

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 02/03/2018.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Thaís Regina Ueno Yamada

**Estruturas *flat foldable* em Bambu Laminado Colado  
baseadas em técnicas de dobra e corte do origami e do *kirigami***

Bauru

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Thaís Regina Ueno Yamada

**Estruturas *flat foldable* em Bambu Laminado Colado  
baseadas em técnicas de dobra e corte do origami e do *kirigami***

Tese de Doutorado apresentada para a obtenção do título de Doutor em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, na linha de pesquisa em Planejamento de Produto, sob a orientação do Prof. Dr. Roberto Alcarria do Nascimento e co-orientação do Prof. Dr. Marco Antonio dos Reis Pereira.

Bauru

2016

Yamada, Thaís Regina Ueno.

Estruturas *flat foldable* em Bambu Laminado Colado baseadas em técnicas de dobra e corte do origami e do *kirigami* / Thaís Regina Ueno Yamada, 2016

222 f. : il.

Orientador: Roberto Alcarria do Nascimento

Co-orientador: Marco Antonio dos Reis Pereira

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2016

1. Design. 2. Bambu Laminado Colado. 3. Técnicas de dobra. 4. Técnicas de corte. 5. *Flat foldability*. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

Thaís Regina Ueno Yamada

## **Estruturas *flat foldable* em Bambu Laminado Colado baseadas em técnicas de dobra e corte do origami e do *kirigami***

Tese de Doutorado apresentada para a obtenção do título de Doutor em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, na linha de pesquisa em Planejamento de Produto

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Alcarria do Nascimento (Orientador)  
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo  
Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves  
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli  
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Prof. Dr. José Carlos Plácido da Silva  
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Bauru, 2 de setembro de 2016

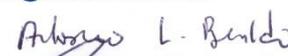
**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE THAIS REGINA UENO YAMADA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO.**

Aos 02 dias do mês de setembro do ano de 2016, às 09:00 horas, no(a) Auditório dos Programas de Pós-grduação da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Professor Doutor ROBERTO ALCARRIA DO NASCIMENTO - Orientador(a) do(a) Departamento de Artes e Representação Gráfica / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - UNESP, Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI do(a) Departamento de Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Prof. Dr. MARCOS TADEU T GONCALVES do(a) Engenharia Industrial Madeireira / Campus Experimental de Itapeva, PROFESSOR DOUTOR ANTONIO LUDOVICO BERALDO do(a) Departamento de Construções Rurais / UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Prof. Dr. JOSE CARLOS PLACIDO DA SILVA do(a) Departamento de Desenho Industrial / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de THAIS REGINA UENO YAMADA, intitulada **Estruturas flat foldable em Bambu Laminado Colado baseadas em técnicas de dobra e corte do origami e do kirigami**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Professor Doutor ROBERTO ALCARRIA DO NASCIMENTO

  
Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI

  
Prof. Dr. MARCOS TADEU T GONCALVES

  
PROFESSOR DOUTOR ANTONIO LUDOVICO BERALDO

  
Prof. Dr. JOSE CARLOS PLACIDO DA SILVA

## Dedicatória

Aos meus pais Takashi e Júlia, à minha irmã Patrícia e ao meu esposo Ricardo,  
pelo amor à toda prova.

Ao meu bom Deus, por tudo.

## Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho:

Ao José Maria, que literalmente deu sangue e suor na colheita dos bambus.

Aos bolsistas do Projeto Taquara, pela grande ajuda no Laboratório de Experimentação com Bambu, por meio do processamento de dezenas de ripas e do registro das etapas do processo.

Ao Cláudio, da Oficina de Marcenaria, pelo seu amplo conhecimento de marcenaria e pelo seu grande auxílio na montagem dos modelos físicos.

Ao Prof. Dr. Osmar Vicente Rodrigues e bolsistas do CADEP - Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos, pela disponibilidade e execução da usinagem dos modelos.

Ao meu esposo, Ricardo Yamada, por ter dado, além de todo apoio nos bastidores, seu "toque" na produção de algumas fotografias que ilustram este relatório.

A todos os funcionários da secretaria da Seção de Pós - Graduação.

A todos os professores do Programa de Pós - Graduação em Design.

Aos professores da banca de defesa, por aceitarem o convite para participar desta etapa tão importante em minha vida.

A todos que, como eu, lutaram com toda a força e todo o espírito para caminhar em direção ao futuro que acreditam.

E um agradecimento muito especial aos meus guias:

Meu co-orientador, Prof. Dr. Marco Antonio dos Reis Pereira, por ter acreditado no meu trabalho e me incentivado desde o início, mostrando-se sempre empolgado e animado com o desafio que se apresentava;

E meu orientador, Prof. Dr. Roberto Alcarria do Nascimento, que, além da orientação e do apoio constante, traz as palavras certas na hora certa, sendo meu grande mestre norteador e amigo.

Deus abençoe a todos!

## Resumo

Além da busca constante por inovação, uma das principais funções do designer é projetar visando à sustentabilidade de seus produtos. Com a necessidade atual de produtos sustentáveis, o bambu se apresenta como uma alternativa de material ecologicamente eficiente. Entre as opções mais promissoras dos painéis de bambu para o design de novo produtos está o Bambu Laminado Colado (BLaC), um material de alta qualidade estética visual e características físico-mecânicas semelhantes às madeiras de média densidade. Como ele é pouco conhecido pelo mercado nacional e pouco explorado comercialmente, busca-se através dessa pesquisa uma nova estratégia para conferir diferentes funcionalidades a esse material, ampliando suas possibilidades de uso. A partir do final do século passado, cientistas se voltaram para as antigas técnicas tradicionais de dobrar e cortar papeis chamadas de origami e *kirigami*, e, na busca por inter-relações com a geometria e a matemática, e descobriram suas potencialidades no desenvolvimento de produtos inovadores nos campos da engenharia e da arquitetura, revolucionando a resolução de problemas concretos e atuais. Isso porque essas técnicas tradicionais podem ser adequadas na criação de estruturas em diversos materiais que se transformam de bidimensionais para tridimensionais através de "dobras", suprimindo a necessidade de economia de espaço e flexibilidade de uso. Assim, esta pesquisa busca combinar o uso do BLaC com as técnicas de corte e de dobra do origami e do *kirigami*, no desenvolvimento de estruturas articuladas denominadas *flat foldable*, ou seja, que são capazes de se achatarem por completo durante o movimento de abertura ou fechamento, organizando um processo de construção para validar estratégias de aplicação e determinando suas possibilidades e seus limites. Assim, primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o bambu e o Bambu Laminado Colado, especialmente em relação às suas características gerais, técnicas de produção e usos no design de produto. Posteriormente, conheceu-se a trajetória que o origami e o *kirigami* percorreram, desde suas primeiras manifestações até sua contribuição na matemática e na engenharia. Em seguida, estabeleceu-se os elementos essenciais e os princípios básicos de todo modelo de origami e *kirigami*, a fim de organizar uma sintaxe de sua linguagem e conhecer as características específicas que atribuem a qualidade *flat foldable* aos seus modelos. Técnicas de dobra e de corte básicas do origami e do *kirigami* foram selecionadas para a análise de seu emprego em projetos de produtos a fim de conhecer as mais utilizadas e as que ainda não foram pesquisadas. Dessas últimas, cinco foram selecionadas para a montagem de estruturas *flat foldable* com BLaC. Para iniciar, foram empregados modelos físicos em papel e virtuais com o auxílio do programa SolidWorks, que possibilitaram essa transposição. Durante o processo de usinagem das placas de BLaC e montagem dos modelos físicos, foi avaliada a aplicabilidade dessa estratégia na construção de estruturas articuladas, buscando-se, ao final de todos os experimentos, validar suas possibilidades e seus limites.

**Palavras-chave:** design, Bambu Laminado Colado, técnicas de dobra, técnicas de corte, *flat foldability*

## Abstract

Beyond the constant research for innovation by designers, one of the main functions is to design focused in sustainability of their products. With the reduction of wood supply and the current need for sustainable products, bamboo appears as an alternative eco-efficient material. Among the most promising options for bamboo panels for new product design is the Glued Laminated Bamboo (GLB), a high-quality material with excellent visual aesthetics, physical and mechanical characteristics similar to medium density wood. As it is not well known by industry and not yet fully explored in national market, this works presents a research that seeks a new strategy to give different functionality to the material, increasing its possibilities of use. From the end of last century, scientists have turned their attention to the old traditional techniques of folding and cutting called as origami and *kirigami*, and discovered their interrelations with geometry and mathematics and their potential in development of innovative products in engineering and architecture fields, revolutionizing the resolution of real and current problems. This is because these traditional technique may be appropriate in the creation of structures of different materials which become two-dimensional to three-dimensional through "folds", supplying the need for space economy and flexibility of use. Thus, this research seeks to combine the use of Glued Laminated Bamboo with folding and cutting techniques of origami and *kirigami* in development of articulated flat foldable structures, which are able to flatten completely during the opening or closing movement, organizing a design process to validate application strategies and determining its possibilities and its limits. So, first it will be presented a brief literature review on bamboo and GLB, especially with regard to its general characteristics, production techniques and uses in product design. Later, a brief literature review about origami and *kirigami* history from the very first examples to their recent contributions in mathematics and engineering, as well as its most basic folding techniques. Then it will be presented the principles and basics of all origami and *kirigami* model in order to organize a syntax of their language and to know the specific characteristics of flat foldable models. Folding and cutting techniques were selected for analysis of their use in product designs in order to meet the most used and those that have not yet been surveyed. From these, five techniques were selected for flat foldable design structures with GLB. To initiate, physical paper models were created in order to help modeling virtual examples using SolidWorks program, which enabled this transposition. During rapid prototyping process and woodworking of physical models in GLB, it was evaluated the applicability of this strategy in the construction of articulated structures, searching for validate its possibilities and its limits at the end of all experiments.

**Palavras-chave:** design, Glued Laminated Bamboo, folding techniques, cutting techniques, *flat foldability*

# Sumário

## Lista de Figuras

## Lista de Tabelas

## Lista de Quadros

## Lista de Abreviaturas e Siglas

<b>1. Introdução</b> .....	21
1.1. Objetivos .....	24
1.2. Estrutura do trabalho .....	25
<b>2. Estado da Arte</b> .....	27
2.1. O Bambu .....	27
2.1.1. <i>Características gerais do bambu</i> .....	31
2.1.2. <i>Características biológicas e morfológicas do bambu</i> .....	34
2.1.3. <i>Propagação, colheita e tratamento do bambu</i> .....	36
2.1.4. <i>Bambu Laminado Colado (BLaC) e seu processo de produção em laboratório</i> .....	39
2.1.5. <i>Características físicas e mecânicas do BLaC</i> .....	44
2.1.6. <i>O BLaC no design de produtos</i> .....	47
2.2. Origami e Kirigami .....	51
2.2.1. <i>Origem e Trajetória</i> .....	52
2.2.2. <i>Potencial Lúdico e Educacional</i> .....	58
2.2.3. <i>Potencial Criativo</i> .....	60
2.2.4. <i>Potencial Matemático e Aplicado</i> .....	64
2.3. Design do Origami e do Kirigami .....	74
2.3.1. <i>Elementos e princípios do design orikiri</i> .....	74
2.3.2. <i>Flat foldability</i> .....	78
2.3.3. <i>Técnicas básicas de dobra</i> .....	82
2.3.4. <i>Técnicas básicas de corte e dobra</i> .....	91
2.3.5. <i>Uma classificação para o design orikiri</i> .....	96
2.4. Origamics e design .....	104
2.4.1. <i>Madeira e bambu</i> .....	114
<b>3. Materiais e Métodos</b> .....	125
3.1. Métodos .....	125

3.2. Materiais .....	125
3.2.1. <i>Bambu Laminado Colado</i> .....	125
3.2.2. <i>Papel</i> .....	126
3.2.3. <i>Programas gráficos de modelagem tridimensional</i> .....	126
3.2.4. <i>Articulações</i> .....	127
3.2.5. <i>Tecnologias de prototipagem</i> .....	127
3.2.6. <i>Registro</i> .....	128
3.3. Procedimentos da Pesquisa .....	128
3.3.1. <i>Definição dos tipos de dobra e de corte</i> .....	128
3.3.2. <i>Definição da espessura da placa de BLaC</i> .....	131
3.3.3. <i>Definição do tipo de dobradiça</i> .....	132
3.3.4. <i>Etapas dos procedimentos experimentais</i> .....	133
3.3.5. <i>Colheita e Produção das Placas de BLaC</i> .....	135
<b>4. Resultados e análises</b> .....	<b>142</b>
4.1. <i>Kirigami 3D da modalidade 90° - Técnica dos Múltiplos Cortes com Desvio</i> .....	142
4.2. <i>Padrão Yoshimura</i> .....	154
4.3. <i>Kirigami 3D da modalidade 360° - Técnica da Caixa Diagonal</i> .....	164
4.4. <i>Miura-ori</i> .....	169
4.5. <i>Kirigami 3D da modalidade 180° - Técnica da Caixa Paralela</i> .....	189
4.6. <i>A espessura e a relação com as colisões</i> .....	198
<b>5. Conclusões</b> .....	<b>207</b>
<b>6. Desdobramentos da pesquisa</b> .....	<b>212</b>
<b>7. Referências</b> .....	<b>214</b>

## Lista de figuras

Figura 1 - Touceira de <i>Dendrocalamus asper</i> da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Bauru .....	33
Figura 2 - Seção de um colmo com suas denominações.....	34
Figura 3 - Representação gráfica da estrutura dos bambus dos tipos paquimorfo e leptomorfo .....	36
Figura 4 - Colmos jovens (letra O) e colmo mais maduro (letra K), apresentando manchas de fungos e líquens .....	38
Figura 5 - Heterogeneidade da distribuição dos elementos anatômicos do bambu ao longo da espessura da parede .....	40
Figura 6 - Da esquerda para a direita: corte, imersão, secagem e beneficiamento inicial.....	41
Figura 7 - Etapas do processamento das ripas de bambu .....	41
Figura 8 - Colagem e prensagem das ripas.....	41
Figura 9 - Da esquerda para a direita: (a) painéis de ripas coladas na horizontal; (b) na vertical e (c) em direções alternadas .....	42
Figura 10 - De cima para baixo: cor natural, descolorida e tratada termicamente.....	42
Figura 11 - Ripas de bambu termorretificado (BTR), organizados de acordo com a temperatura de tratamento térmico (de cima para baixo): 300°C, 260°C, 220°C, 180°C, 140°C e controle (seco ao ar) .....	43
Figura 12 - Inchamento do BTR de acordo com a direção anatômica .....	46
Figura 13 - Móveis em BLaC de Rick Lee .....	47
Figura 14 - Algumas das peças produzidas no Laboratório de Experimentação com Bambu .	48
Figura 15 - Cadeira em lâminas de bambu de Remy & Veenhuizen .....	48
Figura 16 - Linha <i>Obi Dining</i> e linha SEE da TAKE de Miko Paakkanen .....	49
Figura 17 - Mesa de centro e de canto da linha Origami da TAKE de Miko Paakkanen .....	50
Figura 18 - <i>Sembazuru Origata</i> .....	52
Figura 19 - <i>Kirigami senshi, sanshi e kokushi</i> , respectivamente .....	53
Figura 20 - Modelos " <i>Congratulation</i> " e " <i>Escher House 1</i> " .....	54
Figura 21 - Perfil do movimento de fechamento e abertura de um modelo em origami arquetetônico 90° .....	55
Figura 22 - Modelo 180° simétrico (esquerda) e em fatias (direita).....	55
Figura 23 - Visualização do fechamento de um modelo simétrico 180° .....	55
Figura 24 - Processo de abertura de um modelo 360° .....	56
Figura 25 - " <i>Reefy Shore</i> ". Modelo 0°, visualizado fechado e aberto, com suas múltiplas camadas de papel.....	56
Figura 26 - Exemplos de aplicações comuns do <i>kirigami</i> .....	57
Figura 27 - Experiências de Josef Albers na Bauhaus.....	59
Figura 28 - Formas 3D obtidas a partir de corte e dobra em experiências de Hiromitsu Kawai e Munari .....	59

Figura 29 - Obras de Eric Joisel: " <i>Crane Viking</i> " e o detalhe das dobras da cabeça do " <i>Balrog</i> " .....	61
Figura 30 - Obras de Robert Lang: " <i>Bull Moose</i> " e " <i>Oval Tessellation</i> " .....	61
Figura 31 - Obras de Maria Victoria Garrido: " <i>Pergola</i> " e " <i>Kiss</i> " .....	62
Figura 32 - Obras de Ingrid Siliakus, dos Países Baixos .....	62
Figura 33 - Alguns cartões que compõem o Poemóviles.....	63
Figura 34 - Obras de Lygia Clark, 1960: "Bicho" (esquerda) e "Relógio de Sol" (direita).....	63
Figura 35 - Obras sem título de Amílcar de Castro, entre as décadas de 1970 e 1980 .....	64
Figura 36 - Axiomas de Huzita-Hatori .....	66
Figura 37 - Origami de um gafanhoto voador: diagrama de dobra, formato básico, e formato final.....	67
Figura 38 - Tela do programa Tess: padrão inicial (à esquerda) e o diagrama gerado (à direita) .....	67
Figura 39 - <i>Tessellation "Spread hexagon"</i> : diagrama (esq.), e o modelo finalizado visto de frente e verso .....	68
Figura 40 – Um modelo de <i>tessellation</i> com movimento: " <i>Waterbomb</i> " .....	68
Figura 41 - <i>Pop-up Card Designer</i> .....	69
Figura 42 - " <i>Hexagonal column with cusps</i> " de Huffman: modelo dobrado e diagrama correspondente, que emprega arcos de circunferência (ci) e linhas retas .....	69
Figura 43 - Miura-Ori original e sua aplicação em mapas.....	70
Figura 44 - Dobra de Miura aplicada no projeto <i>Space Flyer Unit</i> .....	71
Figura 45 - Latas dobráveis.....	71
Figura 46 - Origami <i>stent graft</i> .....	72
Figura 47 - Dobra vale (tracejado) e dobra montanha (pontilhado) .....	75
Figura 48 - Dobra simétrica <i>flat foldable</i> (foto e padrão de dobra à esquerda) e uma variação sem achatamento total (à direita) .....	79
Figura 49 - Esquema de quebra da simetria sem perder a habilidade de achatamento: $a+a=b+b=c+c=d+d=180^\circ$ .....	79
Figura 50 - Correspondências do ponto A a $90^\circ$ e na abertura a $180^\circ$ .....	80
Figura 51 - Localização do ponto A e as diferentes relações entre cota (c) e afastamento (f) 80	
Figura 52 – Determinação das linhas de dobra e corte em estruturas simétricas (a) e assimétricas (b) .....	81
Figura 53 - Modelos <i>flat foldable</i> .....	82
Figura 54 - Técnicas de divisão do papel: a) linear; b) rotacional; c) diagonal, d) <i>grid</i> .....	83
Figura 55 - Repetições simétricas: a) translação; b) reflexão; c) rotação; d) reflexão com translação .....	84
Figura 56 - Exemplos: a) desenho de origem; b) alongamento; c) inclinação .....	84
Figura 57 - Perfil das quatro dobras básicas .....	85
Figura 58 - Variações das dobras básicas (sentido horário): linear, rotacional, cônica e cilíndrica .....	85
Figura 59 - Variação de caixas espiraladas e dobras torcidas .....	86

Figura 60 - Dobra-V e sua capacidade de achatamento .....	86
Figura 61 - Variações da Dobra-V.....	87
Figura 62 - Múltiplos Vs.....	87
Figura 63 - Variações da Dobra-V.....	88
Figura 64 - Arco Dobrável a partir da Forma-X. Padrão Yoshimura.....	89
Figura 65 - Arco Dobrável a partir da Dobra-V.....	89
Figura 66 - Parabolóide hiperbólico dobrado .....	90
Figura 67 - Modelos sem vinco e com apenas um vinco .....	90
Figura 68 - Corte único e variações no ângulo da dobra, no ângulo do corte e no formato do corte .....	92
Figura 69 - Variações de corte assimétrico e desvios no formato do desenho .....	92
Figura 70 - Gerações de cortes duplos paralelos .....	93
Figura 71 - " <i>Mayan Pyramid</i> ". Exemplo da Técnica da Geração de Cortes.....	93
Figura 72 - " <i>Wedding Palace</i> ". Exemplo da Técnica dos Múltiplos Cortes .....	93
Figura 73 - Modelo básico da Técnica do Degrau (esquerda) e uma variação (direita) .....	94
Figura 74 - Técnica das Asas: modelo básico .....	94
Figura 75 - Técnica V-Horizontal .....	95
Figura 76 - Técnica Caixa Diagonal e variações com outros polígonos.....	95
Figura 77 - Técnica da Caixa Paralela .....	96
Figura 78 - Exemplo da Técnica da Treliça .....	96
Figura 79 - <i>Design Styles Overview</i> .....	98
Figura 80 - Classificação de Padrões de <i>Tesselation</i> segundo Ruysser .....	99
Figura 81 - Padrão plano e suas três variações.....	99
Figura 82 - Exemplos de Origami modular plano e tridimensional .....	100
Figura 83- Palmas: uma série de vasos de concreto baseados no modelo <i>Diamond</i> de Garibi, 2012.....	108
Figura 84 - Tavolini: série de mesas de canto feitas de metal e madeira dobradas à mão, 2013 .....	108
Figura 85 - <i>Metal Origami Sculptures</i> . Chapa de aço inoxidável com 1 mm de espessura, cortado à laser e dobrado à mão .....	108
Figura 86 - Design de Jóias com origami .....	109
Figura 87 - Projeto Abrigo-Origami-Contêiner.....	110
Figura 88 - Coleção <i>IN-EI</i> , que em japonês significa "sombra", "nuance" .....	111
Figura 89 - Capa e bracelete da série " <i>Wearable Metal Origami</i> " de Ruysser.....	111
Figura 90 - Montagem da casa de 6 m <sup>2</sup> da Global Village Shelters .....	112
Figura 91 - <i>Canary Wharf Kiosk</i> : aberto, fechado e detalhe das dobradiças metálicas .....	113
Figura 92 - <i>Kiefer Technic Showroom</i> e algumas configurações da sua fachada.....	114
Figura 93 - Módulos da composição do protótipo.....	115
Figura 94 - Protótipo finalizado e submetido aos testes mecânicos .....	115
Figura 95 - Segundo protótipo .....	116
Figura 96 - Capela provisória de Saint Loup.....	117

Figura 97 - Carabanchel e sua fachada de placas de bambu articuladas.....	117
Figura 98 - <i>Folded Bamboo House</i> e suas possibilidades de configurações .....	118
Figura 99 - A articulação das mesas e a composição do espaço.....	118
Figura 100 - Estrutura em origami e o protótipo do painel de ressonância .....	119
Figura 101 - Banco em BLaC com influência do origami em sua estrutura .....	120
Figura 102 - Mesa retrátil de parede (esquerda).....	120
Figura 103 - <i>Rising Table</i> e <i>Rising Chair</i> do designer alemão Robert Van Embricqs.....	121
Figura 104 - Representação gráfica da composição de placas com tecido no meio .....	122
Figura 105 - Representação gráfica do uso de pinos para articulação de duas placas.....	122
Figura 106 - Dimensões de algumas das menores dobradiças disponíveis no mercado.....	133
Figura 107 - Moita de <i>D. asper</i> ; corte com a moto-serra; .....	135
Figura 108 - Colmos no tanque para tratamento preventivo e secagem .....	136
Figura 109 - Detalhe da posição das lâminas de corte da refiladeira dupla na seção do colmo .....	136
Figura 110 - Seção de colmo e aproveitamento em ripas .....	137
Figura 111 - Tratamento das ripas e secagem .....	137
Figura 112 - Corte das protuberâncias das ripas.....	137
Figura 113 - O processamento da ripa na plaina duas faces .....	138
Figura 114 - Colagem e prensagem das ripas laminadas .....	138
Figura 115 - Entrada da placa de desgrossadeira (esquerda) e sua aplainagem (direita). 139	
Figura 116 - As placas antes e depois de passarem na plaina desgrossadeira .....	139
Figura 117 - Corte na serra circular de bancada para ajustes.....	140
Figura 118 - Colagem das camadas .....	140
Figura 119 - Prensagem das ripas coladas .....	140
Figura 120 - Estudo do movimento entre as partes durante o fechamento .....	142
Figura 121 - Modelo aberto em 180° (esq.) e outro ponto de vista do modelo.....	143
Figura 122 - Em vermelho, as dobradiças devem ser colocadas visando uma "dobra vale"; em verde, uma "dobra montanha" .....	143
Figura 123 - Desenhos técnicos das peças do modelo (dimensões em mm e sem escala)... 144	
Figura 124 - Posicionamento coincidente entre as arestas de duas peças e seus pontos médios.....	145
Figura 125 - Atribuição de aparência de material.....	146
Figura 126 - Edição de propriedades do material .....	146
Figura 127 - Movimento dos componentes até o momento da colisão (faces realçadas em azul) .....	147
Figura 128 - Fechamento da estrutura modelada .....	148
Figura 129- Observação da vista superior da estrutura montada, do seu movimento de abertura e fechamento .....	148
Figura 130 - Distribuição das peças do modelo nas placas (dimensões em mm).....	149
Figura 131 - Fixação da fita VHB nas placas e na mesa.....	149
Figura 132 - Acabamento da usinagem com fresa usada .....	150

Figura 133 - Problemas ocorridos durante a usinagem .....	151
Figura 134 - Placa 1 ao final da usinagem. Detalhe da exatidão do processo .....	151
Figura 135 - Montagem prévia do modelo antes de iniciar a fixação das dobradiças .....	152
Figura 136 - Fixação das dobradiças por blocos.....	152
Figura 137 - Modelo físico em BLaC.....	153
Figura 138 - Estudos de posicionamento do modelo físico .....	153
Figura 139 - O mesmo modelo com 38 mm de espessura.....	154
Figura 140 - Padrão Yoshimura totalmente aberto e dobrado em arco .....	155
Figura 141 - Padrão Yoshimura em completo fechamento: tira fina retangular ou um hexágono multifacetado .....	155
Figura 142 - Aviso de que o modelo se encontra em posição de colisão .....	156
Figura 143 - Modelo em papelão: locais de dobra vale (esq.) e montanha (dir.).....	156
Figura 144 - Ponto crítico (em destaque) na dobra do Padrão Yoshimura durante o movimento de fechamento.....	157
Figura 145 - Modificação na geometria e fechamento total bem sucedido.....	158
Figura 146 - Desenho técnico das peças do modelo Yoshimura .....	158
Figura 147 - Imagens em sequência do movimento do modelo no <i>SolidWorks</i> .....	159
Figura 148 - Distribuição das peças do modelo em duas placas (dimensões em mm) .....	159
Figura 149 - Usinagem com a fresa nova: melhor acabamento .....	160
Figura 150 - Destaque da usinagem incorreta na última linha de peças.....	160
Figura 151 - Desenho da placa prevista para outro modelo (dimensões em mm) .....	161
Figura 152 - Desenho da placa readequada para a reposição das peças perdidas (dimensões em mm) .....	161
Figura 153 - Esqueleto da placa usinada.....	162
Figura 154 - Distribuição das dobradiças no modelo: vermelho para dobra vale e verde para dobra montanha.....	163
Figura 155 - A flexibilidade do modelo físico em BLaC .....	163
Figura 156 - Modelo virtual com 38 mm de espessura.....	164
Figura 157 - Movimento de abertura em 360° do modelo escolhido .....	164
Figura 158 - Desenho técnico da peça componente do modelo (dimensões em mm).....	165
Figura 159 - Movimento do modelo no <i>SolidWorks</i> .....	166
Figura 160 - Usinagem dos detalhes internos do modelo .....	166
Figura 161 - Placa com a primeira etapa concluída: usinagem dos detalhes internos das peças .....	167
Figura 162 - Usinagem da parte externa das peças .....	167
Figura 163 - Esqueleto da placa usinada.....	168
Figura 164 - Primeira etapa da montagem .....	168
Figura 165 - Modelo físico previsto.....	169
Figura 166 - Diferentes configurações do modelo.....	169
Figura 167 - Estudo do movimento entre as partes durante a abertura e o fechamento ....	170
Figura 168 - Modelo em papelão: locais de dobra vale (esq.) e dobra montanha (dir.) .....	170

Figura 169 - Estudo do movimento no modelo em papelão .....	171
Figura 170 - Ponto crítico (em destaque) no fechamento do modelo .....	171
Figura 171 - Desenho técnico inicial das peças do modelo (dimensões em mm, fora de escala).....	172
Figura 172 - Colisão 1 detectada .....	172
Figura 173 - Colisão 2 detectada .....	173
Figura 174 - Colisão 3 detectada .....	173
Figura 175 - Correção da colisão 3 .....	174
Figura 176 - Colisão 4 (esq.) e correção (dir.) .....	174
Figura 177 - Colisão 5 (vista frontal) e correção (dir.).....	175
Figura 178 - Colisão 6 (vista posterior) e correção (vista frontal) à direita .....	175
Figura 179 - Vista superior do fechamento máximo do modelo .....	175
Figura 180 - Imagens em sequência do movimento do modelo no SolidWorks .....	176
Figura 181 - Distribuição do primeiro grupo de peças do modelo em uma placa.....	176
Figura 182 - Usinagem da placa .....	177
Figura 183 - Peças usinadas e esqueleto da placa .....	177
Figura 184 - Usinagem da peça com chanfro: desbaste de uma superfície .....	178
Figura 185 - Usinagem da superfície posterior e correção de defeitos da placa.....	178
Figura 186 - Face 1 da peça ao final do desbaste (esq.) e detalhe do chanfro (dir.) .....	179
Figura 187 - Face 2 da peça ao final do desbaste (esq.) e detalhe do chanfro (dir.) .....	179
Figura 188 - Acabamento do chanfro.....	179
Figura 189 - Detalhe dos dois chanfros com acabamento finalizado: o da direita se quebrou durante o processo de usinagem .....	180
Figura 190 - Quebras ocorridas nas pontas das duas primeiras peças e corte adotado final (última figura à direita) .....	181
Figura 191 - Desenho técnico final das peças só com chanfro nos vértices (fora de escala) - medidas em mm.....	181
Figura 192 - Desenho técnico final da peça 2A com chanfro na superfície (fora de escala) - medidas em mm.....	182
Figura 193 - Desenho técnico final da peça 2B com chanfro na superfície (fora de escala) - medidas em mm.....	182
Figura 194 - Distribuição das dobradiças no modelo Miura-Ori: vermelho (dobra vale) e verde (dobra montanha) .....	183
Figura 195 - Diferentes configurações do modelo criado .....	184
Figura 196 - Modelo virtual com 38 mm de espessura apenas nas peças sem chanfros nas superfícies .....	184
Figura 197 - Colisão 1 detectada .....	185
Figura 198 - Etapas de correção da colisão 1 .....	185
Figura 199 - Observação da correção da colisão 1.....	185
Figura 200 - Colisão 2 detectada .....	186
Figura 201 - Colisão 2 corrigida .....	186

Figura 202 - Vista frontal, posterior e superior da colisão 3.....	187
Figura 203 - Corte das "quinas" das peças que estavam se colidindo.....	187
Figura 204 - Colisão 4 detectada (esq.) e correção (detalhe) .....	188
Figura 205 - Colisão 5: máxima abertura da estrutura .....	188
Figura 206 - Vista lateral e superior da estrutura com a máxima abertura.....	189
Figura 207 - Vista superior e em perspectiva da estrutura dobrada .....	189
Figura 208 - Modelo base de Técnica da Caixa Paralela adotado.....	190
Figura 209 - Primeiro modelo com duas placas formando a base.....	190
Figura 210 - Desenho técnico das peças do prisma (fora de escala) - medidas em mm.....	191
Figura 211 - Desenho técnico das peças da base (fora de escala) - medidas em mm.....	191
Figura 212 - Estudo do movimento da estrutura montada .....	192
Figura 213 - Detalhe da vista lateral .....	192
Figura 214 - Distribuição das peças 1, 2 e 4 na placa de 825 mm x 210 mm .....	193
Figura 215 - Distribuição das duas peças 3 na placa de 820 mm x 295 mm.....	193
Figura 216 - Posicionamento das dobradiças na montagem do prisma.....	194
Figura 217 - Posicionamento das dobradiças na montagem da base.....	194
Figura 218 - Posicionamento do prisma sobre a base na linha de simetria (linha traço-ponto) e localização das dobradiças (em vermelho) .....	195
Figura 219 - Modelo final montado .....	196
Figura 220 - Primeira etapa com espessura de 38 mm na estrutura independente. À esquerda, a peça 4 é muito pequena para ocorrer o fechamento total da estrutura. À direita, a peça 4 com a correção da medida .....	196
Figura 221 - Vista em perspectiva do modelo aberto completo com espessura de 38 mm .	197
Figura 222 - Vista em perspectiva do modelo fechado.....	197
Figura 223 - Dobras paralelas umas às outras da primeira estrutura pesquisada .....	198
Figura 224 - a) Modelo com dobras paralelas (sem possibilidade de colisão); b) Modelo com dobras oblíquas (pode ocorrer colisão) .....	199
Figura 225 - Pavimentação completa do plano no modelo à esquerda em torno do nó. No modelo à direita, o nó não está completamente preenchido .....	199
Figura 226 - Inserção do nó nos vértices dos triângulos da malha para possibilitar o movimento de dobra.....	200
Figura 227 - Comparação da malha original de triângulos e a estrutura que possibilitou o movimento de dobra do Padrão Yoshimura. No detalhe A, observam-se os seis vértices gerados com o chanfro.....	200
Figura 228 - Malhas regulares.....	201
Figura 229 - Modelo com a Técnica da Caixa Paralela em formato de pirâmide .....	201
Figura 230 - Movimento da pirâmide .....	202
Figura 231 - Planificação da pirâmide, podendo-se verificar que em torno do nó não há uma completa pavimentação.....	202
Figura 232 - Vista superior dos vários vértices da pirâmide e detalhe à direita.....	203
Figura 233 - Vista superior do movimento de fechamento da pirâmide.....	203

Figura 234 - Máxima abertura da pirâmide (à esq.) e fechamento total (à dir.) .....	203
Figura 235 - Comparativo do posicionamento de cada par de planos: Miura-Ori (acima) e Padrão Yoshimura (abaixo) .....	204
Figura 236 - Simetrias de tipos de dobra presentes no Padrão Yoshimura.....	205
Figura 237 - Assimetria entre tipos de dobra em torno dos nós A e B do modelo Miura-Ori .....	205
Figura 238 - Simetria de translação invertida por conjuntos lineares .....	206

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificação de tipos de dobra para o design <i>orikiri</i> .....	101
Tabela 2 - Classificação dos tipos de corte e dobra <i>flat foldable</i> para o design <i>orikiri</i> .....	103
Tabela 3 - Ocorrências dos tipos de dobras básicas em produtos.....	129
Tabela 4 - Ocorrências dos tipos de corte e dobra básicos em produtos.....	130

## Lista de Quadros

Quadro 1 - Espécies prioritárias para a produção de BLaC .....	31
Quadro 2 - Diferenças entre os grupos entouceirantes e alastrantes .....	35
Quadro 3 - Origami e <i>kirigami</i> : trajetória e principais características em cada período .....	73

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BLaC	Bambu Laminado Colado
BTR	Bambu Termorretificado
CAD	<i>Computed-aided design</i> / Desenho assistido por computador
CADEP	Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos
CCB	Borato de Cobre Cromatado
CNC	Comando Numérico Computadorizado/Controle Numérico Computadorizado
GLB	<i>Glued Laminated Bamboo</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INBAR	<i>International Network for Bamboo and Rattan</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
OSME	<i>International Conference on Origami Science, Mathematics and Education</i>
PNMCB	Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu
PVA	Poliacetato de Vinila
RBB	Rede Brasileira do Bambu
UNESP	Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
VHB	<i>Very High Bond</i>

## 1. Introdução

Quando se desenvolvem novos produtos para o mercado consumidor, existem interesses de diversos setores que acabam por impulsionar uma lógica de produção e de consumo. Assim, os consumidores demandam novidades a preços razoáveis enquanto os vendedores buscam vantagens competitivas. Por sua vez, os empresários visam um rápido retorno financeiro de seus investimentos e os engenheiros de produção procuram melhorar e facilitar a fabricação e o transporte de produtos (BAXTER, 2003).

Cabe aos designers atender a todos esses interesses e levar em consideração mais alguns fatores, como a sustentabilidade. Esse aspecto deve estar presente durante todo planejamento de um novo produto, e não apenas em projetos específicos rotulados de ecodesign, design ecológico ou sustentável. Isso porque é de responsabilidade do designer a elaboração de todos os 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.

Assim, a utilização de materiais sustentáveis e ecológicos é uma necessidade real, urgente e atual. Para isso, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2001) propõe, através de ações políticas, o desenvolvimento de processos alternativos, mais eficientes e ambientalmente saudáveis, mais limpos na produção e na utilização de produtos. Nesse sentido, o bambu se destaca como uma alternativa de material ecologicamente eficiente, pois apresenta adequada resistência mecânica e dureza por massa específica e possui um alto nível de produtividade, pois, em apenas dois anos e meio após ele ter brotado do solo, ele já apresenta resistência mecânica estrutural que não se encontra em muitas espécies do mundo vegetal. Além disso, ele é um eficiente sequestrador de carbono, contribuindo para o controle climático do planeta, desde que seu uso como produto seja prolongado.

O bambu é muito encontrado em regiões tropicais e subtropicais do mundo, mas particularmente na China, onde a produção de produtos artesanais e industriais com esse material é ampla e desenvolvida, explorando tanto o bambu *in natura* como processado na forma de painéis. Entretanto, apesar de apresentar muitas vantagens, como versatilidade de

usos, leveza aliada à resistência e facilidade em ser trabalhado (FARRELY, 1984), a exploração do bambu no Brasil ainda é muito restrita, sendo seu emprego limitado à produção de papel, de alguns artigos tradicionais e artesanais (como varas-de-pescar e móveis rústicos) e de brotos comestíveis (PEREIRA; BERALDO, 2008). Como é grande a ocorrência de bambu no país e ele é pouco explorado industrialmente, há um grande potencial a ser pesquisado na sua utilização como material sustentável.

Entre as opções mais promissoras dos painéis de bambu, o Bambu Laminado Colado (BLaC) é um material de alta qualidade estética visual e que apresenta características físico-mecânicas semelhantes às madeiras de média densidade, sendo adequado especialmente ao uso em produtos como móveis, pisos e outros objetos não estruturais Beraldo e Abbade (2003 apud PEREIRA; BERALDO, 2008). Ele ainda não é produzido industrialmente no Brasil, mas é possível encontrá-lo através de importadoras de produtos chineses, especialistas nessa área. Como o BLaC é pouco conhecido pelo mercado nacional e pouco explorado comercialmente, pesquisas nesse campo são escassas e portanto urgentes, especialmente na análise de suas características e na exploração através de pesquisas em design de suas potencialidades. Surge então a questão de pesquisa: **“Como conferir novas funcionalidades ao BLaC para ampliar as suas possibilidades de uso?”**

O design pode contribuir para o aumento do valor simbólico do uso do bambu, cuja imagem está fortemente relacionada no Brasil a móveis rústicos ultrapassados. Dessa maneira, 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, base conceitual para a criação de algo verdadeiramente novo, através 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 e do *kirigami*, duas artes tradicionais que empregam dobras e cortes para a criação de estruturas. Dos modelos tradicionais simples às grandiosas

e complexas obras artísticas e ao seu uso como ferramenta educacional, elas vêm sendo especialmente empregadas, desde o final do século passado, na resolução de problemas muito comuns da sociedade moderna, como diminuição de custos de produção, transporte e armazenamento, além do aumento de possibilidades formais que trazem a versatilidade e a flexibilidade de uso como vantagens adicionais.

Segundo Stewart (2007), o origami e o *kirigami* são excelentes ferramentas 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 que essa é uma nova disciplina, chamada “*origamics*”, uma combinação de Engenharia, Matemática e Biologia para a criação de novos produtos que atendam necessidades produtivas atuais.

Porém, nem todos os tipos de origami e *kirigami* são iguais, possuindo características muito específicas de técnicas de dobra e de corte. Os que apresentam o maior potencial para o design de produtos que se transformam durante o uso, flexíveis e versáteis, são aqueles com a característica denominada *flat foldability*, ou seja, os que são capazes de se transformar de 2D para 3D e de se achatarem por completo novamente.

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 sobra as possibilidades e os limites de sua transposição para um material que não seja o tradicional papel. Além disso, existem também as limitações técnicas e tecnológicas, que podem dificultar ou impossibilitar que determinado avanço seja efetuado nesse sentido.

Para o designer que deseja se aventurar no projeto de um produto a partir das técnicas de dobras e dos cortes utilizadas no origami e no *kirigami*, raras são as publicações e as pesquisas que tratam desse assunto, e nenhuma é do Brasil, não havendo uma metodologia de projeto nesse sentido. Na Europa, existem trabalhos envolvendo o estudo com metais e madeira, alguns *flat foldables*, mas como lá não há a ocorrência natural do bambu, nenhuma pesquisa na área do design tratou do estudo da aplicação dessas técnicas com placas desse material, especialmente do Bambu Laminado Colado (BLaC).

Assim, se combinados o uso de um material sustentável, pouco explorado e com grande potencial, como o BLaC, com as técnicas de corte e de dobra do origami e do *kirigami*

no desenvolvimento de estruturas *flat foldables* articuladas, novos caminhos podem ser descobertos, assim como podem ser vislumbradas novas possibilidades e limites determinados nessa área recente e inovadora.

Assim, retomando a questão de pesquisa anteriormente apresentada, a hipótese é a de que a aplicação das técnicas de corte e de dobra do origami e do *kirigami* ao BLaC, especialmente da qualidade *flat foldability*, pode promover transformações técnicas e estéticas, permitindo a obtenção de novas funcionalidades e aplicações que viabilizam e ampliam as possibilidades de novas estruturas com esse tipo de material.

Como há uma lacuna de referências relacionadas a uma metodologia de projeto utilizando as estratégias de dobra e corte para o design de novos produtos, explicitando por onde e como começar, quais seriam as técnicas de dobra e de corte existentes e como escolher a ideal para cada objetivo, como executar as experimentações e quais tecnologias podem ser utilizadas, essa pesquisa mostra-se relevante por apresentar um caminho que pode ser seguido por estudantes e profissionais de design.

## 5. Conclusões

Esta pesquisa iniciou-se motivada pela seguinte questão: como conferir novas funcionalidades ao BLaC para ampliar suas possibilidades de uso? Na busca por uma resposta à este questionamento, encontrou-se uma tendência recente mundial de inovação de produtos por meio da aplicação de técnicas de dobra e corte baseadas no origami e no *kirigami*, que, além de apresentar soluções práticas para problemas comuns da sociedade moderna, também possui funções estéticas e simbólicas que fazem com que o usuário se identifique e se conecte com o produto de modo afetivo.

Organizou-se, então, uma metodologia que alia a criação de modelos físicos em papel, a modelagem virtual das estruturas (com testes de montagem e movimento semelhantes ao real), prototipagem rápida e criação de modelos físicos com as placas de BLaC utilizando marcenaria. Definiu-se também algumas variáveis para delimitar a pesquisa: cinco tipos de dobra e corte; duas espessuras de placas (10 mm e 38 mm); um tipo de colagem das ripas em relação a sua direção; dois tipos de dobradiça pequena; um software de modelagem virtual; dois maquinários de prototipagem rápida. 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 e do *kirigami* em BLaC.

Assim, de modo geral, os modelos físicos em papel possibilitaram:

- Visualização do movimento entre as partes;
- Definição da geometria e da proporção entre as partes;
- Detecção de pontos críticos antes da modelagem.

O software escolhido possibilitou:

- Modelagem rápida das peças;
- Montagem do conjunto de modo simples, utilizando-se conceitos de geometria de posição;
- Oferta de 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 contribui para maior aproveitamento da placa e aderência durante o processo, ou ainda, o uso de máquinas dotadas de mesa à vácuo, que dispensariam o uso de qualquer outro tipo de fixação, ao mesmo tempo que garantem o pleno travamento de toda a placa, incluindo as peças usinadas (desde que esteja absolutamente plana a fim de permitir a completa ação do vácuo);
- O emprego de fresas novas contribui na minimização da quantidade de fiapos durante a usinagem;
- Deve-se atentar à velocidade adotada na usinagem, para uma melhor prototipagem;
- 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.

Em relação à espessura da placa, os testes virtuais com espessura maior demonstraram que:

- Uma vez que a geometria das peças foi adequada à espessura de 10 mm, sua alteração não influenciou na capacidade de achatamento das estruturas (*flat foldability*) em quatro das cinco técnicas pesquisadas;
- A espessura é um fator correlacionado às dobradiças, devendo-se selecionar a mais adequada para cada caso.

Outra conclusão importante desta pesquisa é que todas as estruturas físicas em BLaC se comportaram como o modelo em papel e o modelo virtual. No entanto, existem algumas particularidades que merecem ser ressaltadas para cada técnica de dobra e corte selecionadas.

No primeiro experimento realizado, com a Técnica dos Múltiplos Cortes com Desvio da Modalidade 90° do *Kirigami* 3D, notou-se uma diferença significativa entre o modelo físico em papel e o modelo estabelecido para a etapa de prototipagem rápida. Embora o primeiro aproveitasse todo a área do material, com cortes precisos e finos realizados por estilete, o corte nas placas de BLaC necessitou de um espaço maior que o previsto entre as peças, devido à espessura da fresa e ao possível deslocamento das partes durante a prototipagem.

Dessa maneira, em relação às dobradiças, conclui-se que:

- Há a necessidade da modelagem virtual da dobradiça a ser adotada, a fim de se obter a geometria final mais adequada para a montagem do modelo físico;
- Há, ainda, a necessidade de empregar rebaixos para a fixação das dobradiças, aproveitando o recurso da CNC, a fim de melhor acomodá-las, diminuir a altura ocupada por elas, e minimizar o impacto de sua espessura.

A segunda estrutura em BLaC, baseada no Padrão Yoshimura, ao ser modelada virtualmente, necessitou do emprego de chanfros nos vértices, necessário devido à espessura das placas. Ao resolver esta questão, o modelo se comportou do mesmo modo que o modelo em papel, apresentando a mesma flexibilidade de movimentos e configurações.

A geração da terceira estrutura, com a Técnica da Caixa Diagonal da modalidade 360° do *Kirigami* 3D, esbarrou na limitação da disponibilidade no mercado de dobradiças com giro total nesta angulação. Se utilizada outra estratégia de dobra (tecido, pinos etc.), este modelo pode ser possível de ser adaptado em placas rígidas. Outra limitação neste modelo foi a instalação de dobradiças internamente à estrutura, que impossibilitou a conclusão conforme previsto. Se instaladas de outro modo, a estrutura pode funcionar, mas as dobradiças estarão bem visíveis, fato que deve ser analisado para algumas aplicações, especialmente em termos estéticos.

A Dobra Miura-Ori se mostrou a mais 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 foi o único que necessitou de modificações quando alterada a espessura da placa.

Também para a sua prototipagem, foi necessário outro maquinário, a Rolland, para execução dos chanfros adotados em algumas peças. Além disso, o BLaC se rompeu em alguns pontos (mais finos e frágeis) durante o processo de usinagem, que necessitaram de uma correção na geometria. Para a montagem do modelo físico, adotou-se outra dobradiça, um pouco maior e mais resistente que a adotada nos modelos anteriores, que resultou em uma estrutura mais estável.

A modelagem e a montagem do modelo da Técnica da Caixa Paralela foram as mais rápidas de todos, devido à simplicidade da estrutura, se comparada com as dos anteriores, e à facilidade de execução pelos dados obtidos nos experimentos que o antecederam. Isso comprova que a metodologia é eficiente e os dados obtidos geraram informações importantes para o desenvolvimento de novos projetos.

As estruturas geradas apresentam qualidade plástica próxima aos conceitos básicos do origami e do *kirigami*: unidade, totalidade, simplicidade, flexibilidade e modularidade. Esta última, particularmente, facilitou:

- A modelagem virtual de peças;
- A montagem virtual das estruturas;
- A realização do teste virtual;
- O aproveitamento de material;
- A montagem dos modelos físicos;
- O transporte;
- A flexibilidade de configurações e de uso.

Constatou-se maior facilidade de construção dos modelos gerados/baseados no *kirigami* 3D do que nas técnicas de dobra do origami escolhidas. Por isso, existem mais possibilidades de criação de novos designs a partir dos modelos baseados em *kirigami* 3D, e consequente aplicabilidade no Design, na Arquitetura e na Engenharia. A aplicação da

técnica do origami pode ser mais limitada, devido às especificidades e complexidade de dobras, no caso específico de uso em materiais rígidos. Em materiais mais flexíveis e deformáveis, essa limitação pode não ser significativa.

A investigação de um processo de construção de estruturas *flat foldable* articuladas em BLaC baseados nos princípios do origami e do *kirigami* validou importantes estratégias para a sua aplicação e determinou possibilidades e limites. Estabeleceu-se uma metodologia de projeto utilizando as estratégias de dobra e corte para o design de novos produtos, explicitando possíveis caminhos, etapas de execução, técnicas de dobra e de corte existentes e suas particularidades (com possibilidades de variação) e tecnologias de prototipagem testadas com BLaC.

Os resultados apresentados comprovam a hipótese de que a aplicação das técnicas de corte e de dobra do origami e do *kirigami* ao BLaC, especialmente da qualidade *flat foldability*, pode promover transformações técnicas e estéticas, novas funcionalidades e aplicações que viabilizam e ampliam as possibilidades de novas estruturas com esse tipo de material.

## 7. Referências bibliográficas

3SIXØ ARCHITECTURE. **STIX Commercial Project**. Providence, Rhode Island, 2009. Disponível em: <<http://3six0.com/portfolio-item/stix/>>. Acesso em: 10 dez 2014.

ADI. Associazione per il Disegno Industriale. **XXIII Compasso d'Oro 2014: I vincitori**. 2015. Disponível em: <<http://www.adi-design.org/xxiii-compasso-d-oro-adi-i-vincitori.html>>. Acesso em: 5 fev 2015.

ARTEMIDE. **In-Ei Issey Miyake**. 2014. Disponível em: <<http://www.artemide.com/prodotti/prodotti.action?data.catalogId=0>>. Acesso em: 5 fev 2015.

ASCHENBACH, M. H. C. V.; FAZENDA, I. C. A.; ELIAS, M. D. C. **A arte-magia das dobraduras**. São Paulo: Scipione, 1992.

ADLER, E. D. **"A new unit" – The Arte and Pedagogy of Josef Albers**. 2004. 108p. Dissertação (Mestrado) – University of Maryland, Maryland, EUA, 2004.

ALVARADO, P. **Bamboo chairs, retractable tables by Union Elemental**. Treehugger, 2009. Disponível em: <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/bamboo-chairs-retractable-tables-by-union-elemental.html>. Acesso em: 10 dez 2014.

AZZINI, A.; BERALDO, A. L. **Métodos práticos de tratamento do bambu**. Campinas, SP: Gráfica da Unicamp, 2001.

BARELLI, B. G. P.; PEREIRA, M. A. R.; LANDIM, P. C. A tecnologia na confecção de protótipos de bambu laminado colado desenvolvida na UNESP-Bauru. In: **Design, arte e tecnologia**. São Paulo: Rosari, Universidade Anhembi Morumbi, PUC-Rio e UNESP-Bauru, 2008.

BATEMAN, A. **TESS: origami tessellation software**. Paper Mosaics. 2013. Disponível em: <http://www.papermosaics.co.uk/software.html>. Acesso em: 10 jan 2015.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003.

BRASIL. Lei nº 12.484, de 08 de setembro de 2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 set. 2011. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/lei/l12484.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12484.htm)>. Acesso em: 31 jan 2015.

BURI, H. U. **Origami – Folded Plate Structures**. 2010. 275p. Tese (Doutorado) – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suíça, 2010.

BURI, H. U.; WEINAND, Y. ORIGAMI-folded plate structures, architecture. In: Proceedings of 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, Japan. **Anais eletrônicos...** Japan: p.2-5, 2008. Disponível em: [http://www.ewpa.com/Archive/2008/june/Paper\\_286.pdf](http://www.ewpa.com/Archive/2008/june/Paper_286.pdf). Acesso em: 10 dez 2014.

CAMPOS, A. de; PLAZA, J. **Poemóviles**. 2 ed. Brasiliense, 1984.

CHATANI, M. **Origamic architecture of Masahiro Chatani**. Tokyo, Japan: Shokokusha Publishing Company Ltd., 1983.

\_\_\_\_\_. **Key to origamic architecture**. Tokyo, Japan: Shokokusha Publishing Company Ltd., 1985.

CHATANI, M.; NAKAZAWA, K. **Origamic Architecture**. Japan: Ondori, 1994.

CHEONG, C. M.; ZAINODIN, H.; SUZUKI, H. Origamic architecture in the cartesian coordinate system. **Origami4 – International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education**, 4., 2006, Pasadena, California. Ed. 2009. Roberto J. Lang (ed), p. 335 – 347.

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.

COLLA, W. A. **Efeito do tratamento térmico nas características físicas e mecânicas do bambu (*Dendrocalamus giganteus Munro*)**. 2010. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas - SP, 2010.

DEBOER, D. Bamboo architecture and the possibilities. In: **Pacif Northwest Bamboo Agro-Forestry Workshop**. Port Townsend, Washington, USA, jun 1997.

DEMAINE, E. D.; DEMAINE, M. L.; KOSCHITZ, D. Reconstructing David Huffman's Legacy in Curved-Crease Folding. In: **Origami<sup>5</sup>**: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Origami in Science, Mathematics and Education, OSME 2010, Singapore, 13-17 julho, 2010, p. 39-52, A K Peters. Disponível em: <<http://erikdemaine.org/curved/history/>>. Acesso em: 15 ago 2014.

DONDIS, D. A. **Sintaxe da Linguagem Visual**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

ECORI. **Pisos e revestimentos ecológicos**. Disponível em: <<http://www.ecori.com.br/>>. Acesso em: 21 jan 2015.

ENVIRONMENTAL BAMBOO FOUNDATION. Vertical soak diffusion for bamboo preservation. 2005. Disponível em <<http://www.bamboocentral.org/index1.htm>>. Acesso em: 19 jan 2015.

ERNST GISELBRECHT + PARTNER. **Showroom Kiefer technic**. Fertigstellun, Áustria, 2007. Disponível em: <<http://www.giselbrecht.at/>>. Acesso em: 10 dez 2013.

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.

FERREIRA, L. M. C. **Design de móveis e bambu laminado colado: consideração ao tratamento térmico e às características físicas e mecânicas com vistas ao projeto de produtos.** 2014. 180p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília - UnB, Brasília-DF, 2014.

FILGUEIRAS, T.S.; SANTOS-GONÇALVES, A.P. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil. **Bamboo Science & Cultura**. Albany: American Bamboo Society, v. 8, p.7-18, 2004.

\_\_\_\_\_. Bambus nativos no Brasil: oportunidades e desafios para seu conhecimento. I Seminário Nacional do Bambu: Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento, 1, 2006, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: CPAB, Universidade de Brasília, 2011, p.33-42.

FOREIGN OFFICE ARCHITECTS. **Carabanchel Housing**. 30 maio 2008. In: ArchDaily. Disponível em: <<http://www.archdaily.com/1580/caranbachel-housing-foreign-office-architects/>>. Acesso em: 10 dez 2014.

FÜSSLER, U. **Design by tool design**. 2012. Disponível em: <<http://scripts.crida.net/gh/wp-content/uploads/2012/07/Designbytool design.pdf>>. Acesso em: 13 ago 2013.

GARIBI, I. **Garibi origami**. 2011-2014. Disponível em: <<http://www.garibiorigami.com/>>. Acesso em: 12 dez 2014.

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.

GARRIDO, M. V. **Homepage**. 2012. Disponível em: <[http://marivi\\_10.tripod.com/myhomenew.html](http://marivi_10.tripod.com/myhomenew.html)>. Acesso em: 31 jan 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GJERDE, E. **Origami tessellations: awe-inspiring geometric designs**. Wellesley, Massachusetts: AK Peters Ltd, 2009.

GLOBAL VILLAGE SHELTERS. **Homepage**. Connecticut, 2013. Disponível em: <http://www.globalvillageshelters.com/>. Acesso em: 20 fev 2016.

HAGIWARA, I. From origami to origamics. **Japan Journal, Science and Technology**: jul, 2008. Disponível em: <[http://www.japanjournal.jp/tije/show\\_art.php?INDyear=08&INDmon=07&artid=e5861311b3ad5867ae67641f43638f53](http://www.japanjournal.jp/tije/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.

HARA, T.; SUGIHARA, K. Computer Aided Design of Pop-up Books with Two-dimensional V-

fold Structures. In: JAPAN CONFERENCE ON COMPUTATIONAL GEOMETRY AND GRAPHS, 7., 2009, Kanazawara, Japão. **Anais eletrônicos...** Kanazawara, Japan, 2009. Disponível em: <[http://www.jaist.ac.jp/~uehara/JCCGG09/short/paper\\_69.pdf](http://www.jaist.ac.jp/~uehara/JCCGG09/short/paper_69.pdf)> Acesso em: 16 jun 2013.

HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo: the gift of the gods**. Bogotá, Colombia: D'vinni Ltda, 2003. 553p.

HONDA, I. **The world of origami**. Tokyo: Japan Publications, 1969.

IBUKU. **Luxury bamboo design**. Disponível em: <<http://ibuku.com/>>. Acesso em: 20 jan 2015.

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Apostila ambiental: analista ambiental**. Editora Dias, 2001.

IZUKA, S.; ENDO, Y.; MITANI, J.; KANAMORI, Y.; FUKUI, Y. An interactive design system for pop-up cards with a physical simulation. **Visual Comput**, 27, 20 abr 2011, p.605-612. Disponível em: < <http://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/paper/popup2011.pdf>> . Acesso em: 10 dez 2014.

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

\_\_\_\_\_. **The Pop-up Book**. London, UK: Anness Publishing Ltd, 1993.

JOISEL, E. **Eric Joisel Homepage**. 2012. Disponível em: <<http://www.ericjoisel.com/>>. Acesso em: 22 dez 2014.

KIMPARA, P. T. C. **Orimachi: dobrando mobiliários urbanos**. 2008. 122p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Bauru, 2008.

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.

KODA, Y. **Origami**. Traduzido por Akiko Kuniyara Watanabe e revisto por Rafael Almir Marcial Tramm. São Paulo: Aliança Cultural Brasil-Japão, 1986. (Caderno de Cultura Japonesa).

KODANSHA. **Encyclopedia of Japan**. Tokyo, Japan: Kodansha Ltd., 1983. V.6.; p. 16-17.

KRAVCHENKO, G. A.; FERREIRA, E. de M.; PASQUALETTO, A. Eficiência de diferentes adesivos para a confecção de painéis de bambu laminado colado. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM Santa Maria, Revista Eletrônica em Gestão, Educação e**

**Tecnologia Ambiental**: v. 19, n. 1, p. 212-219, jan-abr 2015. Disponível em: <http://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/14903>. Acesso em: 19 maio 2016.

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.

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

LI, X.; SHEN, C.; HUANG, S.; JU, T.; HU, S. Popup: Automatic Paper Architectures From 3D Models. **ACM Trans. Graph.**, 29, 4, Article 111, Jul 2010, 9 p. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1778765.1778848>>. Acesso em: 10 dez 2014.

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

LOCAL ARCHITECTURE; BURI, H. U.; WEINAND, Y. **Chapelle Provisoire de Saint-Loup**. Lausanne, Suíça, 2008. Disponível em: [http://www.localarchitecture.ch/?menu=projets&projet\\_id=3](http://www.localarchitecture.ch/?menu=projets&projet_id=3). Acesso em: 10 dez 2013.

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.

MIOTTO, J. L.; DIAS, A. A. Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de eucalipto. **Revista Tecnológica**, Edição Especial ENTECA, p. 35-45, 2009. Disponível em: <http://eduem.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/viewFile/8714/5169>. Acesso em: 19 maio 2016.

MITANI, J.; SUZUKI, H. Computer aided design for Origamic Architecture models with polygonal representation. In: COMPUTER GRAPHICS INTERNATIONAL, 2004, p.93-99. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <[http://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/dl/mitani\\_2004\\_cgi\\_oapoly.pdf](http://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/dl/mitani_2004_cgi_oapoly.pdf)>. Acesso em 4 jun 2014.

MITCHELL, D. **Origami Heaven**. [s.d.] Disponível em: <<http://freespace.virgin.net/dave.mitchell/designstylesoverview.html>>. Acesso em: 22 dez 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.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design de Bauru, São Paulo**. 2007. 113p. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Bauru, 2007.

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

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

MURAKAMI, C. H. G. Bambu: matéria-prima do futuro. In **Boletim Florestal: Informativo do Norte Pioneiro**, ed. 6, ano 1, dez. 2007.

NAVES, R. **A forma difícil: ensaios sobre arte brasileira**. São Paulo: Ática, 1997.

NEOBAMBU. **Revestimentos ecológicos**. Disponível em: <<http://www.neobambu.eco.br/>>. Acesso em: 20 mai 2016.

NOLAN, J. C. **Creating origami**. USA: Alexander Blace, 1995.

NOGUEIRA, C. de L. **Painel de bambu laminado colado estrutural**. 2008. 92p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba - SP, 2008.

NORDIM, K.; WAHAB, R.; JAMALUDIN, M. A.; BAHARI, S. A.; ZAKARIA, M. N. Strength properties of glued laminated bamboo (*Gigantochloa scortechinnii*) strips or furniture. In: XXII IUFRO, **Proceedings** of Scientific Session 90, Brisbane, Australia, p. 83-85, 2005.

ORIGAMI RESOURCE CENTER. **List of origami**. 2014. Disponível em: <<http://www.origami-resource-center.com/origami-classification.html>>. Acesso em: 22 dez 2014.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. 2010. 183p. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Bauru, 2010.

PAPANEK, V. **Design for the real world. Human ecology and Social Change**. Chicago: Academy Chicago Publishers, 1992.

PAPANÉK, V. **Arquitetura e Design, Ecologia e Ética**. Portugal, Lisboa: Edições 70, 1995.

PARALELOS: arte brasileira da segunda metade do século XX em contexto: Colección Cisneros. Apresentação de Milú Villela. Textos de Ariel Jiménez e Mari Carmen Ramírez. São Paulo: MAM, 2002. 240p. 153il. textos Português/inglês. Exposição realizada na Museu de Arte Moderna de São Paulo, de 23 de março a 16 de junho de 2002.

PEREIRA, M. A. dos R. **Projeto Bambu**: manejo e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na Unesp/Campus de Bauru e determinação de suas características físicas e de resistência mecânica. Relatório Fapesp (2003/04323-7), 2006.

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

POPE, G.G. Bamboo and Human Evolution. **Natural History**. 1989.

RAMOS, B. P. F. **Metodologia de curvatura de bambu laminado colado (BLaC) para fabricação de mobiliário - diretrizes para o design**. 2014. 114p. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Bauru, 2014.

REDE BRASILEIRA DO BAMBU. 2013. Disponível em: <<http://www.redebrasileiradobambu.com.br/>>. Acesso em: 4 jan 2015.

REMY, T; VEENHUIZEN, R. **Bamboo chair**. 2007. Disponível em: <<http://www.remyveenhuizen.nl/work/furniture/bamboo-chair>>. Acesso em: 20 jan 2015.

RICH, C. **The history of paper cutting**. 2000. Disponível em: <<http://www.fascinatingfolds.com/paperarts/papercuttinghistory.htm>>. Acesso em: 09 dez 2000.

RUYSSER, T. D. **Wearable metal origami?** The design and manufacture of metallised folding textiles. 2009. 225p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Royal College of Art, London, UK, 2009.

SALEME, J. A. M. S.; COMOGLIO, S. Teaching architecture with bamboo. Bamboo for Sustainable Development. Proceedings of the V International Bamboo Congress and VI International Bamboo Workshop. San José, Costa Rica, 2-6 nov 1998. INBAR **Proceedings**, n 7. Ed. Arun Kumar, I.V. Ramanuja Rao and Cherla Sastry. Netherlands: VSP, 2002. p. 739-748.

SHINZATO, E. T. **Origami arquitetônico**: uma mídia alternativa. 1998. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Desenho Industrial) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, Bauru, 1998.

SHUMAKOV, K; SHUMAKOV, Y. **Origami - Way of development of psychomotor, intellectual and creative abilities**. 1999-2001. Disponível em: <[http://library.thinkquest.org/27152/towns/oriville/oriver/library/read\\_02.htm?tqskip=1](http://library.thinkquest.org/27152/towns/oriville/oriver/library/read_02.htm?tqskip=1)>. Acesso em: 11 jul 2013.

SILIAKUS, I. **Paper architect/artist**. 2013. Disponível em: < <http://ingrid-siliakus.exto.org/>>. Acesso em: 11 jul 2013.

SORGUÇ, A. G.; HAGIWARA, I.; SELÇUK, S. A. Origamics in architecture: a medium of inquiry for design in architecture. **Journal of the Faculty of Architecture: METU JFA - Middle East Technical University, Ankara, Turkey**, v. 26, n. 2, p. 235-247. doi: 104305, 2009. Disponível em: <[http://ifa.arch.metu.edu.tr/archive/0258-5316/2009/cilt26/sayi\\_2/235-247.pdf](http://ifa.arch.metu.edu.tr/archive/0258-5316/2009/cilt26/sayi_2/235-247.pdf)>. Acesso em: 10 ago 2013.

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

TAKE CREATE HAGI CORPORATION. 2010. Disponível em: <<http://www.hagi-take.co.jp/pro/english/>>. Acesso em: 21 jan 2015.

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/DesignOfRigidOrigamiStructures\\_tachi\\_IASS2010.pdf](http://www.tsg.ne.jp/TT/cg/DesignOfRigidOrigamiStructures_tachi_IASS2010.pdf). Acesso em: 30 jan 2013.

TAHARA, A. **Abrigo-Origami-Contêiner**. Prêmio Opera Prima 2005, IAB, 2005. Disponível em: <[http://www.projetoandocompvc.com.br/OPERA\\_PRIMA/2005/premio327.asp](http://www.projetoandocompvc.com.br/OPERA_PRIMA/2005/premio327.asp)>. Acesso em: 23 mar 2013.

TAMA SOFTWARE. **Pop-up Card Designer**. Versão 2.1.1, 2007. Disponível em: [http://www.tamasoft.co.jp/craft/popupcard\\_en/](http://www.tamasoft.co.jp/craft/popupcard_en/). Acesso em: 15 ago 2013.

\_\_\_\_\_. **Pop-up Card Designer PRO**. Versão 3.2.2, 2008. Disponível em: <[http://www.tamasoft.co.jp/craft/popupcard-pro\\_en/](http://www.tamasoft.co.jp/craft/popupcard-pro_en/)>. Acesso em: 01 fev 2015.

TANG & YANG ARCHITECTS. **Folded Bamboo House**. 2009. Disponível em: <http://ming3d.com/tyarchitect/new/>. Acesso em: 10 dez 2013.

TOR, S. B.; MAK, K. W.; LEE, Y. T. A study on the boundary conditions of 90° paper pop-up structures. **Innovation in Manufacturing Systems and Technology (IMST)**, 2004. Disponível em: <<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/3921>>. Acesso em: 24 maio 2014.

THÜN, G.; VELIKOV, K.; RIPLEY, C.; SAUVÉ, L.; MCGEE, W. Soundsphers: resonant chambers. **Leonardo**, v. 54, n. 4, p. 348-357, ago 2012. Disponível em: [http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/LEON\\_a\\_00409?journalCode=leon](http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/LEON_a_00409?journalCode=leon). Acesso em: 10 dez 2013.

UENO, T. R. **Do origami tradicional ao origami arquitetônico: uma trajetória histórica e técnica do artesanato oriental em papel e suas aplicações no design contemporâneo**. 2003. 103p. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Bauru, 2003.

\_\_\_\_\_. Diretrizes construtivas para origami arquitetônico de 90 graus. In: GRAPHICA 2011 - XX Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e IX International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design, 2011, Rio de Janeiro, Expressão Gráfica: Conexões entre Ciência, Arte e Tecnologia. **Anais...**Rio de Janeiro: UFRJ, Escola de Belas Artes, 2011. v.1. p.1 - 12

VAN EMBRICQS, R. **Robert Van Embricqs: combining functionality with art.** 2015. Disponível em: <<http://www.robertvanembricqs.com/>>. Acesso em: 31 jan 2015.

YIGIT, N. **Industrial Product Design by Using Two-Dimensional Material in the Context of Origamic Structure and Integrity.** 118p. Dissertação (Master of Industrial Design) - Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey, 2004. Disponível em: <<http://library.iyte.edu.tr/tezler/master/endustriurunleritasarimi/T000457.pdf>>. Acesso em: 20 abr 2013.

YONGYU, T. The current status and development trend of bamboo processing in China. In: **Proceedings** n. 6. Sustainable Development of the Bamboo and Rattan Sector in Tropical China. China Forestry Publishing House, 2001, p. 99-109.

YOU, Z.; KURIBAYASHI, K. Expandable tubes with negative poisson's ratio and their application in medicine. In: LANG, R. J. **Origami<sup>4</sup>: Fourth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education.** Natick, EUA: A. K. Peters, 2009. Cap. 8, p. 117-127.

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.

WONG, W. **Princípios de forma e desenho.** São Paulo: Martins Fontes, 2001.

WOOLDRIDGE, M. Booming bamboo: the next super-material? **BBC News Magazine**, 3 abr 2012. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/news/magazine-17568088>. Acesso em: 15 nov 2013.