuldade de processamento, logística e investimento tecnológico. Portanto, a solução mais viável para diminuir os prejuízos causados pelo descarte inadequado desse resíduo seria oferecer um novo tratamento para o material, em busca de alternativas que ampliem o tempo de vida útil do mesmo. Segundo Rodrigues Jorge, Ferreira e Claro Neto (2004), o uso da tecnologia na reutilização de resíduos urbanos e industriais consiste em um dos maiores desafios desse contexto tão complexo.

Recentemente, a borracha tem se mostrado material bastante promissor devido à sua utilização sob uma nova perspectiva no design. Empresas brasileiras vêm destacando-se por ressignificar esse tipo resíduo desenvolvendo produtos com um grau de acabamento bastante elevado, como mostra a Figura 2. A marca Revoada® confecciona mochilas e pequenos acessórios a partir da reutilização de câmaras de ar e lonas de guarda-chuvas. Já a empresa Tun®, apresenta uma diversidade de peças de joalheria com desenhos exclusivos. Seus produtos vão desde simples anéis a exuberantes colares produzidos com borracha e corte a laser.

Figura 2 – Aplicação da borracha em produtos: (A) bolsa feita de borracha EPDM descartada e tecido de guarda-chuva e (B) bracelete de borracha.

Fonte: Revoada® (2018) e Tun® (2018).

4 Tecnologia Laser

Ao longo dos últimos anos, o processo a laser estabeleceu-se na indústria por apresentar boa produtividade e precisão no corte e marcações complexas. De acordo com Bagnato (2008), o laser (Light Amplified by Stimulated Emission Radiation) é uma fonte de luz que emite uma radiação eletromagnética com alta precisão geométrica. Cidade *et al.* (2018) explica que essa luz é resultado da excitação gerada por elétrons em moléculas presentes na mistura dos gases CO₂, N₂ e He, gerando então fótons com elevados níveis de energia no comprimento de onda infravermelho. Ao atingir a superfície de determinada amostra, o raio de luz provoca diversas transformações no estado físico do material, tais como derretimento, vaporização e solidificação da área atingida (SCHAEFFER, 2012).

O laser CO₂ é uma ferramenta que possibilita o controle da forma e quantidade de energia orientada por uma série de coordenadas, apresentando equipamentos do tipo galvanométrico, com base em espelhos, e do tipo plotter, com sistema óptico móvel (HECHT e TERESI, 1998; THOMPSON, 2011; CIDADE *et al.*, 2018). Cidade *et al.* (2016) explica que a diferença entre os dois tipos de equipamentos está no deslocamento do feixe de luz, conforme o esquema da Figura 3.

Figura 3 – Demonstração do deslocamento do feixe de luz no laser CO₂: (A) equipamento plotter e (B) equipamento galvanométrico.

Fonte: (CIDADE *et al.*, 2016).

Os autores explicam que o funcionamento do tipo galvanométrico é orientado pela angulação de dois espelhos em eixos diferentes, direcionando a radiação para uma lente que foca o feixe de luz para a superfície do material. Segundo Camargo e Cidade (2017), esse tipo de laser permite maior precisão no corte e velocidade na produção. Por outro lado, o plotter funciona como um canhão de laser posicionado no sentido paralelo à superfície, com movimentos nos eixos X e Y, percorrendo toda a extensão do material a ser modificado (CIDADE *et al.*, 2016). Esse tipo de laser é recomendado para o processo de corte, já que seu funcionamento não gera ângulos de corte, tendo um resultado mais fino e detalhado.

5 Materiais e Métodos

Após reunir informações sobre a joalheria contemporânea, borracha EPDM e o funcionamento da tecnologia laser CO₂, é possível iniciar os testes em busca de parâmetros ideais para o desenvolvimento desse trabalho. Junto à borracha, a prata será utilizada como material complementar por conta de seu valor e economicamente mais acessível, caracterizando a peça como uma joia contemporânea. Para a concepção formal da joia, levou-se em consideração a

capacidade da borracha em valorizar sentidos tácteis. Ao tocar a área demarcada com as pontas dos dedos, o usuário poderia usufruir de uma nova sensação, criando um novo sentido para a peça. Sendo assim, a joia a ser desenvolvida encontra-se em meio de conceitos de movimento, interação e simplicidade, com o objetivo de valorizar o material empregado e reforçar a forma e textura das peças.

A prata (Ag), além de ser um dos materiais mais nobres utilizados na joalheria, apresenta grande versatilidade, alto nível de reflexão, condutibilidade elétrica e térmica (LIMA, 2006). Suas propriedades físicas ainda podem ser aprimoradas por meio da combinação com outros metais, principalmente o cobre (SANTOS, 2008). Na produção de joias, as ligas metálicas mais utilizadas são a prata esterlina (prata 925), com 92,5% de prata em sua composição, e a prata britânica (prata 950), contendo 95,8%, de acordo com Kliauga e Ferrante (2009). Mesmo sendo um metal nobre, de certa forma, a prata era desvalorizada devido ao seu uso na confecção de joias mais simples. Contudo, após a alta valorização monetária do ouro, a indústria joalheira foi adaptando-se economicamente e adotou a prata como material alternativo, combinando-a com novos materiais (CIDADE *et al.*, 2016; CIDADE, ROCHA e DUARTE, 2012).

Para realizar os testes de corte e gravação da borracha, foi utilizado o equipamento EXLAS-X4 da marca Jinan XYZ Machinery LLC, localizado no Centro de Artes e Letras, na Universidade Federal de Santa Maria. Essa máquina laser é classificada como do tipo plotter e possui potência máxima de 100 W. Ao trabalhar com essa tecnologia, deve-se levar em consideração os valores de potências e velocidades: quanto maior o valor da potência, mais profundo será o corte devido à intensidade do contato entre o feixe e o material; já velocidades altas tendem a realizar cortes superficiais, sendo ideal para gravações; velocidades baixas proporcionam cortes mais profundos, pois o feixe fica em contato com o material por mais tempo (CIDADE, 2012; CIDADE *et al.*, 2016; CIDADE, PALOMBINI e DUARTE, 2018).

Considerando as características da borracha EPDM, a relação entre a potência e a velocidade deve ser pensada para que o laser proporcione um corte sem abrasão do material e uma gravação com bom acabamento. Para a realização dos experimentos, primeiramente, a câmara de ar foi planificada para expandir a área de trabalho (Figura 4A e B). Após cortá-la ao meio, a válvula metálica foi retirada (Figura 4C) e por fim, foi feita a limpeza do material com água corrente (Figura 4D).

Figura 4 – Tratamento inicial da borracha: (A) câmara de ar em seu estado bruto, (B) planificação do material, (C) retirada da válvula metálica e (D) borracha planificada e limpa.

Fonte: Autores (2018).

Após a planificação, foram retiradas amostras com dimensões de 120 mm de largura e 70 mm de altura da câmara de ar, como mostra a Figura 5A. Essas amostras foram fixadas em uma

base de madeira com o intuito de minimizar possíveis erros no corte e gravação devido às ondulações do material. O primeiro teste foi realizado com o objetivo de padronizar a potência e velocidade do equipamento laser. Utilizaram-se dois valores fixos de potência, 20 W e 40 W, variando-se as velocidades. Os valores testados para as velocidades foram de 20 a 60 mm/s, com intervalo de 5 mm/s entre cada. O esquema presente na Figura 5B demonstra o desenho exportado para o equipamento, contendo todas informações necessárias para a análise.

Figura 5 – Teste 1: (A) borracha fixada no equipamento laser e (B) padronização utilizada para os testes.

Fonte: Autores (2018).

Com a realização dos testes e a definição dos melhores parâmetros, visualizou-se a possibilidade de produzir um pingente que valorizasse o uso da borracha. Para atingir esse objetivo, decidiu-se trabalhar com uma forma circular texturizada com um padrão de linhas gravadas dentro do formato estabelecido. Além da borracha, será utilizada uma estrutura de prata como suporte para a peça. Para visualizar a joia, foi elaborado um modelo tridimensional em um *software* de modelagem 3D para estruturar a configuração da joia e visualizar melhor a ideia (Figura 6).

Figura 6 – Representações da peça a ser projetada.

Fonte: Autores (2018).

Após a modelagem digital, foi possível exportar o desenho a ser gravado pelo equipamento a laser. Primeiramente, foi realizada a gravação das linhas para depois ser feito o corte da forma, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Gravação e corte da peça: (A) borracha planificada e fixada na base de MDF, pronta para gravação e (B) peça cortada.

Fonte: Autores (2018).

Com os resultados alcançados da gravação e corte a laser e com a criação definida partiu-se para o processo de fabricação do pingente (Figura 8). Inicia-se a fabricação através da obtenção da fundição do metal e posterior laminação e corte (Figura 8A e Figura 8B). Após o corte das partes metálicas do pingente, este foi soldado para então obter-se o design planejado, conforme mostre a Figura 8C. Com a peça inteira pronta, foram realizados os processos de acabamento, como utilização de limas e lixas para corrigir imperfeições e uniformizar a superfície e, por fim, o polimento com ceras abrasivas para dar brilho à peça (Figura 8D).

Figura 8 – Produção da peça de prata: (A) fundição do metal, (B) corte das chapas nos formatos desejados, (C) soldagem das peças e (D) polimento.

Fonte: Autores (2018).

6 Resultados e Discussões

Com a realização dos métodos propostos para este trabalho, obteve-se primeiramente a padronização da potência e velocidade do equipamento laser (Figura 9) para posterior fabricação da joia criada. Os resultados alcançados com a potência de 20 W, acabaram configurando-se como gravações e não como corte (Figura 9A), onde o feixe laser não perfurou o material. Com esta mesma potência e a velocidade de 60 mm/s ocorreu uma interferência bastante superficial, enquanto a de 20 mm/s foi discretamente mais profunda. Ao se movimentar com uma velocidade reduzida, o feixe percorreu seu trajeto por mais tempo, concentrando mais energia na superfície do material (CIDADE *et al.*, 2018). Com esta potência e velocidades propostas nota-se que o traçado não ficou preciso para a obtenção de linhas cortadas e sim gravadas. Como o objetivo é que se obtenha cortes e gravações com a mesma padronização optou-se por não utilizar estes dados.

Figura 9 – Padronização de potência e velocidade: (A) cortes e gravações com diferentes configurações, (B) corte realizado com 40 W de potência e 20 mm/s de velocidade e (C) visualização da superfície da borracha contra uma fonte de luz.

Fonte: Autores (2018).

Já com a potência de 40 W obteve-se tanto o corte como a gravação das linhas propostas, conforme ilustra a Figura 9B. Ao utilizar velocidades de 20 mm/s a 40 mm/s, o feixe conseguiu ultrapassar toda a espessura da borracha, apresentando resultados satisfatórios para o corte. Para analisar melhor os cortes obtidos, a amostra foi posicionada contra uma fonte de luz para perceber o nível de acabamento proporcionado pelos diferentes valores de velocidade. De acordo com a

Figura 9C, é possível visualizar que os resultados com velocidades superiores a 20 mm/s apresentaram pequenas rebarbas entre as duas extremidades do corte. Deste modo, para o corte da borracha, considerou-se como parâmetros ideais de 40 W de potência e 20 mm/s de velocidade por apresentar um corte preciso e com acabamento mais uniforme.

Para a gravação os resultados obtidos com as velocidades de 40 a 60 mm/s, foram aparentemente semelhantes entre si. Entretanto, essas amostras apresentaram baixa resistência, podendo ser facilmente rompidas. Para avaliar melhor quais os parâmetros ideais para a gravação a laser, com a potência de 40 W, decidiu-se realizar outro teste utilizando velocidades de 65 a 100 mm/s. Os valores mais altos, como 80 a 100 mm/s, apresentaram resultados mais interessantes aos anteriores, pois possuíam acabamentos satisfatórios e proporcionavam boa resistência ao material. Sendo assim, para a gravação a laser, estabeleceu-se como parâmetros ideais potência de 40 W e velocidade de 95 mm/s.

Por fim, com os resultados alcançados dos métodos executados, decidiu-se verificar o comportamento dos parâmetros de gravação aplicados a desenhos de linhas próximas, visando a texturização da superfície do material. Para este teste, foi desenvolvido um desenho com três grupos contendo linhas próximas, com distâncias diferentes entre si: 0,5 mm, 1 mm e 1,5 mm. A Figura 10 demonstra os resultados obtidos com essa experimentação, onde todos foram satisfatórios, com destaque para o espaçamento de 1,0 mm. Ao posicionar as linhas com 1,5 mm de distância, a sensação tátil de textura acabou não sendo tão evidente. Já os resultados com 0,5 mm foram bastante satisfatórios nesse quesito, entretanto, o acabamento apresentou certa fragilidade devido ao desgaste do material. Sendo assim, foi possível considerar que essas informações poderiam ser utilizadas no desenvolvimento de padrões que utilizassem repetições de linhas para serem gravados na borracha. Para isso, deve-se considerar que o distanciamento mínimo a ser utilizado entre os módulos é de 0,5 mm e máximo de 1,0 mm para proporcionar o efeito tátil desejado à peça.

Figura 10 – Resultados do teste de texturização utilizando potência de 40 W e velocidade de 95 mm/s: (A) módulos com distâncias diferentes e (B) demonstração da textura obtida com distanciamento de 0,5 mm entre as linhas.

Fonte: Autores (2018).

Após o conhecimento sobre a tecnologia laser e o desenvolvimento da peça em metal, foi possível aplicar os parâmetros definidos do corte e da gravação para produzir amostras adicionais da peça de borracha com diferentes desenhos, conforme mostra a Figura 11. Assim com estas opções de peças gravadas com diferentes linhas foi possível agregar valor à joia.

Figura 11 – Resultado final e uso da joia: (A) peça principal, (B) variações de padrões gravados na borracha com detalhes b1 e b2, (C) exemplo de manuseio da peça, (D) encaixe da borracha na parte metálica e (E) peça de borracha encaixada.

Fonte: Autores (2018).

7 Considerações Finais

A união do design com a tecnologia vem contribuindo significativamente com o aumento do ciclo de vida de materiais descartados, um dos maiores problemas ambientais do mundo atual.

Considerando fatores ecológicos, estéticos e funcionais, esse trabalho teve como objetivo proporcionar um novo destino à borracha EPDM, presente nas câmaras de ar de pneus de bicicleta, com aplicação no design de joias. No cenário da joalheria contemporânea, a quebra de padrões tradicionais, a inovação no uso de materiais e processos de produção são consideradas características marcantes desse período, o que contribui para o desenvolvimento de projetos de caráter sustentável.

Após a análise de soluções sustentáveis existentes na joalheira, características e descarte do material de estudo, foi possível visualizar alternativas que unissem os processos tradicionais da joalheria e inovação. Conforme os equipamentos disponíveis, decidiu-se trabalhar com a tecnologia laser CO₂ do tipo plotter, o qual é recomendado para a realização de cortes devido ao seu traçado fino e detalhado. A diferença entre esse tipo de laser com o do tipo galvanométrico está no seu funcionamento que oferece uma espessura de linhas mais específica, ideal para gravações nas superfícies de materiais. As propriedades do elastômero e as possibilidades oferecidas pelo equipamento levaram à ideia de utilizar a gravação a laser na superfície da borracha EPDM para proporcionar um sentido tátil à peça.

Os testes para descobrir os parâmetros ideais para gravação e corte foram orientados pela variação de duas variáveis importantes da tecnologia laser: a potência e velocidade. Para a gravação, foi determinado que os valores de 40 W de potência e 95 mm/s de velocidade foram ideais para obter uma peça texturizada e resistente. Já para o corte, 40 W de potência e 20 mm/s para velocidade. Outro parâmetro importante é o distanciamento entre as linhas para a texturização da peça: de 0,5 mm a 1 mm. Essas configurações influenciaram na criação da joia, a qual deveria valorizar o material utilizando os conceitos de textura, sinuosidade e movimento. Além da borracha, foi utilizada uma estrutura de prata para sustentar a borracha e oferecer versatilidade no uso do produto. Ao longo das últimas décadas, esse metal vem sendo bastante valorizado, principalmente quando usado em conjunto com outros materiais, característica marcante da joalheria contemporânea.

A evolução da tecnologia laser vem tornando essa ferramenta cada vez mais acessível e versátil, capaz de adaptar-se a diferentes tipos de projetos. Esses pontos são importantes para gerar reflexão sobre o papel do designer na sociedade. Com sua capacidade criativa, esse tipo de profissional pode auxiliar a diminuir problemas graves, como o descarte inadequado de resíduos. Dentro desse contexto, esse trabalho proporcionou um breve conhecimento sobre a tecnologia laser CO₂ aplicada à borracha EPDM, afim de valorizar esse resíduo urbano. Os parâmetros apresentados podem ser utilizados como referencial para projetos que utilizem o mesmo material, contribuindo assim com as pesquisas que possam ser realizadas com o mesmo tema. Além disso, as informações apresentadas servem como incentivo para o desenvolvimento de projetos sustentáveis e inovadores, principalmente no design de joias.

8 Referências

- ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e design**: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto. 2a ed. Rio de Janeiro: Campus, 2011.
- BAGNATO, V. S. **Laser e suas aplicações em ciência e tecnologia**. São Paulo: Livraria Da Física, 2008.

- BERETTA, E. M.; AGUIAR, J. O.; LAUZER, M. B.; PICOLO, J. I.; KROEFF, S. M. T. **Reaproveitamento da câmara do pneu de bicicletas: parâmetros para corte e gravação a laser**. In: 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 1., Gramado, 29 set. a 02 out. 2014. Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Gramado, 2014.
- BERNARDES, M. **Colar Sereia Ouro**. In: Mana Bernardes, 2018. (<http://manabernardes.com/trabalhos/colar-sereia-ouro>)
- CADORE, E. M. **Joalheria contemporânea e sustentabilidade: recuperação de metais e lapidação de vidros a partir de resíduos**. 2015. 118p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design de Produto)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2015.
- CAMARGO, K. R; CIDADE, M. K. **Tecnologia laser aplicada ao desenvolvimento de joias com reutilização da borracha EPDM**. In: Fórum Internacional Ecoinovar, 6., Santa Maria, 21 a 23 ago. 2017. Anais do 6º Fórum Internacional Ecoinovar. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2017.
- CAMPOS, P. S. **Aproveitamento industrial da borracha reciclada de pneus usados**. Dissertação (mestrado). 2006. 157 p. Universidade do Minho, Portugal, PT, 2006.
- CIDADE, M. K. **Caracterização e padronização do processo de gravação a laser em ágata aplicado ao design de joias**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, UFRGS, Porto Alegre-RS, 2012.
- CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L.; DUARTE, L. C; PACIORNK, S. **Investigation of the thermal microstructural effects of CO₂ laser engraving on agate via X-ray microtomography**. Optics & Laser Technology, v. 104, p. 56–64, ago. 2018.
- CIDADE, M. K.; ROCHA, T. L. Á. C; DUARTE, L. C. **Aplicação de tecnologia luminescente como diferencial no design de joias**. In: Conferência Internacional de Design, Engenharia e Gestão, Florianópolis, 21 a 23 out. 2012. Anais do II Conferência Internacional de Design, Engenharia e Gestão, Florianópolis. 2012. p. 20-26.
- CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L.; LIMA, N. F. F.; DUARTE, L. C. **Método para determinação de parâmetros de gravação e corte a laser CO₂ com aplicação na joalheria contemporânea**. Design e Tecnologia, Porto Alegre, v. 6, n. 12, p. 54-64, 2016.
- CORBETTA, G. **Joalheria de Arte**. Porto Alegre: AGE, 2007.
- FLETCHER, K.; GROSE, L. **Moda e Sustentabilidade, design para mudança**. Editora Senac. São Paulo, 2011.
- GOLA, E. **A joia: história e design**. São Paulo: Senac São Paulo, 2013.
- GUYOT BROTHERS. **A Brief History of Jewelry**. Guyot Brothers, 2018 (<http://www.guyotbrothers.com/jewelry-history/jewelry-history-page1.html>)
- HECHT, J.; TERESI, D. **Laser: light of a million uses**. New York: Dover Publications, 1998.
- RODRIGUES JORGE, M. R. P.; FERREIRA, O. P.; CLARO NETO, S. **Aproveitamento da borracha de pneus inservíveis na produção de componentes para construção**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, Florianópolis, 17 a 20 out. 2004. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, 2004. p. 3691-3699.

- KLIAUGA, A. M.; FERRANTE, M. **Metalurgia básica para ourives e designers: do metal à joia**. São Paulo: Blücher, 2009.
- LIMA, M. A. M. **Introdução aos materiais e processos para designers**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.
- LEFTERI, C. **Materials for Design**. London: Laurence King Publishing Ltd, 2014.
- MANZINI, E; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.
- REDIG, J. **Sobre desenho industrial**. Rio de Janeiro: ESDI, 1977.
- RECICLOTECA. **Pneu e Entulho: produção, descarte e reciclagem**. Recicloteca, 2018. (<http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/outros-pneu-e-entulho>)
- REVOADA. **Produtos**. Revoada, 2018. (<http://revoada.com.br/produtos>)
- SANTOS, R. **Joias - Fundamentos, Processos e Técnicas**. São Paulo: Senac, 2014.
- SCHAEFFER, R. D. **Fundamentals of laser micromachining**. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2012.
- THOMPSON, R. **The manufacturing guides: prototyping and low-volume production**. London: Thames & Hudson, 2011.
- TUN. **Bracelete Barbarella**. Tun Design, 2018. (<https://www.designtun.com.br>)
- VIOLA, E. J.; LEIS, H. R.; SCHERER-WARREN, I.; GUIVANT, J. S.; VIEIRA, P. F.; KRISCHKE, P. J. **Meio ambiente, desenvolvimento e cidadania: desafios para as ciências sociais**. São Paulo: Cortez; Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- VOGUE. Malgosia Kalinska. Vogue, 2018. (<http://www.vogue.it/en/vogue-gioiello/designer/2014/06/malgosia-kalinska>)