

Mariana Piccoli, Joyson Pacheco, Leonardo Brandi *

Caracterização e definição de parâmetros de corte a laser em tubos de papelão: possibilidades de aplicação no design de produtos

*

Mariana Piccoli

Mestra; Centro Universitário Franciscano <marianap.piccoli@gmail.com>

Joyson Pacheco

Doutor; Universidade Federal do Rio Grande do Sul <joyson@meccanica.ufrgs.br>

Leonardo Barili Brandi

Mestre; Universidade Federal do Rio Grande do Sul <leonardo.bari-li@gmail.com>

Resumo O objetivo deste trabalho foi identificar parâmetros técnicos de corte a laser em tubos de papelão, e caracterizar o material por meio de MEV e análise termogravimétrica ATG. Como resultados da caracterização, a temperatura de combustão indica que até os 210°C existe uma faixa de segurança na utilização dos tubos. A microscopia eletrônica de varredura mostrou as características morfológicas da superfície interna, externa, do miolo e da borda do tubo de papelão. Concluiu-se a viabilidade da aplicação da tecnologia de corte a laser no material, determinando-se a potência e velocidades adequadas para o corte mais eficiente em cada espessura. Após as pesquisas, demonstra-se que o tubo de papelão é um material passível de aplicação no design de produtos.

Palavras chave Corte a laser, tubos de papelão, design de produtos.

Characterization and definition of laser cutting parameters in cardboard tubes: application possibilities in product design

Abstract This study aims to identify the laser cutting technical parameters in cardboard tubes, and characterize the material by scanning thermal gravimetric analysis (TGA) and electron microscopy (MEV). As a result, the combustion temperature the ATG identified, indicates that even at 210°C there is a range of safety of the tubes. The scanning electron microscopy showed the morphological characteristics of the inner surface, outside of the core and the cardboard tube edge. It was concluded the feasibility of applying the laser cutting technology in the material, determining the proper power and speed to more efficiently cut into each thickness. After research, it is shown that the cardboard tube is a material that could be used on product design.

Keywords Laser cutting, cardboard tubes, product design.

Introdução

Os tubos de papelão são usados em diversos segmentos industriais – seja na forma de embalagem ou como suporte para o enrolamento de tecido, papéis, fios, borrachas, adesivos e outros tipos de películas. É um material muito utilizado para armazenagem e transporte de mercadorias por sua versatilidade e baixo custo, podendo ser fabricado em diversos comprimentos, diâmetros e espessuras.

Segundo Preston e Bank (2012, p. 657) os tubos de papel são produtos de alto nível de engenharia estrutural, usados principalmente nas indústrias de papel e tecidos. Também são utilizados como formas para construção de pilares de concreto.

Para maximizar a utilização dos tubos, apresentando-o como um material passível de aplicação no design, torna-se necessário que suas características e seus parâmetros técnicos sejam reconhecidos e difundidos. Apesar de já existirem propostas de uso dos tubos no design de produto, especialmente no mobiliário, não foram encontradas pesquisas relacionadas ao estudo dos parâmetros para sua utilização; assim, acredita-se que o material foi reconhecido de forma empírica.

Desta forma, o objetivo desta pesquisa é identificar os parâmetros técnicos de corte a laser nos tubos de papelão, expondo uma possibilidade de utilizar este processo produtivo no material para o design de produto, além de caracterizar os tubos por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV), expondo sua morfologia e a estrutura superficial dos materiais, e da análise termogravimétrica (ATG), visando identificar a temperatura de combustão do material e determinando uma faixa de segurança de temperatura de aplicação.

Desenvolvimento

Simplificadamente, o tubo de papelão é constituído por camadas de papel kraft, coladas e configuradas em uma geometria cilíndrica oca. São utilizados dois tipos distintos de papel kraft: um para o miolo do tubo, e outro para acabamento (superfície externa).

Segundo informações do fornecedor Primo Tedesco (2008), o papel do miolo é 100% reciclado, na cor parda, em uma gramatura que varia de 110 a 450 g/m² (também conhecido como semi-kraft ou kraft de segunda). Já o papel do acabamento é o *kraft liner*, com menor percentual de fibra reciclada, produzido em gramaturas de 60 a 100 g/m². O papel de acabamento é o mais caro, sendo por isso utilizado somente nas camadas externas do tubo.

Durante o processo de reciclagem do papel, as fibras que o compõe tem sua estrutura original alterada – grande porcentagem delas é quebrada – modificando, conseqüentemente, suas propriedades. Cardoso et al. (2012, p. 404) expõem algumas características que diferenciam as fibras recicladas das fibras virgens: redução do comprimento médio das fibras; redução das propriedades de resistência do papel; aumento da opacidade e menor flexibilidade das fibras.

Sobre este assunto, Petutschnigg e Ebner (2007, p. 408) observam que como o papel consiste principalmente em fibras de madeira e é um recurso renovável, pode ser um material interessante e sustentável para as futuras demandas, substituindo outros. Os mesmos autores também defendem que a aplicação de novos materiais é dependente principalmente das suas propriedades específicas, incentivando a análise e estudo destas características.

A fim de caracterizar o material e conhecer suas propriedades, realizou-se a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a análise termogravimétrica (ATG), para posteriormente estudar os parâmetros técnicos relacionados ao corte a laser. Após pesquisa exploratória, selecionou-se como padrão de tubo a ser pesquisado o de diâmetro interno 76,2mm

(encontrado geralmente nas espessuras 3mm, 4mm, 5mm e 6,5mm), por ser o mais facilmente encontrado no mercado (padrão de uso em gráficas).

A fim de guiar o procedimento de confecção dos corpos de prova, utilizou-se a ABNT NBR 14101:1998 – Papel e cartão – Tubetes – Amostragem para ensaios.

Durante todo o período anterior aos ensaios, os tubos foram protegidos das influências que pudessem alterar suas propriedades, como a luz direta do sol, flutuações climáticas consideráveis, líquidos e umidade, conforme dita a norma.

Somente depois de estabelecido o equilíbrio de umidade entre os corpos de prova e atmosfera (requerido para estabilizar o estado físico dos materiais) é que os materiais foram submetidos aos ensaios. Para isso, foram mantidos por um período entre sete e dez dias no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM – UFRGS), na atmosfera condicionadora de temperatura 23°C e umidade relativa 50%, conforme ABNT NBR 14102:2002 Papel e cartão – Tubetes – Condicionamento das amostras, até que atingissem a massa constante.

Os corpos de prova para o ensaio de corte a laser foram cortados rigorosamente a 90° com relação ao seu eixo em uma serra circular de esquadria, modelo LS1040, da Makita®; potência de 1650W e 4600 rpm, equipada com disco de corte com lâmina de wídea de 32 dentes, sem causar deformações, e suas medidas foram aferidas com o uso de trena e paquímetro universal.

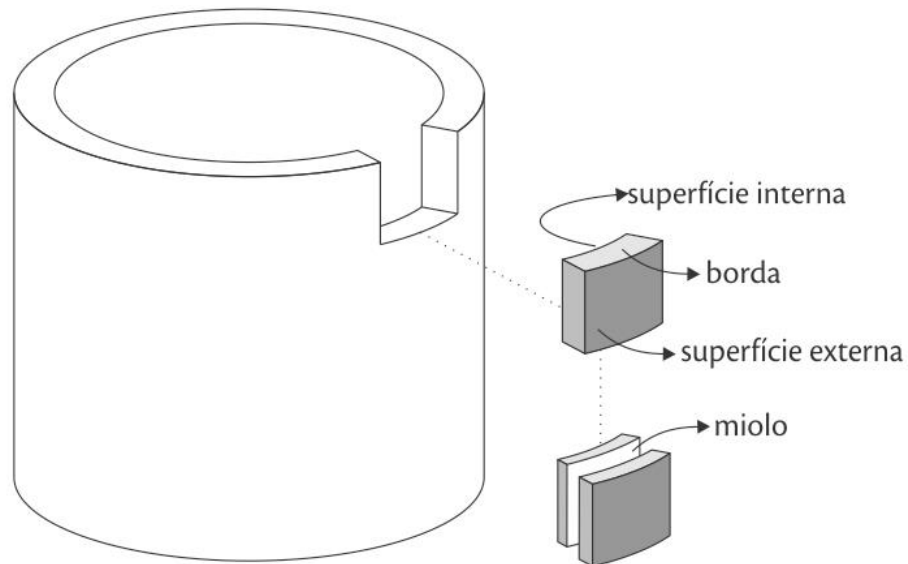
Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para conhecer as características morfológicas da superfície interna, externa, do miolo e da borda do tubo de papelão, desenvolveu-se sua caracterização por microscopia eletrônica de varredura (MEV), método não destrutivo que permite visualizar a morfologia e a estrutura superficial dos materiais a partir de amostras sólidas.

O equipamento utilizado é da marca Hitachi® modelo TM 3000 e está localizado no LdSM - UFRGS. Foram obtidas imagens eletrônicas do tipo BSE (*backscattered electron* – elétrons retroespalhados). A aceleração do feixe de elétrons utilizada foi de 15 KeV, e o equipamento opera com aumentos de até 30.000 vezes.

Analisou-se uma amostra de 10mmX10mm, retirada da borda de tubos de papelão com 76,2mm de diâmetro interno e 5mm de espessura de parede. Visualizou-se a superfície externa do material, a superfície interna, o miolo – observado pelo destacamento de uma camada da amostra – e a borda, como está representado na Figura 1.

Figura 1 - Representação gráfica do local de onde foi retirada a amostra e indicação de cada superfície que foi analisada por microscopia eletrônica de varredura.



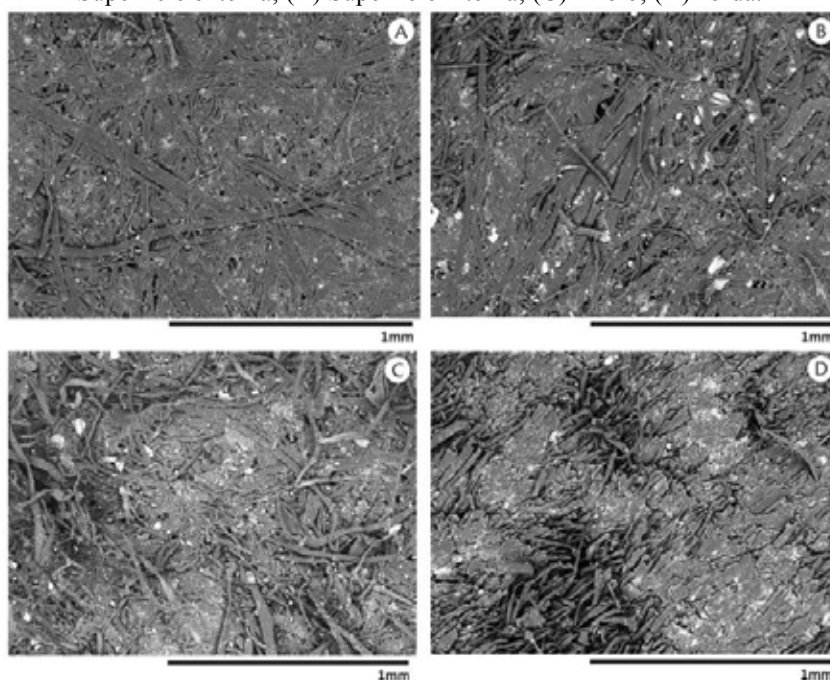
Fonte: Elaborado pela autora, com base na pesquisa realizada.

Analisando-se as imagens obtidas, concluiu-se que a superfície externa (Figura 2A) do tubo apresenta homogeneidade em sua estrutura, com as fibras longas e aparentemente bem assentadas e compactadas, já que não se percebem diferenças de profundidade. Como se sabe pela visita à fábrica dos tubos de papelão, o papel da superfície externa possui menor porcentual de fibra reciclada.

Conforme se integram materiais provenientes de reciclagem e aumenta-se o porcentual de fibra reciclada contida no papel, perde-se a homogeneidade e visualiza-se uma maior quantidade de impurezas e incrustações de outros materiais – características aparentes na microscopia das superfícies interna (Figura 2B) e do miolo (Figura 2C), que apresentam ainda heterogeneidade no comprimento e largura das fibras.

A imagem da borda (Figura 2D) mostra as fibras cortadas em uma vista de topo (o corte foi realizado com serra circular).

Figura 2 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície de um tubo de papelão de 5mm de espessura. (A) Superfície externa; (B) Superfície interna; (C) Miolo; (D) Borda.



Fonte: Elaborado pela autora, com base na pesquisa realizada.

A morfologia reconhecida corrobora com os dados sobre a utilização de diferentes tipos de papel kraft na fabricação dos tubos de papelão, fator que pode influenciar em algumas características do material. Como afirmam Cardoso et al. (2012, p. 404) as fibras recicladas, chamadas de secundárias, perdem ligações entre fibras pois durante o processo de reciclagem uma grande porcentagem delas é quebrada.

Análise termogravimétrica (ATG)

O intuito deste ensaio é reconhecer a mudança de massa no material devido à interação com o aumento de temperatura, enquanto é submetido a uma programação controlada de temperatura. Conforme Canevarolo (2007) esta técnica possibilita conhecer as alterações que o aquecimento pode provocar na massa das substâncias, o que permite estabelecer a faixa de temperatura em que começam a se decompor, acompanhar o andamento das reações de desidratação, oxidação, entre outras informações que podem ser obtidas. Identificou-se a temperatura de combustão do material, fornecendo dados sobre a necessidade de um estudo posterior sobre recobrimentos de proteção ao fogo.

A taxa de aquecimento utilizada foi de 5°C/min, em uma faixa de temperatura variando entre 25 e 400°C, em atmosfera de oxigênio a 99,9%. Utilizou-se o equipamento para análise termogravimétrica Mettler-Toledo®, modelo SDTA-TGA 851e, localizado no Laboratório de Materiais Cerâmicos – LACER/UFRGS.

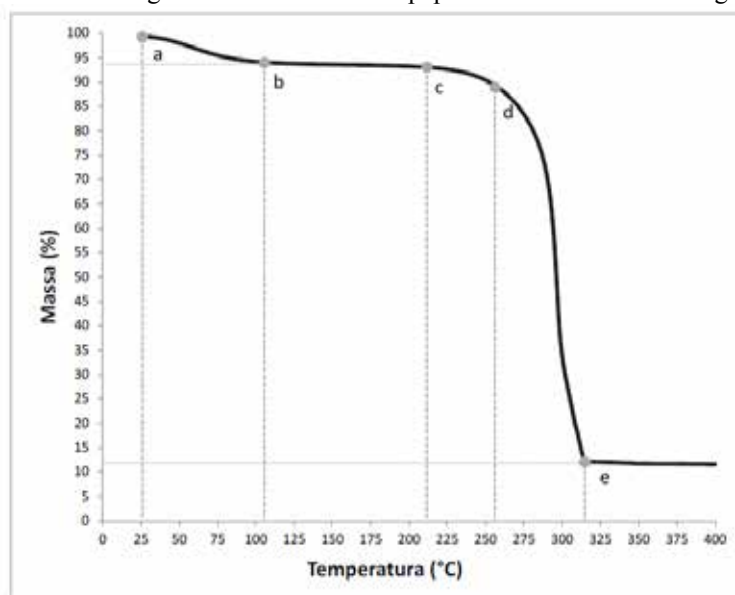
A curva termogravimétrica traça o peso versus a temperatura ou o tempo; a seguir, a curva TG do tubo de papelão (Figura 3). O patamar inicial (ponto a) refere-se à temperatura ambiente de 25°C, onde a massa da amostra está em 100%. Com o acréscimo da temperatura, percebe-se o momento inicial da perda de massa, que se estende até um pouco além de 100°C (ponto b); associam-se estes valores à evaporação da água (desidratação e secagem do

material), causando uma perda de massa de cerca de 7% - taxa de umidade incorporada nos tubos, reconhecida na literatura entre 6 e 9%.

O segundo momento de perda de massa (ponto c) inicia em 210°C, o que pode ser atribuído à degradação da resina que une as camadas de papel kraft. Entretanto, a perda significativa de massa ocorre a partir dos 255°C (ponto d), iniciando o processo de decomposição térmica, que interrompe bruscamente nos 310°C.

A partir dos 310°C (ponto e), percebe-se a estabilização da perda de massa e o término da decomposição térmica, sendo o patamar final do ensaio. No degrau entre o ponto d e o ponto e, que corresponde à diferença entre as temperaturas 255°C e 315°C, a variação de massa da amostra foi cerca de 60%. Assim, reconhece-se esta faixa como sendo a temperatura de combustão do material. Ao final do ensaio, a massa da amostra é de somente 12%.

Figura 3 - Curva termogravimétrica do tubo de papelão em atmosfera de oxigênio.



Fonte: Elaborado pela autora, com base na pesquisa realizada.

A temperatura de combustão do material indica que até os 210°C existe uma faixa de segurança na sua utilização, aspecto positivo para a aplicação dos tubos no design de produtos. Além disso, o resultado de somente uma curva significativa de perda de massa reflete a existência de apenas um material na composição do tubo de papelão, neste caso a celulose.

Corte a laser

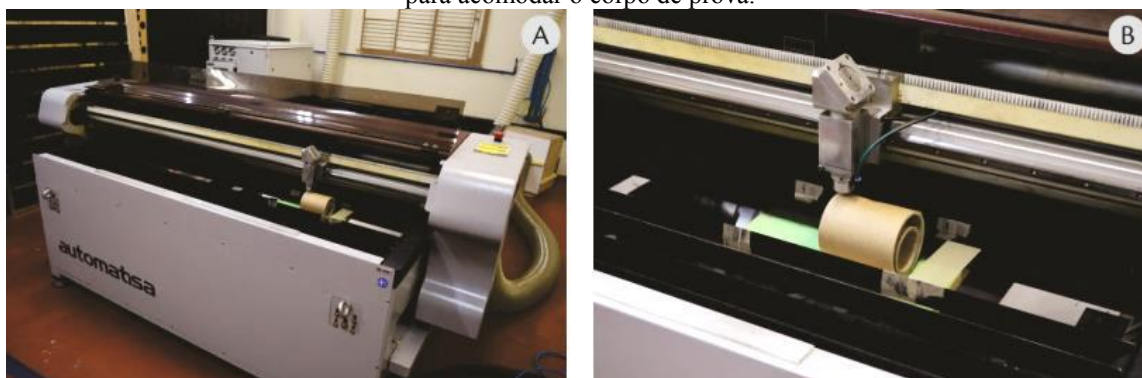
Para este ensaio, foram utilizados dois corpos de prova de cada espessura, de 100mm de comprimento, totalizando oito corpos de prova. A medição das dimensões foi realizada utilizando-se um paquímetro universal.

A tecnologia de corte a laser é um processo de alta precisão, sendo atualmente utilizado em vários setores industriais. As vantagens da utilização do corte a laser são várias: maior rapidez produtiva, possibilidade de corte sem desperdício de material, cortes detalhados e muito precisos.

Para os ensaios de definição dos parâmetros de corte a laser, utilizou-se o equipamento Automatisa®, modelo Acrila (Figura 4A), que permite efetuar cortes a laser e gravações em diversos materiais, localizado na Oficina de Modelos, Protótipos e Maquetes da Faculdade de Arquitetura/UFRGS.

O equipamento realiza cortes em materiais com até 25mm de espessura, e esta altura é limitada por uma mesa de tampo metálico vazado em formato de colmeia. Como os tubos de papelão possuem um diâmetro externo médio de 85mm, foi necessário retirar o tampo e improvisar um “berço” para acomodar os tubos durante o corte (Figura 4B) e alcançar a medida de 5mm entre o bocal do feixe laser e a superfície a ser cortada, para atingir o foco ideal de corte.

Figura 4 - (A) Equipamento de corte e gravação a laser, modelo Acrila, da Automatisa®; (B) Berço improvisado para acomodar o corpo de prova.



Fonte: Elaborado pela autora, com base na pesquisa realizada.

A potência máxima do equipamento laser utilizado é 200W. Os parâmetros passíveis de ajuste são: a potência do feixe de laser, a aceleração e a velocidade de movimentação do bocal de corte. Os ensaios foram realizados em corpos de prova de tubos de papelão de todas as espessuras estudadas (3mm, 4mm, 5mm e 6,5mm).

Com o intuito de reconhecer qual potência e velocidade de corte era mais eficaz para cada espessura de tubo de papelão, desenhou-se no software do equipamento de corte a laser um retângulo de 25mm de comprimento e 4mm de altura, e realizou-se este corte no material – um retângulo para cada variação de parâmetro testado.

Na definição dos parâmetros a serem ensaiados, buscou-se a pesquisa de Raseira (2013), que estudou o processo de corte a laser em diversas espécies de madeiras, alcançando o melhor resultado com a potência entre 66,5W e 70W. De forma a ter um estudo mais amplo e reconhecer outras possibilidades, iniciou-se fixando a potência mínima a ser trabalhada em 25% (50W), menor potência que efetuou o corte durante o ensaio exploratório; e como potência máxima 45% (90W), 20W a mais que a maior potência estudada por Raseira (2013). A variação entre as potências foi de 5 em 5% - ou seja, as potências utilizadas foram: 50, 60, 70, 80 e 90W. Dentro de cada potência fixa, variava-se a velocidade do corte, de 5mm/s até o limite onde o corte era realizado, também variando de 5 em 5mm/s.

Para analisar os cortes e as superfícies externa e interna, os tubos foram visualizados a olho nu, registrando-se os resultados por meio de fotografias, e os cortes realizados com a potência que apresentou maior eficiência (produziu cortes efetivos em velocidades mais altas) tiveram suas superfícies analisadas com o uso do microscópio estereoscópio (marca Olympus®, modelo SZX16), localizado no LdSM.

No total, entre todas as espessuras estudadas no ensaio definitivo, foram realizados 131 cortes no formato de retângulo, em diferentes combinações de potência e velocidade. Na Figura 5 apresentam-se os corpos de prova de 4mm de espessura, após a realização do ensaio.

Figura 5 – Corpos de prova após os ensaios de corte a laser.



Fonte: Elaborado pela autora, com base na pesquisa realizada.

Para analisar os cortes e as superfícies externa e interna, os tubos foram “abertos” com uma serra tico-tico e visualizados a olho nu, registrando-se os resultados por meio de fotografias. Na imagem abaixo (Figura 6) pode-se ver o corpo de prova de 6,5mm de espessura. Apesar de o corte ser aparentemente eficaz pela vista externa (A), quando analisado pelo lado interno (B) pode-se ver as áreas escurecidas devido à queima.

Figura 6 – Corpo de prova de 6,5mm de espessura após os cortes a laser.(A) Vista externa; (B) Vista interna.



Fonte: Elaborado pela autora, com base na pesquisa realizada.

Pela observação visual, na Tabela 1, encontram-se as maiores velocidades de ação do laser passíveis de romper por completo os tubos de papelão, nas distintas espessuras, consideradas velocidades eficazes de corte.

Tabela 1 – Velocidades eficazes de corte a laser para os tubos de papelão, de acordo com cada potência e espessura.

Potência	CP 3mm	CP 4mm	CP 5mm	CP 6,5mm
25 (50W)	30mm/s	15mm/s*	15mm/s*	5mm/s*
30 (60W)	35mm/s	20mm/s	20mm/s	10mm/s*
35 (70W)	50mm/s	30mm/s	20mm/s	15mm/s*
40 (80W)	55mm/s	40mm/s	25mm/s	15mm/s*
45 (90W)	60mm/s	50mm/s	30mm/s	20mm/s*

*Superfície com coloração bastante escurecida devido à queima.

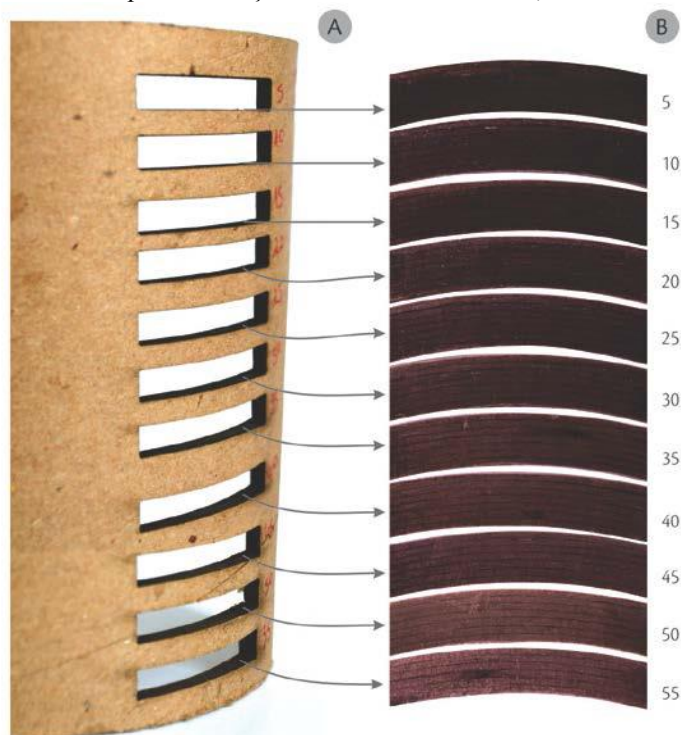
Fonte: Elaborado pela autora, com base na pesquisa realizada.

As velocidades menores do que as apresentadas na Tabela 1 também ocasionaram o corte total, porém causaram maior queima, já que o feixe de laser permaneceu maior tempo em contato com o material, gerando uma alteração (escurecimento) da área. Além disso, quanto maior o tempo de contato do laser, maiores as chances de o material entrar em combustão. Já as velocidades maiores que as apresentadas na tabela não romperam por completo o corpo de prova, e foram consideradas ineficientes.

Os resultados confirmam aqueles da pesquisa de Raseira (2013), apesar de ser um material distinto: quanto maior a espessura do material – neste caso o tubo de papelão –, menor é a velocidade eficaz de corte, resultando em um maior tempo de interação laser/material para que haja o rompimento total.

Como foram percebidas poucas diferença visuais (queima e acabamento) entre as mesmas potências e velocidades de corte em tubos de papelão de espessuras distintas, selecionou-se o tubo de papelão de 4mm de espessura, cortado na potência de 90W, com as velocidades variando entre 5 e 55mm/s, para a análise mais detalhada com o uso do microscópio estereoscópio. Assim, apresenta-se uma fotografia dos cortes realizados (Figura 7A) e as imagens de microestereoscopia de cada corte (Figura 7B), onde se pode visualizar a variação de tonalidade da área atingida pelo feixe de laser.

Figura 7 – (A) Fotografia do tubo de papelão de 4mm, cortado na potência 90W; (B) Imagens de microestereoscopia da variação de velocidade do corte, de 5 até 55mm/s.



Fonte: Elaborado pela autora, com base na pesquisa realizada.

Percebeu-se que há alguns fatores que podem ter influenciado a eficiência do corte a laser: condições climáticas (temperatura e umidade), já que a sala onde este teste foi realizado não é climatizada; e a dificuldade em se atingir o foco ideal do feixe de laser, já que devido à superfície cilíndrica dos tubos, o laser perdia sua distância focal ideal à medida que avançava lateralmente. Esta condição sugere a limitação de que o corte a laser somente é possível em um determinado perímetro do tubo.

Conclusões

Pela realização dos ensaios técnicos, comprovou-se que os tubos de papelão não necessitam de recobrimentos de proteção ao fogo, já que sua temperatura de decomposição térmica, reconhecida na análise termogravimétrica, foi 210°C – assim, tem-se uma faixa de segurança na utilização dos tubos de papelão no desenvolvimento de produtos – como mobiliário, por exemplo.

Os testes de corte a laser indicam a possibilidade da aplicação desta tecnologia nos tubos de papelão. As potências entre 50W e 90W realizaram efetivamente os cortes no material. Quanto mais baixa a potência, menor a velocidade que deve ser utilizada para um rompimento eficaz; porém, quanto menor a velocidade, maior o escurecimento da área, já que o laser permanece em contato por um período maior de tempo que em velocidades rápidas.

A espessura dos tubos ensaiados também foi uma variável que alterou os parâmetros de corte: enquanto tubos da espessura 3mm são cortados em velocidades de até 60mm/s em 90W, nos de 6,5mm de espessura a velocidade máxima que produziu o corte foi 20mm/s na mesma potência, ainda assim com coloração bastante escurecida devido à queima.

A aplicação da tecnologia de corte a laser nos tubos de papelão abre uma vasta gama de possibilidades no design de produtos, em diferentes segmentos. Pela precisão do corte, rapidez do processo e capacidade de cortes detalhados e muito precisos, pode-se utilizar o material até mesmo para confecção de adornos contemporâneos ou brinquedos.

Durante o desenvolvimento do trabalho, surgiram algumas limitações, especialmente em relação aos equipamentos utilizados. O uso de um equipamento de corte e gravação a laser 3D, por exemplo, proporcionaria a execução de cortes complexos e sinuosos sem o problema da perda de foco devido à curvatura cilíndrica, e poderia estimular maiores experimentações e pesquisas. Permaneceram algumas lacunas a serem estudadas, como analisar a interação do material com o laser também na forma de gravação. Além disso, poderiam ser ensaiadas diferentes geometrias de cortes, variando o grau de complexidade e o tamanho dos desenhos.

A fim de demonstrar a viabilidade da utilização dos tubos de papelão no design de produtos, de forma a corroborar com os objetivos da presente pesquisa, realizou-se uma busca por exemplares de objetos que utilizam como principal material o tubo. É na área do mobiliário que se concentram a maioria dos produtos confeccionados com este material. Petutschnigg e Ebner (2007) comentam sobre a adequação dos tubos de papelão à crescente demanda das indústrias moveleiras em produzir móveis leves.

O Estudio Pomada, escritório argentino focado em design sustentável, fez dos tubos de papelão o material principal para as suas criações (Figura 8). Os tubos são cortados e lixados, e então colados em chapas de OSB (Oriented Strand Board). Após a montagem, o produto é coberto com verniz a base de água para aumentar a durabilidade.

Figura 8 - Mobiliário da Pomada. (A) Reposera; (B) Banco; (C) Peque; (D) Chupito.



Fonte: Pomada Web (2012).

No cenário do design brasileiro está o escritório SuperLimão, fundado em 2002, que trabalha com foco no uso de materiais alternativos para a construção de produtos. Dentre eles está o tubo de papelão, que aparece associado a cordas de fibra de taboa (Figura 9A), com a parte interna pintada de branco (Figura 9B) ou recortado de forma sinuosa, valorizando o desenho das curvas (Figura 9A e C).

Figura 9 - Mobiliário do SuperLimão. (A) Banquinho Biju; (B) Cadeira Circular; (C) Mesa Ampulheta.



Fonte: SuperLimão (2012).

Na área de brinquedos também podem ser encontrados produtos confeccionados com este material. O designer Oscar Diaz enxergou nos tubos de papelão a carroceria de veículos, criando a série de brinquedos “Tube Toys”. Neles, a embalagem é também parte do produto, reduzindo consideravelmente a quantidade de material descartado e o custo. Todas as partes necessárias para a construção de cada veículo vêm dentro de um tubo de papelão, que se transforma na própria carenagem (Figura 10). A montagem é simples, já que todos os orifícios para os encaixes já são cortados.

Figura 10 - Tube Toys de Oscar Diaz. (A) Embalagem do produto, modelo trator; (B) Peças do modelo; (C) Trator montado.



Fonte: Oscar Diaz (2012).

Com essa pequena mostra de produtos confeccionados utilizando-se tubos de papelão, pode-se concluir que a aplicação da tecnologia de corte a laser seria viável e poderia facilitar processos de fabricação, bem como melhorar acabamentos, já que nos exemplares apresentados os cortes são executados por meio de serras, utilizando-se gabaritos e outros meios auxiliares.

O estudo e reconhecimento de características peculiares de novos materiais é um ponto determinante para a inserção destes no design. Aspectos culturais relegam o papelão a uma função secundária, como embalagem, por exemplo, e não como matéria prima na fabricação de produtos. Mas essa concepção está mudando, na medida em que encontram referências, se projetam produtos e, principalmente, se descobrem as características deste material.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14101**: papel e cartão: tubetes: Amostragem para ensaios. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14102**: papel e cartão – tubetes – Condicionamento das amostras. Rio de Janeiro: 2002.

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião V. Coord. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2007.

CARDOSO, Maro Túlio; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; OLIVEIRA, Rubens Chaves de; CARVALHO, Ana Márcia Macedo Ladeira; PATRÍCIO JÚNIOR, Wagner; MARTINS, Maria Cristina; SANTOS, Rosimeire Cavalcanti dos; SILVA, Juliana Cristina da. **Propriedades físicas e mecânicas de papéis reciclados utilizados para fabricação de tubetes**. In: Ciência Florestal Santa Maria, v 22, n 2, abr-jun 2012, p. 403-411.

PETUTSCHNIGG, Alexander Johannes; EBNER, Michael. **Lightweight paper materials for furniture – a design study to develop and evaluate materials and joints**. In: Materials & Design, n 28, 2007, p. 408-413.

PRESTON, Steven J.; BANK, Lawrence C. **Portals to an Architecture**: Design of a temporary structure with paper tubes. In: Construction and Building Materials, n 30, 2012, p. 657-666.

PRIMO TEDESCO. **Produtos**. 2008. Disponível na internet por http em: <http://www.primotedesco.com.br/por/produtos_papel.php#papel_1>. Acesso em: 10 jul. 2012.

RASEIRA, Cristine Bassols. **Design e tecnologia aplicados a resíduos de madeira**: especificações para o processo de corte a laser em marchetaria. 2013. 168p. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Design – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.