A geometria arquitetônica da arquitetura em origamis: interrelações em processo de projeto

Palavras-Chave: geometria arquitetônica, tipologia arquitetônica, origami, superfícies estruturais, modelagem paramétrica, fabricação digital

Autores(as):
Lillian Namie Teruya, FECFAU - UNICAMP
Prof(ª). Dr(ª). Felipe Corres Melachos (orientador), FECFAU - UNICAMP

1. Introdução:

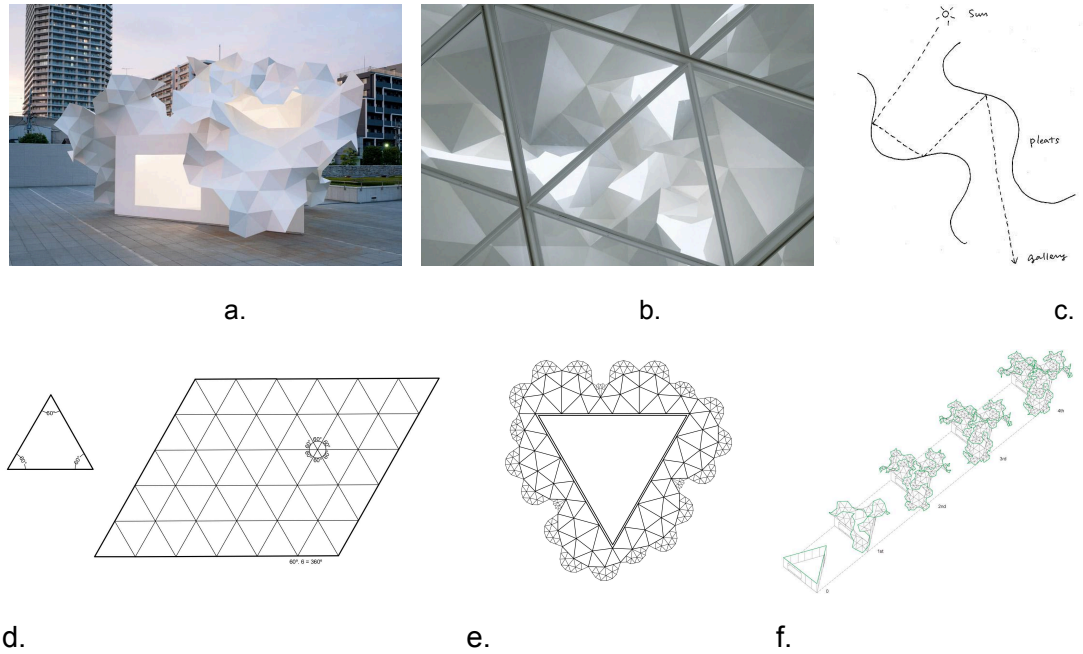
O objeto de estudo desta pesquisa é a geometria arquitetônica de superfícies estruturais concebidas a partir de derivações do origami. Como objetivo deste estudo tem-se a exploração do potencial de ferramentas de modelagem paramétricas associadas à fabricação digital como mecanismo para a criação de tipologias arquitetônicas derivadas do origami. Dito isso, o método de investigação proposto resume-se a análise de estudos de caso a partir da modelagem paramétrica associada à fabricação digital; Assim como reconstruções bidimensionais e tridimensionais dos modelos tanto manualmente, feitos em papel, como através da impressão 3D. Justifica-se a investigação de arquiteturas derivadas do origami devido a sua associação com as superfícies estruturais, em exploração em centros de excelência vinculados a prototipagem rápida de estruturas leves no norte global. Da mesma maneira, espera-se que este estudo possa fomentar a disseminação e atualização do estado-da-arte do ferramental associado ao estudo na unidade e instituição sede.

2. Metodologia: A metodologia da pesquisa foi composta pelas etapas 2.1. Revisão bibliográfica, 2.2. Modelagem paramétrica e fabricação digital, e 2.3. Modelagem no papel, tal qual delineado abaixo.

2.1. Revisão bibliográfica

Num primeiro momento, foi realizado um estudo teórico baseado na leitura e seleção de artigos de periódicos, livros e publicações de congressos a fim de compreender como a arte do origami tem sido estudada e adaptada para os mais diversos usos e finalidades. Tomou-se como importante ponto de partida para esse projeto os estudos de Carvalho (2017) Gardiner (2018, 2019), Lang (2003, 2009) Tachi (2019) e Teixeira (2020), cuja relevância para esta pesquisa se deu no sentido de esclarecer os seguintes questionamentos: Qual é a lógica por trás das dobras do origami? De que modo as propriedades do origami têm sido aplicadas dentro dos projetos de design, arquitetura e construção civil? Como essas dobras podem ser dispostas em estruturas de grande porte e passaram a adquirir espessura mantendo, ainda assim, o seu caráter modular e ao mesmo tempo resistente? De modo semelhante, a análise do Pavilhão Bloomberg projetado por Akihisa Hirata arquitetos, em Tóquio (Japão), em 2011 (Fig. 1) revelou-se produtivo para compreender de que forma projetos inspirados no origami são representados nos projetos arquitetônicos, assim como é interessante observar como o arquiteto se apropriou da arte do origami como solução projetual para simular uma espécie de sombra de árvore. Além disso, o pavilhão se mostrou um exemplo significativo de aplicação real em larga escala, reproduzindo com fidelidade as dobras características dessa arte.

Figura 1



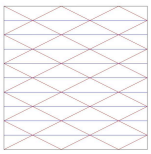
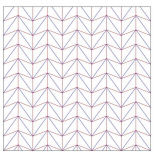
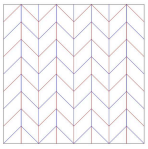
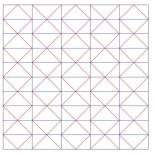
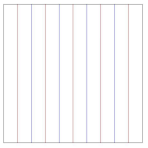
Legenda: (a) Tomada geral do Pavilhão Bloomberg; (b) detalhe de seus módulos de triângulos equiláteros e (c) diagrama esquemático de insolação no pavilhão (d-e) diagramas do padrão de dobras

Fonte: (a,b,c,f) HIRATA AKIHISA. Disponível em: https://www.hao.nu/works/026_bloomberg-pavilion/. Acesso em: 7 mai. 2024 (d,e) TERUYA, L. N. 2025.

2.2. Modelagem paramétrica e fabricação digital

Quanto ao estudo experimental, foi realizado a construção de scripts dos padrões de dobra Miura-ori, Yoshimura, Waterbomb, Kresling e Pleat – evidenciados em vários projetos de arquitetura associado ao origami tal qual o Pavilhão Bloomberg – explorando-se o aplicativo Rhinoceros 3D® de modelagem 3D conectado diretamente ao Grasshopper 3D®, juntamente dos plugins Crane e Lunchbox, como forma de aprender a utilizar ferramentas paramétricas, ao mesmo tempo, chegar à uma comprovação técnica de crease pattern e design adaptado do origami com aplicabilidade em superfícies estruturais inspiradas na lógica do origami.

Tabela 1

Origami folding patterns (Padrões de Dobradura de Origami)					
Nome	Yoshimura	Kresling	Miura	Waterbomb	Pleat
Crease pattern					

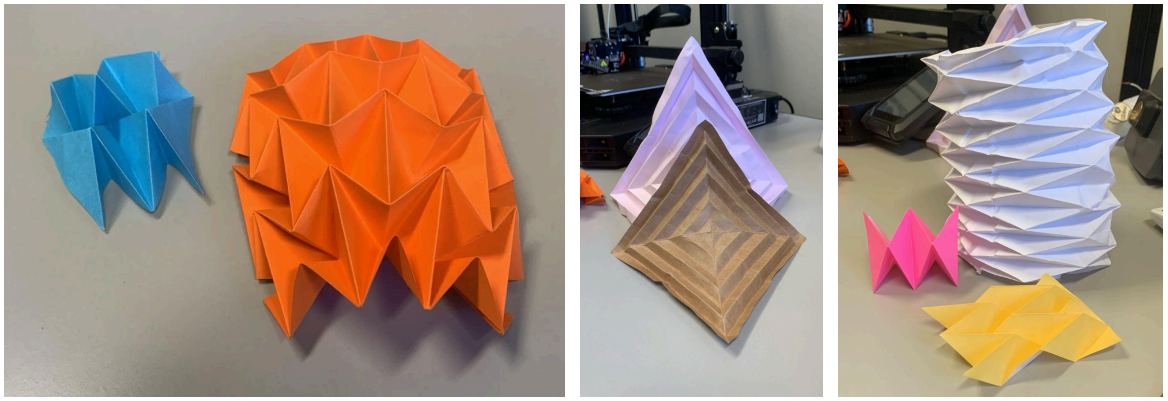
Fonte: TERUYA, L. N.Tabela das folding patterns. 2025.

2.3. Modelagem no papel

Paralelamente à esta etapa da pesquisa, a modelagem dos padrões de dobra feito a mão tornou-se necessária, uma vez que contribuia para o entendimento mais aprofundado da cinética das dobras e para compreender até que ponto as simulações computacionais estavam acompanhando o

potencial modular de cada padrão de origami no estudo de caso e em outras manifestações da arquitetura onde o origami se manifesta (Fig. 2).

Figura 2

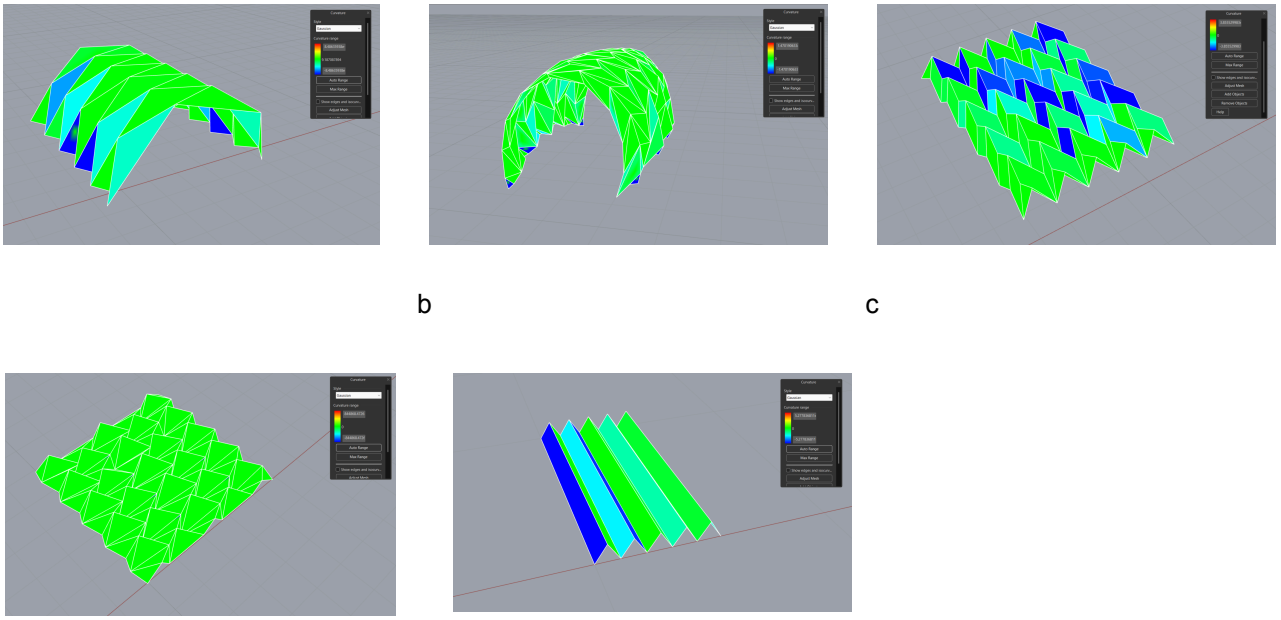


Fonte: TERUYA, L. N.Tabela das folding patterns. 2025.

Resultados e discussão:

Elaborados os scripts dos padrões de dobra, e realizada uma primeira etapa de compreensão formal através da modelagem analógica, mediram-se os índices de curvatura gaussiana de cada padrão de dobradura no Rhinoceros 3D® (Fig. 3). Esta análise contribui para o entendimento do caráter desenvolvível dos origamis de modo geral, uma importante característica em sua aplicabilidade no universo da arquitetura e engenharia civil.

Figura 3



a b c

d e

Legenda: (a) Padrão Yoshimura; (b) Padrão Kresling; Padrão (c) Padrão Miura; (d) Padrão Waterbomb; (e) Padrão Pleat.
Fonte: TERUYA, L. N.Tabela das folding patterns. 2025.

O origami não é móvel nas faces, mas sim nas dobras e vértices. Dito isso, o comando de análise de curvatura permitiu visualizar e quantificar o que ocorre nesses pontos. As regiões em azul (curvatura negativa, k<0) caracterizam um ponto hiperbólico; regiões em verde (curvatura zero, k=0) indicam caráter parabólico; enquanto que regiões em vermelho (curvatura positiva, k>0) correspondem a um caráter elíptico. As grandes áreas em verde (curvatura zero, k=0) são a prova visual do caráter desenvolvível das superfícies derivadas do origami, isto é, os modelos podem ser planificados sem a necessidade de esticar ou rasgar.

Tabela 2

Padrão	Desenvolvimento do padrão de dobra		Curvatura gaussiana		Espectro da aplicação geométrica
	Superfície plana	Modelo de geometria tridimensional (3D)	$K_{máx}$	$K_{mín}$	
Yoshimura	Sim	Parcialmente desenvolvível, com pontos parabólicos e hiperbólicos	8.48635938e-31	-8.48635938e-31	Arcos curvos formados por placas estruturais dobradas com padrão de vinco triangular
Kresling	Sim	Desenvolvível, com pontos predominantemente parabólicos	1.470190633e-28	-1.470190633e-28	Arcos curvos formados por placas estruturais dobradas com padrão de vinco triangular
Miura	Sim	Parcialmente desenvolvível, com pontos parabólicos e hiperbólicos	3855529983e-16	-3855529983e-16	Painel retangular formada por placas estruturais dobradas com projeções poligonais
Waterbomb	Sim	Desenvolvível, com pontos predominantemente parabólicos	844868.4726	-844868.4726	Painel retangular formada por placas estruturais dobradas com projeções poligonais
Pleat	Sim	Parcialmente desenvolvível, com pontos parabólicos e hiperbólicos	5277836811e-16	-5277836811e-16	Painel rectangular formada por placas estruturais dobradas com padrão de vincos triangulares

Legenda: Tabela com resultados da análise gaussiana de cada tipo de origami. Fonte: TERUYA, L. N. 2025.

Conclusões:

A presente pesquisa tem apresentado grandes avanços no sentido de investigar o potencial da modelagem paramétrica e da fabricação digital como ferramentas para a criação de tipologias arquitetônicas a partir do origami. A metodologia adotada, que uniu a revisão bibliográfica, a experimentação com os softwares Rhinoceros 3D e Grasshopper e a modelagem física em papel, mostrou-se eficaz para uma compreensão mais aprofundada do tema, permitindo não só a comprovação técnica da aplicabilidade da lógica do origami em superfícies estruturais, como também

foi fundamental para entender a cinética das dobras. Conclui-se, portanto, que a inter-relação entre geometria do origami e as tecnologias digitais é um campo fértil para o desenvolvimento de estruturas leves e modulares na arquitetura. Estudos de caso, como o Pavilhão Bloomberg, permitem a análise pormenorizada de padrões de dobradura e sua aplicação em contextos arquitetônicos diversos, permitindo adaptações, como no caso do padrão Yoshimura neste estudo de caso. Assim sendo, o presente trabalho valida essa abordagem e aponta para futuras investigações sobre diferentes maneiras de adaptar e moldar os padrões de dobra a geometrias consagradas, consolidando um caminho promissor para a inovação dentro da arquitetura.

Bibliografia:

CARVALHO. M, S, B. **Origami na Arquitetura: Estudo sobre estruturas dobráveis.** TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Associação Escola da Cidade, São Paulo, 2017.

GARDINER. **M. ORI* On the Aesthetics of Folding and Technology.** (Doutorado). University of Newcastle, Austrália, 2019. 10.13140/RG.2.2.31577.16484/1.

GARDINER, M; HANLON, R. **ORI* The Art and Science of Origami and Technology Volume 1: Works 2015–2017.** 2018.

LANG, R.J. **Origami design secrets: Mathematical methods for an ancient art, Ak peters series.** A.K. Peters. 2003.

LANG, R. J. (Org.) **Origami 4: Fourth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education.** Massachusetts: A K Peters, 2009

TACHI, T. **Introduction to Structural Origami.** Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures, v. 60, n.1, p. 7 – 18, 2019.

TEIXEIRA, S. A; NAKATA, M. **Design Do Origami: Um Estudo Sobre Técnicas Projetuais Com Dobras E Desenvolvimento De Bolsa-Origami Sustentável.** 2020. v. 24. 429-448.