

## Desenvolvimento de uma Estrutura Flat Foldable em Bambu Laminado Colado baseada no Padrão Miura-Ori

### *Development of a Flat Foldable Structure in Glued Laminated Bamboo based on Miura-Ori Pattern*

**Thaís Regina Ueno Yamada, Universidade Estadual Paulista**  
thaisueno@faac.unesp.br

**Roberto Alcarria do Nascimento, Universidade Estadual Paulista**  
alcarria@faac.unesp.br

**Marco Antonio dos Reis Pereira, Universidade Estadual Paulista**  
pereira@feb.unesp.br

#### **Resumo**

O presente artigo apresenta uma metodologia para aliar o Bambu Laminado Colado (BLaC) com os princípios construtivos do origami a fim de desenvolver uma estrutura articulada do tipo *flat foldable*, ou seja, que se achata completamente ao abrir e fechar. Para isso, foi realizada uma pesquisa experimental e prática, cuja primeira etapa consistiu na criação de modelos físicos em papel de um *crease pattern* (padrão de vinco) chamado Miura-Ori, a fim de analisar sua geometria. Em seguida, foi gerado um modelo virtual deste padrão no programa SolidWorks, empregando-se placas de espessuras de 10 mm e 38 mm. Enquanto isso, placas de BLaC foram processadas e produzidas em laboratório, para serem usinadas na Router CNC e na Rolland, duas fresadoras que agem por subtração de chapas, a fim de se obter as peças físicas da estrutura. Finalmente, procedeu-se com a montagem do modelo com dobradiças a fim de observar a viabilidade do processo de desenvolvimento de estruturas *flat foldable* com os princípios do origami.

**Palavras-chave:** Design, Bambu Laminado Colado, *Flat foldability*, Padrão Miura-Ori

#### **Abstract**

*The present article presents a methodology to combine the use of Glued Laminated Bamboo (GLB) with folding techniques of origami in development of articulated flat foldable structures, which are able to flatten completely during the opening or closing movement. For this, an experimental and practical research was carried out, whose first stage consisted in creation of initial physical paper models of a crease pattern called Miura-Ori, in order to analyze its geometry. Then, a virtual model was generated in the SolidWorks program with thicknesses of 10 mm and 38 mm. Meanwhile, GLB plates were processed and produced in laboratory, to be treated in CNC Router and in Rolland, two milling machines, in order to obtain the physical parts of the structure. Finally, we proceeded with the assembly of the hinged model in order to observe the viability of design process of flat foldable structures with origami principles.*

**Keywords:** Design, Glued Laminated Bamboo, Flat Foldability, Miura-Ori Pattern

## 1. Introdução

No desenvolvimento de novos produtos, cabe ao designer atender aos interesses de diversos setores, inclusive ao fator sustentabilidade. Esse aspecto deve estar presente durante todo planejamento de um novo produto porque é de responsabilidade deste profissional a elaboração de artefatos produzidos, transportados, utilizados e descartados diariamente pela população. Atentando-se para a sustentabilidade, busca-se uma mudança de atitude do designer e do mercado, assim como do modo de vida em geral, a fim de que os recursos naturais disponibilizados ao ser humano possam ser bem utilizados, visando sempre o equilíbrio necessário para que eles perdurem por muitas gerações.

O bambu se destaca como uma alternativa de material ecologicamente eficiente por apresentar muitas vantagens, como versatilidade de usos, leveza aliada à resistência e facilidade em ser trabalhado (FARRELY, 1984). Entre as opções mais promissoras dos painéis de bambu, o Bambu Laminado Colado (BLaC) apresenta alta qualidade estética visual e características físico-mecânicas semelhantes às das madeiras de média densidade, sendo adequado especialmente ao uso em produtos como móveis, pisos e outros objetos não estruturais (PEREIRA; BERALDO, 2008). Como o BLaC é pouco conhecido pelo mercado nacional e pouco explorado comercialmente, pesquisas com este material são escassas e portanto urgentes, especialmente na análise de suas características e na exploração por meio de pesquisas em design de suas potencialidades.

Assim, o design surge para contribuir com o aumento do valor simbólico do uso do bambu e para conferir novas funcionalidades ao BLaC, ampliando ainda mais as suas possibilidades de uso. Isto porque o designer pode exercer sua capacidade de atuação como um grande catalisador para mudanças sociais efetivas, especialmente no caso de aceitação de um novo material, mais ecológico e sustentável. E para solucionar esse problema, ele deve combinar senso crítico, criatividade e praticidade (MANZINI, 2014), exercitando a inovação, que se caracteriza como uma base conceitual para a criação de algo verdadeiramente novo, por meio do exercício de associação, combinação e visão por diferentes ângulos de algo que já existe (BAXTER, 2003). Munari (1968) também reforçou o aspecto da inovação, sugerindo ao designer explorar toda e qualquer técnica e material, sem preconceitos artísticos, visando obter o máximo resultado com o mínimo custo.

Nesse sentido, há uma tendência recente de inovação de produtos por meio da exploração das técnicas do origami, uma arte tradicional que emprega dobra para a criação de estruturas, as quais vêm sendo especialmente empregadas, desde o final do século passado, na resolução de problemas muito comuns da sociedade moderna. Segundo Stewart (2007), o origami é uma excelente ferramenta para suprir a necessidade de economia de espaço, tanto em termos comerciais, de engenharia e de estrutura, e para a construção de formas elaboradas a partir de materiais planos simples, como folhas de papel, placas de madeira e chapas de metal. O autor afirmou ser essa uma nova disciplina, denominada “*origamics*”, uma combinação de Engenharia, Matemática e Biologia para a criação de novos produtos que atendam necessidades produtivas atuais.

Dentre os vários tipos de origami, existem aqueles que possuem a característica denominada *flat foldability*, ou seja, são capazes de se transformarem de 2D para 3D e de se achatarem por

completo novamente, apresentando-se potencialmente úteis para o design de produtos que se transformam durante o uso, flexíveis e versáteis. Assim, se combinados o uso de um material sustentável, pouco explorado e com grande potencial, como o BLaC, com as técnicas de dobra do origami no desenvolvimento de estruturas *flat foldable* articuladas, novos caminhos podem ser descobertos, assim como podem ser vislumbradas novas possibilidades e limites determinados nessa área recente e inovadora.

Embora a maioria dos objetos projetados por designers seja elaborada a partir do corte e da dobra (ou outra ação similar, como vincar, torcer, curvar etc.) de materiais disponíveis em folhas ou placas, pouco se sabe como aproveitar todo o potencial dessa técnica, e sobre as possibilidades e os limites de sua transposição para um material que não seja o tradicional papel. Neste sentido, este trabalho visa apresentar um processo de construção de uma estrutura *flat foldable* articulada em BLaC baseadas nos princípios do origami, validando estratégias para a sua aplicação e determinando suas possibilidades e seus limites.

## 2. Origami Científico

Para compreender como surgem figuras tridimensionais a partir de um material plano apenas aplicando-se dobras, cientistas iniciaram, a partir de 1980, uma série de estudos que pudessem determinar as leis que regiam a lógica construtiva do origami. Esses estudos traduziram a linguagem física do papel dobrado em linguagem matemática, correlacionando essas técnicas com as áreas da geometria plana e espacial, da trigonometria, do cálculo e da álgebra.

Foram então desenvolvidos teoremas e axiomas para explicar a geração de objetos tridimensionais por meio de dobras em superfícies planas, como os Axiomas de Huzita-Hatori (FEI; SUJAN, 2013). Esses axiomas foram descobertos por Jacques Justin, em 1989, aperfeiçoados por Humiaki Huzita, em 1991, e finalizados por três estudiosos matemáticos, Koshiro Hatori, Jacques Justin e Robert Lang, em 2001, e são considerados como fundamentos do origami matemático. São eles (Figura 1):

1. Dados dois pontos  $P_1$  e  $P_2$ , é possível dobrar uma única linha conectando os dois pontos.
2. Dados dois pontos  $P_1$  e  $P_2$ , é possível dobrar uma única linha que coincida  $P_1$  em  $P_2$ .
3. Dadas duas linhas  $l_1$  e  $l_2$ , é possível dobrar  $l_1$  até coincidir com  $l_2$ .
4. Dados um ponto  $P_1$  e uma linha  $l_1$ , é possível fazer uma dobra perpendicular a  $l_1$  passando por  $P_1$ .
5. Dados dois pontos  $P_1$  e  $P_2$  e uma linha  $l_1$ , é possível fazer uma dobra que coloque  $P_1$  sobre  $l_1$  e que passe pelo ponto  $P_2$ .
6. Dados dois pontos  $P_1$  e  $P_2$  e duas linhas  $l_1$  e  $l_2$ , é possível fazer uma dobra que coloque  $P_1$  sobre  $l_1$  e  $P_2$  sobre  $l_2$ .
7. Dado um ponto  $P_1$  e duas linhas  $l_1$  e  $l_2$ , é possível fazer uma dobra que coloque  $P_1$  sobre  $l_1$  e que seja perpendicular a  $l_2$ .

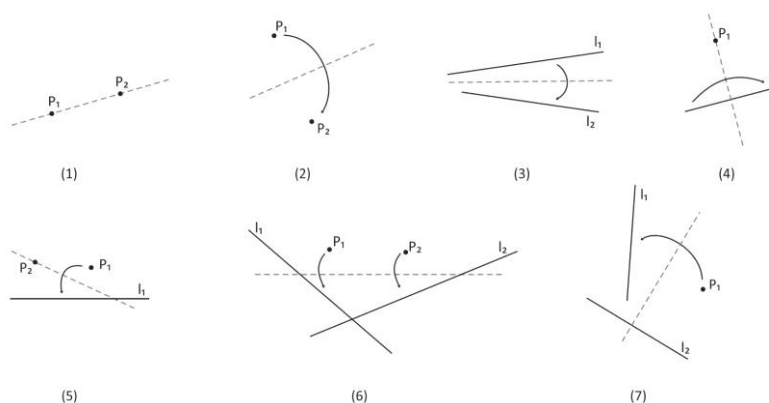


Figura 1 - Axiomas de Huzita-Hatori. Fonte: Yamada (2016)

A descoberta desse e de outros teoremas da matemática do origami possibilitou o desenvolvimento dos sistemas computacionais baseados no origami, ou seja, a tradução das dobras físicas no papel em virtuais, viabilizando a aplicação desses conceitos na busca por soluções de modelagem computacional. Também permitiu que engenheiros desenvolvessem projetos inspirados em biomimetismo<sup>1</sup> e origami, como os estudos de Nojima Taketoshi, de modelagem robótica-biomimética a novas interpretações de mecanismos biônicos (STEWART, 2007). Existem também pesquisas que acrescentam outro complexo campo de estudo, a tecnologia da robótica, surgindo o *Oribotics*, cujos padrões de dobras atribuem um movimento natural de curvatura (GARDINER, 2009).

O modelo de Miura, também conhecido como Miura-Ori, foi desenvolvido pelo cientista japonês Koryo Miura para resolver o problema de compressão por encurtamento de um plano, verificando sua deformação. Por meio de várias pesquisas que se iniciaram nos anos 1970, Miura finalmente chegou ao padrão que fosse deformável simultânea e homoganeamente nas direções ortogonais. Para demonstrar uma aplicação prática de seu padrão, Miura o utilizou primeiramente como um padrão de dobragem do “Mapa de Veneza”, e que foi posteriormente aplicado em várias outras publicações desse tipo (Figura 2). Com esse mesmo padrão, Miura (2009) participou do projeto japonês “*Space Flyer Unit*”, para o desenvolvimento do painel solar transformável, que foi concluído com sucesso em 1995. Outras duas pesquisas na área da biologia, como a de Kobayashi, Kresling e Vincent (1998) e Mahadevan e Rica (2005), confirmaram a hipótese de Miura de que esse padrão exige o mínimo de energia para sua abertura, e que poderia ter aplicações em vários sistemas.

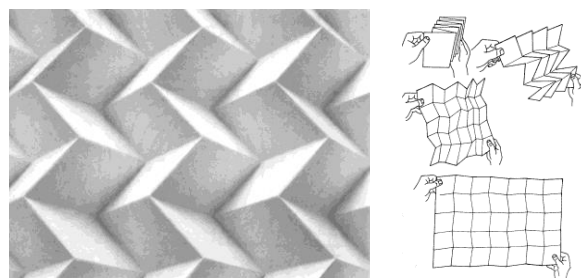


Figura 2 - Miura-Ori original e sua aplicação em mapas. Fonte: Miura (2009)

<sup>1</sup> Estudo de princípios e estratégias da natureza visando à criação de soluções para os problemas atuais da humanidade, unindo funcionalidade, estética e sustentabilidade.

Esse e outros padrões de vinco solucionados para superfícies planas também funcionam em superfícies cilíndricas. Um exemplo de aplicação prática é o padrão triangular cilíndrico comumente empregado pela indústria japonesa em latas dobráveis (Figura 3), que facilita a dobragem e o descarte para reciclagem, sem ocupar muito espaço (HAN; YAMAZAKI; NISHIYAMA, 2004). A estrutura geométrica da lata lhe confere uma altura três vezes superior à de uma lata comum, obtendo-se 30% de redução de material.



Figura 3 - Latas dobráveis. Fonte: Yamada (2016)

Percebendo o potencial dos cilindros expansíveis por meio de padrões estruturais do origami, Kuribayashi et al. (2006) desenvolveram um *origami stent graft* (endoprótese auto-expansível) com o intuito de desbloquear alguma veia, artéria ou tubo humano doente, como também de isolar um aneurisma existente (Figura 4).

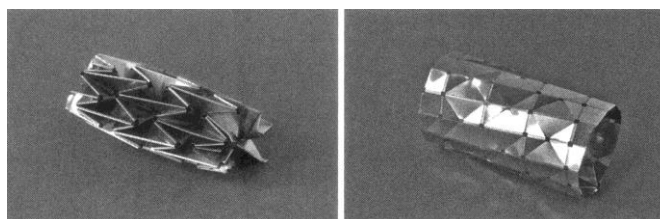


Figura 4 - Origami stent graft. Fonte: Kuribayashi et al. (2006)

Outros exemplos do potencial de aplicação das estruturas dobráveis na área da engenharia são o software de simulação de abertura de *air-bags* de Hoffman (CIPRA, 2001), que evita maiores custos nos testes físicos desse tipo de equipamento, melhorando seu desempenho a partir do desenvolvimento de sistemas de dobragem e abertura mais eficientes, e o projeto do telescópio espacial expansível, da *Lawrence Livermore National Laboratory*, cujo objetivo é o de proporcionar maior facilidade de transporte no foguete, reduzindo seu tamanho, e alcançando o maior diâmetro possível com a sua abertura posterior no espaço (LANG, 2015).

Nojima Taketoshi, pesquisador da Tokyo Institute of Technology, propôs em 2002 o termo *Origami Engineering*, acreditando na importância de estudos acadêmicos sobre a tradicional arte do origami para o desenvolvimento de sofisticados projetos e tecnologias. Uma de suas pesquisas dentro dessa área é o desenvolvimento de uma estrutura em origami para carros a fim de diminuir seu peso e aumentar sua eficiência na absorção de impacto em caso de colisão. Além dessa, há muitas outras possibilidades apontadas por Taketoshi de projetos que possam ser dobrados e desdobrados instantaneamente, tais como garrafas plásticas, latas e outros recipientes dobráveis,

materiais de construção, equipamentos médicos e produtos usados em emergências e resgates (HAGIWARA, 2008).

Para materiais rígidos, como placas de madeira e vidro, que não podem sofrer alterações em seu estado de planura - do contrário podem trincar ou quebrar - existe a área de estudo denominada *Rigid Origami*, ou Origami Rígido, que pesquisa sobre os limites de padrões de vinco em materiais não deformáveis, utilizando estratégias de articulações variadas (WATANABE; KAWAGUCHI, 2009). As possibilidades de combinação e uso de diferentes estratégias de articulação e modificação na geometria das unidades modulares (painéis) constituintes dessas estruturas são muitas, e apresentam vantagens para a Engenharia, a Arquitetura Cinética e o Design de Produtos transformáveis.

Tachi (2010) afirmou que, além da possibilidade de projetar estruturas impermeáveis para cobertura de espaços ou fachadas, é importante observar também outros aspectos vantajosos dessa área de estudo. Como essas estruturas possuem mecanismos puramente geométricos que não dependem de módulos de elasticidade do material, é possível conceber objetos modulares cinéticos robustos em grande escala, sem que a gravidade interfira significativamente. Além disso, há a possibilidade de uso de mecanismos semi-automáticos retráteis, já que a transformação da configuração da estrutura é controlada por pequenos graus de liberdade.

O projeto da *Make Architects* (2015) chamado *Canary Wharf Kiosk*, em Londres, aplica essa vantagem técnica do Origami Rígido para criar uma estrutura geométrica articulada, composta por painéis de alumínio com acabamento durável (Figura 5). O quiosque é extremamente leve e portátil, não necessitando de fundação, e seu sistema de abertura e fechamento é controlado por contrapesos acionados por um dispositivo elétrico. Internamente, ele oferece um espaço de 3 m de comprimento por 1,95 m de profundidade. Além disso, toda a estrutura é previamente fabricada e entregue no local completa e pré-montada, o que facilita a instalação.



Figura 5 - Canary Wharf Kiosk: aberto, fechado e detalhe das dobradiças metálicas. Fonte: Make Architects (2015)

Materiais como placas de madeira e de bambu podem também ser aplicados na área do Origami Rígido, pois são superfícies planas delimitadas por linhas de dobras (arestas) que não esticam e nem se curvam. E se elas tiverem tratamento e proporções adequados, podem se adaptar de pequenas a grandes escalas, do Design de Produto à Engenharia Espacial.

O projeto e execução da capela provisória da vila de Saint Loup, sul da França, projetada pela Local Architecture, de Lausanne, Suíça, e com consultoria de Buri (2010), demonstra a exequibilidade do uso de painéis rígidos de madeira compensada combinado com as técnicas do origami. Da fase inicial até a conclusão da obra, que parece uma estrutura composta por placas

dobradas de madeira, foram necessários apenas dois meses. Alguns dos facilitadores deste projeto foram o emprego de *plotter* digital a laser para cortar todos os painéis poligonais da estrutura e a união dos mesmos por placas metálicas dobradas. Além disso, a geometria da capela atendeu aos parâmetros do projeto, como simplicidade, rapidez na montagem, acústica e iluminação, assim como identificação perceptiva com um espaço religioso (figura 6).



Figura 6 - Capela provisória de Saint Loup. Fonte: Buri (2010)

Assim, quando se aplicam as técnicas do origami em produtos, pode-se contribuir para: facilitar o projeto, a produção das peças constituintes e o aproveitamento de material, pela modularidade inerente ao origami, diminuindo custos; facilitar a montagem, o transporte e o armazenamento desses produtos, já que são transformáveis e podem ser achatados (dobrados), visando a economia de espaço; e potencializar o uso, pela flexibilização e versatilidade de suas formas.

### 3. Origami Tecnológico e Design

Lang (2015) estabeleceu três principais categorias do origami científico, cujos limites podem não ser tão definidos, tramitando entre uma e outra: origami matemático, origami computacional e origami tecnológico. O origami matemático descreve as leis da matemática presentes na estrutura do origami, enquanto o computacional se preocupa com algoritmos e teorias para a resolução de problemas em origami. E, finalmente, o origami tecnológico estuda aplicações do origami e seus processos de dobra na solução de problemas de Engenharia, Design Industrial, Arquitetura e tecnologias em geral.

O potencial do origami científico existe e havia sido reforçado por Stewart (2007) ao afirmar ser essa uma nova disciplina que surge, chamada “*origamics*”, uma combinação da Engenharia, da Matemática e da Biologia para a criação de novos produtos que atendam necessidades produtivas, de transporte, de armazenamento e de utilização flexível. Porém, apesar de não haver limites nas criações artísticas baseadas nessas técnicas tradicionais de dobra, existem limites nas suas estruturas, que são definidos pela sua geometria (LANG, 2009). Além disso, existem também limitações técnicas e tecnológicas, que podem dificultar ou impossibilitar que determinado avanço seja efetuado.

Quando se estudam novos modelos com origami no papel, as possíveis variáveis são o formato inicial, as gramaturas, a resistência mecânica do material, as texturas (que podem interferir no resultado final), além de outras características físicas. Além disso, utilizando-se variações de

técnicas de dobra, as possibilidades de combinações e criações de novos modelos são numerosas. Porém, quando se estudam novos modelos em novos materiais, as variáveis são muitas. Entre elas, pode-se destacar as características físicas desse material escolhido e as tecnologias existentes para seu processamento adequado (dobra, corte etc.). E para completar, pode ser que nem todos os tipos de origami sejam passíveis de serem adequados a outro material que não seja o papel. Assim, a evolução tecnológica, o conhecimento do material e a escolha do tipo de origami são fatores fundamentais para o design de novos produtos baseados em *origamics*.

Superando todos esses fatores, o estudo do design do origami torna-se relevante pois possibilita sua aplicação em produtos de alta performance que trazem reais benefícios à indústria e ao usuário. Segundo Lobach (2001), o ser humano possui necessidades e aspirações, que podem ser supridas e alcançadas pelo uso de objetos que lhe tragam bem-estar, relaxamento e prazer.

Isso ocorre por meio das funções dos produtos, que no processo de utilização, se manifestam como valores de uso. A satisfação de certas necessidades presume o desenvolvimento de determinados objetos, quer dizer produtos, no qual o designer industrial toma parte representando os interesses dos usuários. (LOBACH, 2001, p.31)

Os produtos industriais buscam uma lógica da produção em massa e a racionalização dos processos econômico e produtivo. Porém, essa produção serial e repetitiva traz a sensação de que todos os produtos são iguais, sem diferenciação, atingindo menos aspectos sociais e suprimindo cada vez menos as necessidades psíquicas individuais. Neste aspecto, o Design precisa se inserir como meio de desenvolvimento de produtos, e a aplicação dos princípios e conceitos do origami pode ser uma estratégia com alto potencial de inovação. Segundo o Manual de Oslo (1997), inovações "incrementais" incorporam novos elementos ao produto ou ao processo, podendo abrir novos mercados e preenchendo continuamente o processo de mudança.

Segundo Füssler (2012), a busca por novas fontes de ideias além daqueles já existentes dentro do universo do Design é muito importante não somente para o seu desenvolvimento como também no **processo** de seu desenvolvimento. Assim, por meio do design com base no *origamics*, torna-se possível oferecer algo a mais em um produto com maior significado, com característica inovadora, inteligente, funcional e prática, despertando interesse e valor em algo único. Um dos conceitos básicos do design com *origamics* é a simplicidade, qualidade muito valorizada por Munari (1998), pois esse processo de descomplicar exige muita criatividade e trabalho e explora sem preconceitos qualquer técnica e material, projetando para a satisfação de todos os sentidos, especialmente da visão e do tato. Assim, simplificar utilizando o design com *origamics* é explorar técnicas de dobra em diversos materiais, podendo ajudar a reduzir custos, diminuir os tempos de trabalho, de montagem e de acabamento.

#### **4. Flat foldability e a Dobra-V**

Segundo Jackson (2011), tomar em mãos um material bidimensional e transformá-lo por meio de dobras (curvaturas, torcidas, drapeadas etc.) são atividades comuns do processo de criação do designer. Assim, o ato de dobrar é um importante tópico a ser organizado metodologicamente para servir a esse profissional. Não é um treinamento de passos pré-determinados, mas uma técnica que pode ser explorada na experimentação e na criação efetiva.



Todo modelo de origami possui um *crease pattern* específico, o qual pode ser traduzido como padrão de vinco ou de marcação que define uma sequência de dobras para se chegar a um determinado formato final. A dobra caracteriza a mudança de direção de um plano. Se o plano se dobra para frente, é caracterizada a dobra “vale”, e se ele se dobra para trás, tem-se a dobra “montanha”, segundo linguagem própria do origami (Figura 7). Quando ocorre a dobra e ela é desfeita logo em seguida, isso permite a marcação ou delimitação do plano em uma linha específica, chamada de **vinco**, que serve de referência para outras dobras adicionais ou para facilitar posteriores processo de dobra.

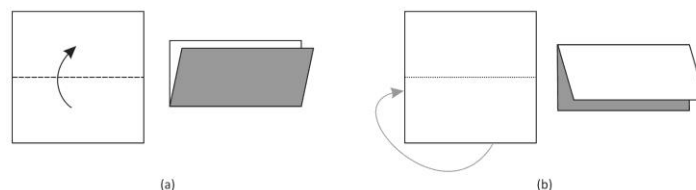


Figura 7 - Dobra "vale" (tracejado) e dobra "montanha" (pontilhado). Fonte: Yamada (2016)

Os modelos de origami se diferenciam por diversos aspectos, como grau de dificuldade, características estruturais, aplicações etc. Alguns deles possuem a característica denominada *flat foldability*, ou seja, a habilidade de dobrar cada um dos planos poligonais entre si até que eles fiquem completamente achatados. O modo mais simples de garantir essa condição de um modelo é desenhar as linhas de dobra formando uma perfeita simetria. Porém, se não ocorrer isso, como no caso de dobras assimétricas, o modelo poderá ser dobrado mas a habilidade de achatamento irá desaparecer (figura 8).

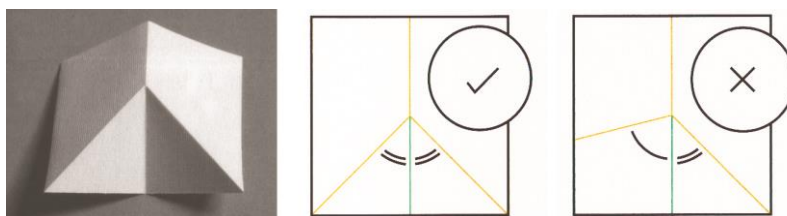


Figura 8 - Dobra simétrica *flat foldable* (foto e padrão de dobra à esquerda) e uma variação sem achatamento total (à direita). Fonte: Jackson (2011)

Porém, se o objetivo for trabalhar a assimetria e a habilidade de achatamento juntas, em mais de um vértice, Toshikazu Kawazaki, um importante estudioso do origami, estabeleceu dois critérios que possibilitam essa bem sucedida coexistência. O Teorema de Kawazaki afirma que, tomando como referência o vértice por onde partem as dobras, se a soma de seus ângulos opostos for de  $180^\circ$ , então a dobra permitirá que as faces se fechem perfeitamente entre elas até ocorrer o nivelamento total. Além dessa condição, é preciso que haja um número par de ângulos em volta do ponto de dobra central (quatro, seis, oito etc.) para preservar a característica de *flat foldability* (figura 9).

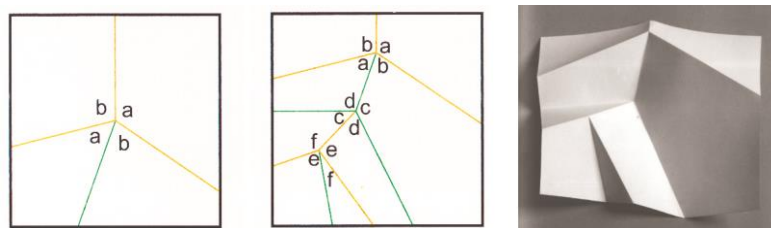


Figura 9 - Esquema de quebra da simetria sem perder a habilidade de achatamento:  $a+a=b+b=c+c=d+d=180^\circ$ . Fonte: Jackson (2011)

Entre uma série de tipos de *crease patterns*, existe a Dobra-V, que apresenta um potencial dinâmico ao modelo finalizado, pois transforma superfícies que se expandem e se contraem, curvam e torcem em muitas direções, por meio de um conjunto de dobras que formam um ou mais "Vs" e não tem forma fixa, permitindo o movimento em variadas direções, dependendo da localização das dobras (figura 10).



Figura 10 - Dobra-V e sua capacidade de achatamento. Fonte: Jackson (2011)

Pode-se também ter variações e múltiplas Dobras-Vs, ou seja, conectar a repetição da mesma Dobra-V em uma nova linha de simetria reta, radial ou aleatoriamente, resultando em múltiplos "Ms" e "Ws". O Miura-Ori é o exemplo mais famosos de um múltiplo V, cuja superfície do papel se transforma em um parabolóide extremamente flexível.

## 5. Materiais e Métodos

Esta pesquisa é parte da tese de doutorado de Yamada (2016) e se apresentou como sendo prática e aplicada, pois visou apontar para fins práticos, novos conhecimentos e soluções para o Design com técnicas de dobra do origami aplicado em BLaC, além de descobrir potencialidades após os resultados obtidos e abrir caminhos para novas descobertas. Quanto aos objetivos, segundo Gil (2010), esta pesquisa foi do tipo exploratória, pois buscou familiarizar-se com um assunto ainda pouco conhecido e pouco explorado, esperando-se conhecer mais sobre ele e construir outras hipóteses. Quanto aos procedimentos técnicos e/ou metodológicos, esta pesquisa caracterizou-se como experimental, pois: utilizou-se um experimento para testar e validar hipóteses e estabeleceu um objeto de estudo, identificando-se as variáveis participantes e/ou que interferissem no processo, verificando-se a existência (ou não) de relações de dependência entre as variáveis.

### 5.1. Variáveis

As variáveis da pesquisa foram definidas da seguinte maneira: o *crease pattern* conhecido como Miura-Ori; Espessura das placas: 10 mm (modelos físicos) e 38 mm (modelos virtuais); Colagem das ripas: duas camadas coladas na horizontal em direções invertidas; Tipo de dobradiça: pequena (14 mm x 25 mm).

## 5.2. Materiais

### 5.2.1. Bambu Laminado Colado

Para a confecção do BLaC nessa pesquisa, utilizaram-se: colmos maduros de bambu da espécie *Dendrocalamus asper*, pois ele apresenta porte grande, parede de boa espessura para obter ripas e retidão dos seus colmos; equipamentos e instrumentos do Laboratório de Experimentação com Bambu, da UNESP, Bauru; Adesivo Cascorez para Madeira (PVA) na proporção 300 g/m<sup>2</sup>; e produtos diversos para acabamento.

### 5.2.2. Papel

Para as etapas iniciais com modelos físicos, utilizaram-se o papel sulfite, branco, 75 g/m<sup>2</sup>, e o papelão do tipo chapa ondulada, com cerca de 3,8 mm de espessura, muito utilizado para moldes, maquetes etc.

### 5.2.3. Programa gráfico de modelagem tridimensional

Dentre as várias opções disponíveis no mercado, optou-se por utilizar o SolidWorks 2015, para a modelagem tridimensional dos modelos virtuais, e o CorelDRAW X6 para a distribuição dos desenhos do modelo selecionado em placas e para a sua transposição para os softwares de Prototipagem Rápida. Esses programas foram executados em computador com Processador Intel Core i5, memória RAM de 6 GB e Sistema Operacional de 64 Bits, Windows 8.1 *Single Language*.

### 5.2.4. Tecnologias de prototipagem

Para essa pesquisa, selecionou-se a Router CNC 3D Transform 2000, uma fresadora precisa para a usinagem com subtração (corte, desbaste, gravação etc) de chapas de vários materiais, como madeira e MDF, presente no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos - CADEP da UNESP de Bauru. Outro equipamento selecionado foi a Rolland MDX 540 com quarto eixo rotacional ZCL 540. Esse sistema de prototipagem rápida por subtração de material apresenta um excelente desempenho e facilidade de operação e produz diversos tipos de modelos, protótipos e moldes com a configuração de três eixos (comprimento, largura e altura) e um quarto eixo rotacional, que permite a usinagem de objetos a 360°.

São apresentados, a seguir, outros equipamentos e instrumentos utilizados: Computador desktop com Processador Intel Core2Duo, memória RAM de 4 GB e Sistema Operacional de 64

Bits, Windows 7 Home Premium; Software Aspire; Software Mach3 CNC Controller; Router CNC 3D Transform 2000/2 com mesa de 2.550 mm x 1.850 mm; Fresa de topo de 3 mm de diâmetro com área de corte de 12 mm e corpo de 38 mm na Router; Fita adesiva VHB (*Very High Bond*) da 3M; Rolland MDX 540 (volume máximo de trabalho = 500 mm x 400 mm x 155 mm); Fresa frontal de canais de topo reto de 6 mm para desbaste na Rolland e Fresa *ball nose* de 6 mm para acabamento na Rolland.

### 5.2.5. Registro

Foram utilizadas uma câmera fotográfica e uma câmera de vídeo para registro das várias etapas de desenvolvimento da pesquisa

### 5.3. Etapas dos Procedimentos Experimentais

A primeira etapa consistiu na criação de modelos físicos iniciais do modelo selecionado em papel sulfite e papelão micro-ondulado a fim de analisar sua geometria e auxiliar na próxima etapa. Na segunda etapa, foram criados modelos virtuais no programa SolidWorks com a aplicação da geometria observada no modelo físico em papel, observando-se as possibilidades e as limitações de sua adequação em maior espessura e material rígido, assim como para executar simulações de movimento dos modelos. Concomitantemente a estas duas etapas, foi realizada a colheita de bambu e produção de placas de BLaC para serem utilizadas na próxima etapa, a de criação de modelos físicos em BLaC com a usinagem na Router. Nesta etapa, foram observados: o comportamento do bambu na Router CNC e na Rolland; o tempo de usinagem relativo ao desenho das peças; a exatidão e o acabamento da usinagem. Em seguida, foi realizada a montagem do modelo com as peças usinadas e com as dobradiças a fim de observar as vantagens e as desvantagens em relação à montagem, bem como confrontar a simulação física com os dados da simulação virtual.

## 6. Resultados e análises

Para este experimento, selecionou-se o *crease pattern* conhecido como Miura-Ori por apresentar múltiplas Dobras-V e por permitir a abertura e o fechamento total aplicando força apenas pelas extremidades opostas. Como as formas geradas no Miura-Ori são paralelogramos, ocorre sobreposição dos planos com maior intercalação entre os mesmos, podendo gerar dados importantes para a pesquisa, devido ao grau de dificuldade para um *Rigid Origami* (Figura 11).

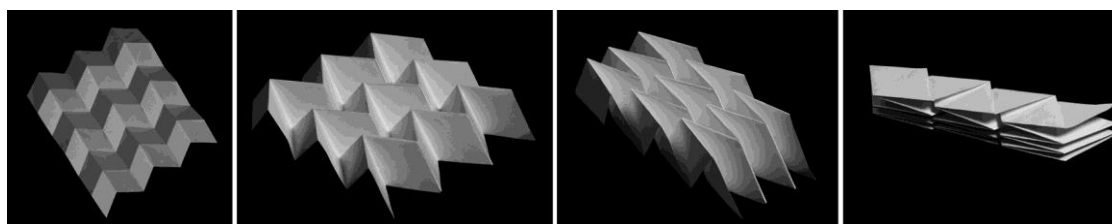


Figura 11 - Estudo do movimento entre as partes durante a abertura e o fechamento. Fonte: Yamada (2016)

Antes de iniciar a modelagem do modelo virtual, foi elaborado primeiramente um modelo físico em papelão para estabelecer os locais das dobras "vale" e "montanha" em cada lado da estrutura. Em seguida, ao executar atentamente o movimento de dobra, observou-se, além do posicionamento das placas, que não ocorreu o achatamento por completo da estrutura (Figura 12).



Figura 12 - Estudo do movimento no modelo em papelão. Fonte: Yamada (2016)

Além do espaço vazio, também detectou-se um ponto crítico quando ocorre a sobreposição de dois pares de planos, que acabam por forçar a dobra (figura 13).

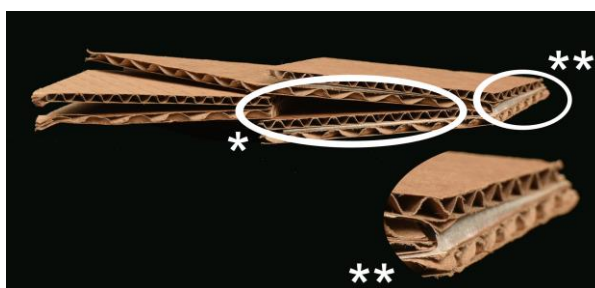


Figura 13 - Ponto crítico (em destaque) no fechamento do modelo. Fonte: Yamada (2016)

Sabendo-se desses fatores, procedeu-se com a etapa seguinte de modelagem do Miura-Ori virtual. Visando ao aproveitamento máximo das placas produzidas e ao tamanho ideal para a montagem, observação e manipulação da estrutura, foram adotadas as dimensões iniciais das peças apresentadas na figura 14.

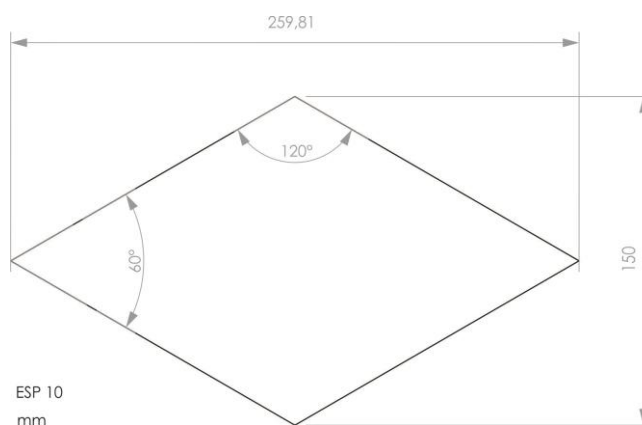


Figura 14 - Desenho técnico inicial das peças do modelo (dimensões em mm, fora de escala). Fonte: Yamada (2016)

Com as dimensões das peças do modelo definidas, procedeu-se com a modelagem tridimensional no SolidWorks de uma peça. Em seguida, abriu-se um novo documento que permite a montagem e organização 3D de duas ou mais peças ou montagens prévias. A partir desse momento, optou-se por trabalhar a relação entre as peças, por meio de sua geometria, a fim de atribuir a simulação do movimento de articulação, e também por montar a estrutura com apenas duas colunas de três peças cada, a fim de eliminar os problemas que pudessem surgir neste primeiro grupo de unidades básicas. Também tomou-se o devido cuidado no posicionamento das articulações para criar o efeito de dobra "vale" ou de dobra "montanha" entre as peças. Assim, posicionando a aresta de uma peça com a de outra de maneira que fossem coincidentes, foi possível estabelecer um movimento em torno desse eixo.

Um recurso muito útil do SolidWorks para a montagem deste modelo é o que possibilita movimentar componentes com detecção de uma possível colisão entre eles. Dessa maneira, o programa reconhece as peças como um material físico sólido, cujos limites se colidem ao movimentar o conjunto. Por meio do recurso de detecção de colisão, é possível verificar o momento em que as peças do modelo se encontram, identificando visualmente o grau de fechamento máximo da estrutura.

Este recurso tornou possível a observação do primeiro ponto crítico na montagem inicial do Miura-Ori. No vértice de onde partiam as várias Dobras-Vs ocorreu a colisão que impedia a movimentação do primeiro conjunto de peças. A justificativa é que, no papel, esse vértice é único, pois apresenta uma espessura mínima, entretanto nesta estrutura, a espessura de 10 mm gerava uma barreira física que impedia a dobra desejada. Assim, iniciou-se a busca por soluções para esse problema. Já que a ponta aguda se apresentava como uma barreira para a movimentação das peças, a primeira ideia foi eliminá-la. Assim, foi elaborado um corte em chanfro nos vértices dos losangos em questão (figura 15).

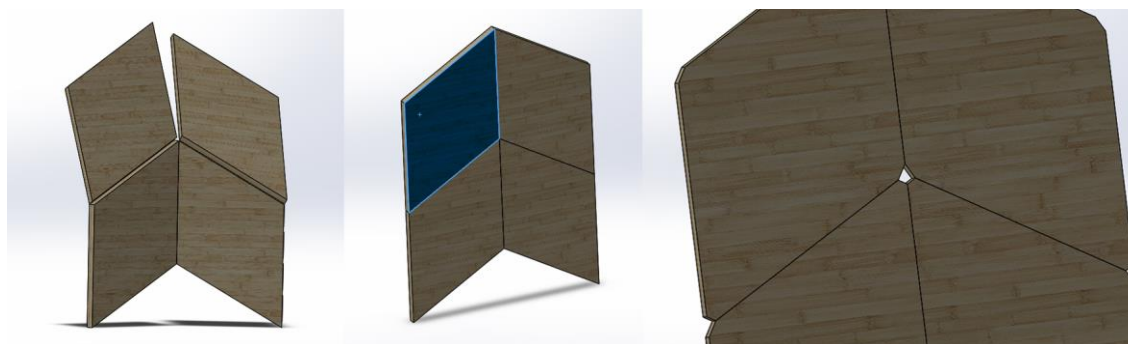
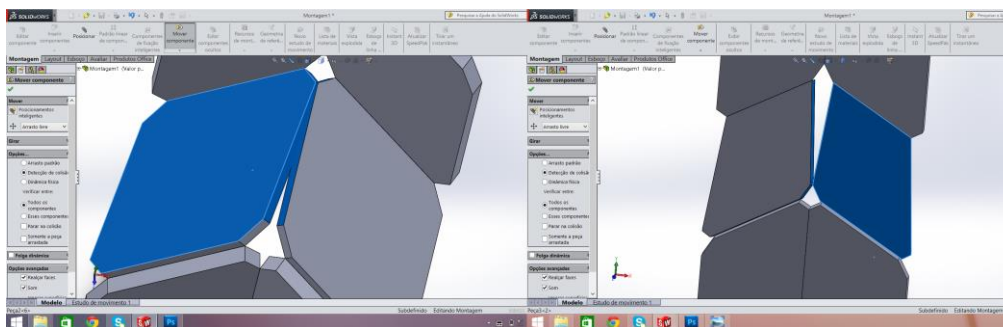


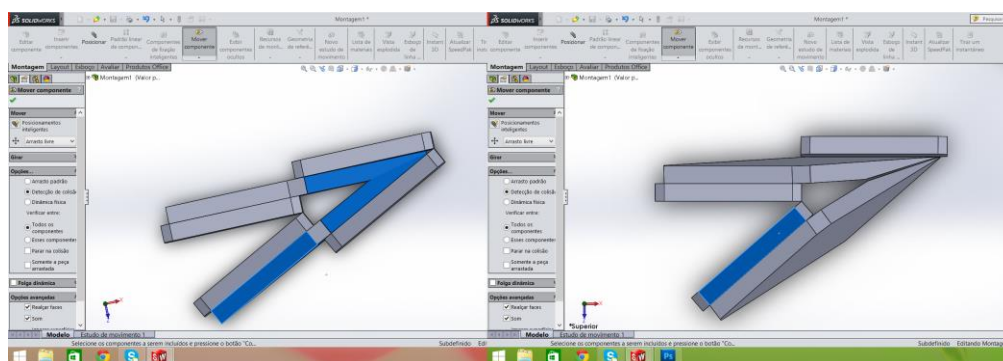
Figura 15 - Montagem das primeiras peças, colisão inicial e correção com chanfro nos vértices. Fonte: Yamada (2016)

No entanto, estes "chanfros nos vértices" não foram suficientes para tornar possível a dobra conforme o modelo Miura-ori, e ocorreram mais algumas detecções de colisão, que precisaram ser corrigidas com a aplicação de chanfros nas laterais das placas e a aplicação de outro "chanfro de topo" ou "chanfro de borda", que pode ser observado na Figura 16.



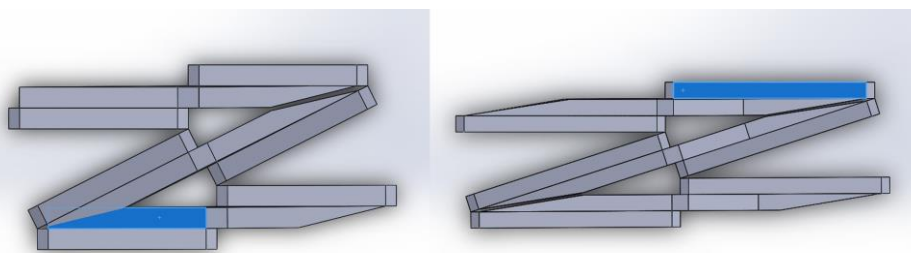
**Figura 16 - Colisões detectadas. Fonte: Yamada (2016)**

Com as peças corrigidas, efetuou-se a dobra total do modelo, até ocorrer a detecção de mais um ponto de colisão. Para eliminar essa colisão, aplicou-se outro tipo de chanfro na superfície das peças correspondentes, denominado de "chanfro nas faces" (figura 17).



**Figura 17 - Colisão detectada (à esq.) e correção (à dir.). Fonte: Yamada (2016)**

Com a montagem do primeiro grupo de unidades básicas resolvida, inseriu-se mais uma coluna de três peças, para observar o comportamento da estrutura como um todo. Com isso, apareceu mais um ponto de colisão, que foi corrigido com a aplicação de "chanfro na face" em mais duas placas (figura 18).



**Figura 18 - Colisão 4 (esq.) e correção (dir.) Fonte: Yamada (2016)**

Ao abrir a estrutura, verificaram-se outros pontos de colisão que precisaram ser eliminados com outras alterações na geometria da peça. Avaliando o fechamento da estrutura após estas correções, verificou-se o sucesso da modelagem virtual (Figuras 19 e 20). Para mudar a textura visual das peças do modelo finalizado, procurou-se utilizar um material semelhante ao BLaC

dentre os disponibilizados pelo programa. Existem variadas opções de atribuição de aparência visual de materiais, e entre as de materiais orgânicos, selecionou-se o piso laminado, que corresponde visualmente ao BLaC.

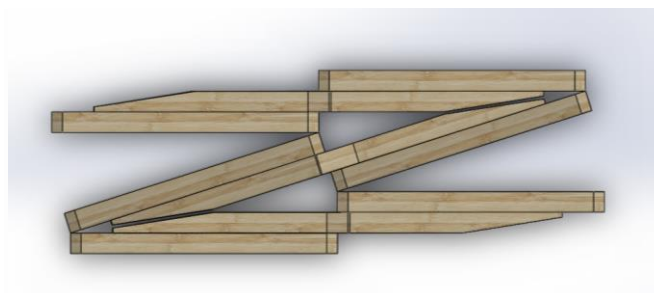


Figura 19 - Vista superior do fechamento máximo do modelo. Fonte: Yamada (2016)

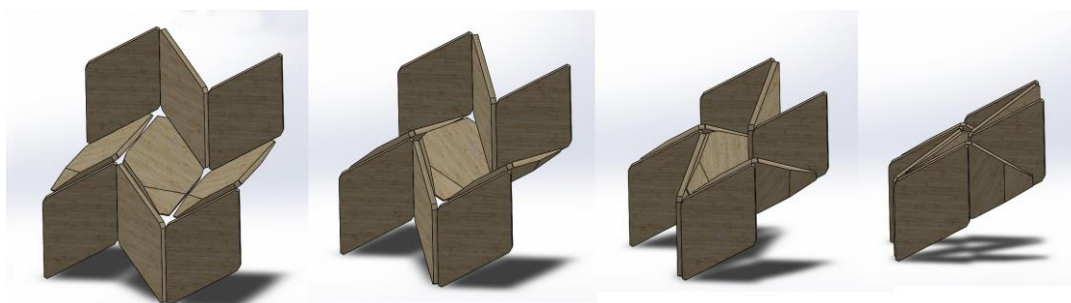


Figura 20 - Imagens em sequência do movimento do modelo no SolidWorks. Fonte: Yamada (2016)

Com a etapa concluída de modelagem virtual da estrutura Miura-Ori, obteve-se o desenho técnico final das peças componentes do modelo. Em seguida, as peças a serem prototipadas na Router CNC, com "chanfros nos vértices" e com "chanfro no topo", foram separadas das peças que iriam ser executadas na Rolland (com "chanfros nas faces"). As da Router foram distribuídas em uma placa de 295 mm X 820 mm, adotando-se a distância mínima de 12 mm entre as peças para não ocorrer deslocamentos durante a usinagem (figura 21).

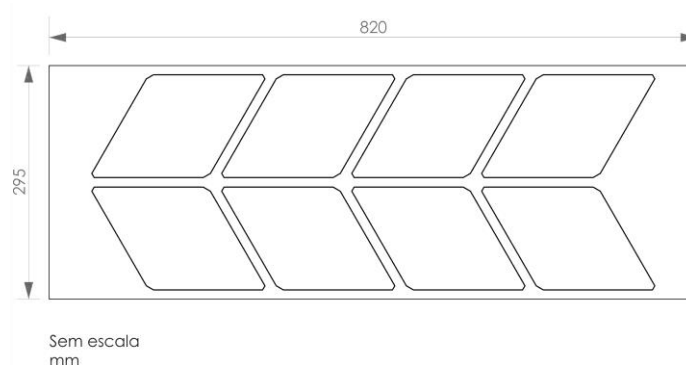


Figura 21 - Distribuição do primeiro grupo de peças do modelo em uma placa. Fonte: Yamada (2016)



Em seguida, foi realizada com sucesso a usinagem da placa na Router CNC em 14 min 51 s, adotando-se a fixação da placa à mesa de corte com fita VHB, o uso de fresa nova (para minimizar a geração de fiapos), a velocidade de corte em 1400 rpm e a velocidade de avanço da ferramenta em 1.500 mm/s (figura 22).



Figura 22 - Usinagem da placa (à dir.); peças usinadas e esqueleto da placa (à dir.). Fonte: Yamada (2016)

As três peças a serem usinadas na Rolland precisaram ser prototipadas cada uma separadamente devido às características da máquina. Este tipo de máquina trabalha nos três eixos (comprimento, altura e largura), além de girar a peça (quarto eixo rotacional), enquanto realiza a usinagem ou após a mesma, a fim de modelar o outro lado. Assim, para atender às dimensões da máquina, foram preparadas três placas de 294 mm X 160 mm. Dessa forma, em cada placa poderia ser usinada uma face da peça, e, com o tombamento, usinar a outra (figura 23). Para que o processo fosse mais rápido com um bom acabamento, estabeleceu-se usinar com uma fresa de maior diâmetro para o desbaste, inclusive para o início do chanfro da superfície, e depois adotar uma fresa menor para o acabamento do chanfro (figura 24).



Figura 23 - Usinagem da peça com chanfro: desbaste de uma superfície. Usinagem da superfície posterior e correção de defeitos da placa Fonte: Yamada (2016)

No desbaste, os parâmetros da máquina utilizados foram: velocidade de avanço da ferramenta em 1,44 m/min; rotação do eixo: 12.000 rpm; avanço (profundidade de corte): 1,50 mm; e intervalo de passagem da ferramenta: 3,60 mm. Em uma face, o tempo para finalizar foi de 12 min 26 s, e na face posterior, foi de 13 min 57 s.



**Figura 24 - Acabamento do chanfro. Fonte: Yamada (2016)**

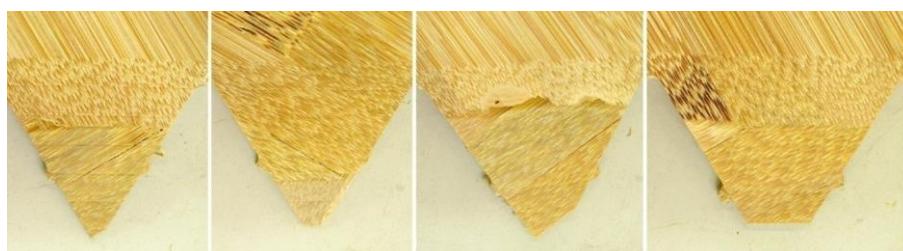
Para o acabamento, os parâmetros foram: velocidade de avanço da ferramenta de 1,8 m/min; rotação do eixo de 12.000 rpm; avanço vertical da ferramenta: 0,25 mm; e intervalo de passagem da ferramenta: 0,25 mm. O tempo de acabamento da face 1 foi de 16 min 06 s e da face 2 foi de 13 min 52 s.

Observou-se uma quebra na extremidade da peça onde termina o chanfro, muito provavelmente pela fragilidade que o material apresenta quando em espessura muito fina e pelo sentido das fibras. Mas isso só aconteceu em uma das extremidades, como pode ser observado na figura 25.



**Figura 25 - Detalhe dos dois chanfros com acabamento finalizado: o da direita se quebrou durante o processo de usinagem. Fonte: Yamada (2016)**

Na peça seguinte, os parâmetros de desbaste e de acabamento permaneceram idênticos, mas mudou-se a geometria da segunda peça, especificamente na parte que apresentou problema (quebra), efetuando-se um pequeno corte na ponta para que a espessura final fosse maior (1,2 mm), na esperança de que não ocorresse mais quebras. No entanto, não foi suficiente. Assim, na terceira e última peça, aumentou-se o corte da ponta para o chanfro terminar em 2,4 mm de espessura, fato que eliminou o problema de quebra. Ao final, para resolver e eliminar as diferenças, todas as três peças foram desbastadas igualmente (figura 26).



**Figura 26 - Quebras ocorridas nas pontas das duas primeiras peças e corte adotado final (última figura à direita). Fonte: Yamada (2016)**

Com as peças devidamente usinadas, procedeu-se à montagem do modelo Miura-Ori na Oficina de Madeira da UNESP, atentando-se para o correto posicionamento das dobradiças para executarem os movimentos de dobra "vale" e de dobra "montanha". Ao final, o modelo físico em BLaC finalizado comportou-se de maneira equivalente ao modelo virtual (figura 27), apresentando máximo grau de achatamento possível.



Figura 27 - Diferentes configurações do modelo criado. Fonte: Yamada (2016)

Para finalizar esta pesquisa, executou-se o teste com o modelo em espessura maior (38 mm), a fim de observar se esta é uma variável dependente ou independente para este tipo de *crease pattern*. Na primeira etapa da mudança, empregou-se esta espessura somente nas peças com elementos chanfrados nas bordas, e a espessura não influenciou o movimento, conforme pode-se observar na figura 28.

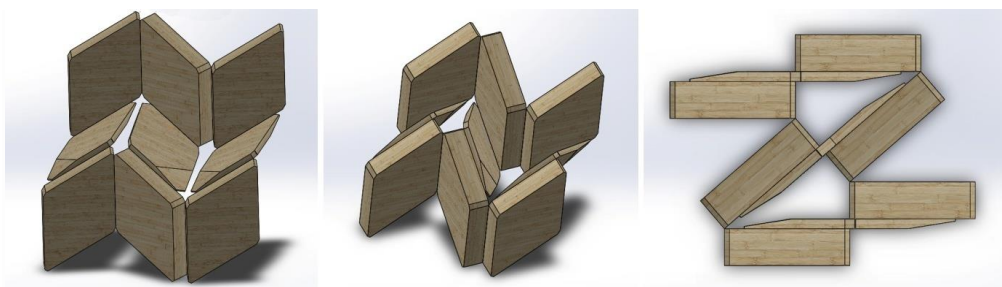


Figura 28 - Modelo virtual com 38 mm de espessura apenas nas peças sem chanfros nas superfícies. Fonte: Yamada (2016)

Na etapa seguinte, conferiu-se a espessura de 38 mm às outras três peças que apresentavam chanfros nas faces e ocorreram as primeiras colisões ao tentar fechar a estrutura. Analisando o local onde a colisão apareceu, procedeu-se com a alteração das medidas do "chanfro na face", que resolveu este problema (figuras 29 e 30).

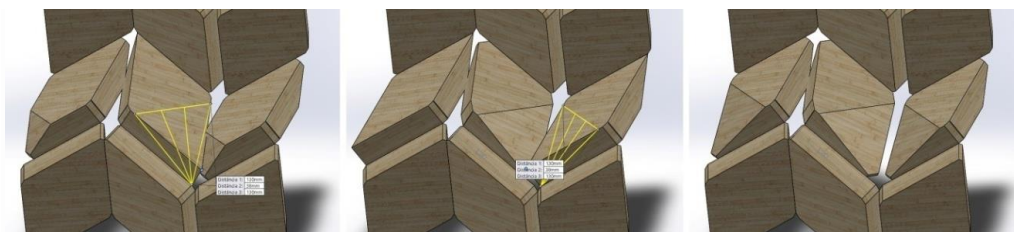


Figura 29 - Etapas de correção da colisão 1. Fonte: Yamada (2016)

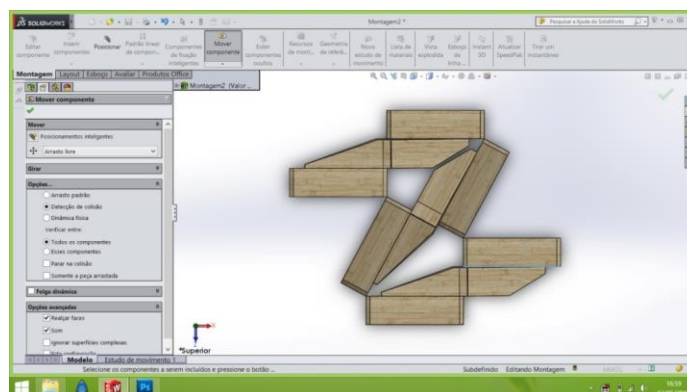


Figura 30 - Observação da correção da colisão 1. Fonte: Yamada (2016)

No entanto, ao voltar a abrir a estrutura, mais algumas colisões foram detectadas (figura 31). Para eliminá-las, foi necessário aumentar também os valores dos chanfros nas faces posteriores das peças e aplicar chanfros para eliminar "quinas" que estavam se colidindo.



Figura 31 - Colisões detectadas. Fonte: Yamada (2016)

Ao final da correção de todas estas colisões detectadas, observou-se a última colisão das peças, que indicou a máxima abertura possível da estrutura (figura 32) e fechamento perfeito (figura 33).

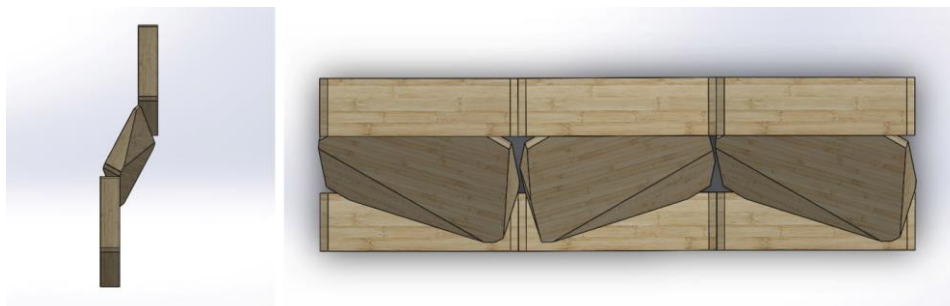


Figura 32 - Vista lateral e superior da estrutura com a máxima abertura. Fonte: Yamada (2016)

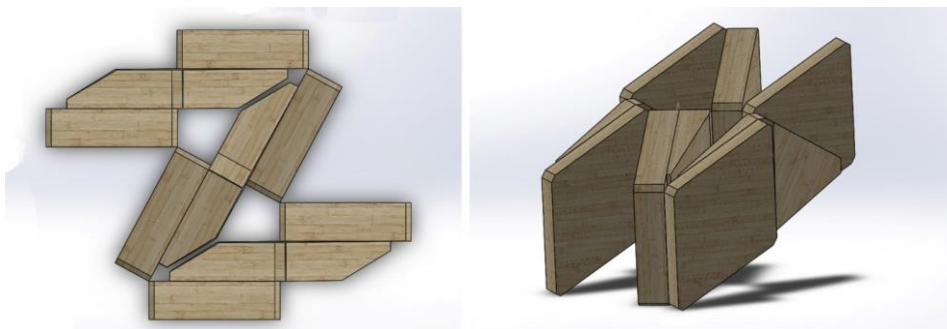


Figura 33 - Vista superior e em perspectiva da estrutura dobrada. Fonte: Yamada (2016)

## 7. Conclusões

Cada etapa da metodologia dos procedimentos experimentais forneceu informações importantes para o desenvolvimento das estruturas, para análise das possibilidades e dos limites da aplicabilidade de técnicas do origami em BLaC.

De modo geral, os modelos físicos em papel possibilitaram a visualização do movimento entre as partes, a definição da geometria e da proporção entre as partes e a detecção de pontos críticos antes da modelagem.

O software escolhido possibilitou a modelagem rápida das peças e a montagem do conjunto de modo simples, utilizando conceitos de geometria de posição, assim como ofertou recursos úteis nesta pesquisa (detecção de colisão, atribuição de aparência visual de materiais e de aplicação de propriedades para testes mecânicos virtuais).

Em relação à prototipagem na Router CNC, pode-se concluir que:

- O emprego de fita VHB em pontos estratégicos e a adoção de distância mínima entre as peças contribuem para maior aproveitamento da placa e aderência durante o processo;
- O emprego de fresas minimizou a quantidade de fiapos durante a usinagem;
- O processo é mais rápido que o processo manual, especialmente para formas de peças mais detalhadas e complexas;
- Há a preservação e a fidelidade da geometria das peças.

Quanto à prototipagem na Rolland, pode-se concluir que:

- Permitiu a usinagem de chanfros em faces;
- Permitiu a preservação e a fidelidade da geometria das peças;
- A adoção de medida mínima da placa para usinagem de cada peça causa relativa perda de material;
- Deve-se atentar à velocidade adotada na usinagem e às fresas corretas para desbaste e acabamento, para a otimização do processo;
- Assim como na Router CNC, o processo na Rolland é mais rápido que o processo manual, especialmente para formas de peças mais detalhadas e complexas;
- Há a ocorrência de quebras em BLaC com espessuras finas.

Outra conclusão importante desta pesquisa é que a estrutura física em BLaC se comportou como o modelo em papel e o modelo virtual, considerando-se a espessura. No entanto, a modelagem virtual das peças do modelo Miura-Ori se mostrou complexa em termos de transposição do modelo em papel para uma estrutura em BLaC em diferentes espessuras. À medida que se aumentava a espessura, era necessária uma adaptação da geometria da peça inicial, a fim de não ocorrer colisões (de vértice, de borda e de face). Aliás, o modelo com esta técnica necessitou de modificações quando alterada a espessura da placa, ou seja, a adequação da geometria de uma peça para uma espessura não foi o suficiente para outra espessura maior.

A estrutura baseada no Miura-Ori apresenta potencial para ser pesquisada em diferentes projetos de design, tais como um painel dobrável ou como revestimento tridimensional em ambientes com necessidades específicas. No primeiro caso, pode-se apresentar como uma cortina rígida/flexível em espessuras mais finas, separando ambientes de modo eficiente em termos visuais e até sonoros (cabendo uma pesquisa mais aprofundada neste sentido), assim como pode configurar uma cobertura retrátil para ambientes como quiosques e varandas. Como revestimento em ambientes como teatro, rádio e televisão, a estrutura baseada no Miura-Ori pode ser explorada na composição de cenários para eventos, espetáculos teatrais ou obras audiovisuais, pois as mudanças de configuração proporcionadas pela qualidade *flat foldability*, podem compor diferentes efeitos de luz e sombra e influenciar padrões específicos de som.

## Referências

- BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003.
- BURI, H. U. **Origami – Folded Plate Structures**. 2010. 275p. Tese (Doutorado) – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suíça, 2010.
- CIPRA, B. A. In the fold: Origami meets mathematics. **SIAM News**: v. 34, n. 8, p. 1-4, 2001. Disponível em: <<http://siam.org/pdf/news/579.pdf>>. Acesso em: 12 jan 2015.
- FARRELY, D. **The book of bamboo**. San Francisco, EUA: Sierra Club Books, 1984.
- FEI, L. J.; SUJAN, D. Origami Theory and its Applications: A Literature Review. **World Academy of Science, Engineering and Technology**: n.73, p. 1131-1135, jan 2013.
- FÜSSLER, U. **Design by tool design**. 2012. Disponível em: <<http://scripts.crida.net/gh/wp-content/uploads/2012/07/Designbytooldesign.pdf>>. Acesso em: 13 ago 2013.
- GARDINER, M. A brief history of oribotics. In: LANG, Robert J. **Origami<sup>4</sup>: Fourth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education**. Natick, EUA: A. K. Peters, 2009. Cap. 6, p. 51-60.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010
- HAGIWARA, I. From origami to origamics. **Japan Journal, Science and Technology**: jul, 2008. Disponível em: <[http://www.japanjournal.jp/tjje/show\\_art.php?INDyear=08&INDmon=07&artid=e5861311b3ad5867ae67641f43638f53](http://www.japanjournal.jp/tjje/show_art.php?INDyear=08&INDmon=07&artid=e5861311b3ad5867ae67641f43638f53)> Acesso em: 16 jul 2014.
- HAN, J.; YAMAZAKI, K.; NISHIYAMA, S. Optimization of the crushing characteristics of triangulated aluminum beverage cans. **Structural and Multidisciplinary Optimization**: v. 28, n1, p. 47-54, ago 2004. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00158-004-0418-8>>. Acesso em: 26 mar 2013.

JACKSON, P. **Folding techniques for designers: from sheet to form.** London, UK: Laurence King Publishing, 2011.

KOBAYASHI, H.; KRESLING, B.; VINCENT, J. F. The Geometry of Unfolding Tree Leaves. In: **Proceedings of The Royal Society: B Biological Science:** v. 265, n. 1391, p. 147-154, 22 jan 1998. Disponível em: <<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/265/1391/147.full.pdf+html>>. Acesso em: 8 ago 2013>.

KURIBAYASHI, K.; TSUCHIYA, K.; YOU, Z.; TOMUS, D.; UMEMOTO, M.; ITO, T.; SASAKI, M. Self-deployable origami stent grafts as a biomedical application of Ni-rich TiNi shape memory alloy foil. **Material Science and Engineering:** A, v. 419, n. 1-2, p. 131-137, 15 mar 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509305014930>>. Acesso em: 26 mar 2013.

LANG, R. J. (Org) **Origami<sup>4</sup> – Fourth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education.** Massachusetts: AK Peters Ltd, 2009.

\_\_\_\_\_. **Robert J. Lang Origami.** 2004-2015. Disponível em: <<http://www.langorigami.com/>>. Acesso em: 01 fev 2015.

LOBACH, B **Design industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais.** São Paulo: Editora Blucher, 2001.

MAHADEVAN, L.; RICA, S. Self-organized origami. **Science:** v. 307, n. 5716, p. 1740, 18 mar 2005. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/307/5716/1740.full>>. Acesso em: 8 ago 2013.

MAKE ARCHITECTS. **Canary Wharf Kiosk.** 2015. Londres, Beijing, Hong Kong. Disponível em: <<http://www.makearchitects.com/projects/canary-wharf-kiosk/>>. Acesso em: 5 fev 2014.

MANUAL DE OSLO: **Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica.** 1997. Disponível em: <[http://download.finep.gov.br/imprensa/manual\\_de\\_oslo.pdf](http://download.finep.gov.br/imprensa/manual_de_oslo.pdf)>. Acesso em: 2 fev 2015.

MANZINI, E. **Design in changing world: in the age of networks and sustainability.** In: P&D - CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 11., 2014, Gramado. **Anais eletrônicos...** Gramado, RS, 2014. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ped2014/php/index.php>>. Acesso em: 15 out 2014.

MIURA, K. The science of Miura-ori: a review. In: LANG, Robert J. **Origami<sup>4</sup>: Fourth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education.** Natick, EUA: A. K. Peters, 2009. Cap. 9, p. 87-99.

MUNARI, B. **Design e Comunicação Visual.** São Paulo: Martins Fontes, 1968.

\_\_\_\_\_. **Das coisas nascem coisas.** São Paulo: Martins Fontes, 1998.

PEREIRA, M. A. dos R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma.** Bauru, SP: Canal6, 2008.

STEWART, I. Some assembly needed. **Nature: News and Views,** v. 448, p.419, 26 jul 2007.

TACHI, T. Geometric considerations for the design of rigid origami structures. In: **Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium,** 8 a 12 nov 2010, Shanghai, China. Disponível em: <[http://www.tsg.ne.jp/TT/cg/Design\\_OfRigidOrigamiStructures\\_tachi\\_IASS2010.pdf](http://www.tsg.ne.jp/TT/cg/Design_OfRigidOrigamiStructures_tachi_IASS2010.pdf)>. Acesso em: 30 jan 2013.

WATANABE, N; KAWAGUCHI, K. The method for judging rigid foldability. In: LANG, Robert J. **Origami<sup>4</sup>: Fourth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education.** Natick, EUA: A. K. Peters, 2009. Cap. 15, p. 165-174.

YAMADA, T. R. U. **Estruturas *flat foldable* em Bambu Laminado Colado baseadas em técnicas de dobra e corte do origami e do *kirigami*.** 2016. 222 f. Tese (Doutorado em Design) - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, São Paulo, 2016.

## Sobre o autor

### Thaís Regina Ueno Yamada

Com graduação em Desenho Industrial (1997), mestrado (2003) e doutorado em Design (2016) pela UNESP - Univ. Estadual Paulista, é professora assistente doutora do Departamento de Artes e Representação Gráfica da FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - UNESP, lecionando nos cursos de Graduação em Design, Arte e Licenciatura em Matemática. Pesquisa nas áreas de expressão gráfica e aplicações de origami e do *kirigami* em Design.

thaisueno@faac.unesp.br

### Roberto Alcarria do Nascimento

Licenciado em Desenho e Plástica (1971) e em Educação Artística (1976) pela Fundação Educacional de Bauru, com mestrado (1994) e doutorado em Educação (1999) pela UNESP - Univ. Estadual Paulista. Professor aposentado da FAAC - UNESP, Bauru, com experiência nas áreas de Artes, com ênfase em Desenho e Representação Gráfica. Foi professor voluntário no curso de Pós-Graduação em Design da FAAC-UNESP até dezembro de 2016.

alcarria@faac.unesp.br

### Marco Antonio dos Reis Pereira

Com graduação em Engenharia Agrícola pela Unicamp (1982), mestrado (1992) e doutorado em Agronomia pela UNESP (1997), especialização em Irrigação e Drenagem pela Universidade Federal de Viçosa (1989) e especialização em Bambu (2001) pelo CBRC - China National Bamboo Reserach Center (Hangzhou-China). É professor adjunto e livre docente em Design e Construção com Bambu na UNESP, Bauru, atuando em cursos de graduação e pós-graduação.

pereira@feb.unesp.br