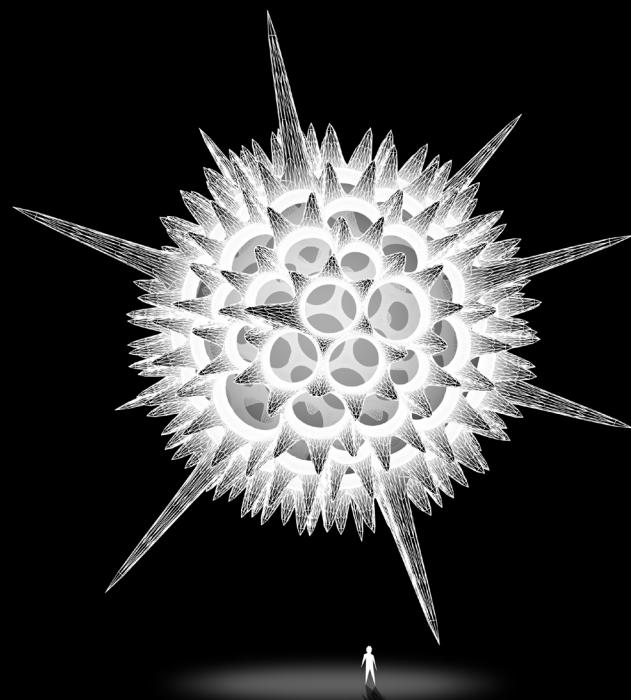


# DESIGN COMPUTACIONAL ESTRATÉGIAS



Daniel Locatelli

v1.1.0

# Sumário

Introdução .....	3
Design Computacional.....	5
Sobre este eBook.....	7
Estratégias .....	8
Agregação por Difusão Limitada .....	9
Atratores .....	11
Agrupamento de Círculos .....	13
Autómato Celular.....	15
Catenárias {Arcos e Cascas} .....	17
Colméia .....	19
Crescimento Diferencial.....	21
Diagrama de Voronoi .....	23
Domo Geodésico .....	25
Elementos Discretos .....	27
Estruturas Recíprocas.....	29
Estruturas Reticuladas.....	31
Filme de Sabão {Superfície Mínima}.....	33
Infláveis .....	35
L-System.....	37
Metaball .....	39
Minimized Detour Networks .....	41
Minimal Path Networks.....	43
Nervura de Folhas .....	45
Origami .....	47
Phyllotaxis.....	49
Relaxamento Dinâmico .....	51
Ruído .....	53
Skeletal Mesh.....	55
Stress Lines .....	57
Sistema Baseado em Agentes.....	59
Tecelagem .....	61
Waffle .....	63
Zonohedral Dome .....	65
Análise Estrutural.....	67
Análise Ambiental .....	69
Conclusão .....	71

“Making the world’s available resources serve one hundred percent of an exploding population can only be accomplished by a boldly accelerated design revolution”.

*Buckminster Fuller*

# Introdução

Antigamente um projeto de arquitetura dependia de desenhos individuais e desconectados feitos à mão. Com o surgimento dos computadores e das plataformas CAD a partir da década de 60, o que houve foi simplesmente a digitalização de um processo ainda muito artesanal. Ou seja, o arquiteto ao invés de desenhar com papel e nanquim, agora fazia o mesmo processo com o mouse e o teclado. Ele não se apropriou do real potencial dessas novas tecnologias.

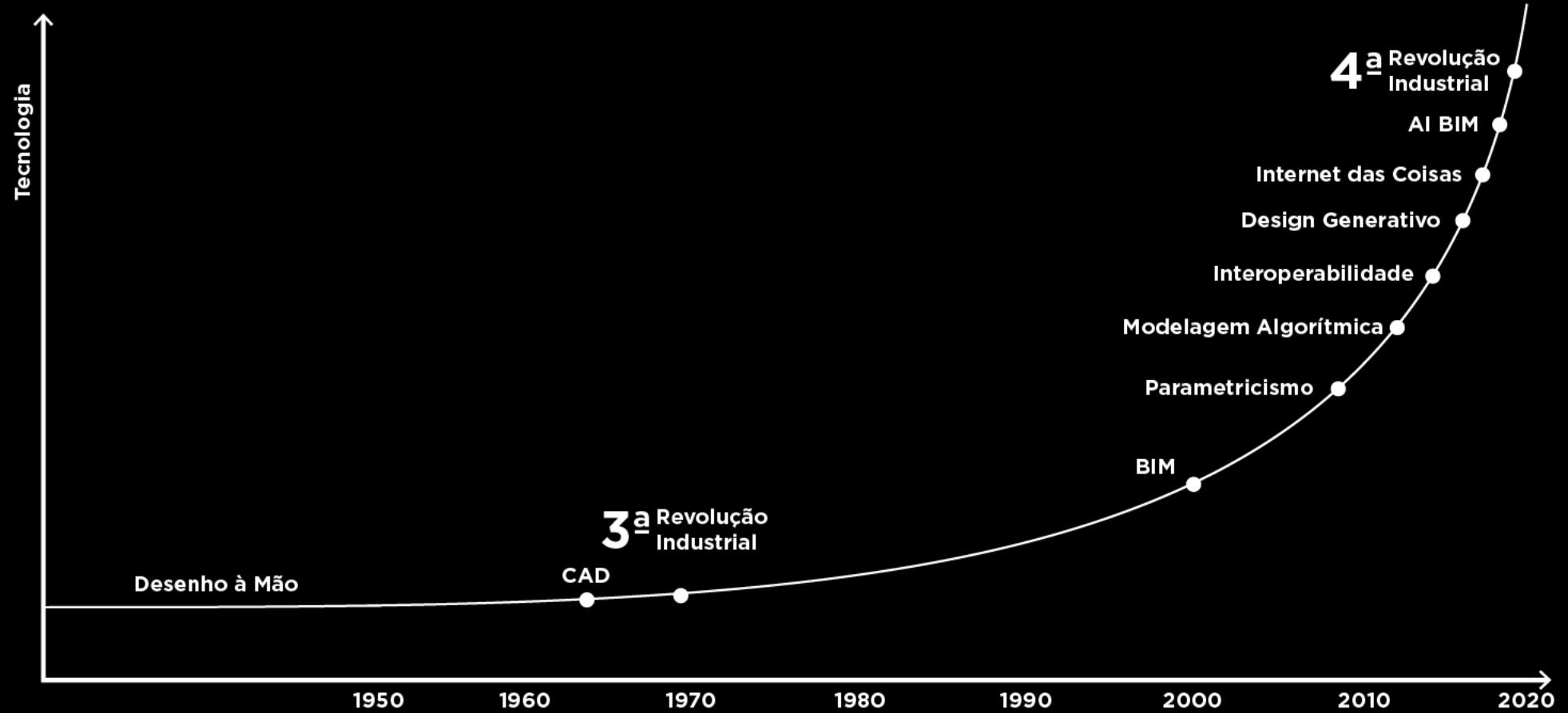
Ferramentas como o AutoCAD não permitem uma colaboração efetiva entre arquitetos, engenheiros e especialistas. Cada desenho é independente, o que gera diversas inconsistências no projeto.

Com a popularização da Modelagem de Informações para Construção (BIM), especialmente os softwares ArchiCAD e Revit a questão da colaboração e organização de dados de um projeto começou a ser finalmente resolvida. Agora, ao representar uma parede o arquiteto não faz somente duas linhas paralelas como era feito no papel ou no AutoCAD.

No BIM uma parede é um elemento tridimensional com propriedades compartilhadas entre todos os envolvidos, facilitando por exemplo o cálculo estrutural, levantamento do quantitativo de tijolos e tinta necessários para a construção.

Apesar de trazer diversos benefícios, as ferramentas BIM não representam de fato uma renovação no processo de projeto e construção. Assim como o CAD digitalizou o desenho à mão, o BIM digitalizou e otimizou o processo artesanal de construção.

A metodologia artesanal de construção tijolo-por-tijolo, está sendo substituída gradualmente por processos automatizados. A crise climática e habitacional são grandes catalizadores dessa transformação. A questão não é se esse método vigente vai acabar, mas sim quando. Como consequência, será importante o desenvolvimento de novas práticas de projeto que usem os recursos de forma racional, e que ao mesmo tempo acelere a produção para suprir a crescente demanda por novos edifícios.



# Design Computacional

Arquitetura paramétrica, arquitetura algorítmica e design computacional. Se você não sabe o que esses termos significam, fique tranquilo! São termos extremamente novos e ainda não há um consenso universal sobre suas definições.

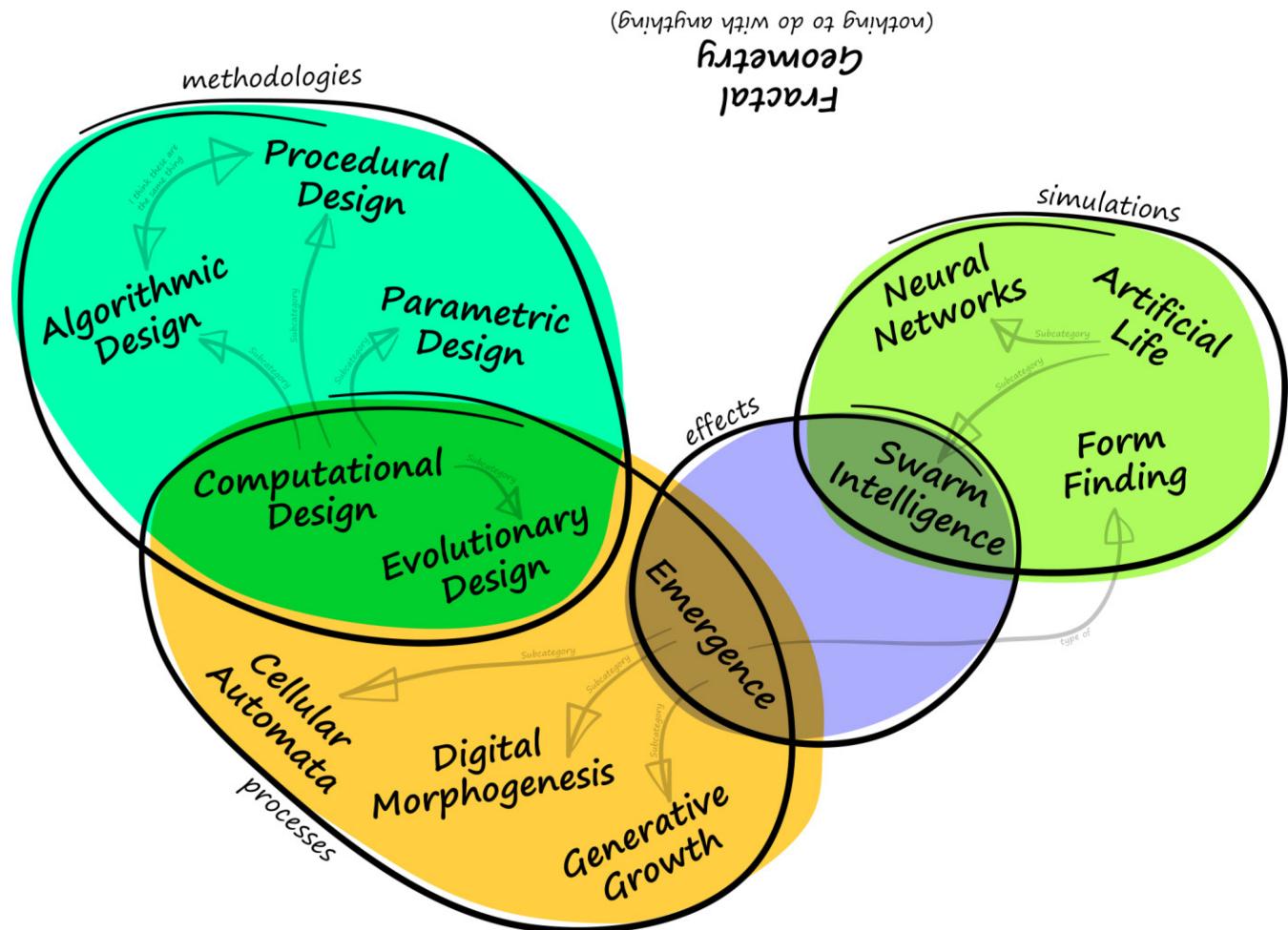
Design computacional é o processo em que o designer ou o arquiteto utiliza o real poder do computador. De forma resumida, ao invés de desenvolver um produto, ou um projeto de arquitetura de maneira tradicional ele o programa.

No entanto, arquitetos e designers não são treinados para serem programadores, as escolas focam principalmente em aperfeiçoar a inteligência criativa, crítica e espacial.

Foi pensando nesse público que David Rutten desenvolveu o Grasshopper® um plugin para o software Rhinoceros®. O grasshopper é uma plataforma de programação visual no qual o designer desenvolve programas simplesmente conectando blocos de códigos, sem precisar aprender linguagens textuais como Python ou C#.

Existem diversos benefícios ao desenvolver um projeto através de programação, é possível integrar dados estruturais, ambientais, normas e leis em um mesmo algoritmo. Pode-se, por exemplo, realizar o cálculo estrutural de um edifício e com base nos resultados gerar automaticamente uma versão otimizada do projeto, tudo isso dentro do mesmo programa e de forma dinâmica. O design computacional tem o poder de integrar as diversas disciplinas que envolvem a arquitetura e o design, desde o projeto até a construção. O computador passa a ser usado como um cérebro eletrônico ao invés de apenas mãos eletrônicas.

De início a ideia de aprender a programar pode até assustar, mas assim como as gerações anteriores precisaram aprender a usar o teclado em cursos de datilografia, a geração atual terá que aprender a programar para conseguir acompanhar as novas tecnologias. Ou no mínimo entender o potencial dessas novas tecnologias de maneira a conseguir dialogar e coordenar equipes.



©David Rutten

Mapa mental de David Rutten, criador do Grasshopper, em uma tentativa de identificar e conectar vários termos.

# Sobre este eBook

Quando comecei a desenvolver workshops sobre arquitetura, biomimética e design computacional, eu pesquisei a fundo o que há de mais recente nessas áreas. Para minha surpresa não encontrei nada parecido com este eBook. As informações existentes estão dispersas em diferentes livros e pela internet em fóruns, vídeos e artigos sem uma coesão.

Desenvolvi esse conteúdo pensando “O que eu gostaria que tivessem me ensinado quando estava começando?” Logo percebi que o que falta não é conteúdo técnico, mas sim esclarecimento sobre o que pode ser feito, sobre o potencial dessa nova forma de projetar.

## Como ler este eBook

Neste pdf todas as imagens são clicáveis com links externos que direcionam para o site original dos autores das obras. Embaixo de cada imagem está o nome do autor e este nome também é clicável e sempre que possível direciona para o site do fotógrafo ou artista da imagem.

Os projetos que seguem após cada estratégia podem não ter sido desenvolvidos usando o processo computacional mencionado. Essa foi uma leitura pessoal.

Agradeço aos autores que disponibilizaram as imagens. Caso algum autor não esteja de acordo com a forma como as imagens são exibidas, entre em contato que as alterações serão feitas imediatamente.

Também agradeço aos meus amigos e colegas de profissão pelas conversas interessantíssimas sem as quais eu jamais teria chegado a produzir este conteúdo.

Este eBook é gratuito e com cunho educacional.

Todos os créditos aos autores e artistas.

# Estratégias

Uma das grandes vantagens do Grasshopper é sua imensa comunidade. O [fórum antigo](#), que agora migrou para o [fórum do Rhino](#), é repleto de discussões superinteressantes. A dúvida que você tem provavelmente já foi respondida e está disponível em um desses fóruns.

Mas ao começar a estudar design computacional é fácil se perder no mar de informações disponíveis, o desafio então não é sobre encontrar as respostas, essa é a parte fácil. O grande desafio é saber quais são as perguntas e como pesquisar em inglês para encontrar o que você precisa.

Da mesma maneira que um estudante de arquitetura no primeiro ano começa a identificar elementos arquitetônicos como platibandas, arcos e beirais, após algum tempo estudando design computacional algumas soluções e algoritmos começam a se repetir. Ao analisar um projeto que usou design computacional como metodologia, é possível identificar qual foi a lógica utilizada durante seu desenvolvimento. Eu chamo essa lógica de estratégia.

Apresento neste eBook 31 estratégias que me deparei ao longo destes 5 anos desde que iniciei meus estudos nessa área tão interessante! Deixo claro, no entanto, que durante essa produção me lembrei de várias outras estratégias que terei que deixar para uma segunda edição.

Todos que começam a estudar design computacional aprendem de uma forma ou de outra este compilado de informações. Alguns montam bibliotecas de links e arquivos, outros simplesmente guardam na cabeça. Mas são informações que todos aprendem após muitos anos de pesquisa.



## AGREGAÇÃO POR DIFUSÃO LIMITADA

DIFFUSION-LIMITED AGGREGATION, DENDRITIC GROWTH

### Descrição

Processo que simula sistemas encontrados na natureza, como deposições minerais ou de cristais. Gera padrões similares aos produzidos usando Nervuras de Folhas e já foi aplicado no estudo de cidades em expansões urbanas.

### Apps

Fractals ↗

### Referências

Diffusion Limited Aggregation [GH↗](#)

More DLA [GH↗](#)

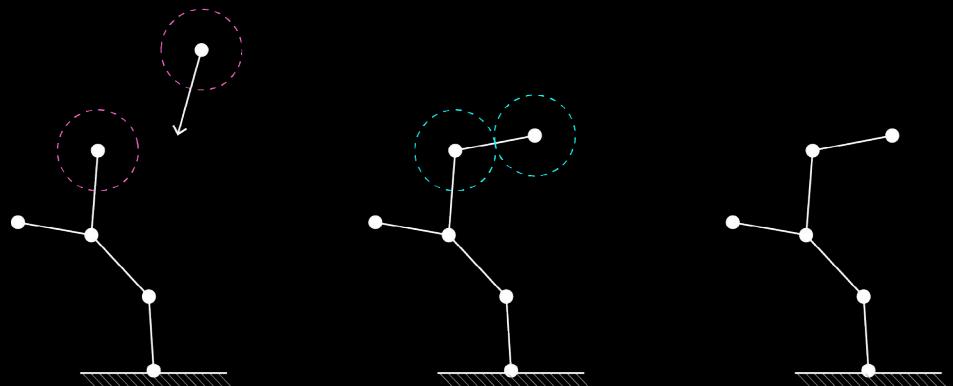
Agregação por difusão limitada [WIKIPÉDIA↗](#)

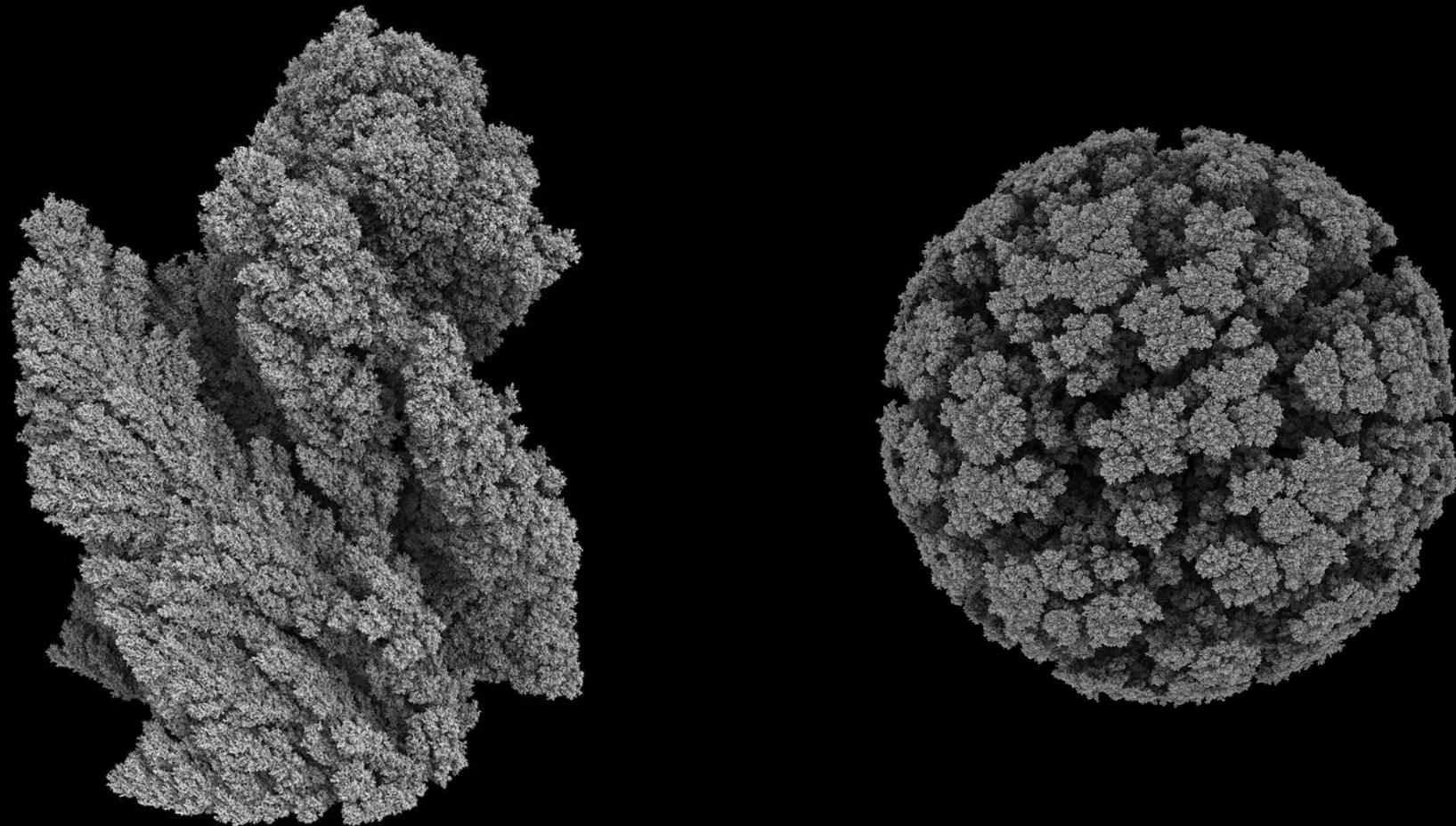
Diffusion-Limited Aggregation [WIKIPÉDIA↗](#)

Dendrite (crystal) [WIKIPÉDIA↗](#)

Diffusion-limited aggregation (Witten and Sander, 1981) ↗

Digital Cities: A Digital Breeder for Designing Cities [AD↗](#)





©Andy Lomas  
Série de estudos de Andy Lomas "Aggregation: Complexity out of Simplicity"



# ATRATORES

## ATTRACTORS

### Descrição

É uma forma de controlar as propriedades de uma matriz geométrica usando como controle um ponto ou uma curva. Tem diversas finalidades, entre elas a variação gradual na abertura de elementos em uma fachada, ou no desenho de planta baixa para paisagismo.

### Apps

Componentes nativos

Nudibranch

Attráctor

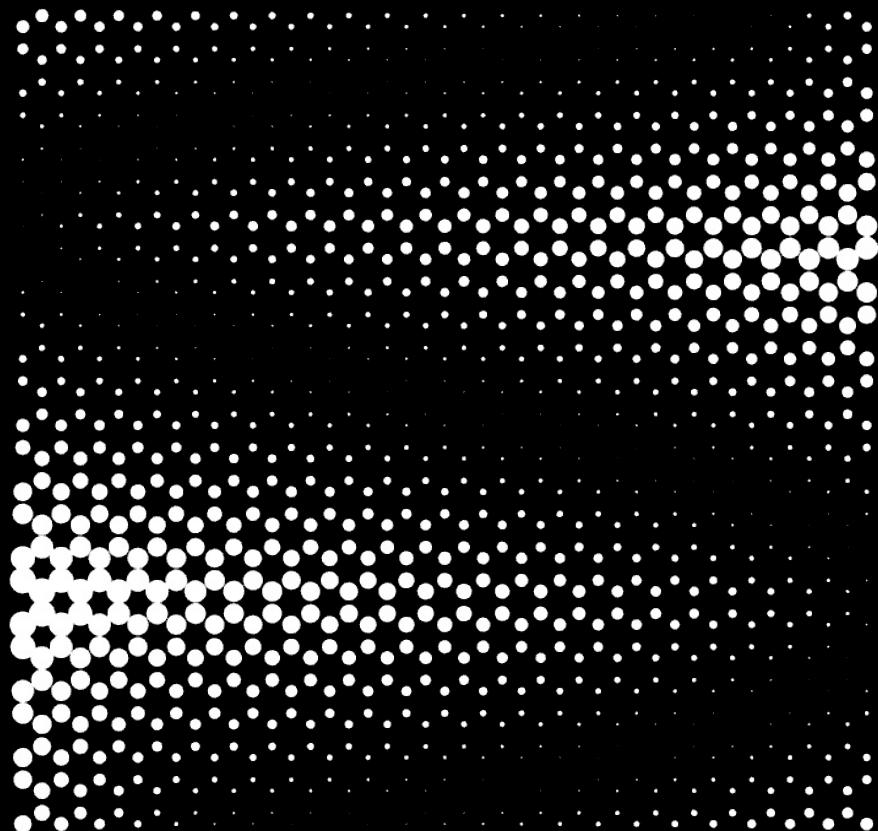
### Referências

Basic Attractor Point Question

Multiple attractor points in a circles grid

Attractor

Attractors in Architecture





©Edmon Leong  
Hanjie Wanda Square projeto do UNSTUDIO. Wuhan, China.



## AGRUPAMENTO DE CÍRCULOS

### CIRCLE PACKING

#### Descrição

O agrupamento de círculos em uma superfície possui diversas finalidades. Ele pode ser usado para distribuir objetos igualmente espaçados, para a reorganização de um network, ou simplesmente para trabalhos gráficos, já que é visualmente agradável.

#### Apps

Kangaroo Physics [↗](#)

#### Referências

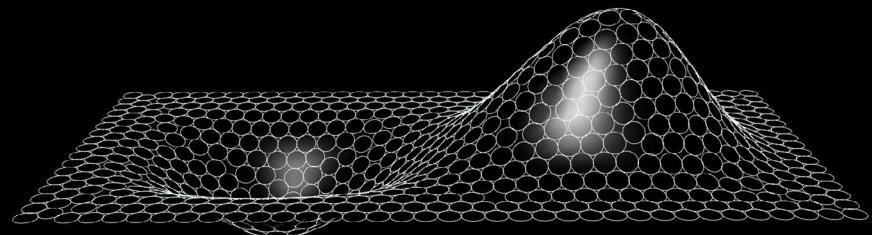
Circle packing definition [GHE↗](#)

Circle packing | Fixed radius and number of circles [GHE↗](#)

Circle packing based on image sampling [GHE↗](#)

Circle Packing in Enclosed Boundary [GHE↗](#)

Circle Packing [WIKIPÉDIA↗](#)





©Michele Leidi, Dominik Zausinger, Min-Chieh Chen, Tom Pawlofsky  
Packed Pavilion, projeto final de mestrado na ETH Zurich feito com papelão. Shanghai, China.



# AUTÓMATO CELULAR

CELLULAR AUTOMATA

## Descrição

Trata-se de um programa que, a partir de regras simples consegue gerar um enorme nível de complexidade. Tem sido usado para estudar o crescimento de cidades e expansão urbana. Porém, na arquitetura e no paisagismo o seu uso ainda é muito especulativo, sem uma aplicação em projetos comerciais.

## Apps

Componentes customizados

Rabbit [↗](#)

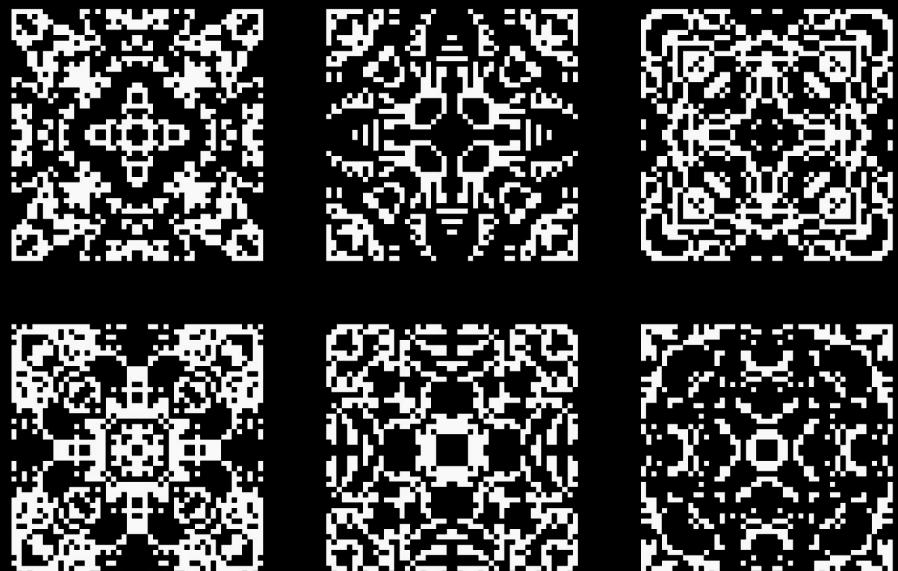
Bee [↗](#)

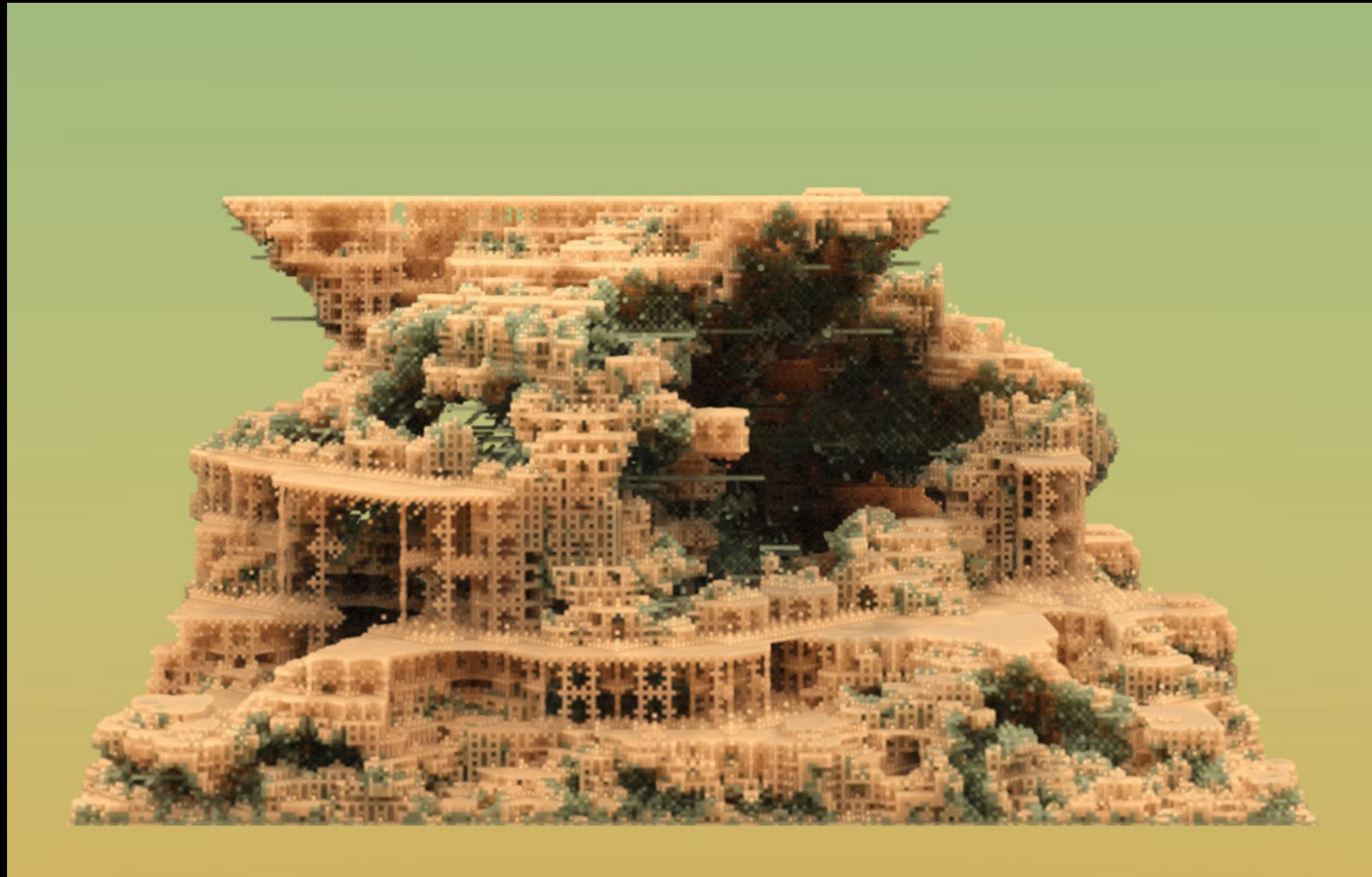
## Referências

2-state Cellular Automaton in Python [Digital \[Sub\]stance](#) ↗

Cellular automaton [WIKIPEDIA](#) ↗

Wolfram, Universality and Complexity in Cellular Automata [↗](#)





©R4\_Unit

Voxel Automata Terrain é um gerador de terrenos voxelizados desenvolvido em processing.



## CATENÁRIAS {ARCOS E CASCAS}

CATENARY {ARCS AND SHELLS}

### Descrição

A forma produzida naturalmente ao segurar uma corrente pelas suas duas pontas é chamada de curva catenária. Ela possui propriedades estruturais otimizadas, já que é a reação natural dos esforços da gravidade. Muitos arquitetos já exploraram suas aplicações em arcos e cascas, como Antoni Gaudí e Frei Otto.

### Apps

Componente nativo

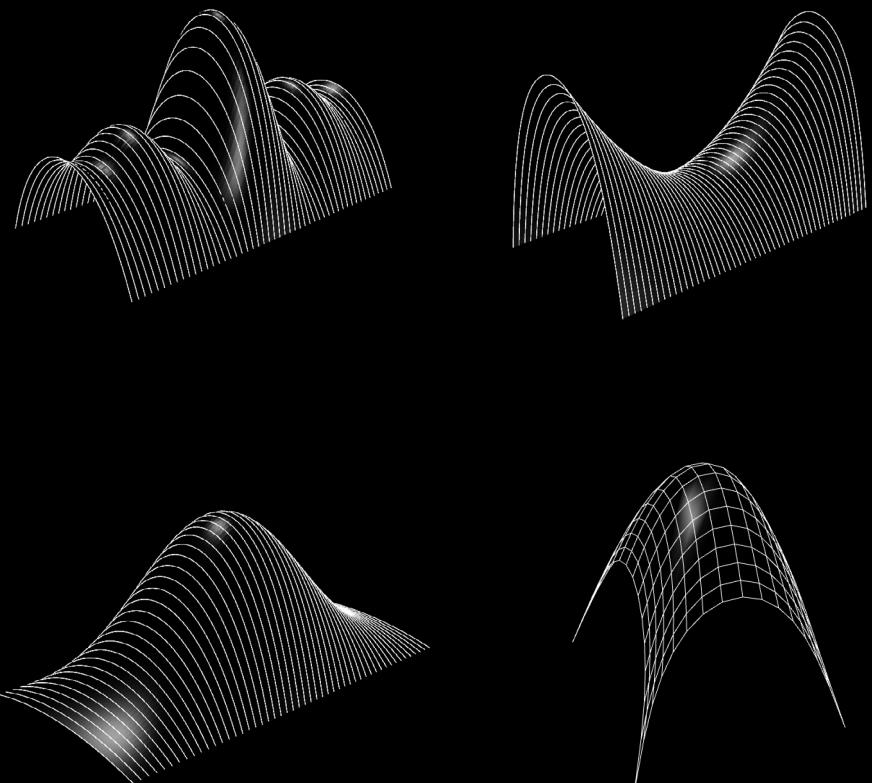
 [Catenary](#) ↗

[Kangaroo Physics](#) ↗

[Rhino Vault](#) ↗

### Referências

[Catenary](#) [WIKIPEDIA](#) ↗





©Cesar Bejar

Templo LUUM desenvolvido pelo CO-LAB é composto por uma série de arcos catenários feitos com bambu. Tulum no México.



## COLMÉIA

HONEYCOMB

### Descrição

Estruturas em formato hexagonal estão presentes em diversas partes da natureza, podem ser encontradas nas colmeias de abelha, nos olhos de insetos ou nas células de plantas. É uma forma otimizada de ocupação espacial.

### Apps

Lunchbox

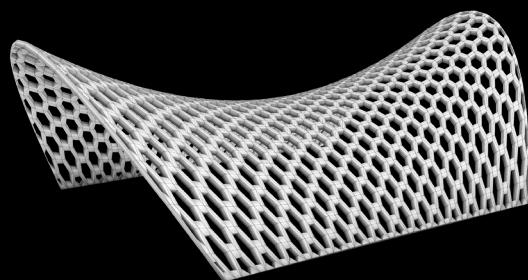
### Referências

Honeycomb structure 3d

Planar hexagons kangaroo

Planar hexagonal grasshopper

On Growth and Form: D'Arcy Wentworth Thompson





©Tyrone Branigan  
CBA Unplugged é um espaço de trabalho flexível desenvolvido por EGO Design Group.



## CRESCIMENTO DIFERENCIAL

### DIFERENTIAL GROWTH

#### Descrição

Esse processo natural se refere ao crescimento de superfícies ou volumes no qual partes diferentes crescem com taxas diferentes. Acontece em flores, folhas, tecidos e órgãos. Vem sendo explorado no desenvolvimento de formas para design de produtos, mas ainda há poucas explorações arquitetônicas conhecidas.

#### Apps

Parakeet [↗](#)

Kangaroo Physics [↗](#)

#### Referências

Differential Growth [GH↗](#)

Differential Growth NERVOUS SYSTEM[↗](#)





©Luke Hayes  
Thallus Installation desenvolvido por Zaha Hadid Architects para a Semana do Design de Milão.



## DIAGRAMA DE VORONOI

VORONOI DIAGRAM, VORONOI TESSELLATION

### Descrição

O diagrama de voronoi é uma forma de decomposição do espaço. Ele emerge na natureza de várias maneiras, podendo ser encontrado no padrão da pelagem das girafas, na estrutura das asas de libélulas ou na distribuição dos pólipos em alguns tipos de corais. Possui aplicações em diversas áreas e já foi explorado em modelos urbanísticos, projetos arquitetônicos e design de produtos.

### Apps

Componentes nativos

-  [Voronoi](#) ↗
-  [Voronoi 3D](#) ↗
-  [Surface Voronoi](#) ↗

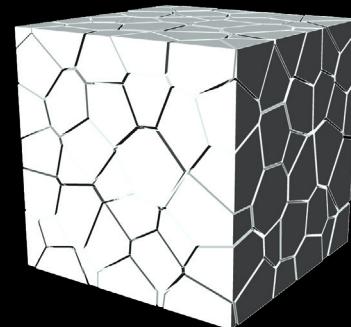
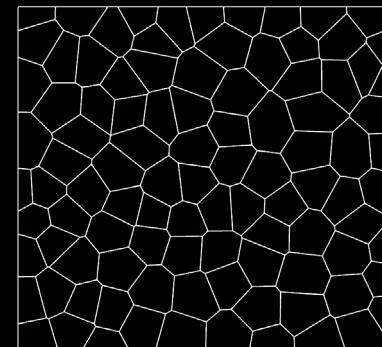
### Referências

[Voronoi Diagram](#) WIKIPEDIA ↗

[Fibonacci pattern with attractor](#) GHE ↗

[Fibonacci + Voronoi concepts](#) GHE ↗

[Voronoi Diagrams - A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure](#) ↗





© Gui Morelli  
Pavilhão O<sup>3</sup> desenvolvido pelo Atelier Marko Brajovic para a Expo Revestir 2017 em São Paulo, Brasil.



# DOMO GEODÉSICO

CÚPULA GEODÉSICA, GEODESIC DOME

## Descrição

São estruturas semiesféricas de fácil montagem, extremamente leves e resistentes. Se popularizaram durante a década de 1940 através dos projetos e experimentos de Buckminster Fuller que buscava através de estudos da natureza, encontrar as estruturas mais eficientes. São famosos seus estudos de radiolárias.

## Apps

Bullant

## Referências

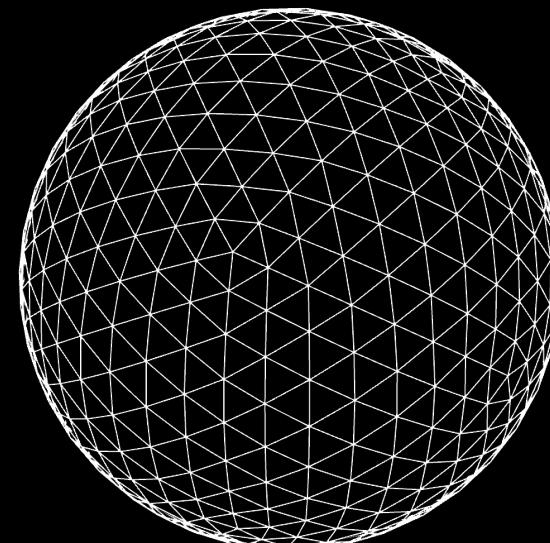
Domo Geodésico Paramétrico | Grasshopper [YOUTUBE](#)

Buckminster Fuller [WIKIPEDIA](#)

Cúpula geodésica [WIKIPEDIA](#)

Geodesic dome [WIKIPEDIA](#)

Radiolaria [WIKIPEDIA](#)





©Ralf Roletschek

Biosfera de Montreal foi desenvolvido por Buckminster Fuller para a Expo 67. Atualmente é um museu dedicado ao meio ambiente. Montreal, Canada.



## ELEMENTOS DISCRETOS

### DISCRETE ELEMENTS

#### Descrição

É uma forma de enxergar a arquitetura e o design através de suas unidades construtivas, e está intrinsecamente conectado com a natureza digital/binária dos computadores. Tijolos, peças de madeira ou tubos de aço são alguns exemplos de unidades construtivas exploradas, porém essa noção pode se estender a unidades habitacionais ou até mesmo à quarteirões de uma cidade.

#### Apps

[Brickdesign](#) ↗

[Pufferfish \(Discrete Vectors/Polyline\)](#) ↗

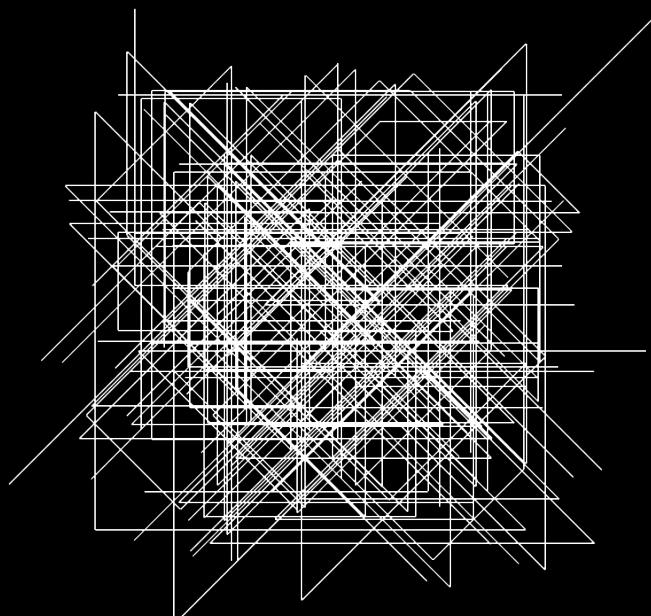
[Wasp](#) ↗

#### Referências

[PufferFish 2.0 / Discrete polylines](#) GH↗

[Wasp group](#) GH↗

[Discrete: Reappraising the Digital in Architecture](#) AD↗





©Robin Oggiano  
KOMOREBI é um pavilhão desenvolvido por Kengo Kuma and Associates. Sainte-Victoire, França



# ESTRUTURAS RECÍPROCAS

RECIPROCAL FRAME, RECIPROCAL SYSTEMS

## Descrição

São estruturas tridimensionais autoportantes no qual sua forma varia de acordo com a quantidade de vigas e o local em que elas se apoiam entre si. São estruturas encontradas na natureza nos ninhos de pássaros por exemplo. É difícil traçar com precisão sua origem histórica, no entanto um exemplo clássico de estruturas recíprocas são as pontes autoportantes de Leonardo da Vinci.

## Apps

Kangaroo Physics

## Referências

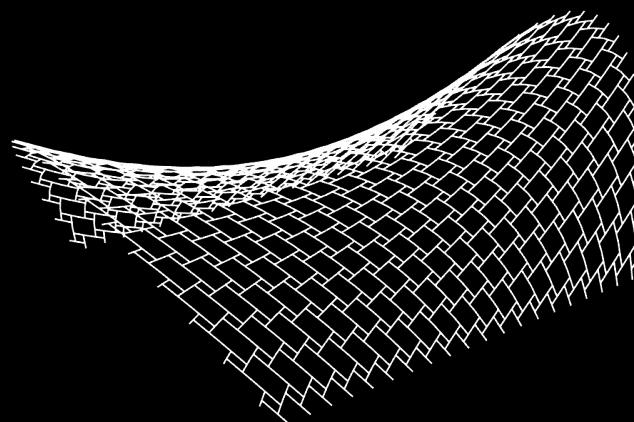
Reciprocal Systems

Reciprocal

Reciprocal frame

Reciprocal Frame Architecture (English Edition)

Biomimicry in Architecture





©Nathan Melenbrink, Samo Pedersen and Shibu Raman

Reciprocal Frame Pavilion desenvolvido por Nathan Melenbrink, Samo Pedersen and Shibu Raman. University of Nottingham, Ningbo, China.



## ESTRUTURAS RETICULADAS

### LATTICE STRUCTURES

#### Descrição

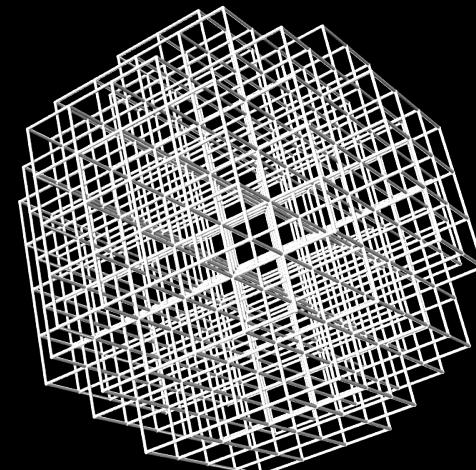
São estruturas formadas por um grid tridimensional de barras que preenche uma geometria previamente modelada. É uma maneira de racionalizar essa geometria e facilitar sua fabricação. Possui uma certa similaridade com os Elementos Discretos.

#### Apps

- Axolotl 
- Crystallon 
- Digitalis3d 
- Intralattice 
- Pufferfish 

#### Referências

- Lattice (group) 





©Jeff Eden, RBG Kew

The Hive desenvolvido por Wolfgang Buttress é uma instalação de 17 metros de altura localizado no Kew Gardens, Londres, Inglaterra.



## SUPERFÍCIE MÍNIMA

FILME DE SABÃO, MINIMAL SURFACE, SOAP FILM

### Descrição

Os filmes de sabão são superfícies que naturalmente minimizam sua área total, ou seja, ela tende a gerar uma estrutura otimizada que reduz sua energia de superfície. Suas aplicações na arquitetura foram explorada pelo arquiteto Frei Otto que sistematizou os processos de avaliação e medição.

### Apps

BATS ↗

Kangaroo Physics ↗

Millipede ↗

Minimal Surface Creator ↗

Hong Chen's Minimum Surface ↗

### Referências

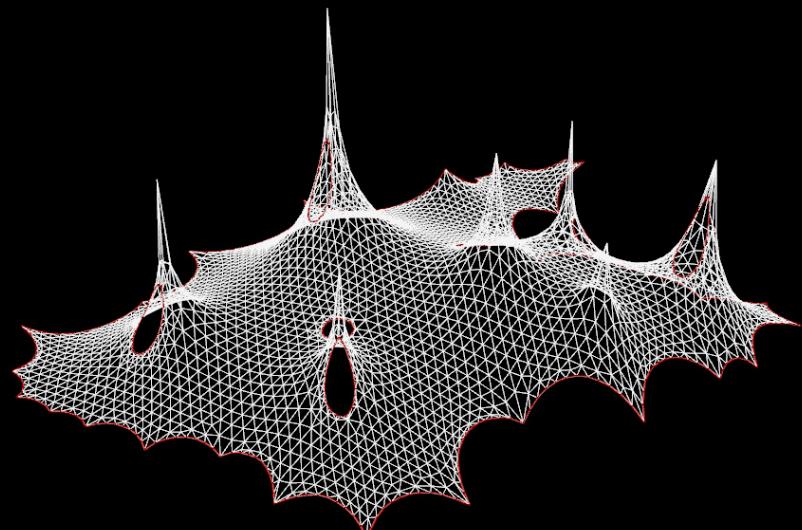
Minimal surfaces ↗

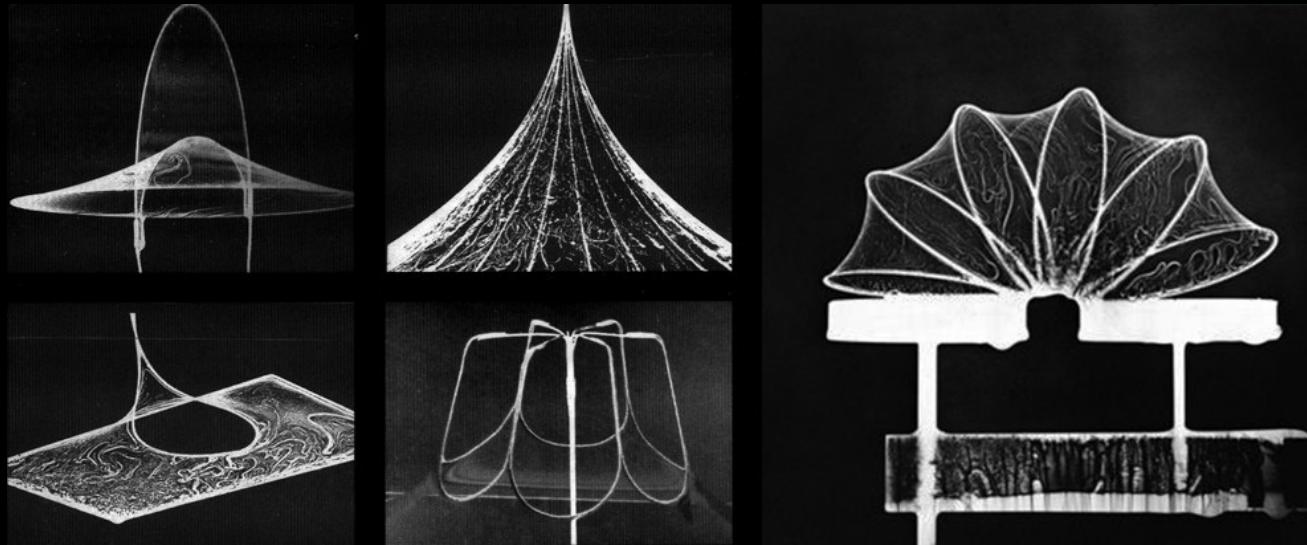
Tensile surface from curves ↗

Live Soap Film ↗

Minimal surface ↗

Bolha de sabão ↗





©Frei Otto, Soap film experiments



©Frei Otto  
Pavilhão Alemão desenvolvido por Frei Otto e Rolf Gutbrod para a Expo 67. Montreal, Canada.





## INFLÁVEIS

### INFLATABLES

#### Descrição

Estruturas infláveis são estruturas normalmente produzidas com plástico que podem ser usadas para produzir abrigos emergenciais portáteis, galpões temporários, habitações para situações extremas ou simplesmente para instalações artísticas, como alguns projeto de Tomás Saraceno.

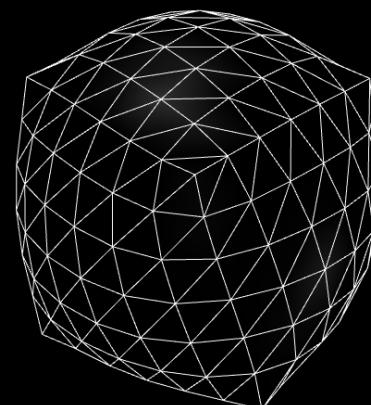
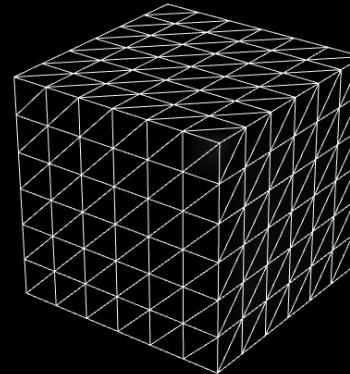
#### Apps

[Kangaroo Physics](#)

#### Referências

[NASA](#)

[Dezeen](#)





©Alessandro Coco  
On Space Time Foam foi uma instalação artística desenvolvida por Studio Tomas Saraceno em Milão, 2012.



# L-SYSTEM

## LINDENMAYER SYSTEMS

### Descrição

É um sistema resultante de uma teoria matemática do crescimento de plantas. Já foi usado para gerar modelos urbanos, artes gráficas e músicas generativas. Esse tipo de sistema pode ser determinístico ou estocástico, ou seja, pode ter um comportamento predeterminado ou aleatório. Porém é um sistema que opera dentro de uma lógica hierárquica e que possui limitações ao responder a estímulos externos, dificultando sua aplicação na arquitetura.

### Apps

Rabbit [↗](#)

Fractals [↗](#)

### Referências

Lindenmayer-System (L-System) [GH↗](#)

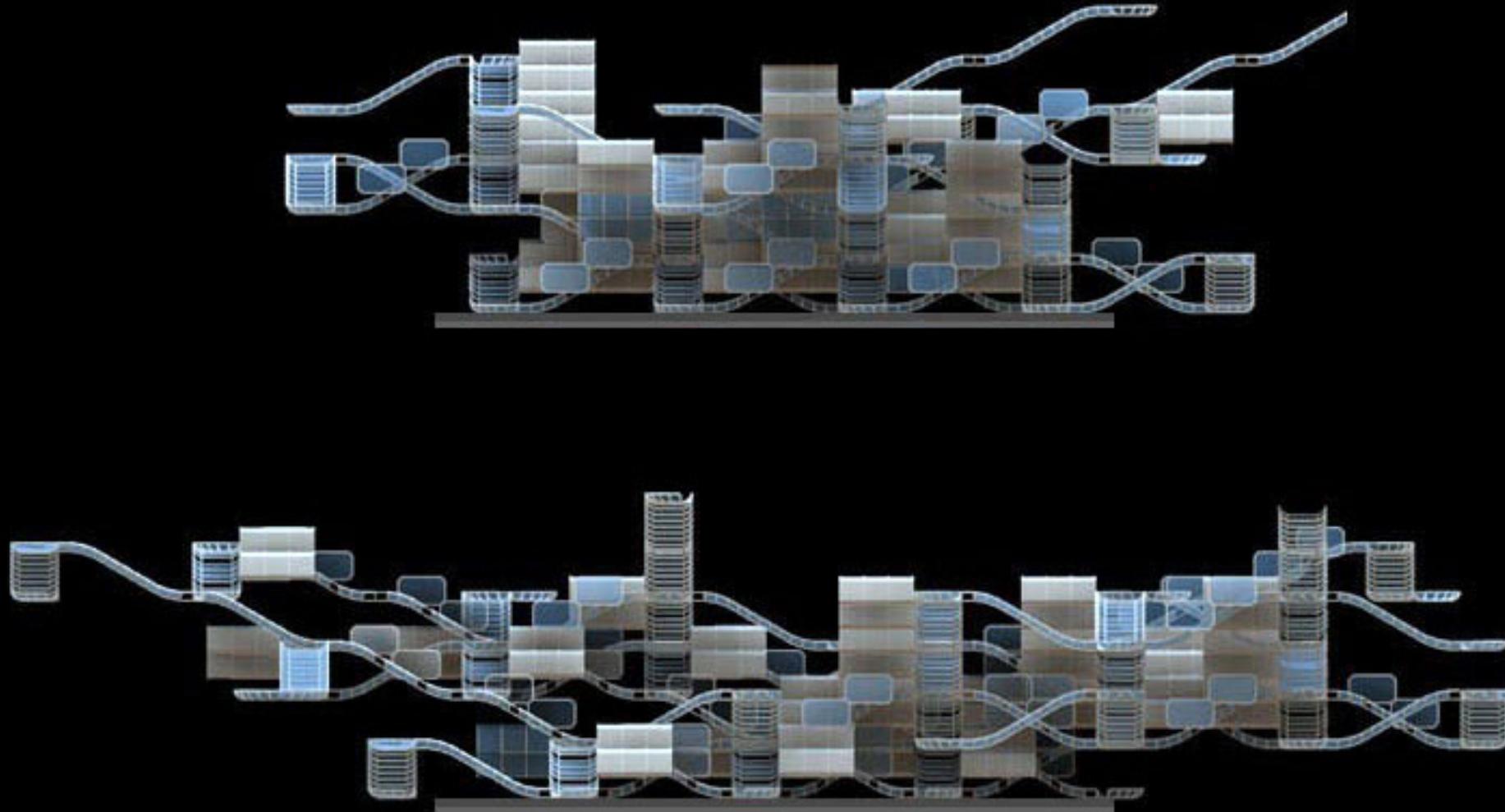
L-Systems in Architecture [↗](#)

The Algorithmic Beauty of Plants [↗](#)

L-system [WIKIPEDIA↗](#)

The Nature of Code: Fractals [PROCESSING↗](#)





©Michael Hansmeyer

L-Systems in Architecture é um estudo desenvolvido por Michael Hansmeyer explorando a aplicação dessa estratégia na arquitetura.



# METABALL

## MARCHING CUBES

### Descrição

De maneira simplificada, são geometrias distintas que se unem através de uma espécie de ponte. Essa união pode ser controlada de acordo com a distância entre essas geometrias. Usa um algoritmo chamado Marching Cubes, o mesmo usado para produzir o Skeletal Mesh.

### Apps

Componentes nativos (2D Metaball)

-  MetaBall [↗](#)
-  MetaBall(t) [↗](#)
-  MetaBall(t) Custom [↗](#)

Dendro [↗](#)

Cocoon [↗](#)

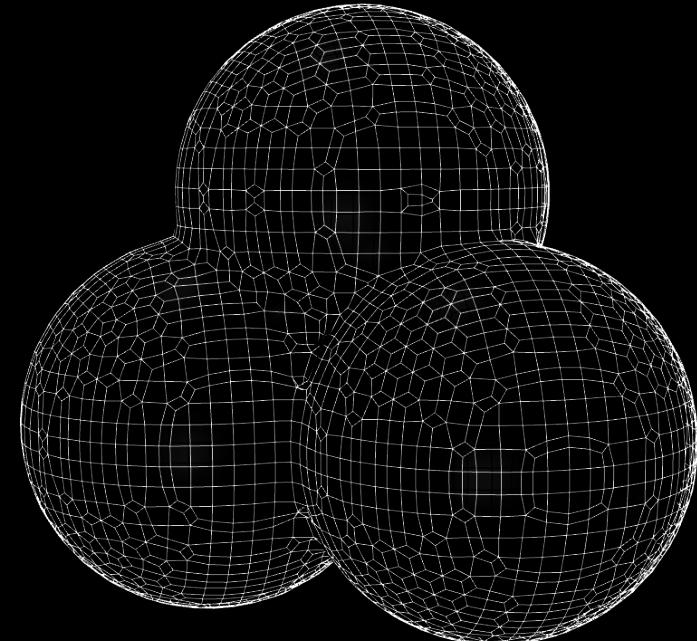
Millipede [↗](#)

### Referências

Metaballs [WIKIPEDIA](#) ↗

Solid Metaball? [GH](#) ↗

Marching cubes [WIKIPEDIA](#) ↗





©Zaha Hadid Architects  
Galaxy SOHO é um complexo de escritórios, lojas e entretenimento desenvolvido por Zaha Hadid Architects. Beijing, China.



## MINIMIZED DETOUR NETWORKS

WOOL-THREAD MODEL, WOOLY PATHS

### Descrição

É a forma resultante ao mergulhar uma malha de lã em água. Já foi usado para estudos de desenho urbano.

### Apps

Definição com componentes nativos

Kangaroo Physics

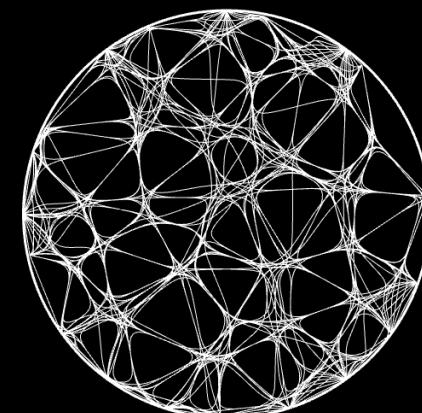
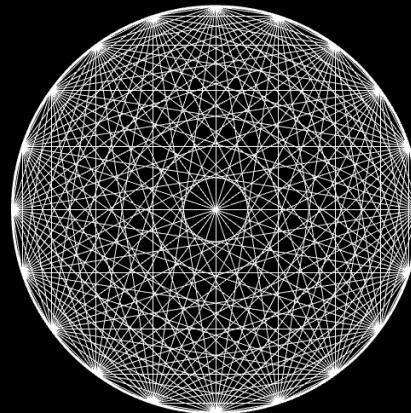
### Referências

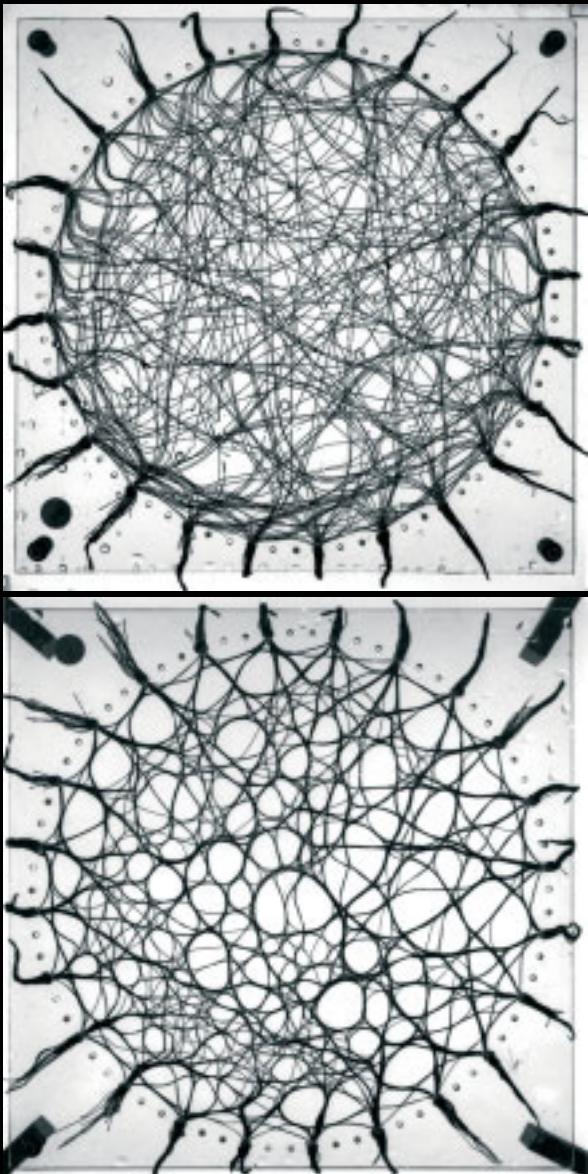
From edge bundling / wooly paths to surface between

ZHA Kartal Pendik Masterplan Breakdown

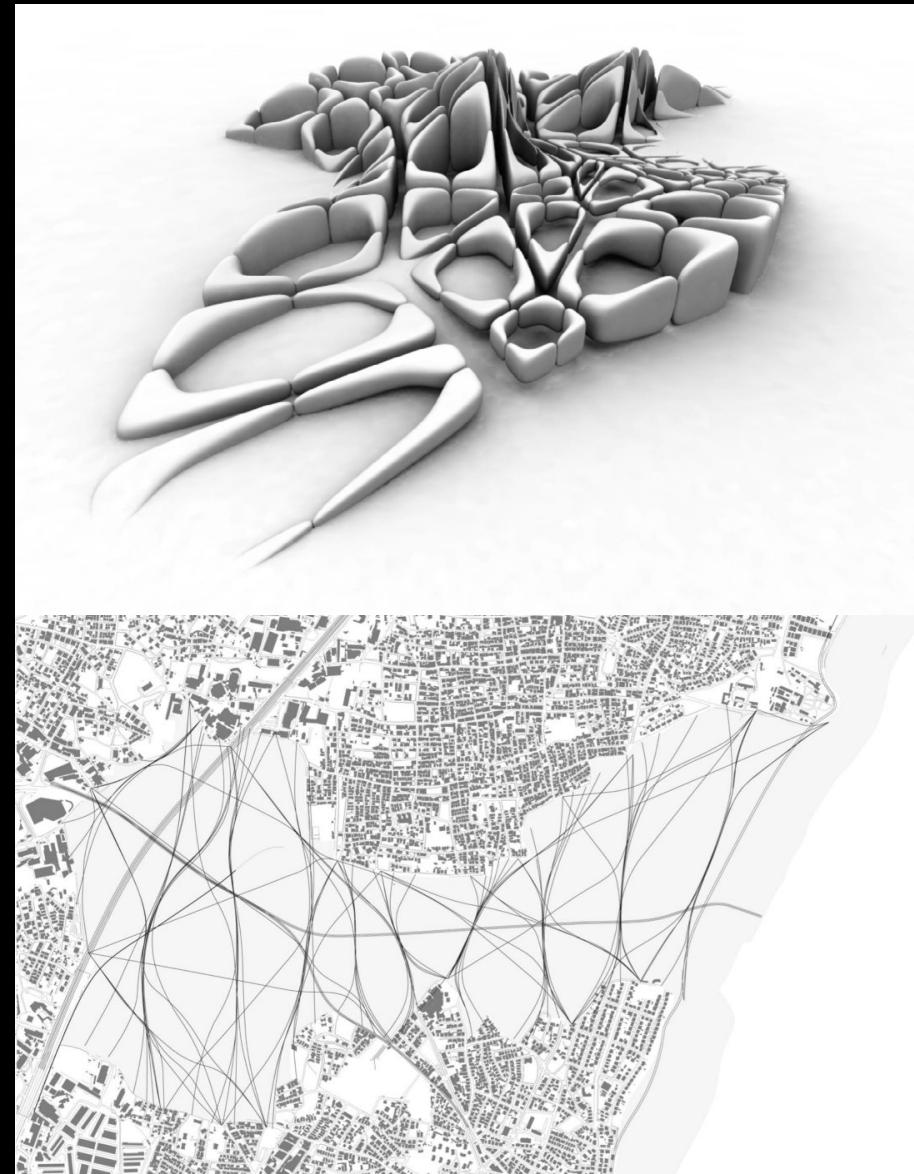
Parametric Urban Models Based on Frei Otto's Generative Form-Finding Processes

Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design





©Marek Kolodziejczyk  
Wool-thread model to compute optimised detour path networks, IILEK, Stuttgart, 1991



©Zaha Hadid Architects  
Kartal Masterplan é a proposta vencedora de um concurso para o plano diretor da região sudeste da cidade de Istambul, Turquia.



## MINIMAL PATH NETWORKS

MINIMUM STEINER TREE, RELATIVE NEIGHBORHOOD

### Descrição

É a forma resultante ao deixar um filme de sabão reduzir sua área naturalmente com alguns pontos âncora. Já foi utilizado para estudo de desenho urbano.

### Apps

Componentes customizados em C# ou Python

Kangaroo Physics

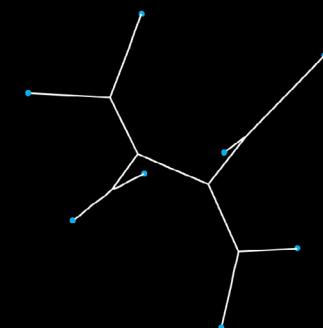
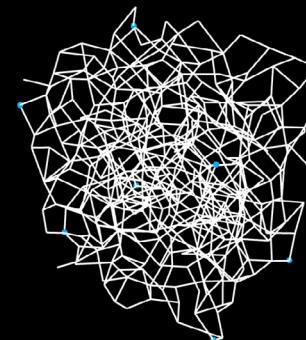
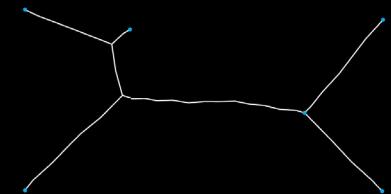
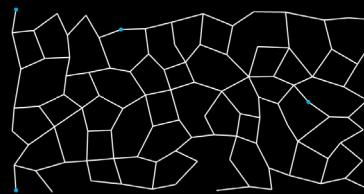
### Referências

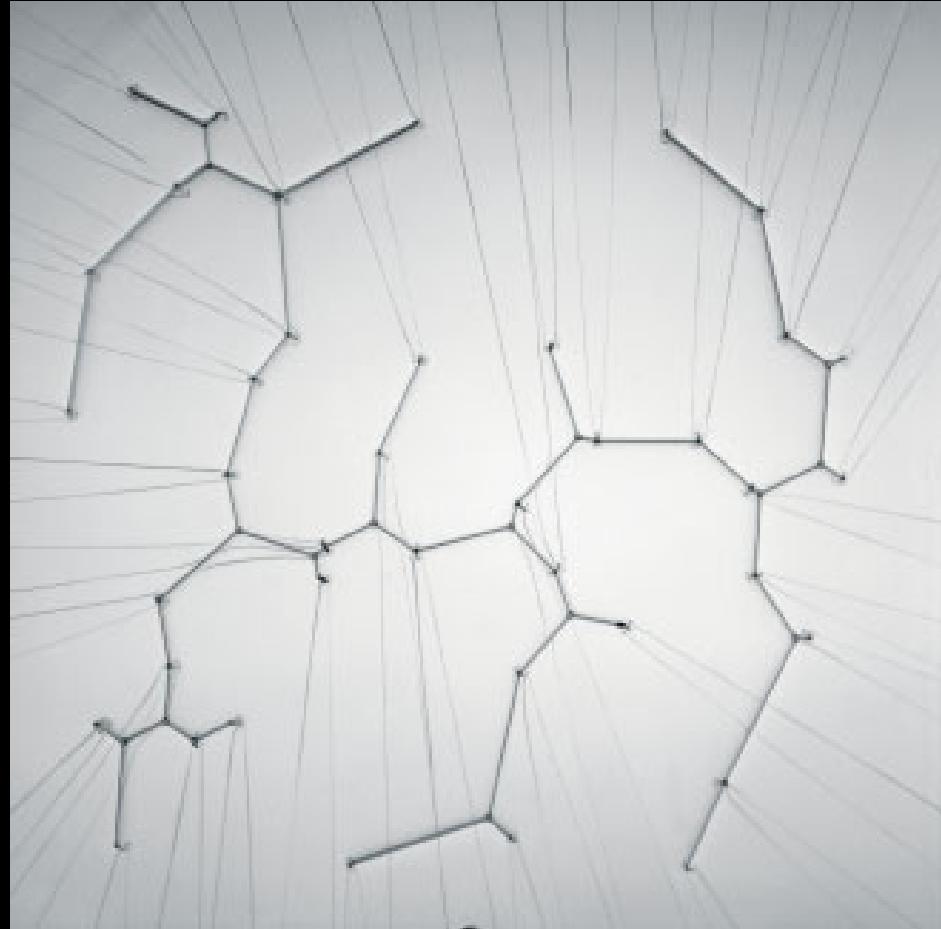
Minimal path networks

Relative Neighborhood

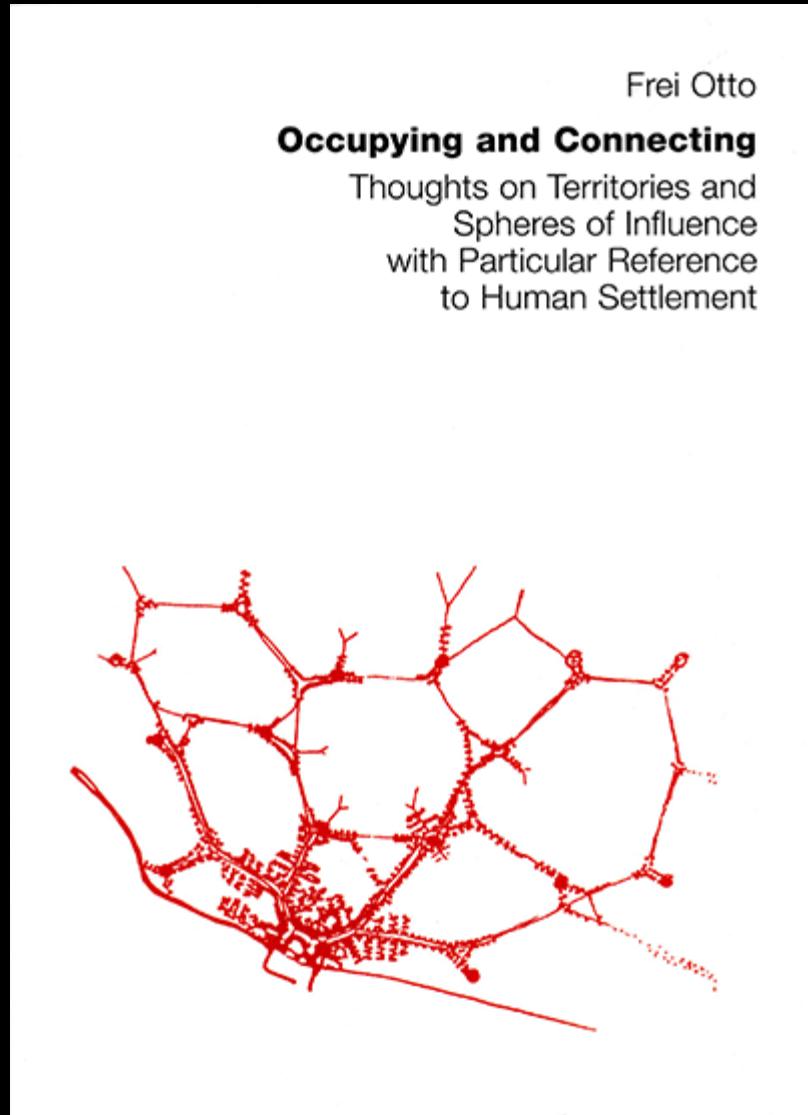
Parametric Urban Models Based on Frei Otto's Generative Form-Finding Processes

Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design





©Frei Otto  
Apparatus for computing minimal path systems, Institute for Lightweight Structures  
(ILEK), Stuttgart, 1988



©Frei Otto  
Livro Occupying and Connecting escrito por Frei Otto.

Frei Otto

### **Occupying and Connecting**

Thoughts on Territories and  
Spheres of Influence  
with Particular Reference  
to Human Settlement



## NERVURA DE FOLHAS

LEAF VENATION, SHORTEST WALK

### Descrição

Pode ser usado tanto para estudos de nervura de folhas em botânica, quanto para calcular o caminho mais curto a partir de um network como por exemplo em rotas de fuga. Também gera padrões interessantes para design de produtos.

### Apps

[Shortest Walk GH](#) ↗

### Referências

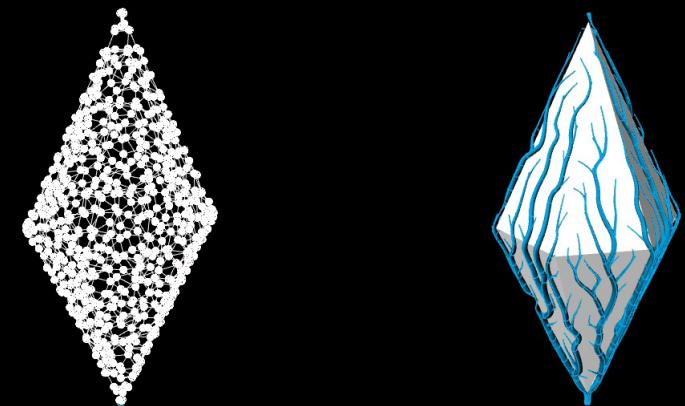
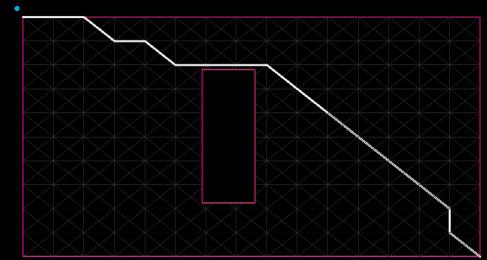
[Shortest Walk Tapered Branching Script](#) GH ↗

[Nervura](#) [WIKIPÉDIA](#) ↗

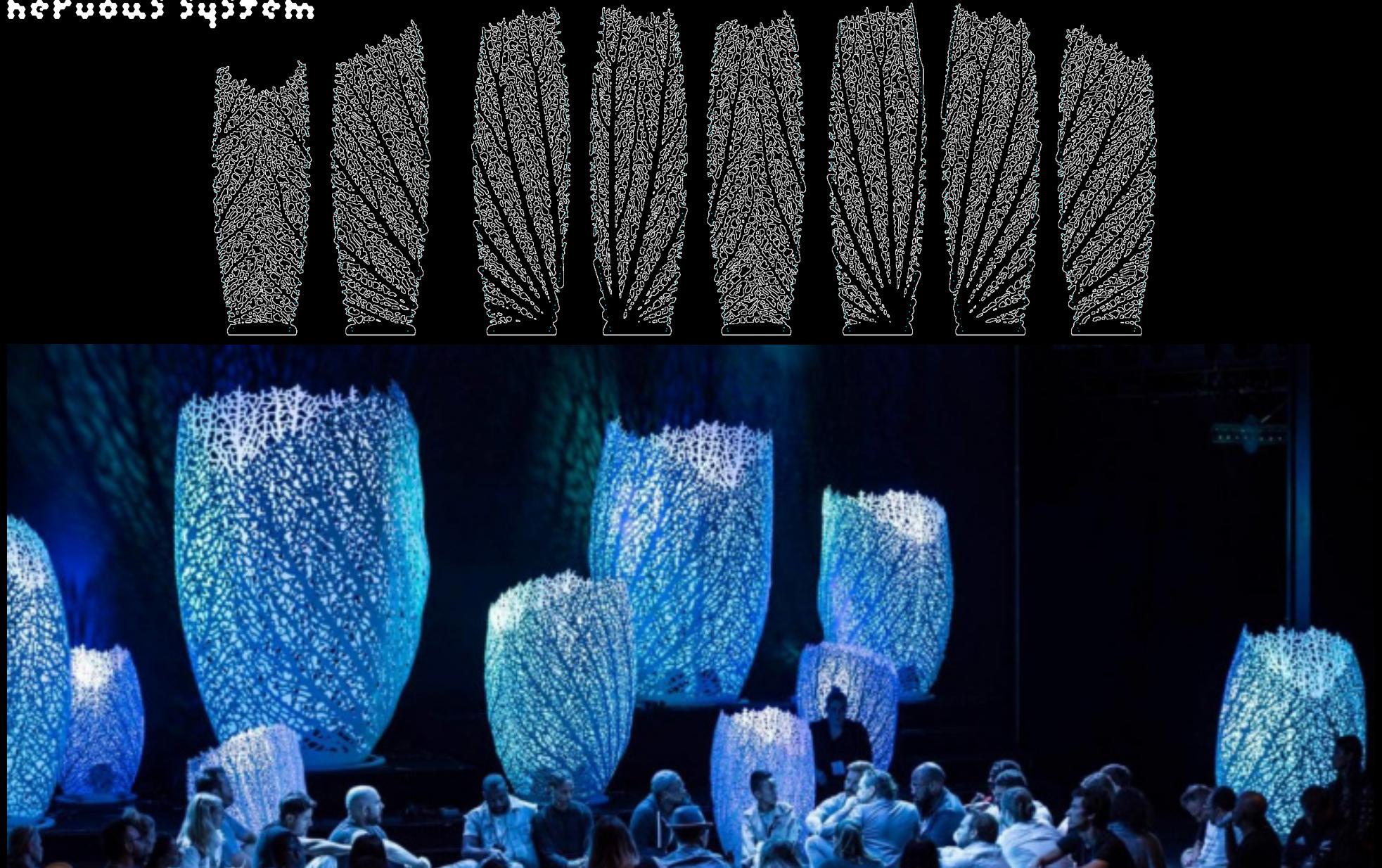
[Modeling and visualization of leaf venation patterns](#) ↗

[Nervous System | Leaf Venation](#) ↗

[Modeling and visualization of leaf venation patterns](#) ↗



## nervous system



©Nervous System

Leaf Venation é uma série de peças de design desenvolvidas pelo grupo Nervous System.



## ORIGAMI

---

### Descrição

A arte de dobrar papel pode ser usada de forma literal como acontece no transporte de alguns tipos de satélite. Ou pode servir como inspiração, no qual a obra não é dobrável, mas que resulta em estruturas eficientes e de fácil transporte.

### Apps

[Crane](#) ↗

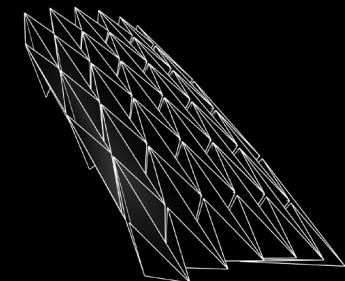
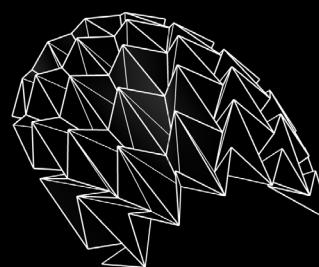
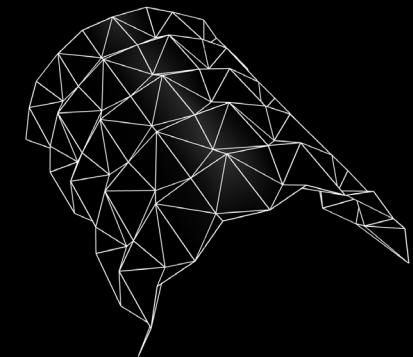
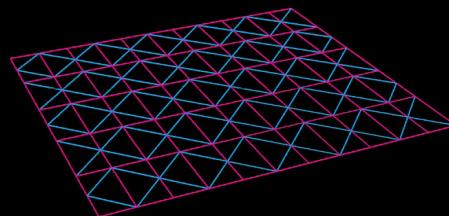
[Kangaroo Physics](#) ↗

[Timber Plate Structures \(TPS\)](#) ↗

### Referências

[Circled origami](#) GH↗

[Origami](#) WIKIPEDIA↗





©Jenny Stratonowitsch  
origami pavilion desenvolvido por Tal Friedman Architecture & Design é composto por folhas de alumínio dobradas.



# PHYLLOTAXIS

## PHYLLOTACTIC GEOMETRY

### Descrição

Phyllotaxis é o padrão resultante da distribuição otimizada de folhas, escamas ou sementes em vegetais, como por exemplo na organização das sementes em um girassol. Esse padrão está intrinsecamente conectado com a sequência de Fibonacci e garante por exemplo que o conjunto de folhas de uma planta receba a maior quantidade de sol possível. Na arquitetura pode servir como guia na disposição informada de painéis solares por exemplo.

### Apps

[PhylloMachine](#) ↗

[Fractals](#) ↗

### Referências

[Fibonacci Sequence](#) ↗

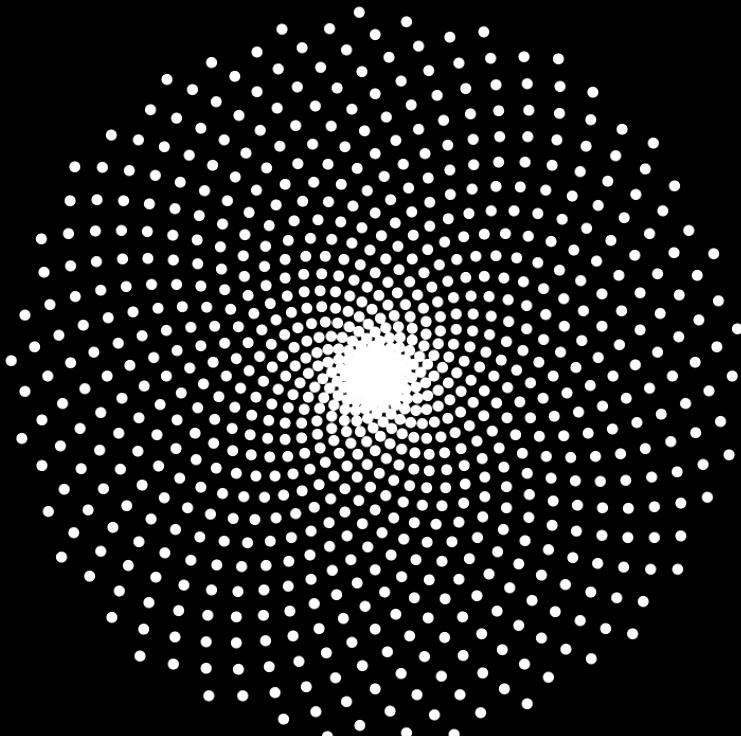
[The Algorithmic Beauty of Plants](#) ↗

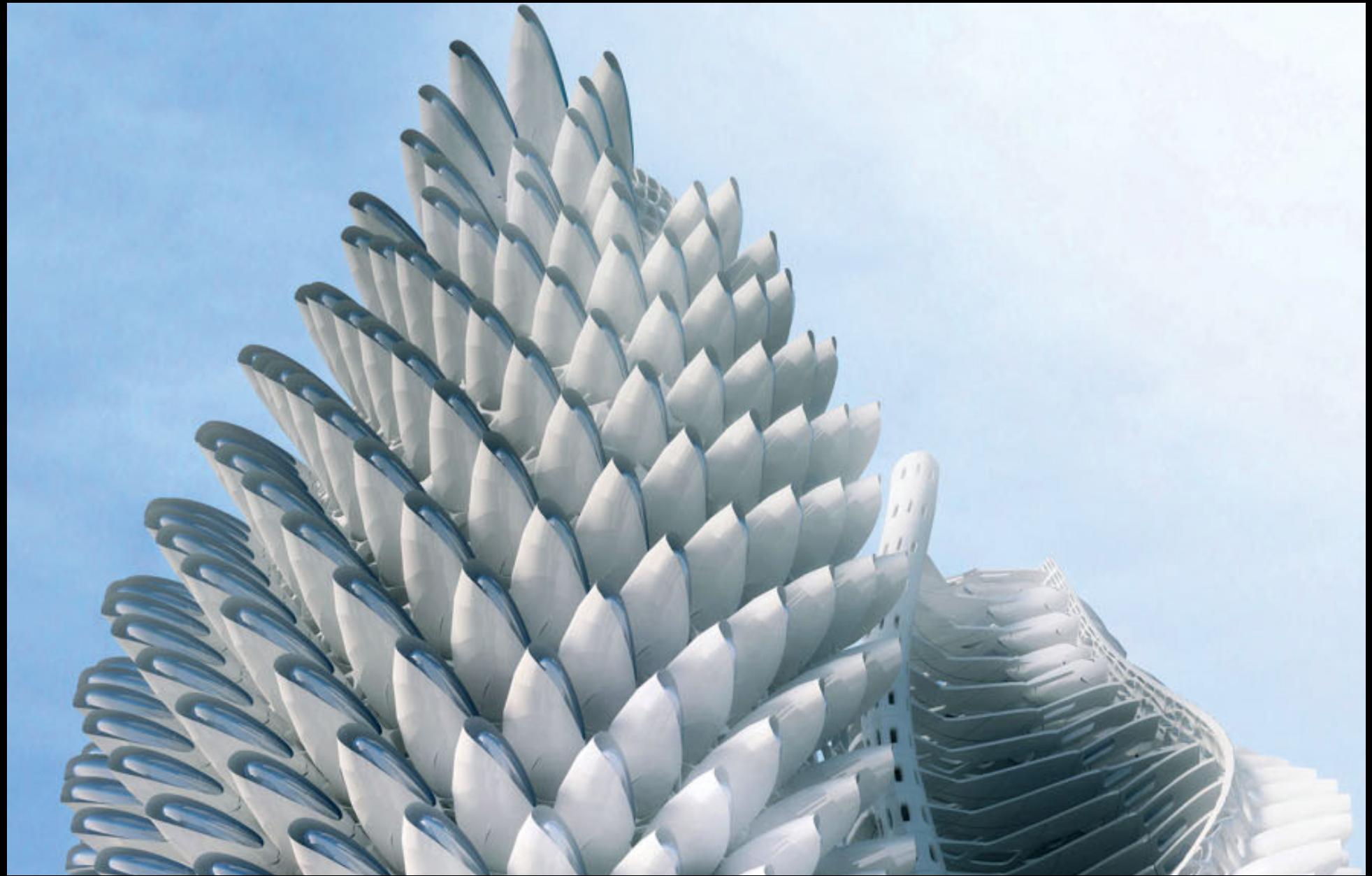
[Phyllotaxis](#) ↗

[Golden angle](#) ↗

[Fermat's spiral](#) ↗

[Evolving Patterns: Correlated Systems of Interaction](#) ↗





©Team CHIMERA (Pierandrea Angius, Alkis Dikaios, Thomas Jacobsen, Carlos Parraga), Tutor Theodore Spyropoulos  
Arquitetura especulativa desenvolvida pelo time CHIMERA no Design Research Lab (DRL) da Architectural Association.



## RELAXAMENTO DINÂMICO

DYNAMIC RELAXATION, SPRING PARTICLE SYSTEM

### Descrição

Apresenta certa similaridade com o filme de sabão, porém fornece mais flexibilidade já que o resultado não precisa ser estritamente uma superfície mínima. Pode ser usado para projetar estruturas tensionadas como membranas de tecidos e redes de cabos.

### Apps

Kangaroo Physics [↗](#)

Bullant [↗](#)

Rhinomembrane V 3.0 [↗](#)

### Referências

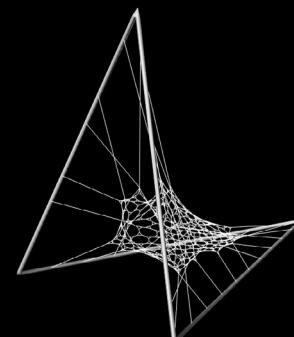
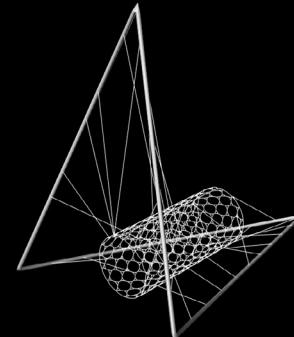
Dynamic relaxation [GHC↗](#)

Dynamic relaxation [WIKIPEDIA↗](#)

Tensile Structures [ARCHDAILY↗](#)

Frei Otto on the Future of Tent Construction [DETAILED↗](#)

ZCB Bamboo Pavilion [ARTIGO↗](#)





©Foster + Partners  
Pátio do Museu Britânico desenvolvido por Foster + Partners. Londres, Inglaterra.



# RUÍDO

## NOISE

### Descrição

Ruídos são interessantes no desenvolvimento de efeitos procedurais com aparência natural e orgânica como nuvens, movimento de água, paisagens e texturas de mármore por exemplo. O ruído de Perlin (Perlin noise), foi resultado de um trabalho desenvolvido durante a produção do filme Tron de 1982.

### Apps

Tundra [↗](#)

4D Noise [↗](#)

### Referências

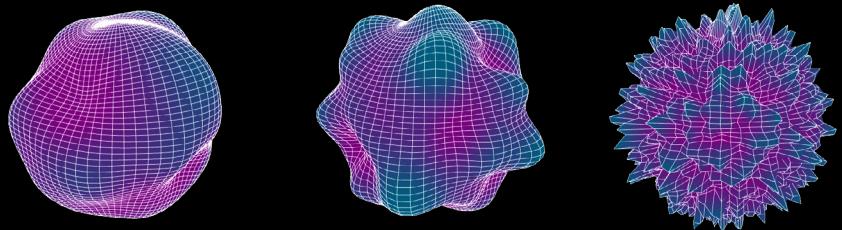
Simplex and Perlin Noise on surface [GH↗](#)

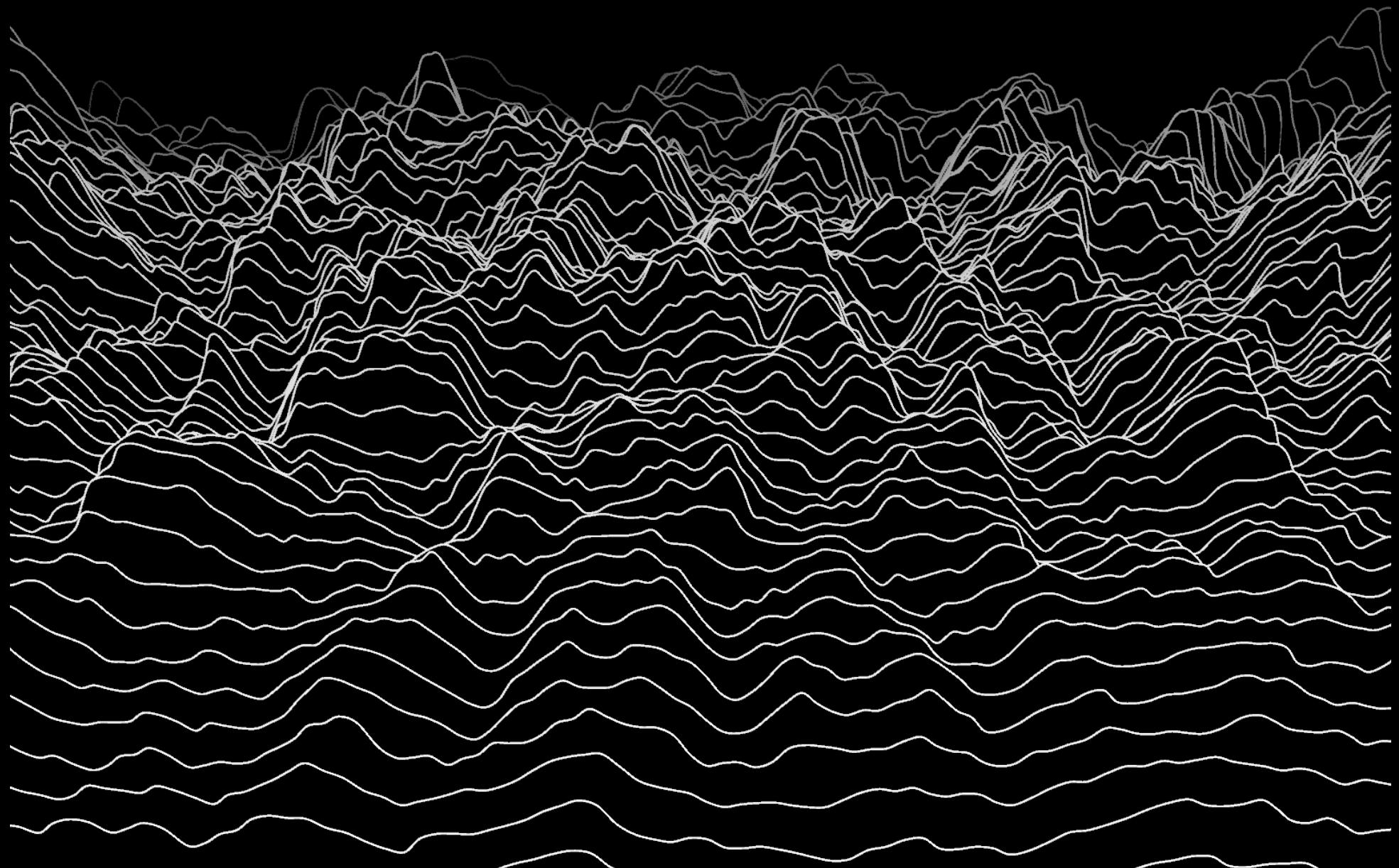
Perlin Noise [WIKIPEDIA↗](#)

Simplex Noise [WIKIPEDIA↗](#)

Perlin Noise [The Coding Train↗](#)

The Nature of Code: Introduction [PROCESSING↗](#)





©invocatum

Experimentos com perlin noise desenvolvido por invocatum.



## SKELETAL MESH

EXOSKELETON, SKELETON FATTENER, MARCHING CUBES

### Descrição

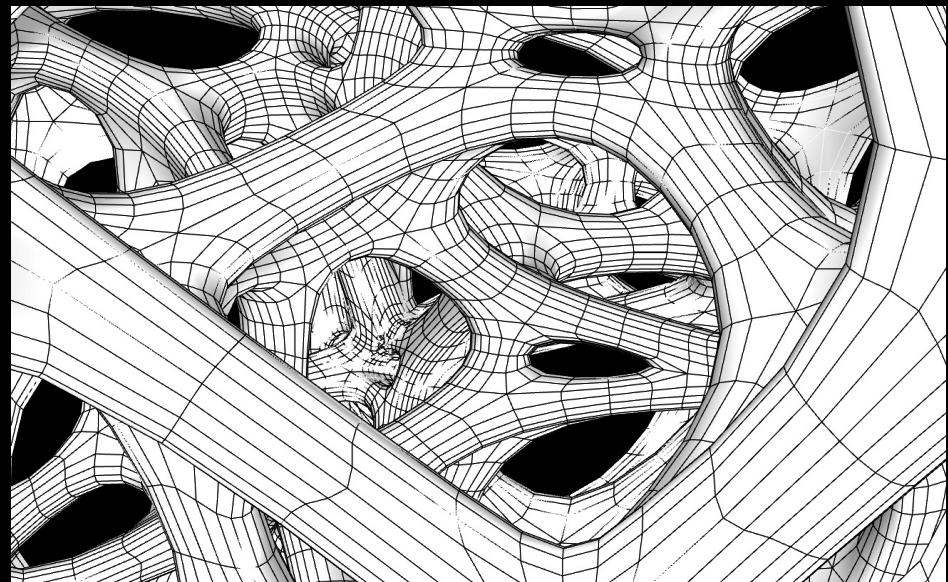
É uma maneira de dar espessura para pontos, curvas e superfícies (ou meshes). Os plugins funcionam embrulhando múltiplas geometrias e dando como resultado uma mesh limpa e otimizada para fabricação digital. Usa o algoritmo Marching Cubes, o mesmo usado no Metaball.

### Apps

- Dendro [↗](#)
- Cocoon [↗](#)
- Skeleton fattener [↗](#)
- Exoskeleton RHINO 5 ONLY [↗](#)

### Referências

- Skeletal mesh [GH↗](#)
- Smoother geometry | Dendro, exoskeleton or? [GH↗](#)
- Inflated exoskeleton (How to?) [GH↗](#)
- Creating smooth meshes from pipes, like TSpipe had? [GH↗](#)
- Marching cubes [WIKIPEDIA↗](#)





©NAARO

Non-Lin / Lin foi uma instalação desenvolvida pelo grupo THEEVERYMAN Y para FRAC Centre. Orléans, França.



## STRESS LINES

PRINCIPAL STRESS, ISOSTATIC LINE, VECTOR FIELD

### Descrição

São pares de curvas ortogonais em uma determinada superfície. Essas curvas indicam as trajetórias das forças internas, ou seja, os lugares dessa superfície que mais necessitam de reforço estrutural, fazendo com que essa seja uma ótima maneira de integrar otimização estrutural e qualidade estética.

### Apps

FlowI

Karamba 3D

Millipede

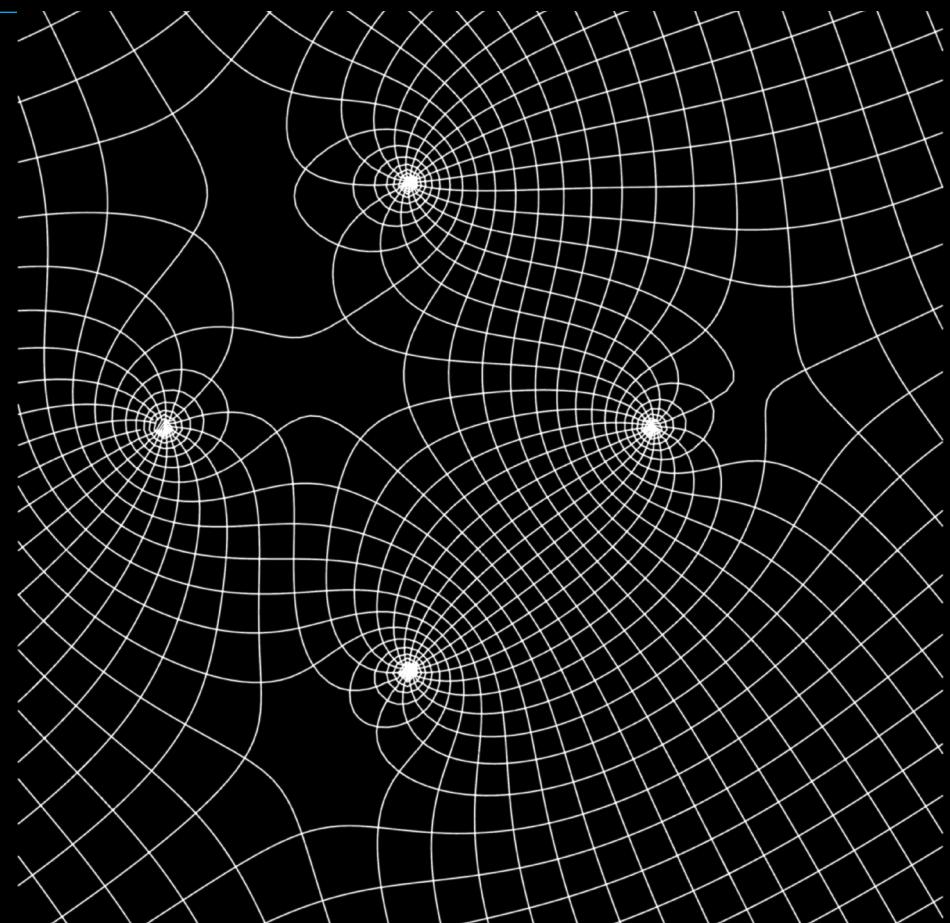
### Referências

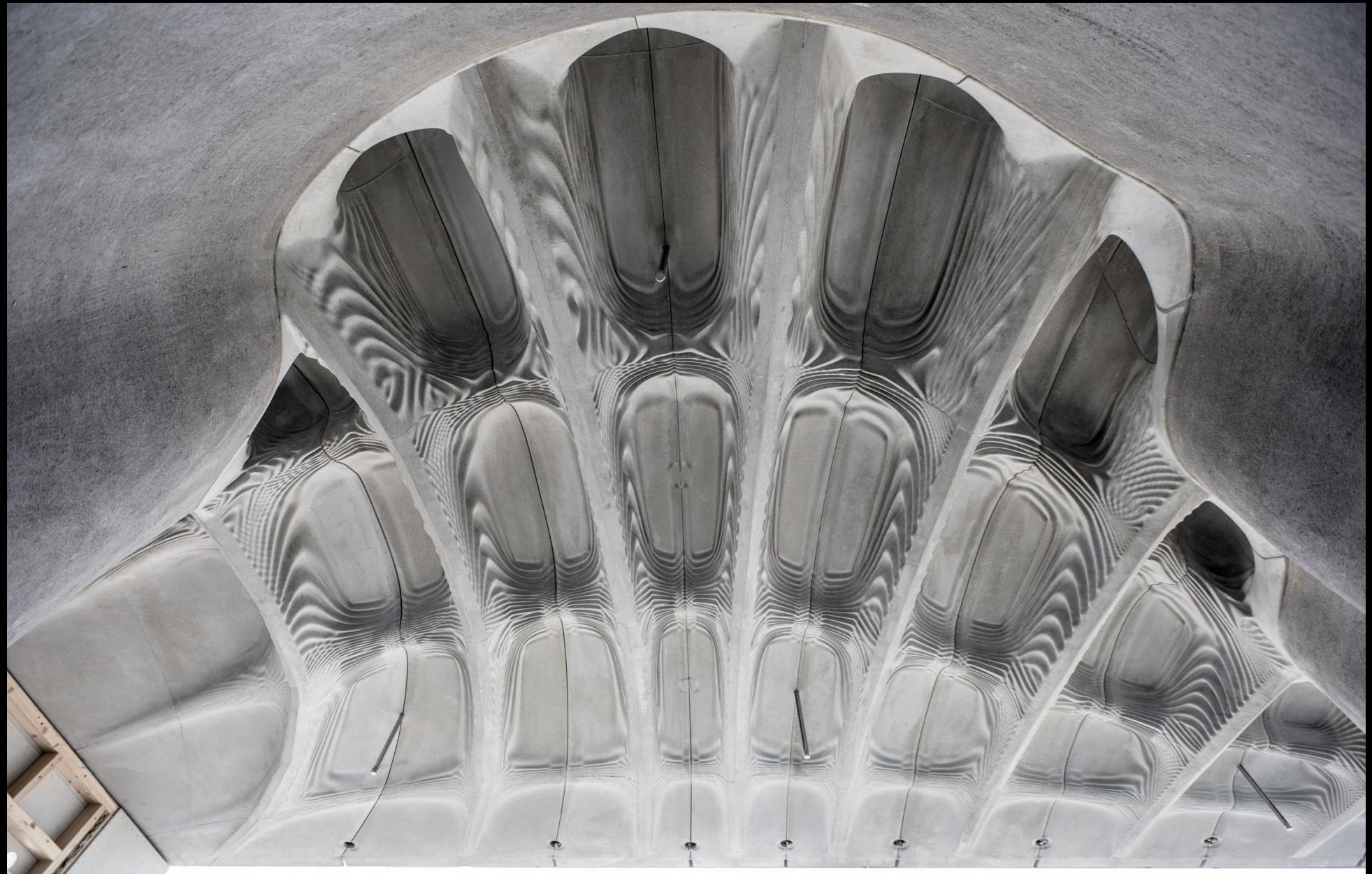
Principal Stress grid

Principal Stress Trajectories

The Ribbed Floor Slab Systems of Pier Luigi Nervi

Stress Line Generation for Structurally Performative Architectural Design





©Digital Building Technologies (dbt), ETH Zurich/Andrei Jipa

Smart slab é a primeira laje de concreto fabricada com formas impressas em 3D. A geometria segue as stress lines resultantes dos esforços atuantes.



## SISTEMA BASEADO EM AGENTES

AGENT-BASED SYSTEM, PARTICLE SYSTEM, SWARM INTELLIGENCE

### Descrição

É uma modelagem que foge da lógica linear do Grasshopper. Nela o designer é responsável apenas pela implementação das regras que regem os agentes, e a partir da interação desses agentes a forma emerge. Na natureza esse tipo de comportamento pode ser encontrado nas colônias de formigas, revoada de pássaros ou cardume de peixes. Já foi usado em simulação de drenagem urbana, estudos de conforto ambiental ou até mesmo para simular elementos arquitetônicos, como é o caso das placas de madeira do BUGA Wood Pavilion [♂](#).

### Apps

Culebra 2.0 [♂](#)

Nursery [♂](#)

Zebra [♂](#)

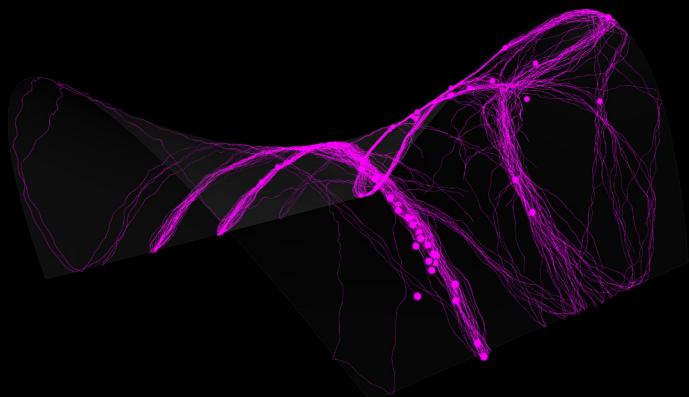
### Referências

Culebra [GH♂](#)

Quelea - agent-based design for Grasshopper [GH♂](#)

Agent-based model [WIKIPEDIA♂](#)

Material Synthesis | Fabrication Agency [AD♂](#)





©Decimal

Life Lamp é uma luminária produzida pelo Estudio Guto Requena. A forma usa como input os caminhos gerados por partículas.



## TECELAGEM

WEAVING PATTERN, KNITTING PATTERN

### Descrição

Replicação de padrões de tecido

### Apps

Definição com componentes nativos

Componentes customizados (ver referências)

### Referências

Generative Algorithms 2010: Zubin Khabazi [EBOOK](#)

Knitting/weaving on a surface [GHD](#)

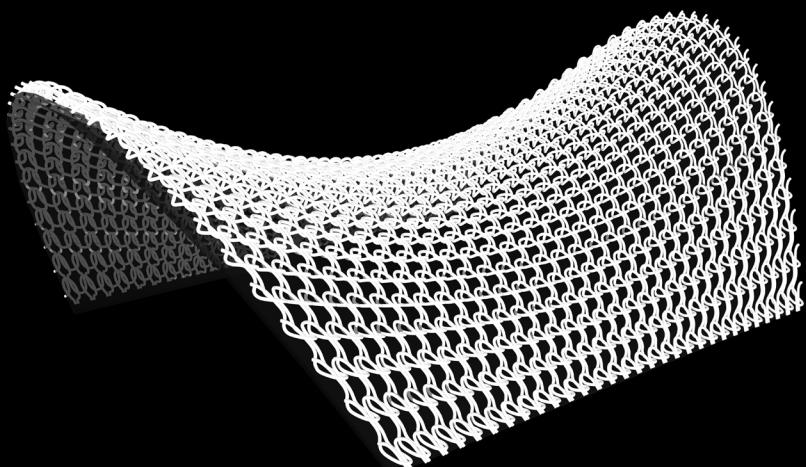
Weaving Pattern on Surface [GHD](#)

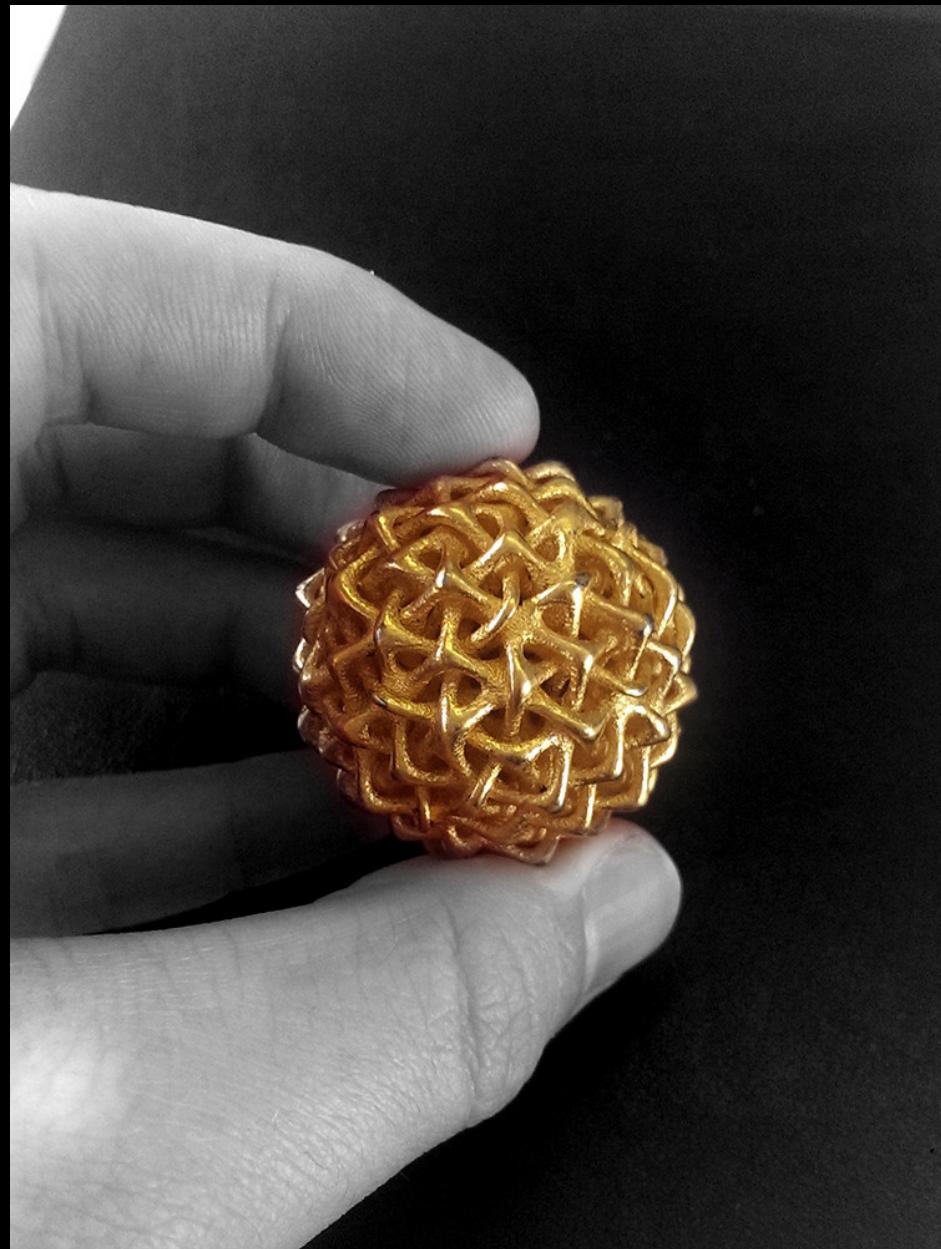
Weave definition [GHD](#)

Knitting pattern on one surface [GHD](#)

Microphone Mesh [GHD](#)

Knitting [WIKIPEDIA](#)





©Nick Tyrer

Série de estudos de impressão 3D de Nick Tyrer que exploram o padrão de tecelagem.





# WAFFLE

## WAFFLELIKE FRAMEWORK

### Descrição

São estruturas formadas por fatias de uma geometria previamente modelada. É uma maneira de racionalizar essa geometria e facilitar sua fabricação. Para as conexões, cada elemento precisa ser fresado na metade da distância das interseções.

### Apps

Componente nativo

Region Slits [YOUTUBE](#)

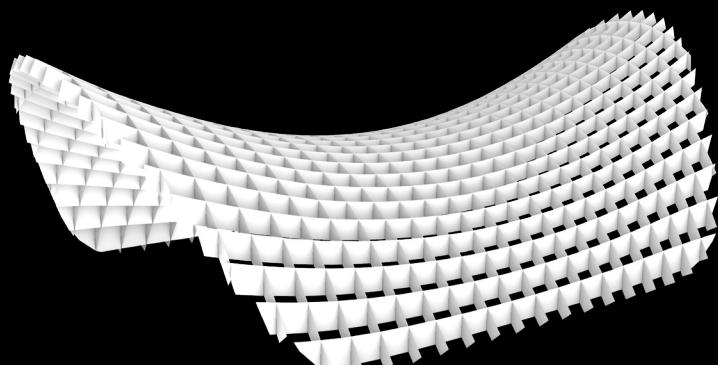
Bowerbird [ARTIGO](#)

### Referências

Grasshopper brep to bowerbird for waffle framing [YOUTUBE](#)

Metropol Parasol [WIKIPEDIA](#)

Informed Architecture: SunSys [ARTIGO](#)





©Anual

Metropol Parasol foi desenvolvido por J.MAYER.H como uma forma de requalificação da Praça da Encarnação. Sevilla, Espanha.



## ZONOHEDRAL DOME

### ZOMES

#### Descrição

São instâncias de um zonohedro polar. É uma geometria resultante de algumas operações baseadas em um cubo. Apesar de aparentar similaridade sua performance estrutural é muito menor se comparado com o Domo Geodésico. Zomes chamam atenção por sua elegância e por seus padrões que transmitem um ar misterioso, o que explica sua aplicação em festivais e espaços que valorizam a espiritualidade.

#### Apps

Componentes nativos

Lunchbox

#### Referências

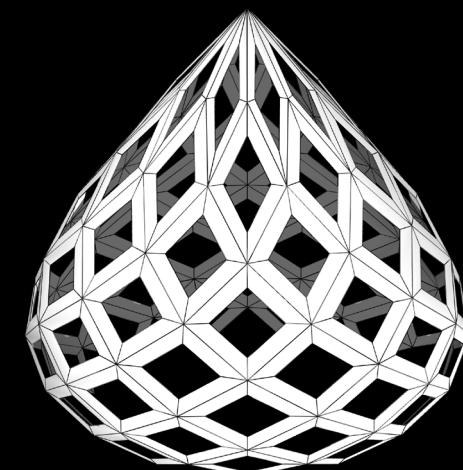
Zome [WIKIPEDIA](#)

Zonohedron [WIKIPEDIA](#)

Scintillating CNC Zonahedral Structures

In the Zome with Rob Bell [SKETCHUP](#)

Zome dome in grasshopper [YOUTUBE](#)





©Rob Bell  
Zomes desenvolvidos por Rob Bell para o festival Burning Man.



# ANÁLISE ESTRUTURAL

STRUCTURAL ENGINEERING

## Descrição

Existem diversos apps que fazem a análise estrutural de um projeto diretamente no Grasshopper. Além de facilitar o processo de cálculo, o resultado de uma análise também pode ser utilizado para influenciar a geração de uma versão mais eficiente do mesmo projeto, em um ciclo de feedback. O resultado é um projeto final otimizado no qual a forma e a estrutura estão intrinsecamente conectadas.

## Apps

BATS ↗

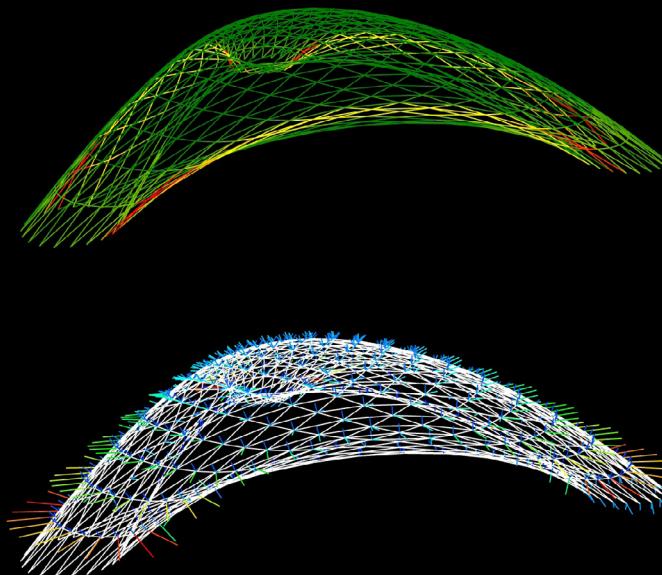
K2 Engineering ↗

Karamba3D ↗

## Referências

Finite Element Method [WIKIPEDIA](#)↗

Método dos elementos finitos [WIKIPEDIA](#)↗



Análise de uma estrutura de bambu baseada no ZCB Pavilion



©F Hafele

Temporary Art Pavilion desenvolvido por SOMA para Salzburg Biennale usou o plugin Karamba durante os cálculos estruturais.



# ANÁLISE AMBIENTAL

## ENVIRONMENTAL DESIGN

### Descrição

Apps que auxiliam a análise de dados climáticos, rosa dos ventos, estudo de insolação e sombreamento, etc. Essas análises também podem ser utilizadas para influenciar a geração de uma versão mais eficiente do mesmo projeto, em um ciclo de feedback. O resultado é um projeto final otimizado, mais confortável e eficiente energeticamente.

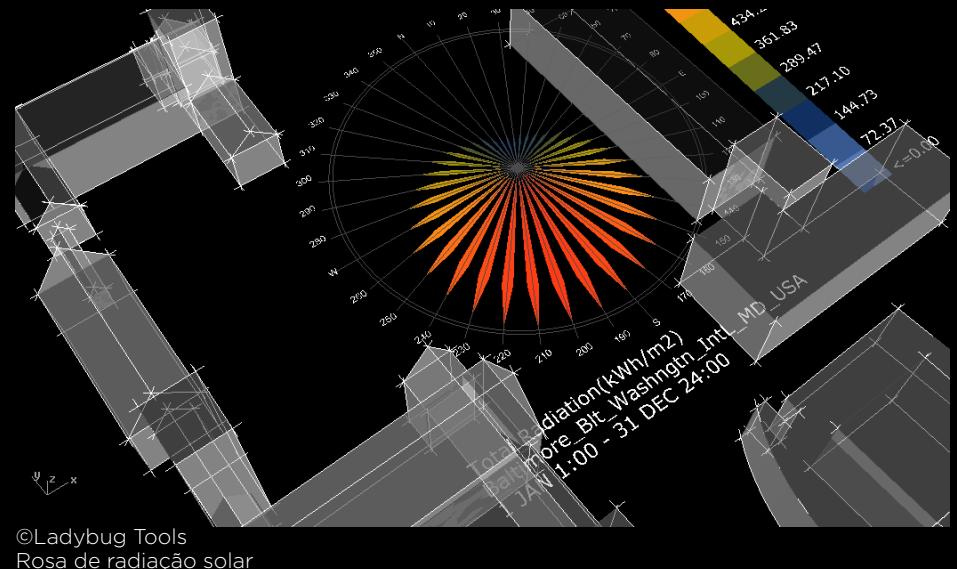
### Apps

Ladybug Tools [↗](#)

### Referências

Conforto Ambiental [WIKIPÉDIA](#) ↗

Environmental design [WIKIPÉDIA](#) ↗

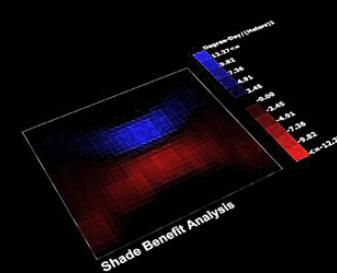
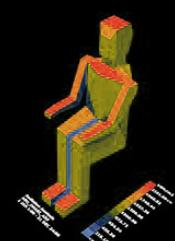
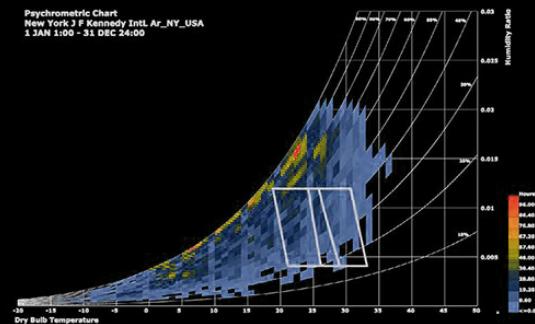
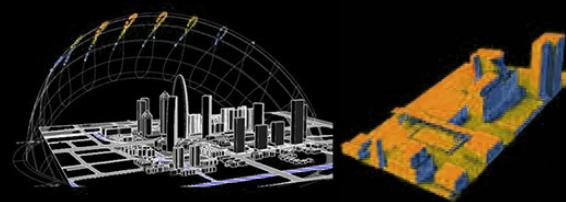
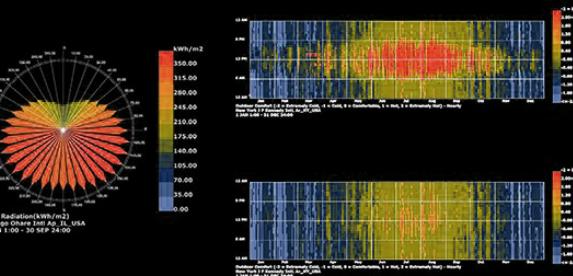




Rhino + GH

.epw

Weather Data



# Conclusão

Essas são algumas das estratégias existentes no design computacional. As duas últimas – análise estrutural e análise ambiental – são tão amplas que poderiam facilmente ser assunto de seus próprios livros.

Com essas estratégias em mente ficará mais fácil fazer a leitura de projetos que até então pareciam ser coisa de outro mundo. Muitos projetos usam uma ou a combinação de estratégias para resolver um determinado problema. É comum, por exemplo, encontrar fachadas que usam análise ambiental em combinação com atratores, colocando aberturas em locais que devem receber mais sol e fechando onde deve ser sombreado.

Faça um teste, veja algum projeto que você acha complexo e faça uma leitura usando esse conteúdo, tente entender quais estratégias foram usadas.

Nessa primeira edição ficaram de fora duas estratégias importantes, os algoritmos evolutivos e machine learning. Ambas se encaixam no estudo de [inteligência artificial](#).

Caso você queira continuar pesquisando, vou deixar aqui uma seleção de livros que podem te ajudar.

Carpo, Mario. [The Second Digital Turn - Design Beyond Intelligence](#). 1st. ed. Massachusetts: MIT Press, 2017.

Celani, Gabriela; Sedrez, Maycon. [Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão](#). São Paulo: ProBooks, 2018.

Knippers, Jan; Schmid, Ulrich; Speck, Thomas. [Biomimetics for Architecture: Learning from Nature](#). Berlin: Blickinsbuch, 2019.

Menges, Achim. [Computational Material Culture](#), Architectural Design, Vol. 86(2), p. 76-83, 2016.

Menges, Achim; Ahlquist, Sean. [Computational Design Thinking](#). London: John Wiley and Sons, 2011.

Thompson, D. W. [On Growth and Form](#). Cambridge: University Press, 1942.

Claypool, Mollie; Garcia, Manuel Jimenez; Retsin, Gilles; Soler, Vicente. [Robotic Building: Architecture in the Age of Automation](#). Munich: Detail Business Information GmbH, 2019



Daniel Locatelli é co-fundador do [meristema](#), grupo de arquitetos e pesquisadores apaixonados por natureza e tecnologia.

Se formou em 2016 pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo [FAU-USP](#). Morou nos Estados Unidos entre 2013 e 2014, período em que fez intercâmbio na [Auburn University](#) e treinamento na California State University - Long Beach [CSULB](#).

Entre 2015 e 2019 fez parte da equipe do [Atelier Marko Brajovic](#), espaço com o objetivo de chegar ao limite da experimentação baseando-se em três áreas principais: Behaviorismo, Fenomenologia e Biomimética.

Seu interesse principal está na fronteira entre a tecnologia e a produção arquitetônica, especialmente as futuras implicações da introdução da inteligência artificial no processo de design.

Atualmente cursa o mestrado [M.Sc. ITECH](#) da Universidade de Stuttgart na Alemanha com término previsto para 2021.

