



DESIGN DE ESTRUTURAS AEROESPACIAIS

Daniel Afonso
Escola Superior Aveiro Norte,
Universidade de Aveiro
Centro de Tecnologia Mecânica e
Automação (TEMA)
dan@ua.pt www.ua.pt/pt/p/16609746

SUMÁRIO

Mecanismos conformáveis

- Conceito
- Vantagens de mecanismos conformáveis
- Desenvolvimento e aplicações

Mecanismos baseados em origami

- Desenvolvimento de estruturas e mecanismos baseados em origami
- Aplicações baseadas em origami



universidade de aveiro
theoria poiesis praxis



MECANISMOS CONFORMÁVEIS

Mecanismos com
deformação
controlada de peças

MECANISMOS CONFORMÁVEIS

Flexibilidade da peça permite o movimento do mecanismo - explora a deformação elástica do material

Simplicidade - Reduzido número de peças permite o desenvolvimento de sistemas mais simples

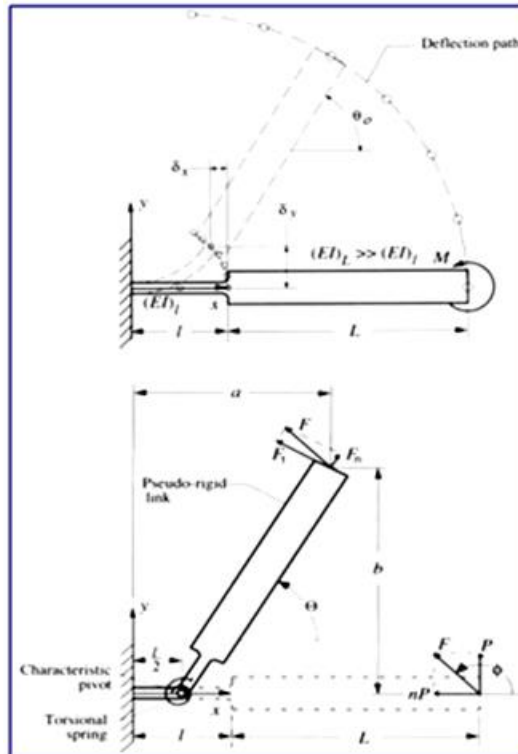
Mecanismos composto por uma única peça

Comportamento cinemático análogo a um mecanismo de corpos rígidos

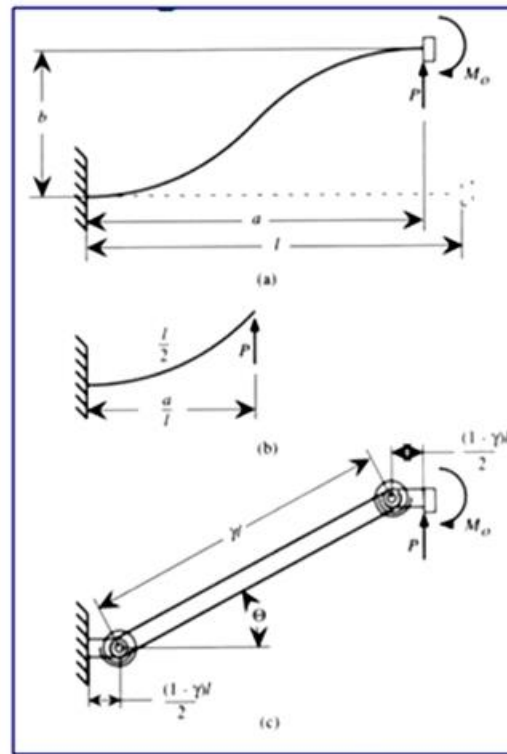
Força de entrada é transportada ao longo da peça até uma saída
Movimento de entrada é transportado para um movimento de saída

MECANISMOS CONFORMÁVEIS

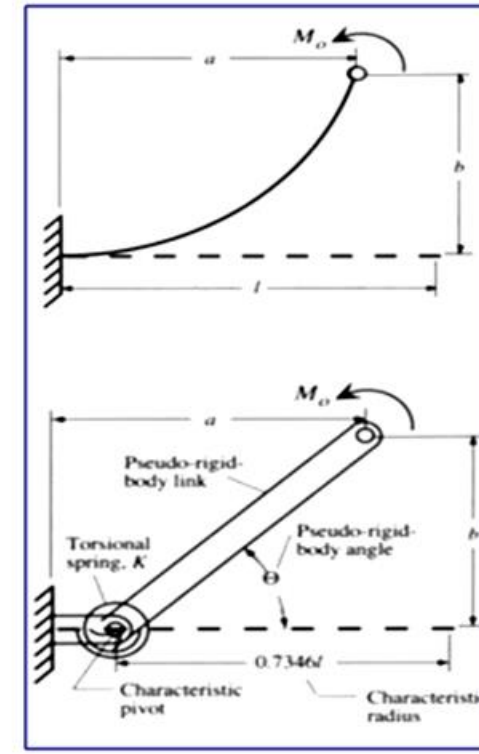
Small-Length Flexure



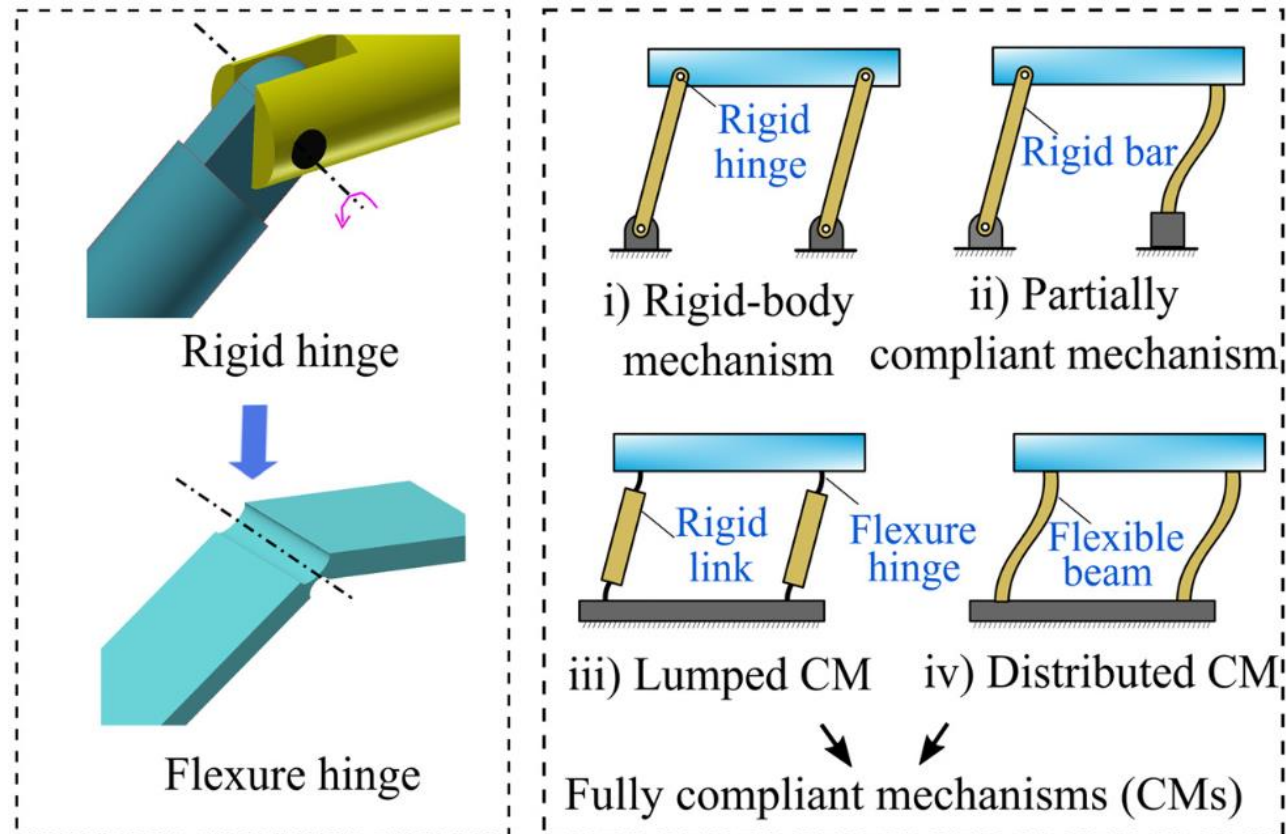
Fixed-Guide Segment



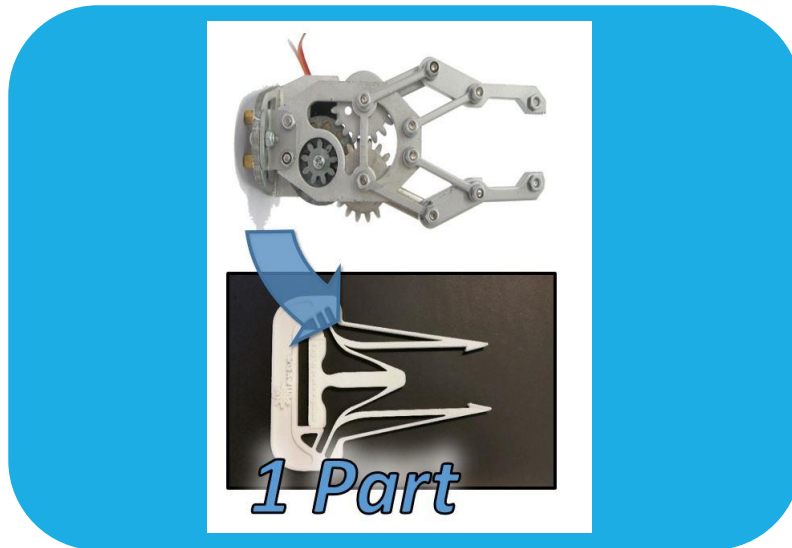
End Moment Loading



MECANISMOS CONFORMÁVEIS

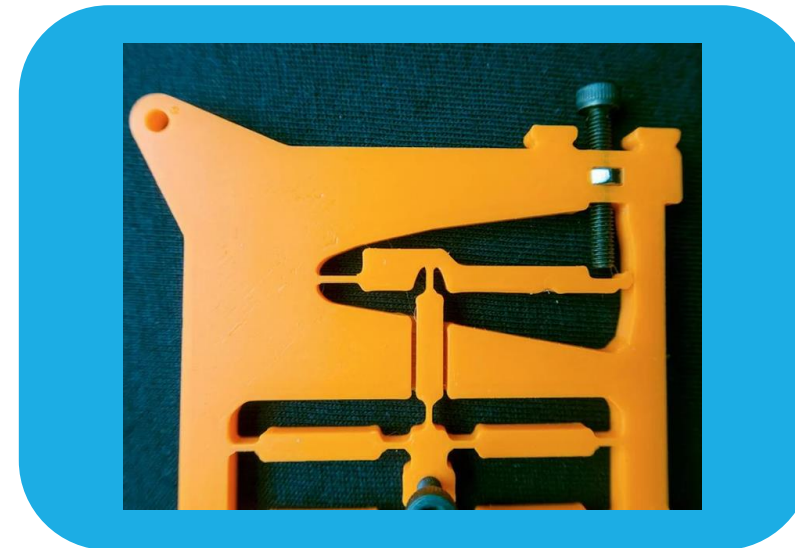


VANTAGENS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



Número de peças reduzido

- Número de peças de um mecanismo significativamente reduzido
- Juntas e molas são substituídas por elementos flexíveis numa única parte



Precisão de movimento

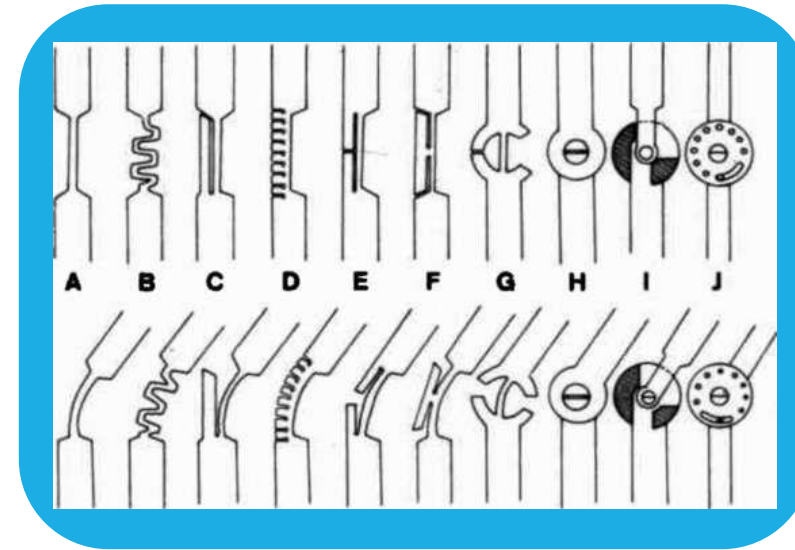
- Inexistência de folgas de montagem possibilita movimento mais preciso
- Inexistência de desgaste de peças móveis não altera o movimento do mecanismo

VANTAGENS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



Facilidade de Fabrico

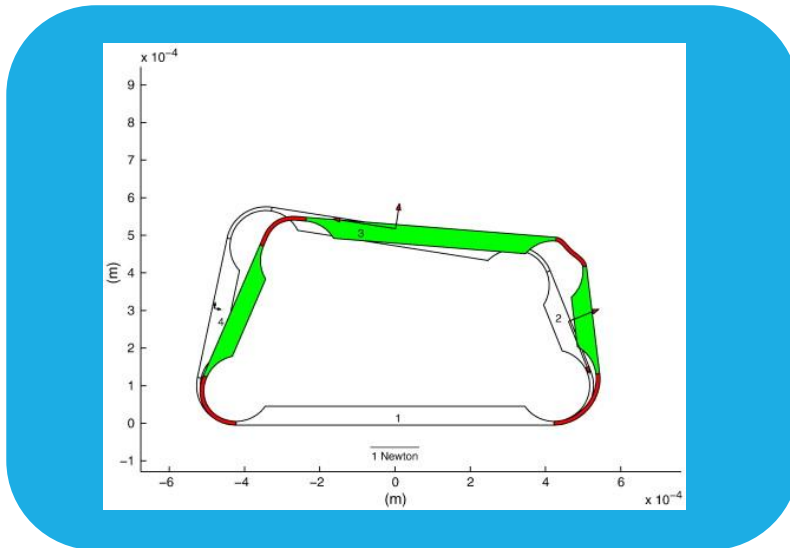
- Compatíveis com vários processo de fabrico
- Muitos desenhos cortados a partir de placas planas



Baixo custo

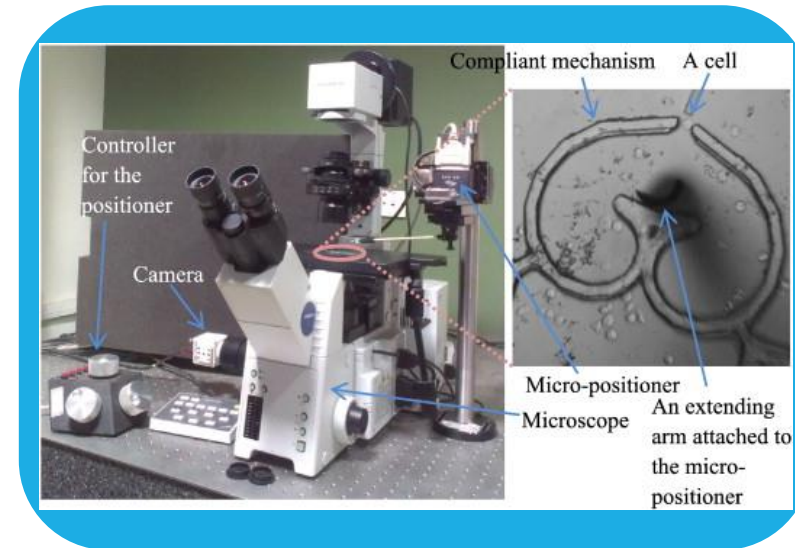
- Reduzido número de peças, facilidade de fabrico e dispensa de montagem minimiza custos

VANTAGENS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



Desempenho e manutenção

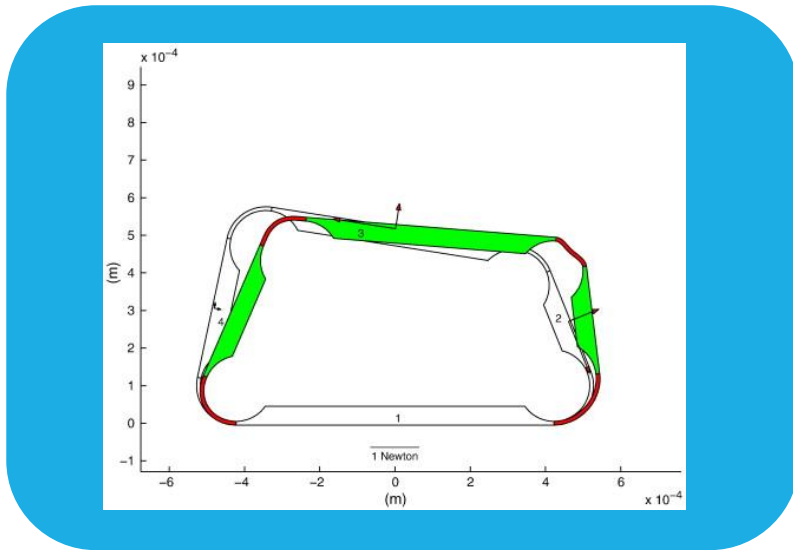
- Ausência de contacto entre peças elimina o atrito
- Ausência de contacto elimina necessidade de lubrificação



Escalável

- Geometrias escaláveis, até dimensões muito reduzidas

VANTAGENS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



Portabilidade

- Redução do número de peças contribui para diminuição do tamanho e massa de um mecanismo



Estabilidade

- Possibilidade de mecanismo naturalmente estável em uma ou mais posições

LIMITAÇÕES DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS

Complexidade do sistema

- O desenvolvimento de sistemas complexos é mais difícil em mecanismos conformáveis do que em mecanismos de corpos rígidos
- Há necessidade de maior conhecimento sobre comportamento dos materiais e necessidade de análise (simulação) do comportamento do mecanismo

Análise do mecanismo

- Análise do comportamento cinetostático diferente do comportamento de deformação estática conhecido devido a grandes deformações – dificuldade na análise do mecanismo
- Muitos mecanismos desenvolvidos por métodos iterativos de tentativa e erro

Acumulação de energia

- Energia necessária para a deformação do mecanismo pode diminuir a sua eficiência

LIMITAÇÕES DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS

Fadiga de elementos flexíveis

- Carregamentos cíclicos de mecanismos pode provocar uma rotura prematura por fadiga
- A análise do comportamento cinetostático é ainda mais complicada para contabilizar a resistência à fadiga

Movimento limitado

- A amplitude de movimento é genericamente menor do que em mecanismos de corpo rígido
- Movimento de elementos flexíveis é limitado pela resistência do material
- Mecanismos flexíveis não permitem movimento contínuo, como uma junta rotacional

Rigidez limitada

- Apesar de possível desenhar o mecanismo de forma a que a rigidez numa direção seja mais elevada do que no plano do movimento, a rigidez é genericamente mais baixa

EXEMPLOS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



EXEMPLOS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



Flat Hinge



Double Hinge

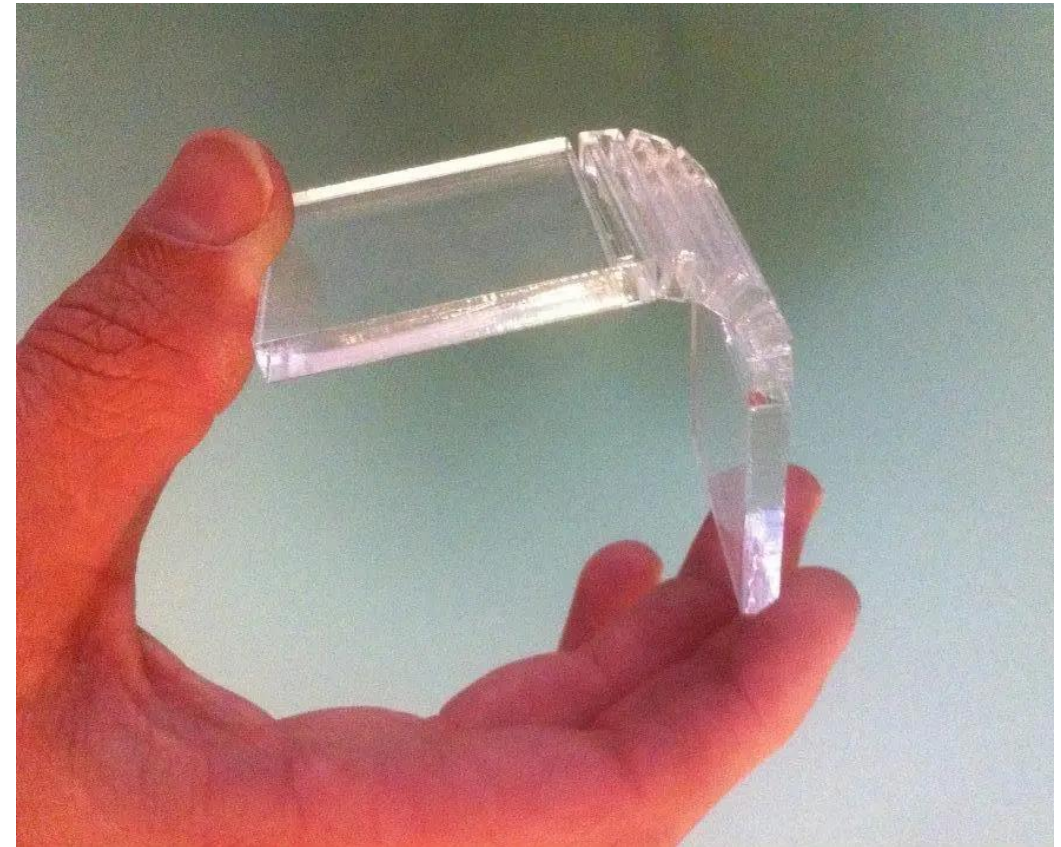
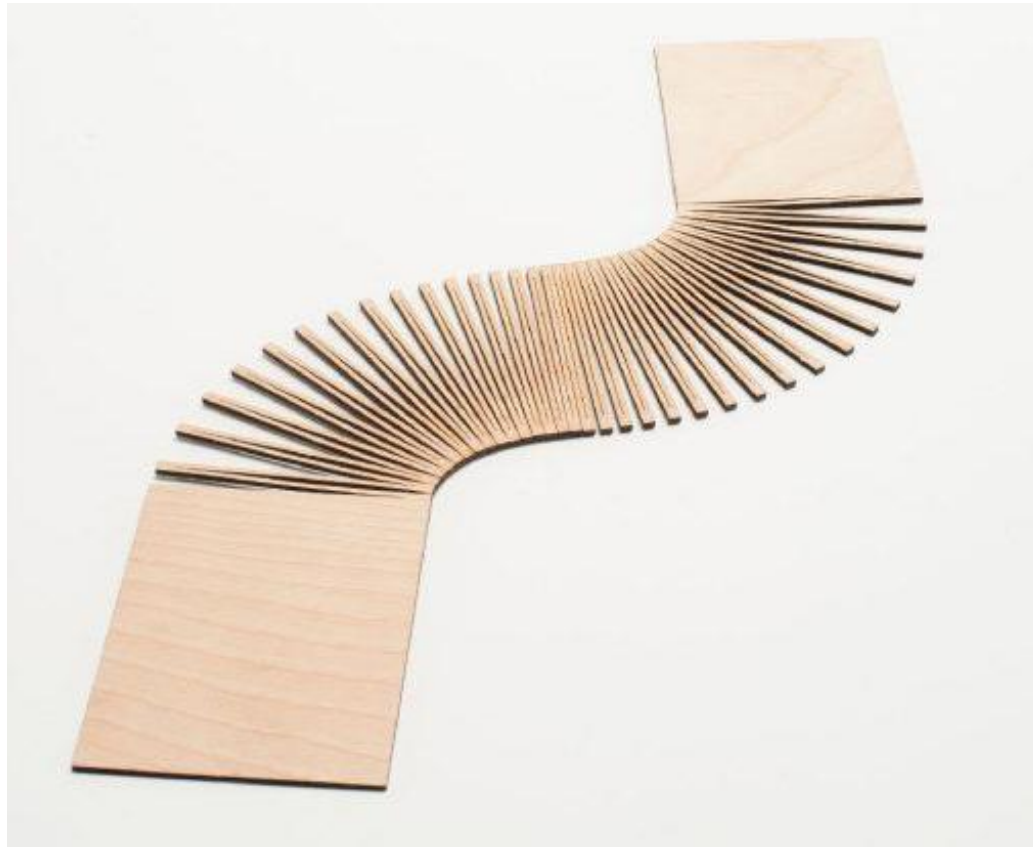


Butterfly Hinge

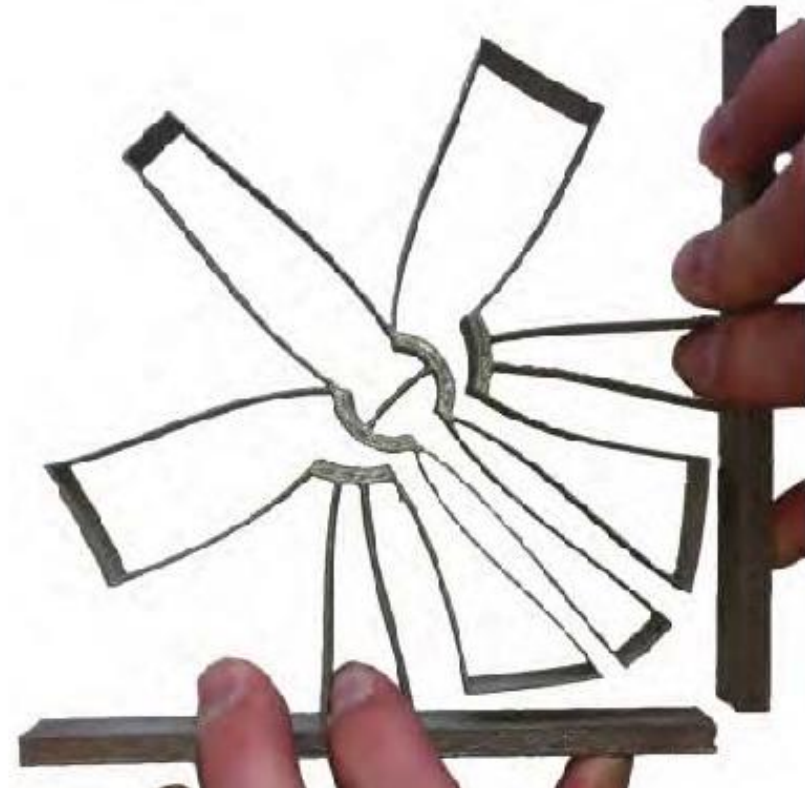


Bi-Stable Hinge

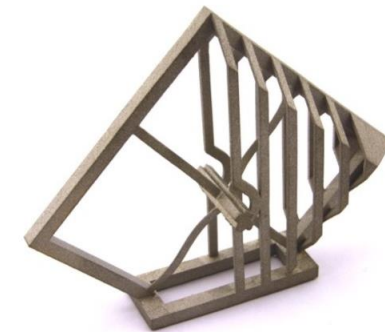
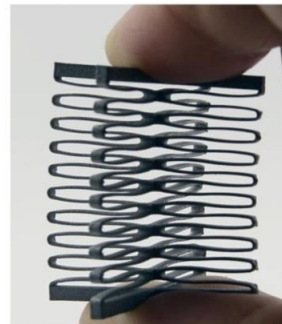
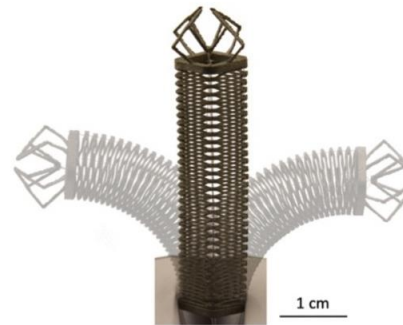
EXEMPLOS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



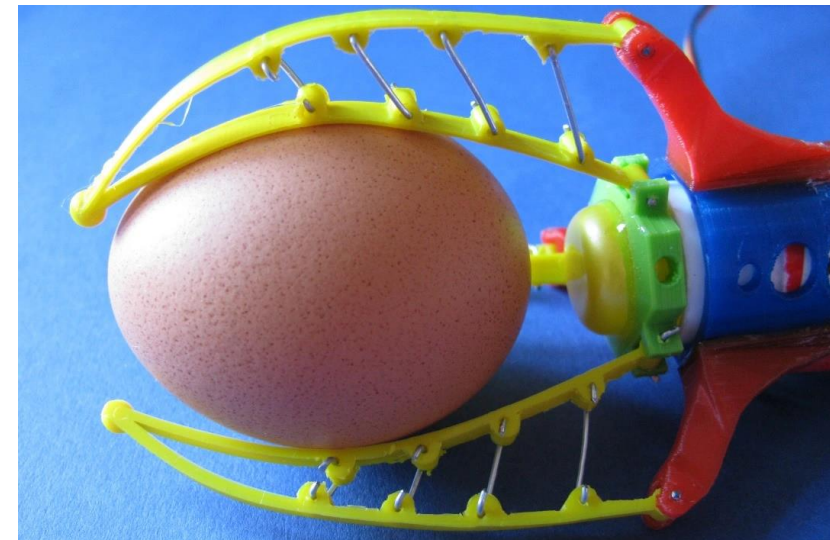
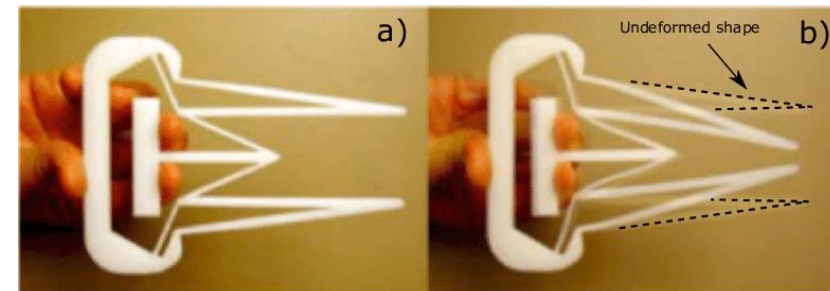
EXEMPLOS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



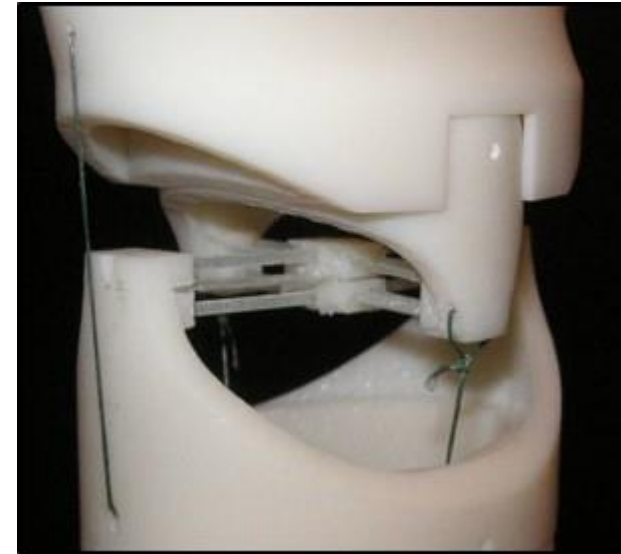
EXEMPLOS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



EXEMPLOS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



EXEMPLOS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



EXEMPLOS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS

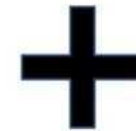
Rotational Compliant Element



Adjustable Impedance Mechanism

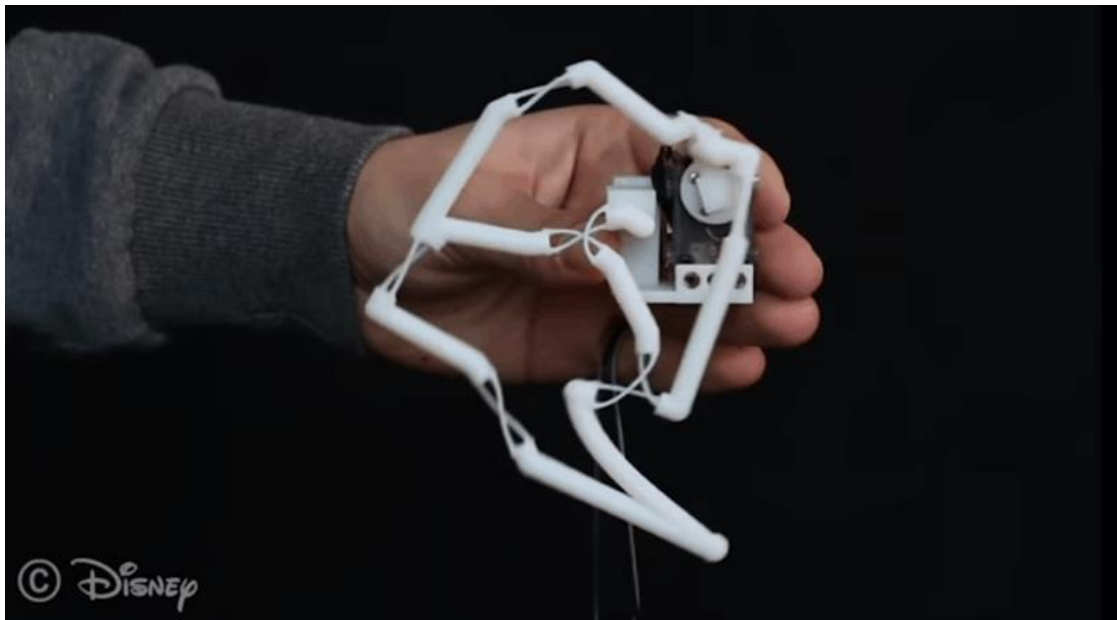


Adjustable Stiffness Mechanism



Adjustable Damping Mechanism

EXEMPLOS DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



PROJETO DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS

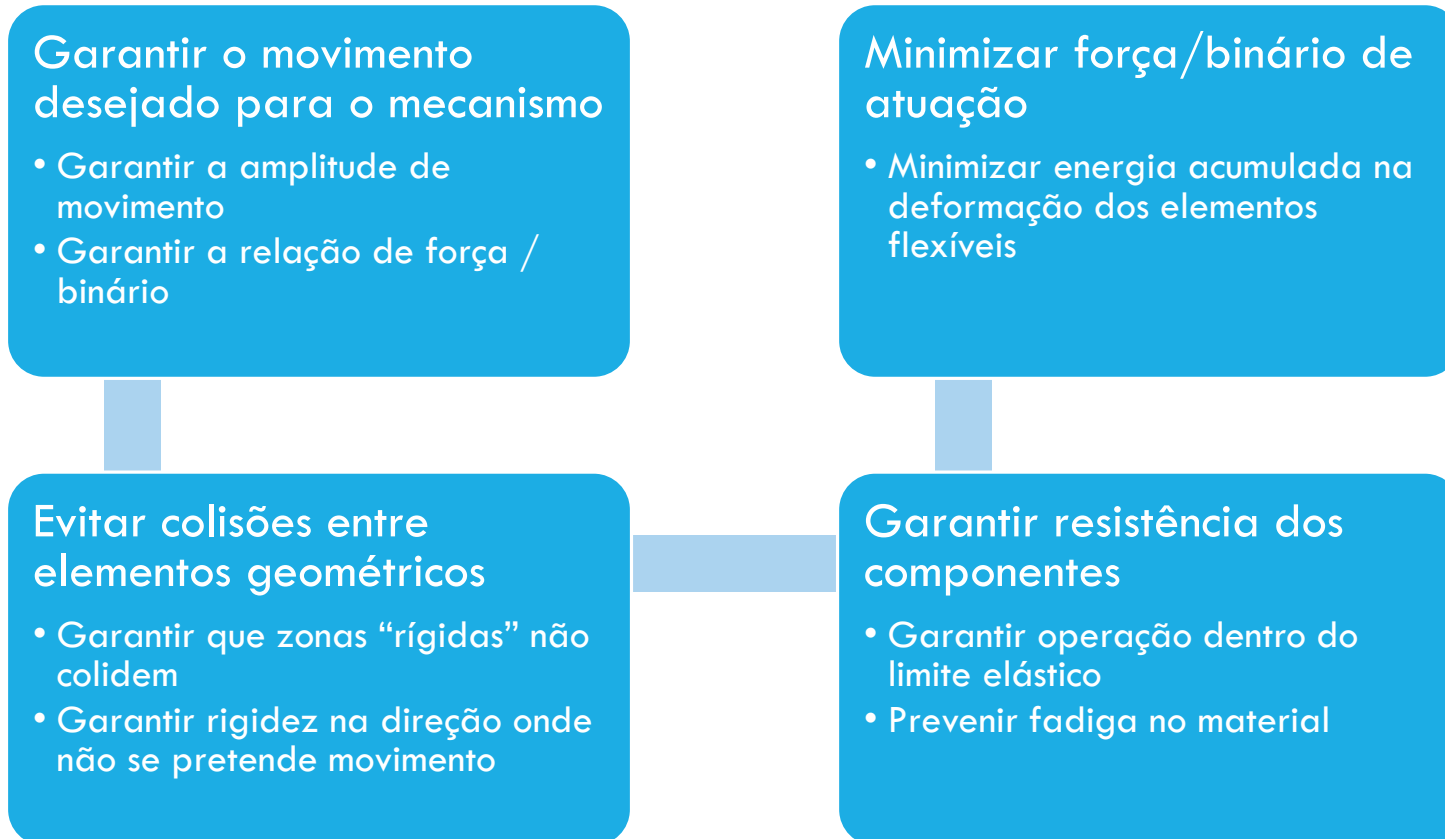
Modelo de corpos pseudo-rígidos

- Aproxima o mecanismo a um conjunto de corpos rígidos e traduz o movimento por uma analogia a juntas com rigidez (mola)

Otimização topológica

- Utiliza simulação computacional para calcular o comportamento de peças e determinar a utilização ótima de material para suportar esforços

PROJETO DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS

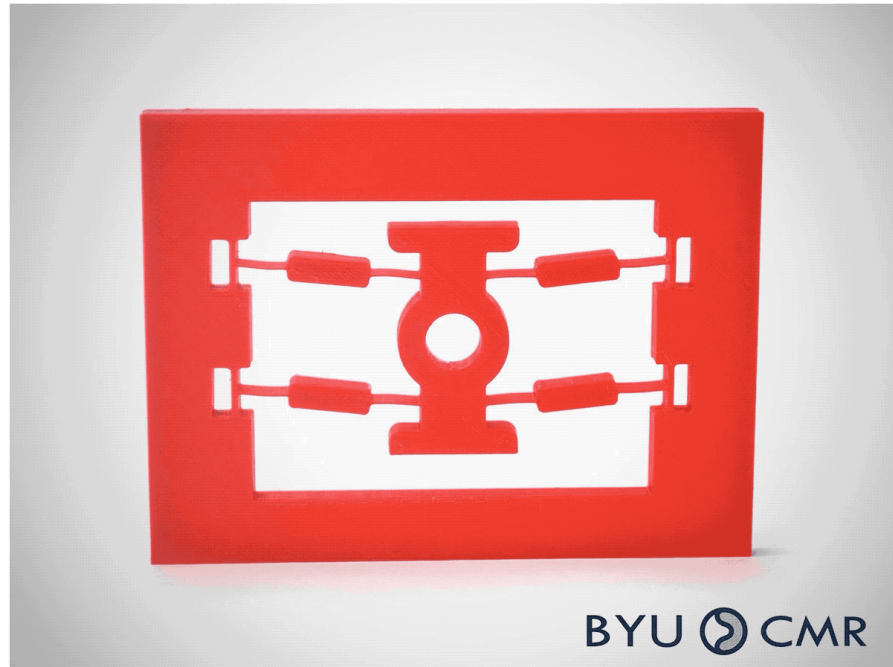


MECANISMOS CONFORMÁVEIS BI-ESTÁVEIS

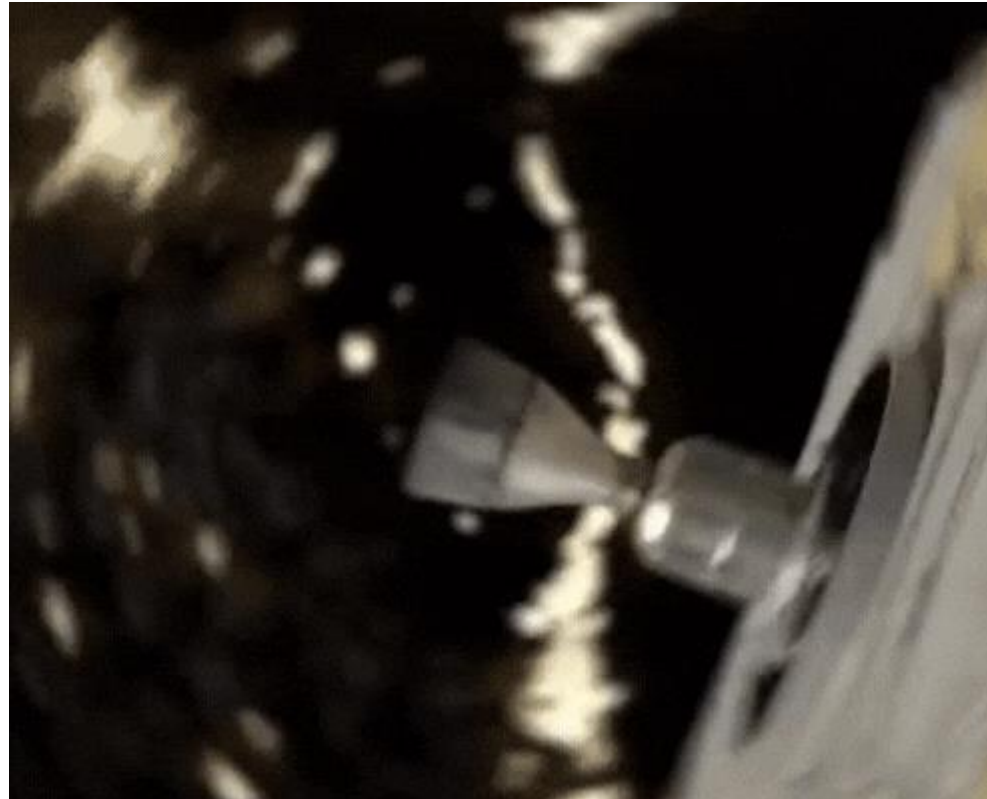
**Desenho do
mecanismo
permite duas
posições
estáveis**

- Input energético permite mudar de posição
- Mecanismo mantém múltiplas configurações, sem consumo de energia, e suportando pequenos distúrbios

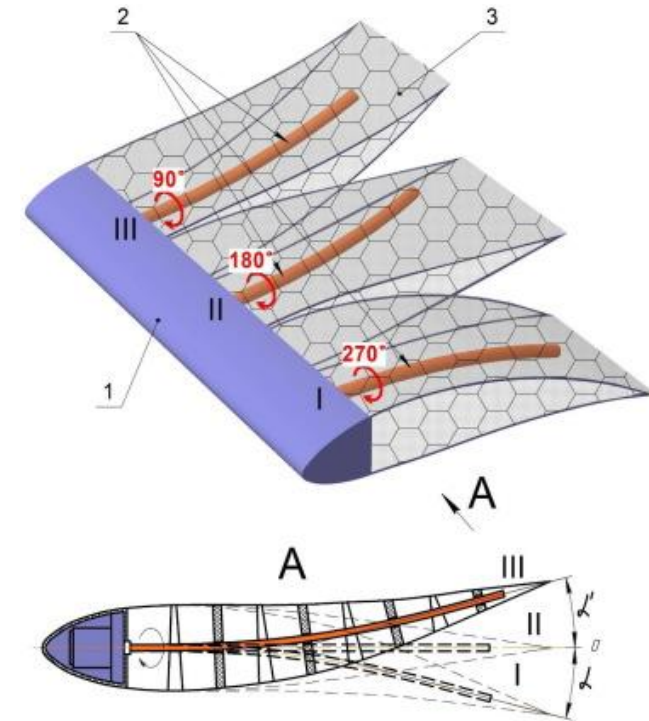
MECANISMOS CONFORMÁVEIS BI-ESTÁVEIS



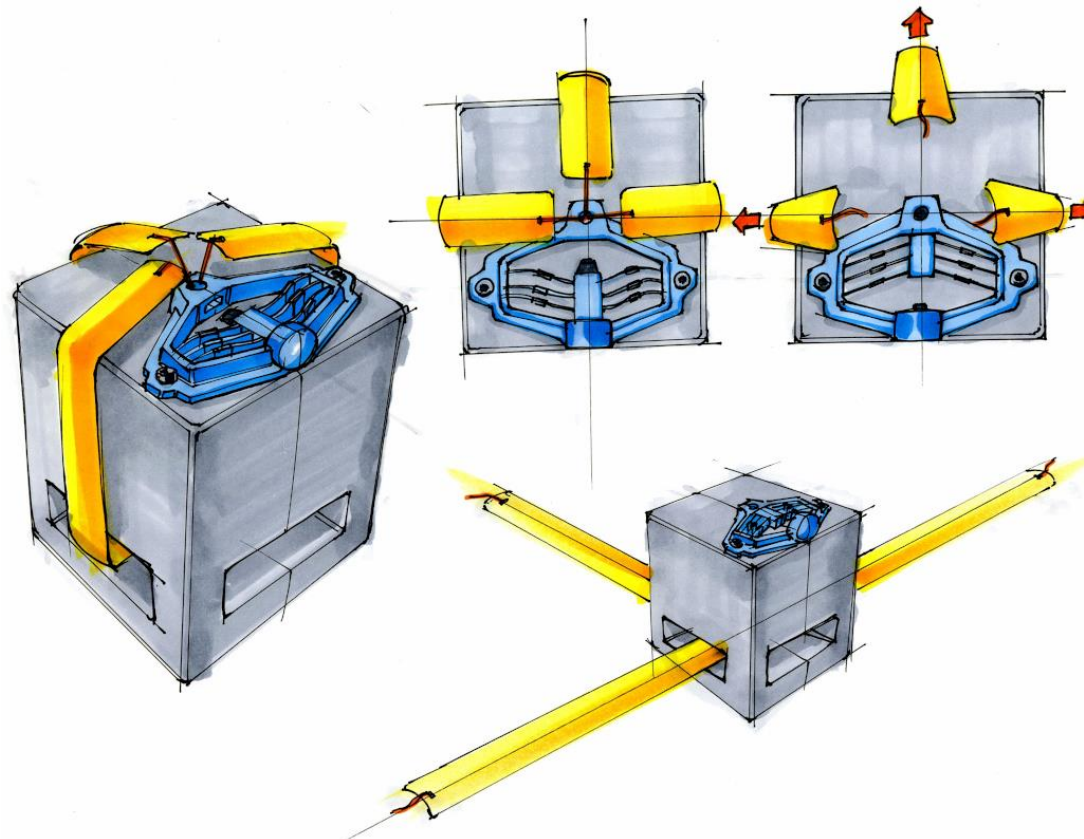
APLICAÇÕES DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



APLICAÇÕES DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS



APLICAÇÕES DE MECANISMOS CONFORMÁVEIS





universidade de aveiro
theoria poiesis praxis



ESTRUTURAS E MECANISMOS ORIGAMI

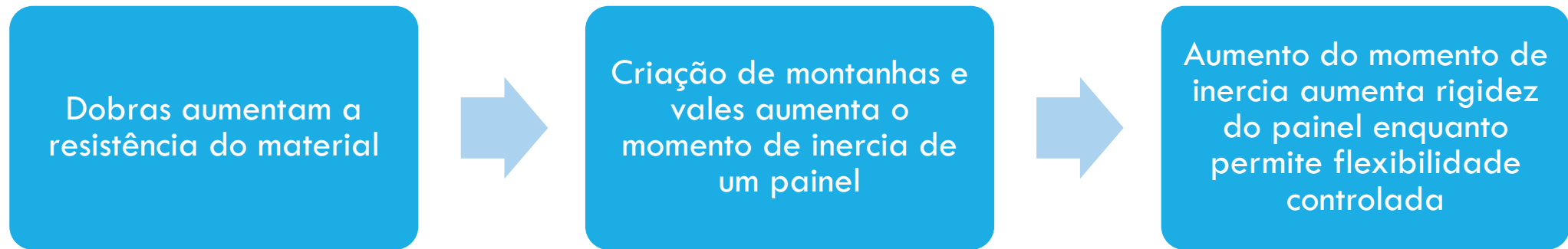
Engenharia de
origami

ESTRUTURAS DE CASCA DOBRADA



TESSELAÇÕES DE ORIGAMI

(ORIGAMI TESSELATION)

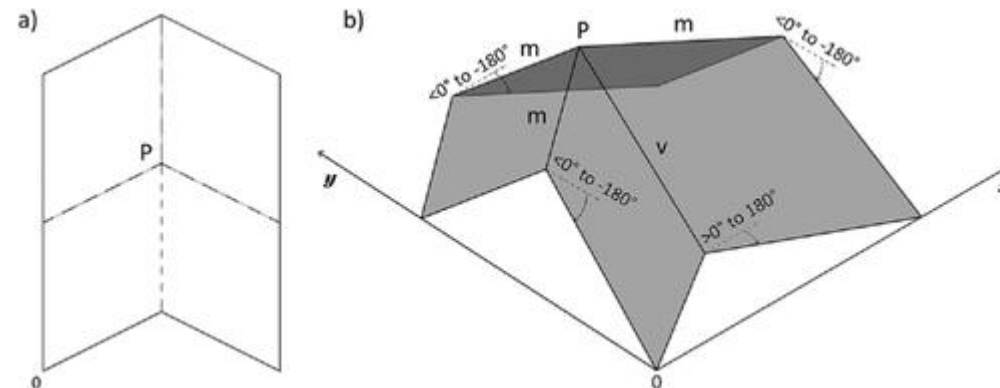


Dobras de painéis planos

- A soma dos ângulos alternados em torno de um vértice é de 180° (teorema de Kawasaki-Justin)
- Em cada vértice, o número de dobras entre montanhas e vales difere em 2 (teorema de Maekawa-Justin)

TESSELAÇÕES DE ORIGAMI

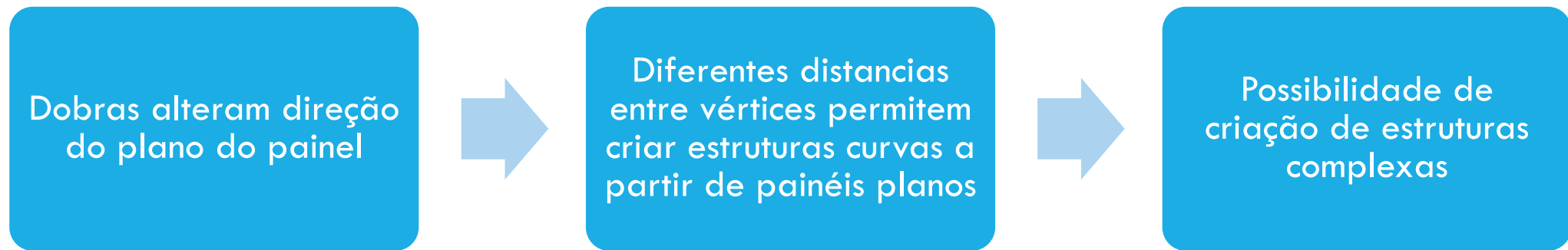
(ORIGAMI TESSELATION)



- a) padrão de dobra Miura-ori de vértice único. As dobras de montanha e vale são representadas como linhas contínuas e tracejadas, respetivamente; P é o único vértice de grau 4.
- b) configuração dobrada do padrão do vinco Miura-ori. m e v representam dobras de montanha e vale, respetivamente

TESSELAÇÕES DE ORIGAMI

(ORIGAMI TESSELATION)

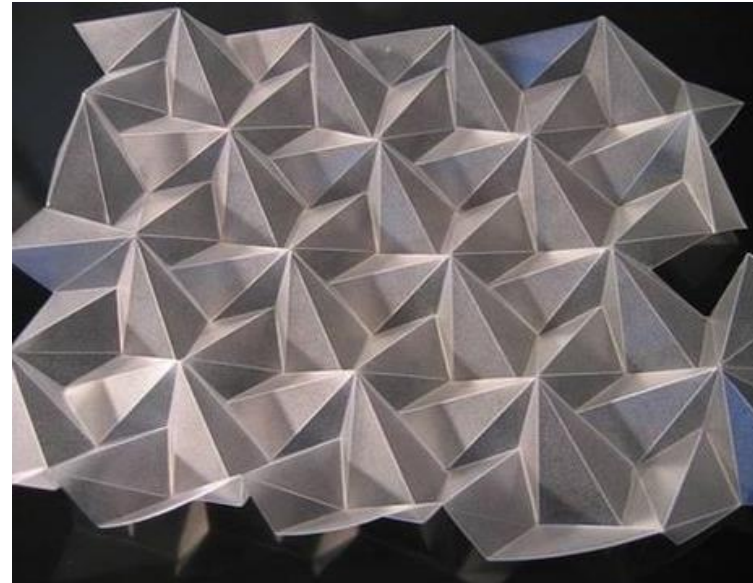
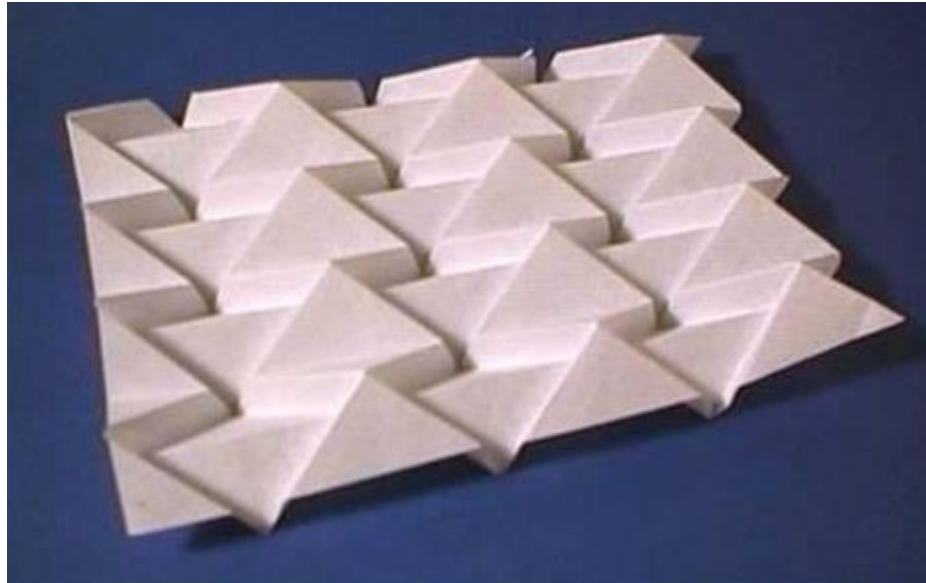


Geometria de painéis planos

- Plano médio do painel pode assumir uma forma global de geometria livre
- Dobras permitem expansão/contração local

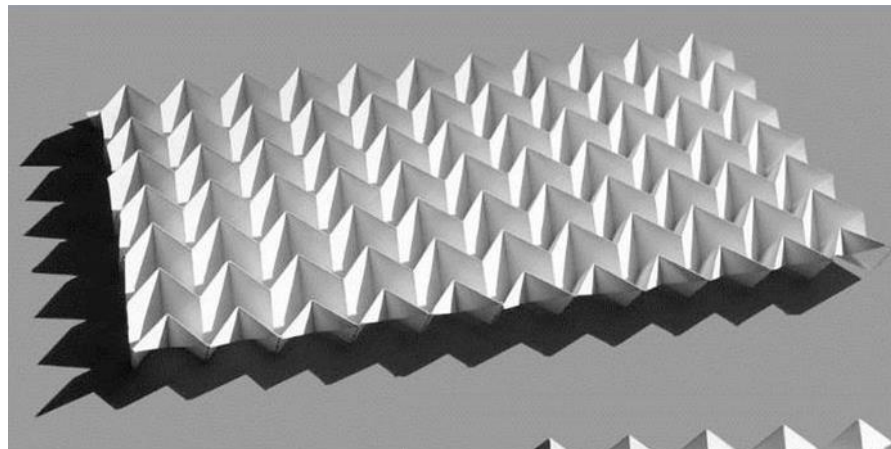
TESSELAÇÕES DE ORIGAMI

(ORIGAMI TESSELATION)

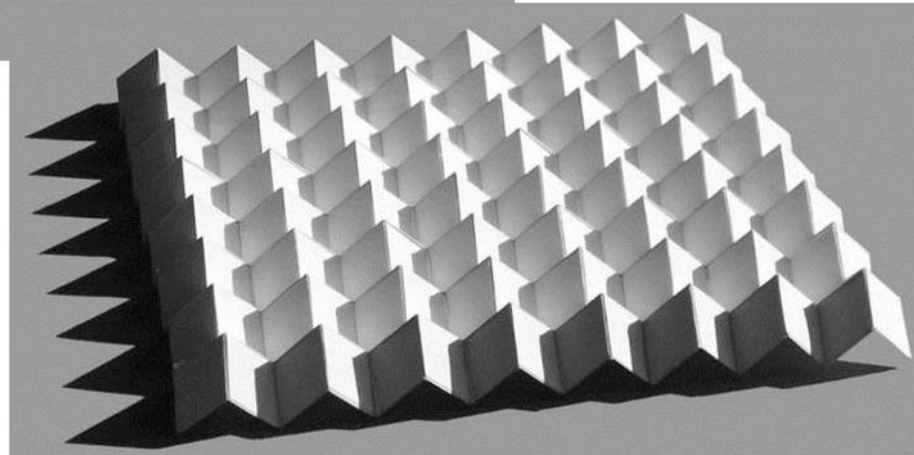


TESSELAÇÕES DE ORIGAMI

(ORIGAMI TESSELATION)



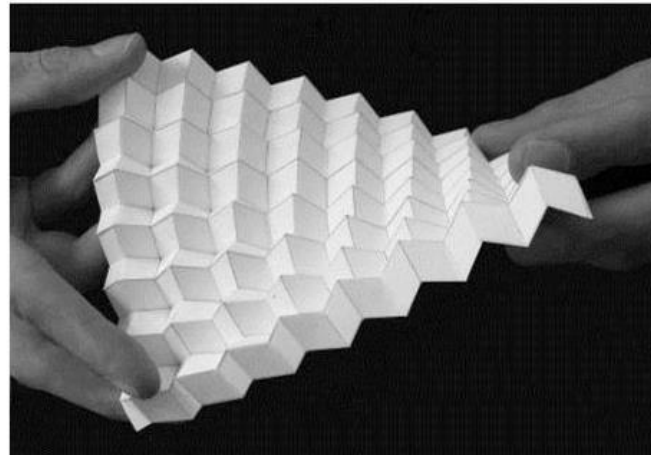
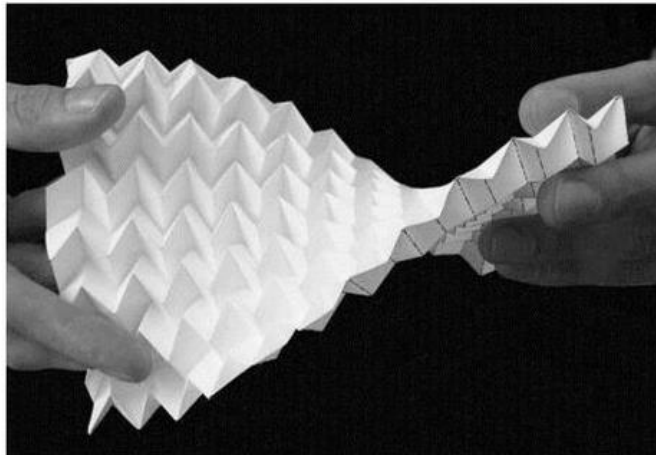
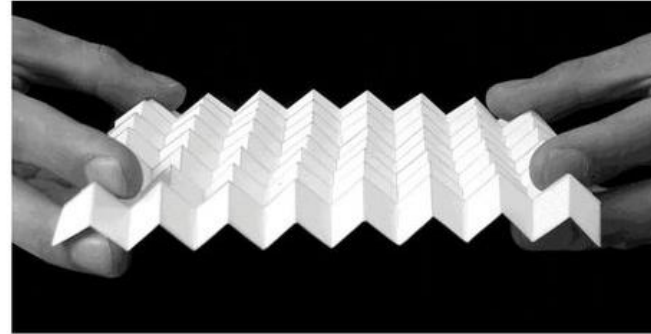
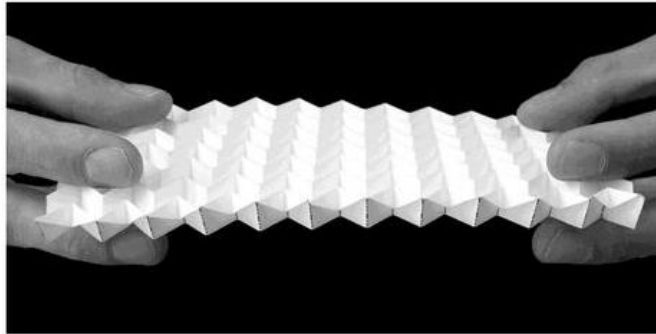
Miura sheet



Eggbox sheet

TESSELAÇÕES DE ORIGAMI

(ORIGAMI TESSELATION)



TESSELAÇÕES DE ORIGAMI

(ORIGAMI TESSELATION)

Painel com dobras rígidas permite criação de estruturas

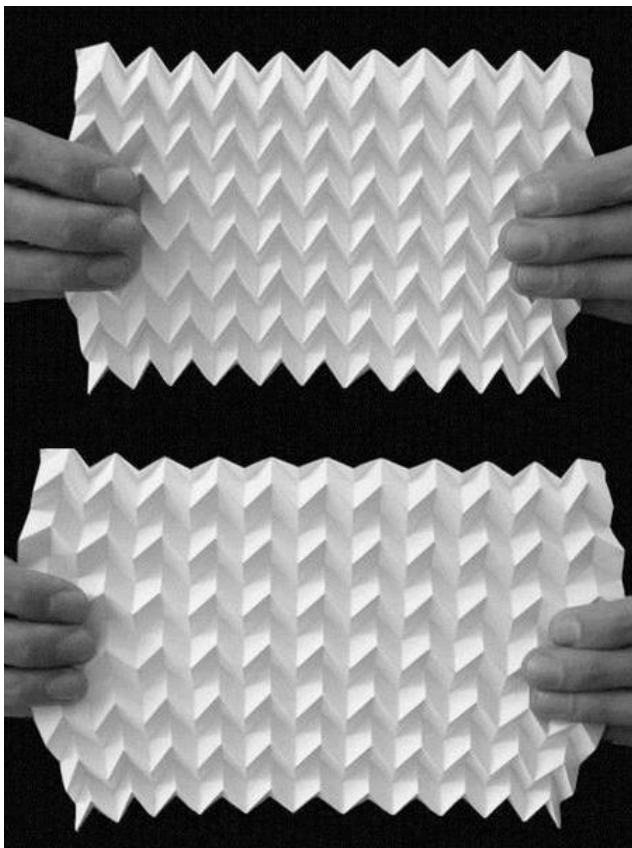
- Aplicações como núcleo de painéis sandwich

Painel com dobras flexíveis comporta-se como um mecanismo conformável

- Aplicações em estruturas reconfiguráveis ou adaptáveis

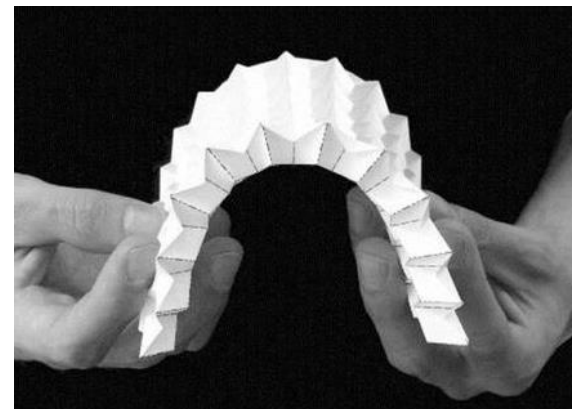
TESSELAÇÕES DE ORIGAMI — PAINEL DE MIURA

(ORIGAMI TESSELATION)



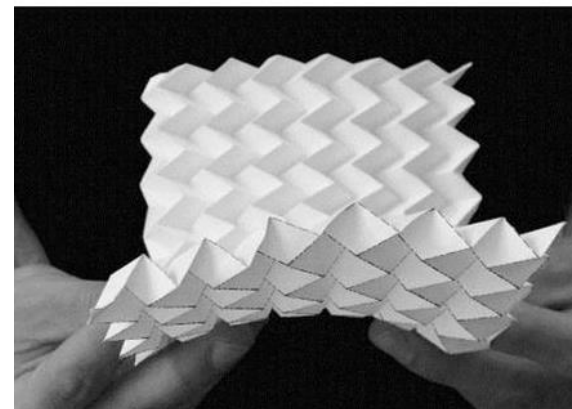
Expande em todas as direções quando sujeito a uma tração axial

Coeficiente de Poisson negativo



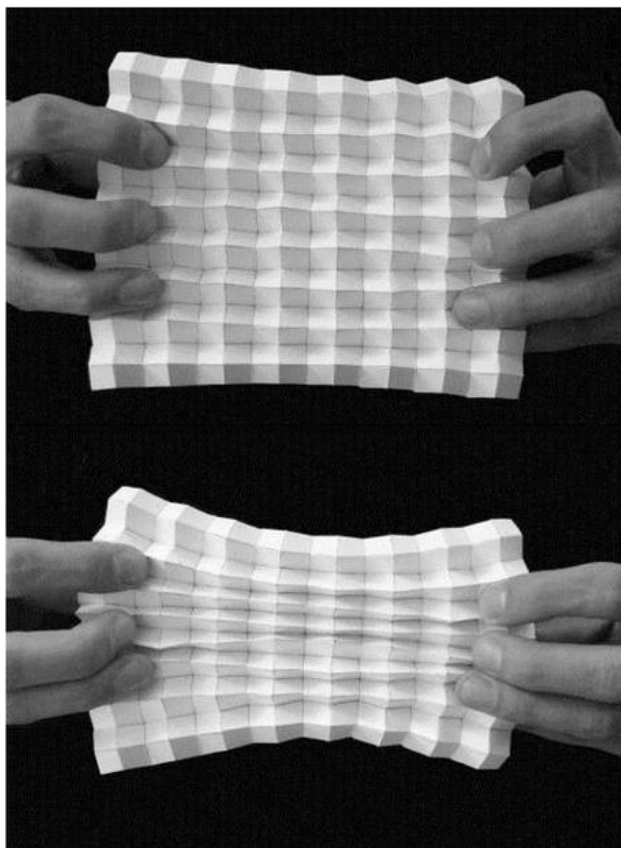
Comprime num sentido quando fletido no sentido oposto

Coeficiente de Poisson positivo



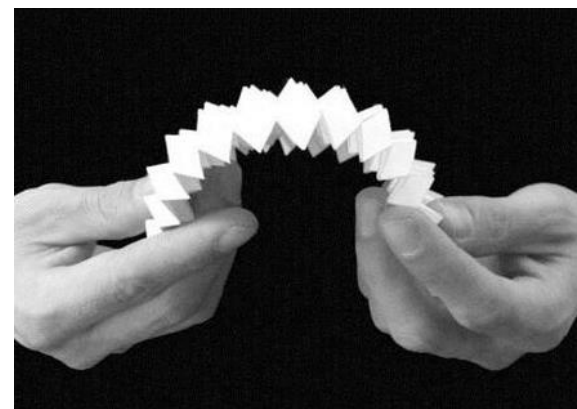
TESSELAÇÕES DE ORIGAMI — PAINEL DE CAIXA DE OVOS

(ORIGAMI TESSELATION)



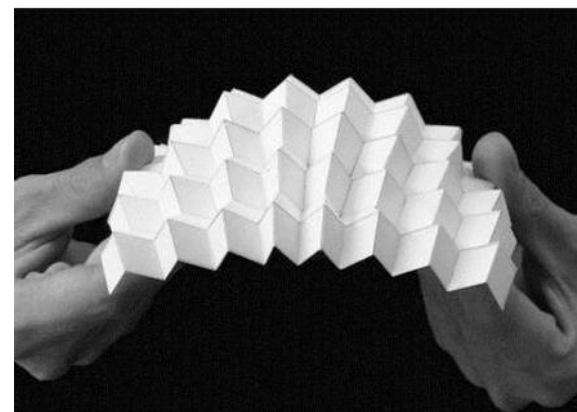
Comprime na
direção oposta a
uma axial

Coeficiente de
Poisson positivo



Expande num
sentido quando
fletido no sentido
oposto

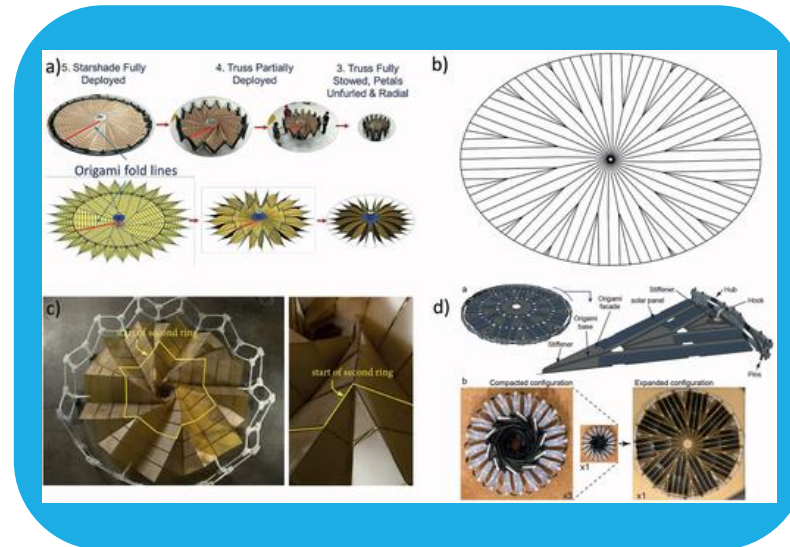
Coeficiente de
Poisson negativo



APLICAÇÕES DE ORIGAMI



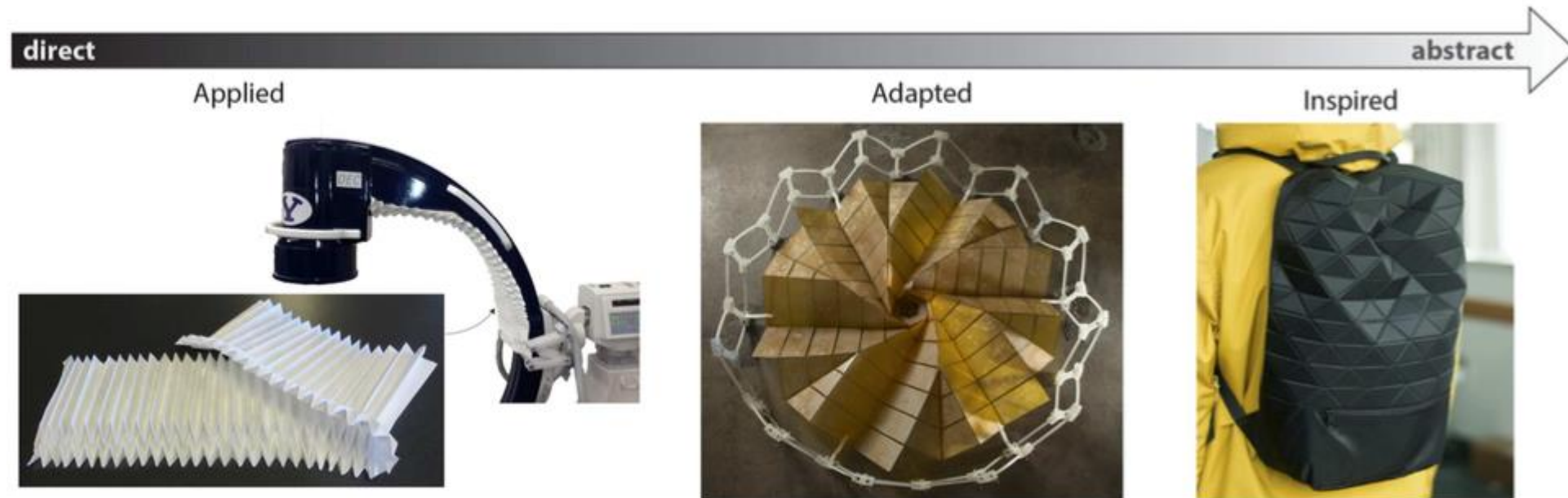
Aplicações como
mecanismos conformáveis



Aplicações como
estruturas reconfiguráveis
ou adaptáveis

APLICAÇÕES DE ORIGAMI EM DESIGN E ENGENHARIA

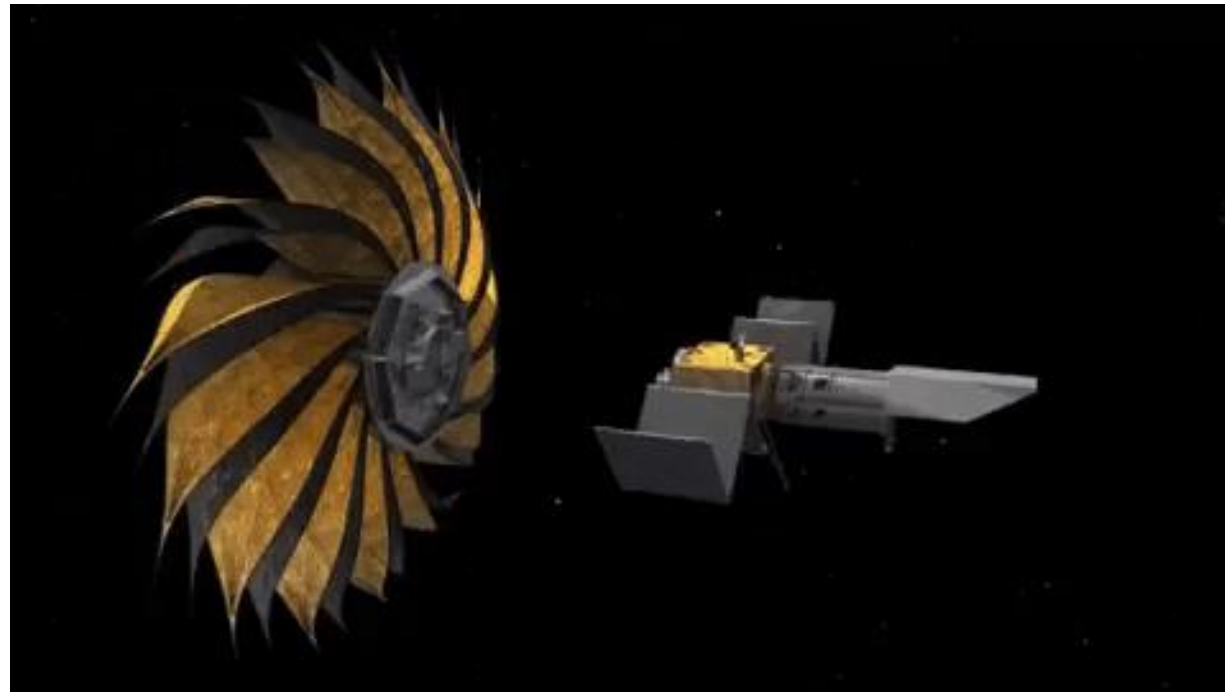
Fidelity Continuum of Origami-Based Design



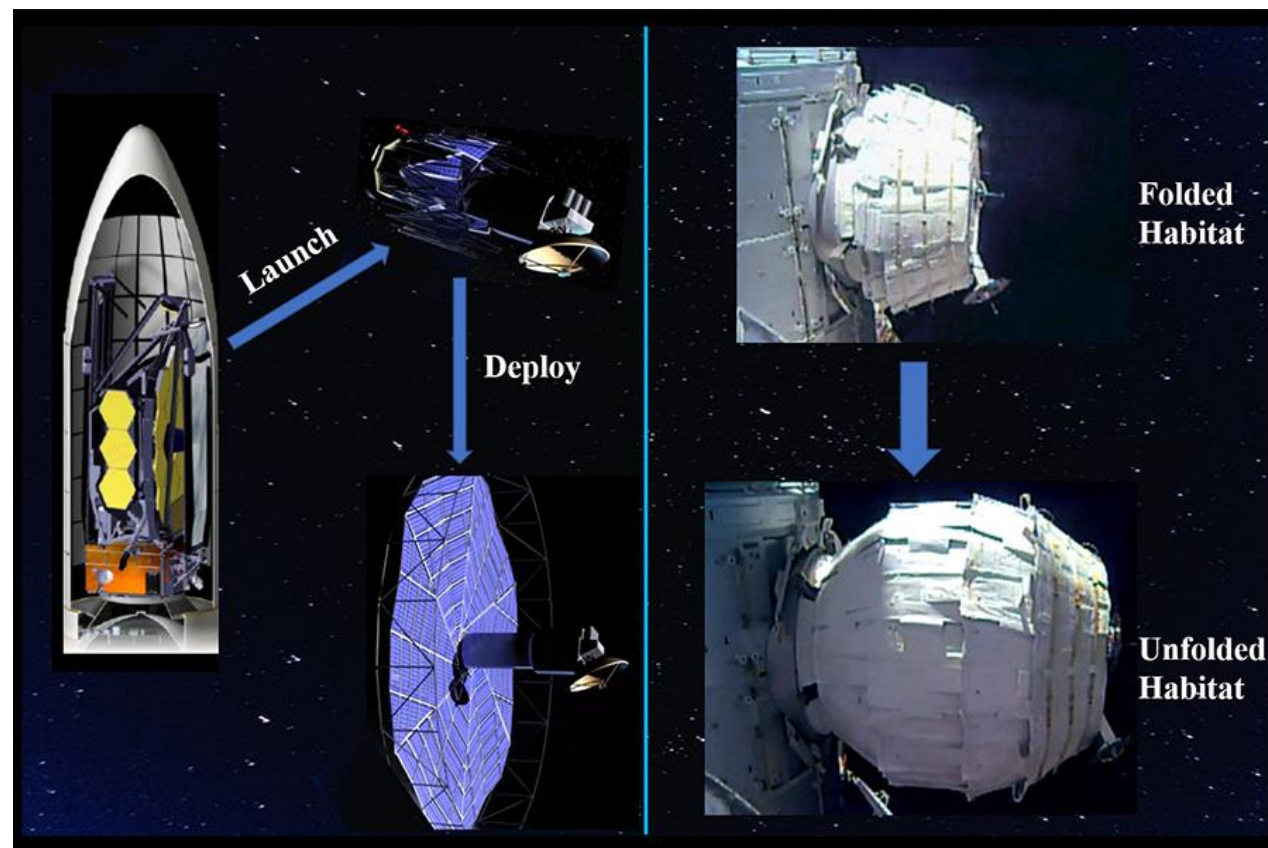
APLICAÇÕES DE ORIGAMI EM AEROESPACIAL



APLICAÇÕES DE ORIGAMI EM AEROESPACIAL



APLICAÇÕES DE ORIGAMI EM AEROESPACIAL



APLICAÇÕES DE ORIGAMI EM AEROESPACIAL

