



EIXO TEMÁTICO:

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Ambiente e Sustentabilidade | <input type="checkbox"/> Crítica, Documentação e Reflexão | <input type="checkbox"/> Espaço Público e Cidadania |
| <input type="checkbox"/> Habitação e Direito à Cidade | <input type="checkbox"/> Infraestrutura e Mobilidade | <input checked="" type="checkbox"/> Novos processos e novas tecnologias |
| <input type="checkbox"/> Patrimônio, Cultura e Identidade | | |

As geometrias algorítmicas: simulação e distorção computacional nas arquiteturas digitais

Algorithmic geometry: computational simulation and distortion in digital architectures

*Geometría Algorítmica: la simulación y la distorsión computacional en las arquitecturas
digitales*

LIMA, Fábio (1)

(1) Professor Mestre, UFG, Doutorando na FAU/UNB, Brasília DF, Brasil; e-mail: arqfabiolima@gmail.com



As geometrias algorítmicas: simulação e distorção computacional nas arquiteturas digitais

Algorithmic geometry: computational simulation and distortion in digital architectures

Geometría Algorítmica: la simulación y la distorsión computacional en las arquitecturas digitales

RESUMO

Na representação de uma linguagem simultaneamente capaz de abranger universos da computação e da representação arquitetônica, a articulação dos modos enunciativos lógico-abstratos tem substancialmente contaminado os processos de desenvolvimento de novas formas da arquitetura. A partir das bases algorítmicas, os modelos são fortemente ampliados nas suas complexidades pela irregularidade e colapso das estruturas, em ímpetus conceituais que renunciam as aparências do âmbito comum e buscam experiências com versões exageradas ou distorcidas, na investigação de metáforas visuais para um novo mundo.

PALAVRAS-CHAVE: arquitetura digital, modelos algorítmicos, geometrias computacionais

ABSTRACT

The representation of a language able to cover both worlds of computing and architectural representation, articulation of logical-abstract enunciate modes have significantly contaminated the process of developing new forms of architecture. From the algorithmic foundations, models are strongly expanded in its complexities for the irregularity and collapse of structures in conceptual impetus to waive the appearances of common framework and seek experiences with exaggerated or distorted, in the investigation of visual metaphors for a new world versions.

KEY-WORDS: digital architecture, algorithmic models, computational geometry

RESUMEN

La representación de un lenguaje capaz de cubrir los dos mundos de la computación y la representación arquitectónica, la articulación de los modos enunciativos lógico-abstracto ha contaminado de manera significativa el proceso de desarrollo de nuevas formas de arquitectura. A partir de los fundamentos algorítmicos, los modelos están muy expandidas en sus complejidades de la irregularidad y el colapso de las estructuras en el impulso conceptual de renunciar a las apariencias de marco común y buscar experiencias con exagerada o distorsionada, en la investigación de las metáforas visuales para una nueva versión del mundo.

PALABRAS-CLAVE: arquitectura digital, modelos algorítmicos, geometría computacional



Não se trata do universo
limitado da combinatória, mas
do mundo aberto da criação.
Pierre Lèvy

1 INTRODUÇÃO

Se existe hoje uma discussão inevitável ocorrendo na produção da arquitetura contemporânea, ela repercute principalmente ao tratar dos inusitados experimentos tecnológicos realizados com computadores. Esses procedimentos não visam apenas propor novos modelos, mas investigar profundamente os códigos digitais capazes de fundar arquiteturas completamente diferentes do que se conhece. Muito frequentemente o projeto arquitetônico resulta de abordagens científicas advindas da física, química, biologia, etc., por vezes criando vínculos estranhos à área (aproximações facilitadas pelo computador que favorece os mais diferentes propósitos, com perscrutações nos modelos em todos os níveis de escalas e dando poderio de manipulá-lo indefinidamente), escavando suas fendas digitais.

O modelo irregular, ruidoso e instável substitui o natural pelo artificial deixando entrever novos modos de pensar. Ademais, muitos casos também não se deixam apreender facilmente, sendo então necessário esquadrihá-los. Somente uma análise de seus atributos pode conduzir a aproximações em caráter racional, capaz de levar a um reconhecimento e para além de simples impressões. Ao identificar suas propriedades primárias, elas irão servir como instrumentos efetivos de crítica, também como recursos de avaliação, adequação de uso, escopos para aprendizado, servindo para novas abordagens ou aplicações, etc.

Nesses empreendimentos surgem novos signos visando fundar linguagens completamente alheias ao que se conhece. Se se constituem a partir de bases computacionais e sistemas de regras, quais as lógicas utilizadas para essas construções e como são aplicadas? Além disso, se essas arquiteturas digitais expressam novas relações e particularidades dos caracteres geométricos, como entendê-los? Finalmente, dentro dos inúmeros princípios conceituais e tecnológicos utilizados, como se pode estabelecer uma aproximação para o reconhecimento dessas técnicas empregadas nas arquiteturas contemporâneas?

As abordagens que envolvem os modelos digitais são várias, desde os estudos dos fundamentos dos espaços construídos: William Mitchell (1998, 2008), Jacobo Krauel (2010), Branko Kolarevic (2000, 2003, 2005), Mario Carpo (2013), Rivka Oxman (2005, 2008), Toni Kotnik (2006); passando pelas repercussões filosóficas: Antoine Picon (2013), Stephen Perrella (1998, 2001), Kostas Terzidis (2006); até os casos onde arquitetos interpretam o espaço arquitetônico em vias de experiências poéticas e muitas vezes sem tectônica: Greg Lynn (1993), Marcos Novak (2000), etc. O quadro de interesses é diversificado e muito mais amplo, pelas diversas contingências ocasionadas, num período também de produção efervescente.

Como possibilidade de também contribuir nesse diálogo, esse artigo tem por objetivo localizar certos aspectos fundamentais dos modelos digitais, principalmente aqueles das bases algorítmicas, organizando um quadro com suas principais características e capazes de servir como referência para consultas posteriores. O meio computacional (com suas regras) define a natureza das unidades das sintaxes digitais e, de que modo e de que forma irão se agrupar e se compor, tendo em vista comportamentos específicos capazes de assumir.

Por outro lado, a intenção não é listar todos os tipos existentes de geometrias (condição impossível pela constante inquietação criativa da área), mas fornecer as características gerais dos principais algoritmos utilizados na arquitetura contemporânea e/ou digital, bem como explicações adicionais necessárias para que se tenham condições de entender outros casos aqui não enumerados, com certos princípios similares.

Também, não se trata apenas de investigar os códigos com base neles mesmos. Não é uma busca que se instaura apenas por princípios operacionais. É preciso reconhecer as características de novas arquiteturas que vem sendo desenvolvidas para que noutras instâncias possam, se se achar adequado, serem aplicadas de acordo com nossa realidade. A tecnologia é agente transformador das realidades sociais e é isso principalmente que está em causa.

2 OS PRIMEIROS ARTIFÍCIOS, O EMBRENHAR DA LINGUAGEM

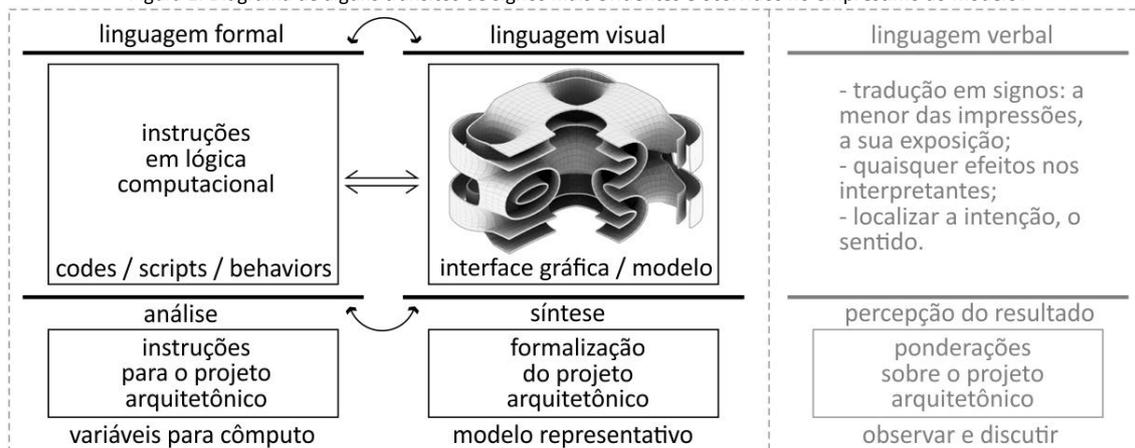
As linguagens, de modo geral, são destinadas a representar ideias e também transmitir informações. Foram criadas pelo homem como um sistema de signos e, portanto, são artificiais. Elas são ferramentas com que operacionalizamos o mundo, principalmente no plano das representações. Os elementos da linguagem não são constituídos por substâncias precisas e inequívocas, tanto daquilo que se quer exprimir, quanto das possíveis transferências de sentido que podem ocorrer. Além disso, “a linguagem, sistema de signos muito aperfeiçoado, não se reduz a um vector de comunicação; serve, também para pensar. A utilização dos signos mais própria do homem e, segundo cremos, a mais nobre consiste, precisamente, em projectar possíveis, em imaginar realidades virtuais” (LÉVY, 1997, p.31,32).

Assim, os códigos são primariamente artificiais, mas podem igualmente constituir uma segunda natureza (FLUSSER, 2007), aquela capaz de gerar significados desconhecidos e principalmente, apta a causar inquietações. A origem pode ser uma combinação qualquer, sobrevinda ao acaso e inesperada, mas também em condições calculadas, conscientes de reverberações capazes de instabilizar um padrão conhecido.

Dentro desse mundo de fenômenos significativos, os modelos arquitetônicos ainda se enquadram em sistemas de convenções, de códigos a serem reconhecidos e de funções que precisam também ser desempenhadas. Nessa conjuntura, o desenvolvimento da linguagem formal (com que as máquinas operacionalizam) não tem a mesma correspondência à chamada linguagem arquitetônica, ainda que ela a desenvolva. Há um complexo trânsito de signos formados segundo processos de caracteres muito diferentes (ver Figura 1). Além disso, os códigos computacionais provenientes dessa linguagem formal com que se desenvolve o objeto arquitetônico contêm diversas restrições e somente cria aquilo que é possível enunciar por ela. No entanto, é através da linguagem visual que se facilita todo o processo, quando simula e estabelece analogias imediatas ao que se pretende edificar.

Essas questões também se ampliam e intensificam porque o computador funda, por meio de uma interface digital comum, a possibilidade de congrega outras diferentes formas de manifestações circulantes, favorecendo processos de troca e contaminação. Esses modelos, a partir dessas influências, passam a fundar algo novo, não sendo exatamente uma simples ordenação dos códigos anteriores. O hibridismo nesse caso é pertinente, já que a palavra grega *hýbris* indica aquilo que é resultante do cruzamento de espécies ou naturezas distintas, entendido também como “excesso” (COUCHOT, 2003).

Figura 1: Diagrama de alguns trânsitos de signos mais evidentes e ocorridos no empréstimo ao modelo.



3 A SIMULAÇÃO E A DISTORÇÃO COMPUTACIONAL

Se forem organizadas de modo consistente, as operações realizadas pela máquina podem reduzir enormemente as horas que seriam raciocinadas na busca por uma solução ótima, dentre o rol de fatores e problemas de projeto. Os procedimentos que envolvem cálculos computacionais devem ser compreendidos preliminarmente como possibilidades do aumento da racionalidade projetual (EL DALY, 2009), e não simplesmente para fundar ou testar expressões plásticas.

Para que a máquina possa ajudar é necessário que o problema esteja claramente configurado e também decomposto e organizado em etapas consistentes (KOTNIK, 2006). Assim, os algoritmos surgiram como mecanismos capazes de “calcular a verdade das proposições com tanta segurança como se calculam as quantidades” (LÈVY, 1997, p.40). Um algoritmo é um conjunto organizado de operações a serem calculadas e executadas capazes de produzir um ou mais resultados de acordo com as instruções fornecidas. Quanto menor for a quantidade de instruções (comandos objetivos e não-ambíguos), mais rápido e eficaz será a operação (KOTNIK, 2006).

Além disso, os dados digitais são também caracterizados como aqueles suscetíveis às mais diversas proposições, sofrendo mutações, deslocamentos, metamorfoses, etc. “A deformação ou formação pelos signos é a própria condição da existência pensante, é original” (LÈVY, 1997, p.34). Ao ser visualizado na tela do computador, é entendido como imagem de síntese e resultante de fatores constrictivos, definidos igualmente pelas variáveis abertas e que então foram provisoriamente preenchidas. Graças ao caráter figurativo, é possível observar a face expressiva da escrita anteriormente inserida. Esse modelo torna-se resultado das muitas contingências prescritas, códigos com comportamentos específicos, sendo assim considerados no contexto da arquitetura, fatores processuais de projeto (ver Figura01).

Também, muito antes de serem geometrias propriamente ditas, na maioria das vezes são computadas apenas como sistemas de regras e restrições. Antes de conterem propriedades formais claramente definidas, visíveis e descritíveis, os fatores iniciais envolvidos nem sempre podem ser apreendidos numa resposta geométrica evidente.

Tratando-se de uma forma que não é limitada por um aspecto material, todas as mudanças imaginadas podem ser testadas. Também como o processo criativo é algo inerente ao projeto,

aqui ele é potencialmente ampliado, quando as mais singulares transformações são postas em prática, em estágios cujas propriedades são impossíveis no mundo físico. Nesse espaço, a distorção facilitada pela máquina pode muito facilmente produzir novas intenções, mudar um sentido inicial e evidentemente desvirtuar seus caracteres.

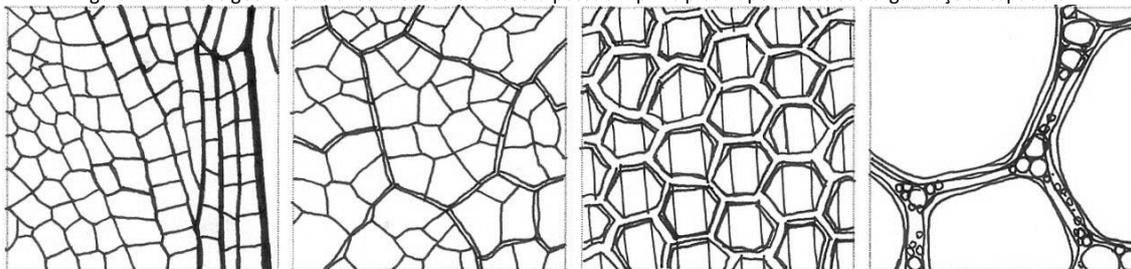
Muitas possibilidades que hoje são consideradas comuns nos softwares comerciais como um tipo de efeito, na verdade ocorreram porque muitos cientistas desejavam reproduzir com grande fidedignidade algumas condições específicas existentes no meio físico: propriedades da água, fogo, névoa, crescimento das plantas, formação das nuvens, etc. E somente se tornaram representáveis porque foram encontradas operações matemáticas capazes de descrever de forma aproximada a complexidade geométrica desses casos.

4 AS GEOMETRIAS DA NATUREZA: REFERÊNCIAS ELEMENTARES DOS ALGORITMOS

Os modelos da natureza a serem obtidos por instruções algorítmicas possuem inúmeras justificativas para se apresentarem de uma determinada maneira e, então são investigados os critérios, parâmetros ou sugestões de uso aplicáveis à arquitetura (ver Figura 2). Na natureza há um sem número de fatores capazes de interferir nos seus modelos, tornando-os únicos. Uma tentativa de descrição matemática poderá ser considerada sempre parcial e incompleta, pois nunca conseguirá abranger o universo complexo dos fenômenos estocásticos naturais.

Essa possibilidade de encontrar os princípios da forma deve estar descrita sob o rol de generalidades do algoritmo. Há determinadas soluções orgânicas que se constituem como um tipo de resposta mais adequada às adversidades encontradas, e seus princípios lógicos são um tipo de “conhecimento secreto ou oculto” desenvolvido pela natureza, exercício há muito refletido pelos antigos e tornado notório nos estudos de Leonardo da Vinci.

Figura 2: Diversas geometrias encontradas na natureza possuem princípios importantes das organizações espaciais.



Fonte: ilustrações adaptadas do banco de imagens do Google.

Arquitetar um algoritmo contendo um princípio de morfogênese – [de morf(o)- + -gênese] (desenvolvimento da forma e da estrutura de um organismo com princípios aplicáveis a geometrias) (KOLAREVIC, 2005) – não é um mero procedimento matemático, mas deve satisfazer um sistema com uma lógica própria, um conjunto sistemático de operações precisamente definidas e dispostas em categorias racionais válidas.

Atualmente é praticamente impossível listar todos os algoritmos usados nas geometrias das arquiteturas, visto serem tantos os motes nas quais podem-se inscrever princípios de ciência. No entanto, há alguns casos mais frequentes. Tendo por base os estudos de (TERZIDIS, 2006), (KOTNIK, 2006) e (EL DALY, 2009), apresenta-se a seguir aqueles tornados mais comuns, com suas qualidades específicas aplicáveis à arquitetura e urbanismo:

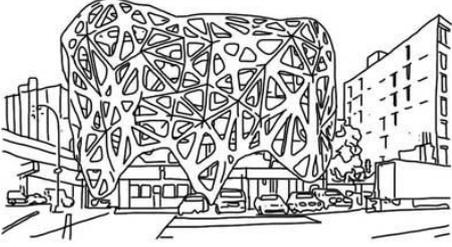
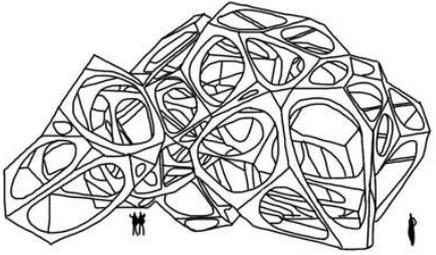
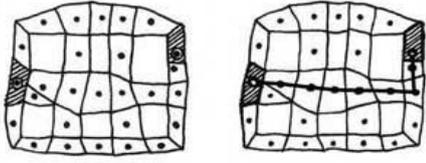
Tab.01. Principais algoritmos utilizados na arquitetura contemporânea.

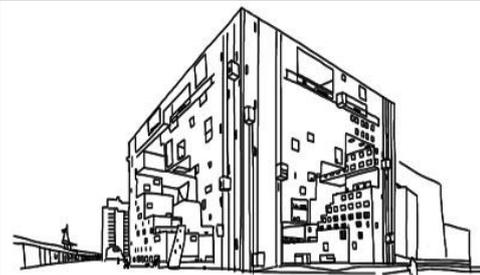
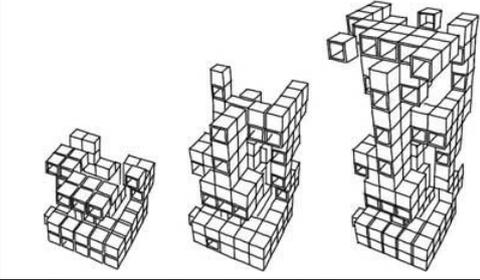
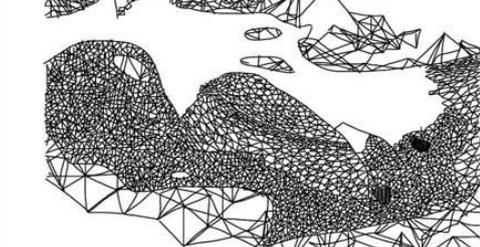
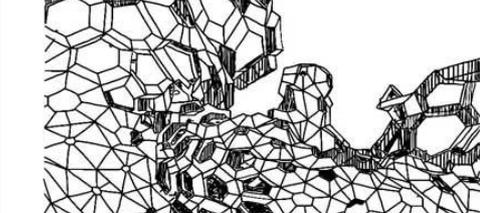
(classe a que pertence)	(algoritmo baseado em)
Geometria Computacional	1- Triangulação de Delaunay 2- Diagrama de Voronoi 3- A* (A-Star)
Sistemas Baseados em Regras	4- Fractais 5- Sistemas-L (L-Systems) 6- Busca Estocástica (Stochastic Search)
Sistemas de Auto-Organização	7- Autômatos Celulares (Cellular Automata) 8- Inteligência Coletiva (Swarm Intelligence)
Otimização	9- Algoritmos Genéticos

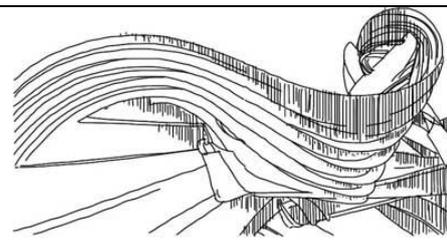
Fonte: adaptado de KOTNIK, 2006.

Todos esses algoritmos podem ser usados de forma associada, e é isso normalmente o que ocorre: princípios de forma e organização ajustados, tais como geometrias computacionais ligadas a dinâmicas de crescimento, processos de otimização, autômatos celulares, etc. Isso faz com que as complexidades sejam ampliadas, promovendo configurações irregulares extremamente intrincadas. Antes de passar às explicações dos algoritmos, observe a tabela abaixo ou quadro-resumo das suas principais características, enumerando qualidades desses algoritmos justificáveis no uso das arquiteturas contemporâneas e/ou digitais. Os tópicos listados servem para consultas rápidas e fins comparativos, extraídos de forma resumida dos diversos autores referenciados mais adiante.

Tab.02. Características gerais dos principais algoritmos utilizados na arquitetura contemporânea.

triangulação de Delaunay	<ul style="list-style-type: none"> - formação de triângulos com disposição máxima para seu aspecto equilátero; - pode ser aplicada em superfícies irregulares ou malhas. Em estruturas espaciais tridimensionais talvez sejam necessários cálculos complementares pelo diagrama de Voronoi; - o ritmo dos módulos triangulares é expressivo e adaptável a pontos preexistentes, caso necessário; - novos pontos podem ser acrescentados ou removidos e afetam apenas as adjacências da malha. 	
diagrama de Voronoi	<ul style="list-style-type: none"> - células ou polígonos convexos que compartilham faces e se ajustam perfeitamente; - podem ser ampliadas <i>ad infinitum</i> em qualquer direção, sem falhas ou lacunas, mantendo regularidade; - divisão do espaço com ritmo visual e uniformidade expressiva, bem como também a partir de referências fixas; - os polígonos convexos possuem o mínimo de ligações e processo de ajuste simultâneo entre eles, ocupando o maior volume possível. 	
A*	<ul style="list-style-type: none"> - apresenta o menor trajeto entre dois pontos ou um conjunto deles, quando necessário atravessá-los; - solução probabilística que leva em consideração diversos obstáculos, elementos construídos, etc.; - originalmente concebido para cálculos bidimensionais, mas hoje há variantes tridimensionais; - as áreas de circulação podem se tornar dados visíveis para cálculos mais precisos. 	

<p>fractais</p>	<ul style="list-style-type: none"> - a repetição de padrões geométricos permite desenvolver modelos tridimensionais que embora não se processem com regularidade absoluta, constituem um conjunto fluente e homogêneo; - elementos expressivos com alternância de valores e diferentes intensidades; - distribuição sequencial de elementos segundo intervalos graduais de translação, rotação e escala; - padrões produzem composições harmoniosas cuja assimetria pode ser adaptável a fatores de projeto. 	
<p>sistemas-L</p>	<ul style="list-style-type: none"> - geometrias inspiradas no crescimento das plantas, e também capazes de simular outros fenômenos biológicos baseados em ramificação, recursão e modularidade; - identificam conceitos da forma natural, segundo simetria, rotação, variação da escala, variação morfológica, etc.; - regras simples são gradualmente capazes de compor formas complexas, dados os caracteres de recursividade. 	
<p>busca estocástica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - elementos são colocados de forma aleatória, cumprindo funções definidas por regras; - as regras dão a liberdade relativa para que os elementos assumam diferentes configurações; - os resultados constituem informações vinculadas cumprindo dados probabilísticos do problema; - as soluções são aproximadas e requerem etapas posteriores de decisão ou ainda de refinamento da proposta. 	
<p>autômatos celulares</p>	<ul style="list-style-type: none"> - geometrias baseadas em unidades modulares, em grades ou retículas; - sistemas de grelhas podem conter unidades internas com comportamento específico e também se alterarem de acordo com unidades vizinhas; - as variações ocorrem a cada nova geração, onde regras infringem resultados imprevisíveis pelas múltiplas interações; - a autonomia, heterogeneidade, adaptação, complexidade e hierarquia são um conjunto de variáveis aplicadas a inúmeras situações. 	
<p>inteligência coletiva</p>	<ul style="list-style-type: none"> - agentes individuais podem atuar em grupo de forma coordenada num objetivo comum, buscando otimização combinatória; - as múltiplas forças individuais criam uma ação geral num processo elástico (graus de abertura com que atinge) e adaptável (variável nos espaços que ocupa); - surgem interferências espaciais das mais diversas complexidades e geometrias decorrentes dessas ações extremamente intrincadas. 	
<p>algoritmos genéticos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - formas baseadas nos sistemas adaptativos naturais, numa ampla gama de alternativas; - usando regras probabilísticas, realizam técnicas da biologia evolutiva como hereditariedade, mutação, seleção natural e recombinação; - as formas se tornam complexas à medida que herdaram caracteres anteriores, sofrem mutação, e podem gerar novos casos como descendentes. 	

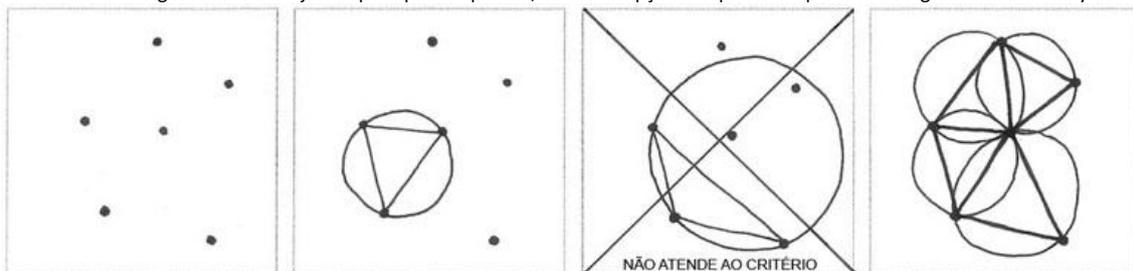
<p>outros casos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - algoritmos aplicados a situações específicas, tais como aninhar uma geometria em outra, embalar, fissurar, torcer, ondular, etc.; - podem ser “efeitos” aplicados às geometrias, baseados em sistemas cinéticos, sistemas de partículas, etc.; - as geometrias podem sofrer as mais diversas interferências, ações descritas como códigos que as afetam, com diferentes graus de abrangência, ângulo, direção, intensidade, etc. 	
---------------------	--	--

Fontes: listagem baseada em (TERZIDIS, 2006), (KOTNIK, 2006), (EL DALY, 2009), (CARPO, 2013).

Triangulação de Delaunay

É um processo de organização e divisão espacial criado pelo russo Boris Nikolaevich Delaunay, em 1934. Para um dado conjunto de pontos, faz-se a união entre eles de modo a formar triângulos. Para que o arranjo possua qualidades de otimização espacial e de boas adequações nos seus vínculos, os triângulos devem ter o critério estabelecido por Delaunay: os três pontos que formam o triângulo devem determinar uma circunferência vazia em seu interior (WANGENHEIM, 2013). Esse critério faz com que as malhas modulares se aproximem de triângulos equiláteros, melhorando o desempenho do conjunto (ver Figura 3).

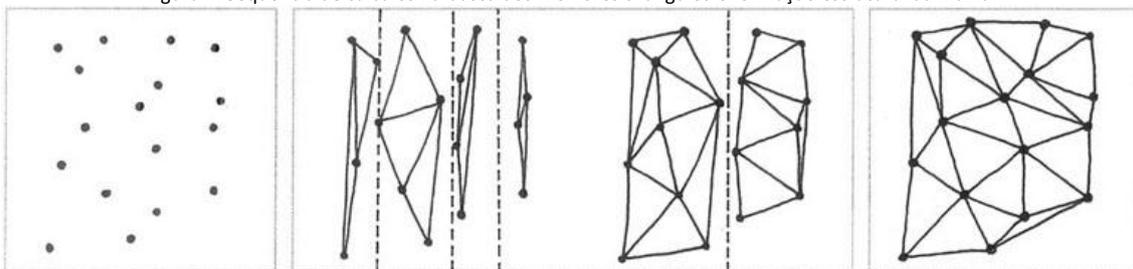
Figura 3: Num conjunto quaisquer de pontos, a melhor opção é a que corresponde ao Diagrama de Delaunay.



Fonte: (WANGENHEIM, 2013)

Esse princípio de Delaunay é muito importante porque os ângulos dos triângulos participam de um processo estável de organização. (ver Figura 4). Isso não apenas se justifica nos usos das aplicações arquitetônicas (estruturas com treliças metálicas, treliças espaciais, malhas estruturais irregulares, etc.), como também na formação de quaisquer outros objetos tridimensionais descritos computacionalmente.

Figura 4: Sequência de cálculos na busca dos melhores triângulos e formação estrutural da malha.



Fonte: (WANGENHEIM, 2013)

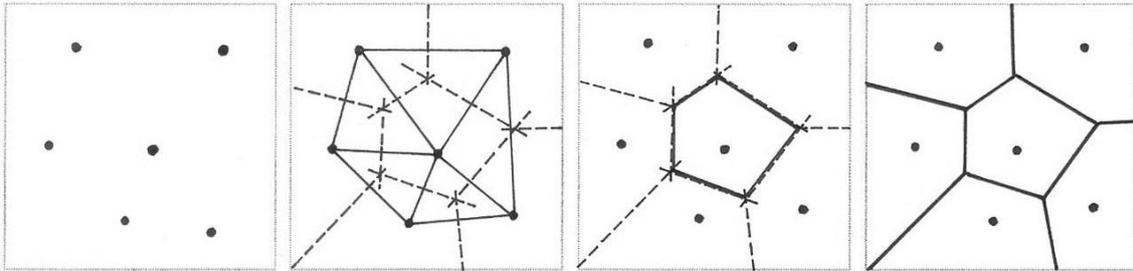
Nos cálculos da triangulação, a posição dos pontos no espaço pode configurar retículas uniformes ou, de modo mais frequente, irregulares, atendendo a problemas específicos. A

partir de condições muito variadas a triangulação de Delaunay permite criar uma referência geométrica estável e coesa.

Diagrama de Voronoi

Um dos algoritmos mais usados nas arquiteturas digitais baseia-se na concepção específica criada por Georgy Feodosevich Voronoy, matemático russo nascido em 1868, região da Ucrânia. O processo de divisão do espaço segue uma regra simples: dado um conjunto de pontos quaisquer, devem ser feitas as divisões dos espaços entre eles, de modo que haja uma região para cada ponto e cujo limite é a metade da distância entre seu vizinho, formando então polígonos convexos (ou sólidos convexos quando os pontos são distribuídos tridimensionalmente) (GOURDOUKIS, 2007). A figura que se forma é denominada região ou célula de Voronoi, conhecida por ser um grafo dual da triangulação de Delaunay, já que inicia-se a partir dela. Essa sequência de passos é melhor descrita na imagem abaixo (ver Figura 5).

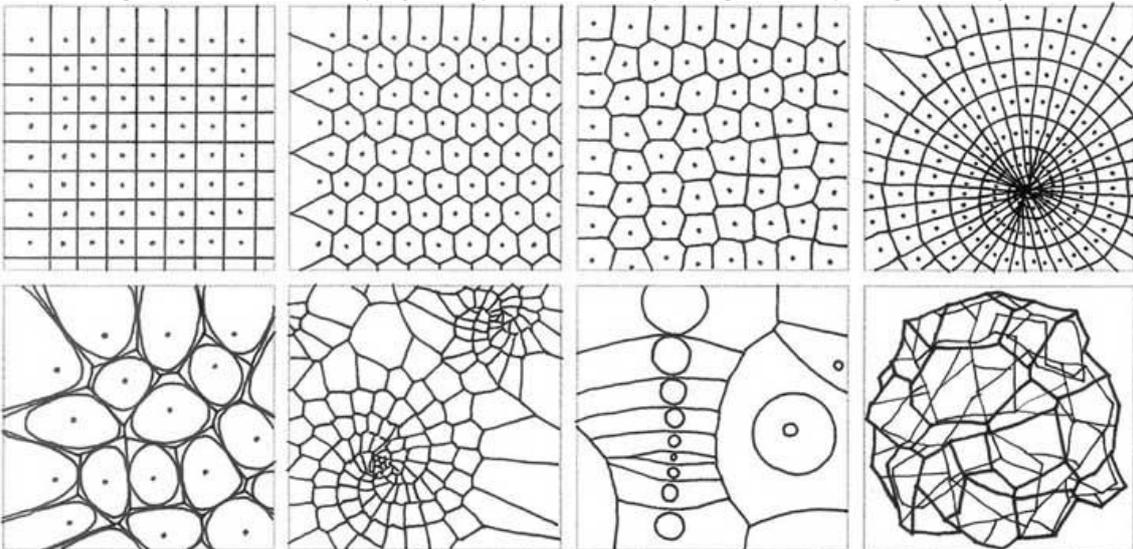
Figura 5: Dado um conjunto de pontos quaisquer, são ligados segmentos de reta entre eles e depois lançadas suas mediatrizes. Dispostas em conjunto, essas mediatrizes delimitam a forma geométrica convexa denominada célula de Voronoi.



Fontes: (GOURDOUKIS, 2007).

A geometria surgida pelo diagrama de Voronoi constitui-se num fenômeno de organização que mimetiza de modo parcial diversas soluções existentes na natureza (ver Figura 2). Essa simplicidade é recorrente em diferentes escalas, materiais e formas de vida. Na arquitetura e no urbanismo as aplicações tratam de localizar distâncias entre pontos e distintos trajetos, nos cálculos de proximidade, nos cálculos de região mais desocupada, etc. (EL DALY, 2009).

Figura 6: Testes com diversas posições dos pontos alteram o equilíbrio geométrico que surge da interação.



Fontes: (GOURDOUKIS, 2007), (CARPO, 2013).

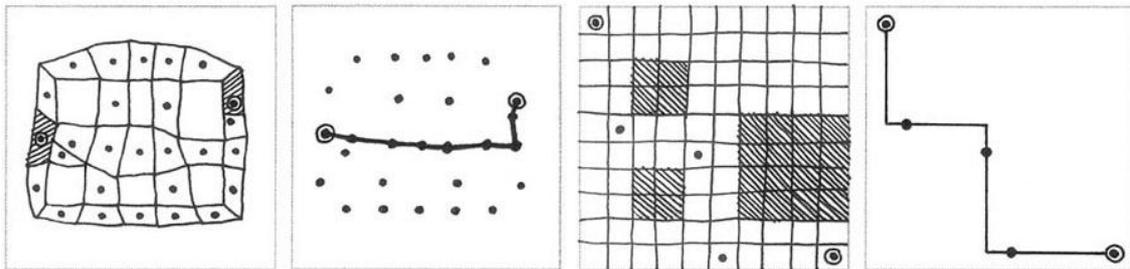
O diagrama de Voronoi é tão ostensivamente explorado que outros incrementos foram sendo introduzidos ao longo dos anos: por exemplo, ao invés de manter equidistância entre os pontos, atribui-se diferentes pesos a eles (conhecido por Diagrama de Voronoi de variável ponderada); além disso, também ao invés de serem pontos, podem ser entidades geométricas (ver Figura 6).

O uso dos diagramas de Voronoi nas arquiteturas digitais acontece principalmente por conta das propriedades geométricas. A irregularidade da disposição permite que as forças tenham interessantes características estruturais, no modo de se contrabalancearem. Essas propriedades geométricas também se tornam essenciais na garantia da tectônica desses projetos (CARPO, 2013).

Algoritmo A* (A-Star)

Esse algoritmo foi descrito pela primeira vez em 1968 por Peter Hart, Nils Nilsson e Bertram Raphael como algoritmo “A”, popularmente conhecido “*pathfinder*”, ou “busca de caminho”. Ao implementar uma heurística apropriada, esse algoritmo passa a ter um comportamento otimizado, sendo então denominado A* (A-Star) (EL DALY, 2009).

Figura 7: A* aplicado à solução de melhor trajeto em deslocamentos urbanos.



Fonte: (EL DALY, 2009)

O desempenho básico desse algoritmo é o de criar uma trajetória entre pontos, nas quais o espaço pode contar com as mais diversas restrições, sejam obstáculos, ou mesmo pontos intermediários considerados etapas transitórias a serem cumpridas. Esse algoritmo é frequentemente utilizado em urbanismo, em mapas interativos, quebra-cabeças e jogos (ver Figura 7). Outros exemplos incluem rotas do tráfego telefônico, layout de placas de circuitos, navegação em sistemas de múltiplas escolhas, etc. (EL DALY, 2009).

Fractais

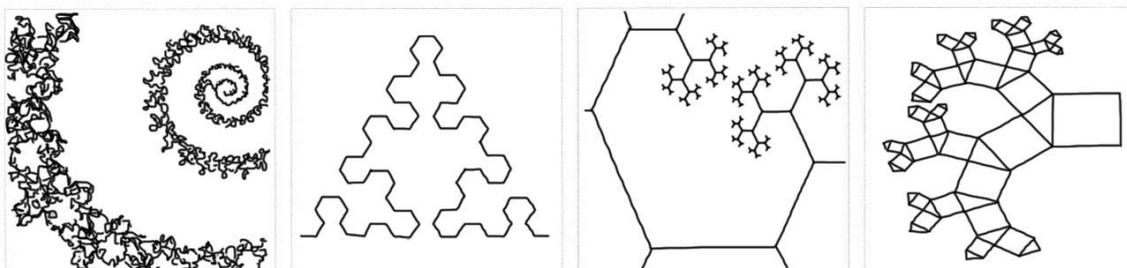
A origem dos fractais remonta às dificuldades surgidas nos casos não explicados pela geometria clássica, tanto para determinar o tamanho das coisas, como para representá-las. Sempre existiram inúmeras geometrias que não eram efetivamente estudadas e não se conseguiam formalizá-las, principalmente aquelas advindas de fenômenos naturais. Esse processo foi então desenvolvido em 1975 por Benoit Mandelbrot, matemático francês nascido na Polônia, a partir de diversos estudos existentes na época, cujo termo advém do adjetivo latim *fractus* e significa ‘quebrado’, ‘fragmentado’. A repercussão dos seus resultados são extremamente importantes e abrangentes, num processo dinâmico e não linear que contrapõe o modo de ver regular e absoluto da geometria clássica (MACHADO, 2000).

De modo mais simples pode-se dizer que um fractal é um objeto geométrico capaz de ser dividido em partes menores, sendo cada uma delas semelhantes à original. Os resultados

podem conter detalhes *ad infinitum*, pois são autossimilares e independentes de escala: as partes formam um todo e esse todo contém mesmo padrão das partes. Na maioria das vezes, o fractal pode ser gerado por padrões repetitivos, em processos recorrentes e igualmente interativos (ver Figura 8).

A partir dos fractais é possível descrever e representar estruturas de fenômenos naturais resistentes à formalização, tais como a irregularidade de uma montanha, a distribuição das folhas numa árvore, o padrão de certos fluidos, o perfil flamejante das chamas, etc. (MACHADO, 2000). Na arquitetura e urbanismo, a repetição e a distribuição a partir de uma ordem hierárquica interna, permitem geometrias harmoniosas com trechos menores fragmentados, cujos princípios assimétricos podem ser adaptados a necessidades específicas do projeto.

Figura 8: Exemplos de fractais.



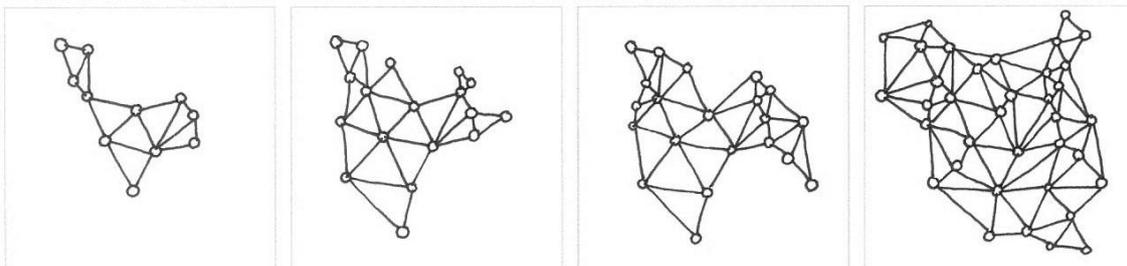
Fonte: ilustrações adaptadas do banco de imagens do Google.

Busca Estocástica (Stochastic Search)

Um algoritmo de busca estocástica disponibiliza uma coleção de variáveis randômicas organizadas num determinado tempo. São designadas a partir de eventos aleatórios e portam comportamentos dinâmicos, normalmente imprevisíveis no decorrer de um certo período (EL DALY, 2009). Esse processo pode ser muitas vezes confundido com soluções inexatas, uma vez que são oferecidas muitas soluções (ver Figura 9). No entanto, é possível em etapas posteriores restringir as variáveis do processo segundo novas regras.

O aspecto aleatório do algoritmo pode incomodar um pouco, mas acaba demonstrando que uma regra pode dispor diversas configurações proveitosas, como num problema interpretativo de projeto. Sob essa premissa, parece tornar evidente que entre a construção da regra (na circunscrição dos problemas e seus prováveis graus de liberdade) e a resposta da forma (resolução expressiva, de configuração, etc.) há diversas questões a serem tratadas e são na sua maioria, subjetivas (KOTNIK, 2006). Enquanto os algoritmos determinísticos executam operações claramente definidas, os estocásticos podem conduzir à aproximação da solução, cabendo uma posterior decisão interpretativa.

Figura 9: Sequência de padrões estocásticos, na ampliação da figura por acréscimo de pontos aleatórios.



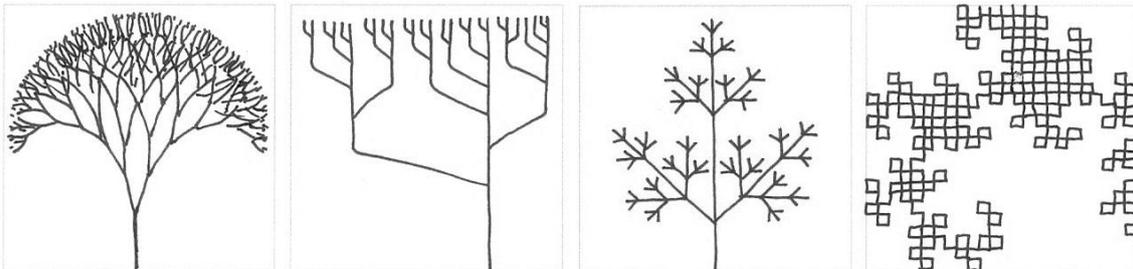
Fonte: ilustrações adaptadas do banco de imagens do Google.

Sistemas-L (L-Systems)

O biólogo húngaro Aristid Lindenmayer, no final dos anos de 1960 procurou desvendar as regras mais básicas com que as plantas se desenvolviam, tendo por base uma natureza recursiva, e referências de auto-similaridade como nas teorias fractais de Mandelbrot. A beleza das plantas despertava sua atenção e diversas geometrias notáveis visualizadas a partir de modelos simétricos, com disposições radiais, helicoidais, ramificadas, etc., foram estudadas como fatores de organização e de estrutura, contribuindo nos conceitos de elegância e beleza naturais (CARPO, 2013).

Lindenmayer Systems ou Sistemas-L é conhecido por descrever o crescimento das plantas segundo um conjunto de regras muito similares aos fractais, capazes de modelar diversos fenômenos de desenvolvimento biológico (KOTNIK, 2006). Modelos de plantas e formas orgânicas com aparência natural possuem definições elementares, bem como no aumento do nível de recursão, a forma lentamente 'cresce' e se torna mais complexa (ver Figura 10).

Figura 10: A aproximação geométrica dos fenômenos de crescimento e estruturação das plantas.



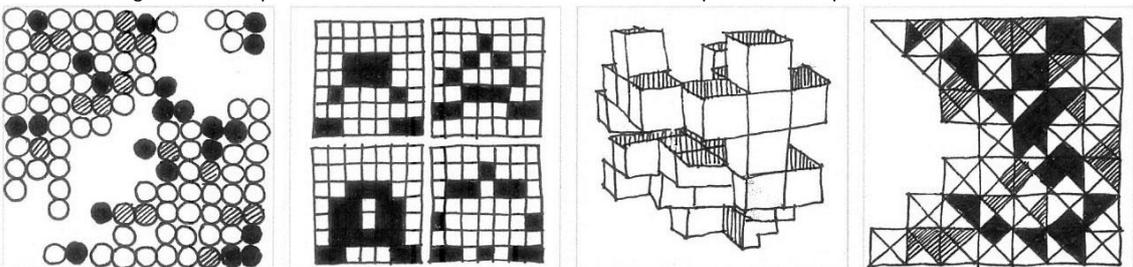
Fonte: (LINDENMAYER; PRUSINKIEWICZ, 1990)

Autômatos Celulares (Cellular Automata)

Os autômatos celulares foram introduzidos por John von Neumann e Stanislaw Ulam como modelos para estudar processos de crescimento e auto-reprodução. Um autômato celular é um modelo discreto constituído por uma grelha regular de células, e cada uma delas pode assumir um número finito de estados, variando de acordo com essas regras. Cada vez que as regras são aplicadas à grelha completa, uma nova geração é produzida (ver Figura 11).

Cada célula tem um estado específico, ocupado ou vazio, representado por um marcador que grava sua localização. O processo de transição começa com um estado inicial de células ocupadas e progride por um conjunto de regras a cada nova geração (KOTNIK, 2006). As regras determinam quem sobrevive, quem morre, ou ainda nasce na próxima geração. As regras usam igualmente as células vizinhas para determinar esse futuro. Nesse caso, o "bairro" pode ser especificado de diversas maneiras, de acordo com a necessidade do projetista.

Figura11: O comportamento das células varia conforme também àqueles sofridos pelas células vizinhas.



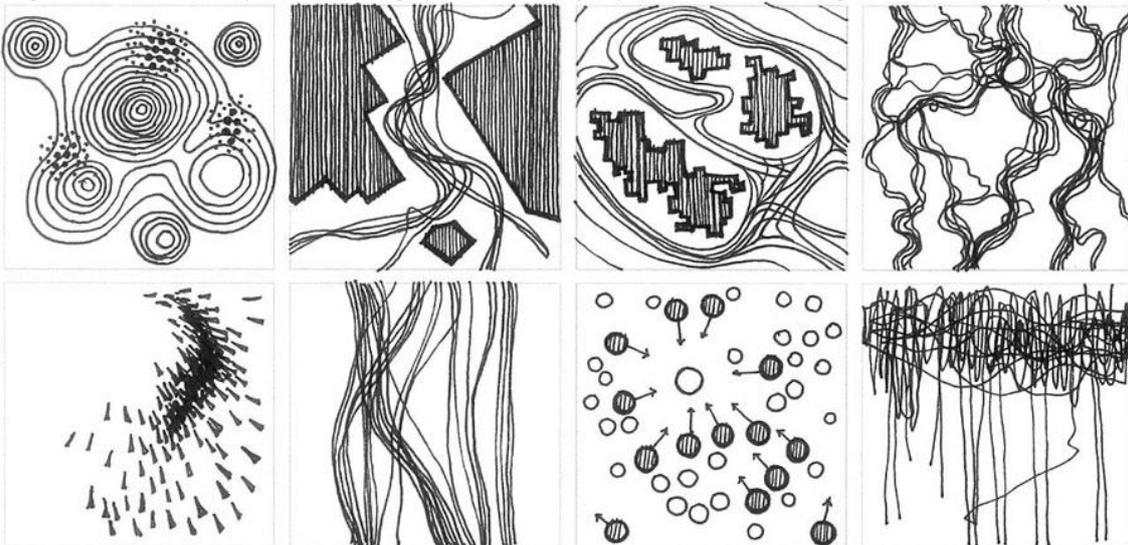
Fonte: (CARPO, 2013).

Inteligência Coletiva (Swarm Intelligence)

Inteligência Coletiva é o nome dado a um sistema artificial inspirado no comportamento coletivo descentralizado e também auto-organizado. Embora não haja um controle centralizado para ditar como devem se comportar os agentes individuais, as interações locais entre tais agentes faz surgir um comportamento global organizado. Exemplos naturais incluem colônias de formigas, abelhas, bando de aves, grupo de animais, cardumes, etc. (TERZIDIS, 2006).

Os estudos dos insetos como uma metáfora social, a serem aplicados na solução de problemas arquitetônicos e urbanos, tornou-se um tema muito explorado nos últimos anos (ver Fig. 12).

Figura12: Modelos de comportamentos em grupo afetam o espaço e podem contribuir estrategicamente em diversas questões.



Fontes: (KOTNIK, 2006), (EL DALY, 2009), (CARPO, 2013).

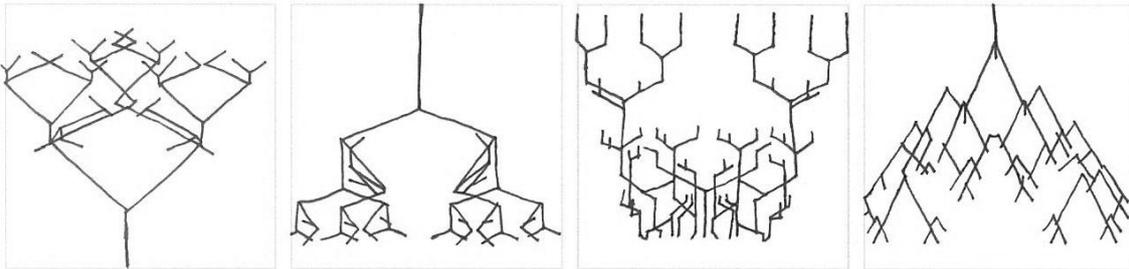
Os principais benefícios da Inteligência Coletiva são os processos de adaptabilidade, evolução, elasticidade, ilimitação, inovação. As aparentes desvantagens são: constituir um sistema não otimizado, de difícil controle, imprevisível, pouco compreensível, não imediato (EL DALY, 2009).

Algoritmos genéticos

Foram criados na tentativa de explicar os processos adaptativos dos sistemas naturais e então serem implementados nos sistemas artificiais, técnica fundamentada principalmente pelo americano John Henry Holland. Esses algoritmos mostram grande poder nos campos de projeto, devido à sua capacidade de criar uma ampla gama de alternativas, em um tempo muito curto, o que pode ajudar o projetista na tomada de decisões (TERZIDIS, 2006). A ideia é baseada principalmente nas regras genéticas, na teoria da seleção natural e evolução, semelhantes às dos seres vivos (ver Figura 13).

Os Algoritmos Genéticos compreendem sistemas evolutivos que usam técnicas inspiradas na biologia evolutiva, tais como hereditariedade, mutação, seleção natural e recombinação (EL DALY, 2009). O processo de geração da forma arquitetônica pode ser feito por sucessivas gerações de modelos baseados na evolução de caracteres. Irão representar diversas alternativas na criação das formas, à medida que graus de complexidade forem sendo atingidos; furos, dobras, ondas, repetições, distensões e retenções podem ser incluídos como parte da satisfação dos critérios arquitetônicos no processo de seleção natural.

Figura 13: Exemplos de árvores genéticas e suas recombinações de genes.



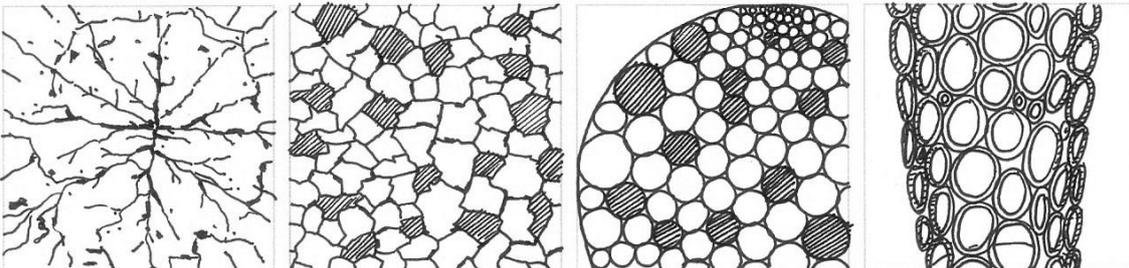
Fonte: *Thumbnails* disponibilizados pelo *software* Genetic Algorithm Viewer, aplicativo que permite criar inúmeros casos.

Outros algoritmos

Aqui se enquadram diversos casos que podem simular efeitos adaptados à conveniência do projetista: criar propriedades líquidas ou viscosas, sistemas cinéticos tais como ventos, ondas, ventos e ondas concêntricas, etc; simular fogo, névoa, fumaça, etc; aninhar geometrias (colocar uma forma ou uma conjunto delas dentro de outra), envelopar (distorcer para que se adapte a um formato), fissurar ou estilhaçar, seccionar geometrias e recombina-las, etc. São inúmeros os casos.

Por exemplo, o algoritmo de craquelar divide partes dos objetos em tamanhos menores, quebrando-o em regiões similares. Ao usar a forma no seu modo recursivo, produz-se geometrias auto-similares (ver Figura 14).

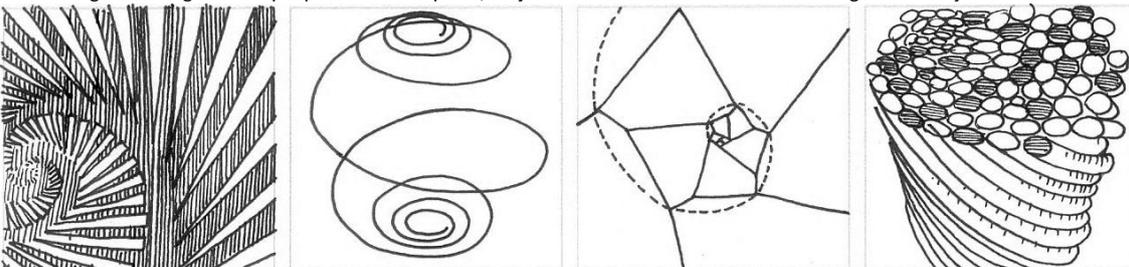
Figura 14: Exemplos de craquelar e envelopar.



Fonte: ilustrações adaptadas do banco de imagens do Google

Já o método de envelopar ou aninhar faz a inclusão de um ou mais elementos em outro(s) e implica num reajuste entre eles (ver Figura 14). Esses métodos apresentam resultados extremamente úteis. Há também algoritmos para torção, realizando movimentos curvos. A espiral é um caso típico e recorrente das configurações naturais, e também um índice de movimento, do modelo em formação (ver Figura 15), e é também frequentemente utilizada.

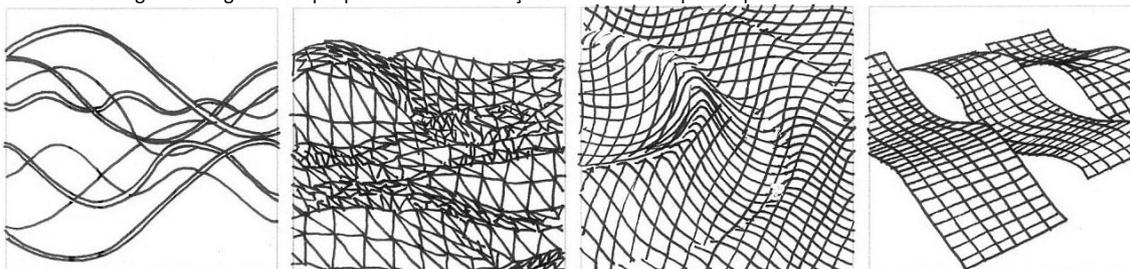
Figura 15: Algoritmos que podem criar espirais, torções com diferentes intensidades e ângulos de força nos eixos.



Fonte: ilustrações adaptadas do banco de imagens do Google

Também como modelo muito comum, há as formações em ondas, ocorrendo de diversas maneiras, de acordo com frequência, intensidade, comprimento, etc., ou mesmo formatos concêntricos. Uma forma ondulada apenas se torna autossustentável quando é composta por estruturas menores entrelaçadas, capazes de gerar maior resistência (ver Figura 16). A trama é um padrão de entrelaçamento, uma estrutura simples em que a forma da construção é determinada nas propriedades elásticas dos materiais e no padrão através do qual esses materiais interagem (EL DALY, 2009).

Figura16: Algoritmos que podem criar ondulações em diversos tipos de padrões e também criar tramas.



Fonte: ilustrações adaptadas do banco de imagens do Google

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os algoritmos surgem como possibilidades de criar modelos abstratos, aptos a realizar oscilações entre exemplos conhecidos, em operações capazes de transformar os caracteres dos objetos arquitetônicos. Os códigos digitais determinados nessas sequências de operações são também os códigos que fundam uma categoria de linguagem arquitetônica à qual possibilita um sentido amplo de enunciação. Parecem não apenas ampliar os limites da área, mas também contrapor conceitos amplamente estabelecidos na arquitetura.

Por intermédio dos computadores, novas linguagens são criadas, com complexos caracteres de expressão. Elas passam a interferir substancialmente na produção dos signos arquitetônicos, numa cultura informática não usada apenas para representar ideias anteriormente pensadas pelo projetista, mas como auxílio real naquilo que talvez seja mais íntimo do projeto: o processo de criação.

Como se podem observar, essas máquinas de enunciação simbólica não são neutras ou inocentes (MACHADO, 2000). Ao contrário, são fundantes como forças ativas capazes de estabelecerem e conservarem uma suposta ordem natural que mantém esses modelos, surgida também a partir de confluências improváveis. Além disso, essas ferramentas possuem um modo específico de serem usadas e esse uso peculiar influencia a percepção, além daquilo que nos é igualmente caro, o modo de pensar.

REFERÊNCIAS

- CARPO, Mario (Org.) *The digital turn in architecture 1992-2012*. AD Reader, Wiley: Chichester, United Kingdom, 2013.
- COUCHOT, Edmond. 2003. *A tecnologia na arte: da fotografia à realidade virtual*. Porto Alegre: Ed. da UFRGS.
- EL DALY, Hazem M. T. *Revisiting algorithms in architectural design "Towards new computational methods"*. Doctorate Thesis, Ain Shams University, Egypt, 2009.



- FLUSSER, Vilém. *O mundo codificado. Por uma filosofia do design e da comunicação*. Trad. Raquel Abi-Sâmara. São Paulo: Cosac Naify, 2007.
- GOURDOUKIS, Dimitris. *Algorithmic body*. 2007. Disponível em <<http://object-e.net/uncategorized/algorithmicbody>> Acesso em 08 fev 2014.
- KOLAREVIC, Branko. *Architecture in digital age: design and manufacturing*. New York: Spon Press, 2003.
- _____. Digital architectures. In: *IV Congresso Ibero Americano de Gráfica Digital*, Rio de Janeiro, 2000.
- _____. Digital morphogenesis and computational architectures. In: *4ª SIGRADI*, Rio de Janeiro, 2005, p.1-6.
- KOTNIK, Toni. *Algorithmic Extension of Architecture*. Arch CAAD Thesis, Zurique, 2006. Disponível em <http://wiki.arch.ethz.ch/twiki/pub/MAS0506stu/NDSToniKotnik/ToniKotnik_ThesisMAS2006_Small.pdf> Acesso em 08 fev 2014.
- KRAUEL, Jacobo. *Contemporary digital architecture: design and techniques*. Barcelona, Spain: Links, 2010.
- LÉVY, Pierre. *Ideografia dinâmica. Para uma imaginação artificial?* Trad. Manuela Guimarães. Lisboa: Instituto Piaget, 1997.
- LINDENMEYER, Aristid; PRUSINKIEWICZ, Przemyslaw. *The algorithmic beauty of plants*. Springer Verlag, 1990. Disponível em <<http://algorithmicbotany.org/papers/abop/abop.pdf>> Acesso em 08 fev 2014.
- LYNN, Greg. Architectural curvilinearity: the folded, the pliant and the supple. In: LYNN, Greg (Ed.), *Architectural Design 63: Folding in architecture*, London: Academy Editions, 1993. p.8-15.
- MACHADO, Arlindo. *Máquina e Imaginário*. São Paulo: Senac, 2000.
- MITCHELL, William J. *A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição*. Trad. Gabriela Celani. Campinas, SP: Ed. da Unicamp, 2008.
- _____. Antitectonics: the poetics of virtuality. In: BECKMANN, John (Ed.) *The virtual dimension: architecture, representation, and crash culture*. Nova York: Princeton Architectural Press. 1998.
- NOVAK, Marcos. *The meaning of trans-architecture*. 2000. Disponível em <<http://www.fen-om.com/network/2010/03/05/the-meaning-of-trans-architecture-marcos-novak/>> Acesso em: 13 mar. 2012.
- OXMAN, Rivka. *Digital architecture as a challenge for design pedagogy: teory, knowledge, models and médium*. Technion, Institute of Technology, Haifa, 2008.
- _____. Theory and design in the first digital age. In: *Design Studies 27*, 2005, p.229-265.
- PERRELLA, Stephen, *Eletronic baroque*. Cristina, 2001, p.149-150.
- _____. (Org.) Hypersurface architecture. In: *Architectural Design*. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- PICON, Antoine. A arquitetura e o virtual: rumo a uma nova materialidade. In: SYKES, A. Krista (org.) *O campo ampliado da arquitetura: antologia teórica 1993-2009*. Trad. Denise Bottmann, São Paulo: Cosac Naify, 2013, p.205-220.
- TERZIDIS, Kostas. *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press/Elsevier, 2006.
- WANGENHEIM, Aldo von. *Reconhecimento de padrões*. Disponível em <<http://www.inf.ufsc.br/~patrec/intro.html>> Acesso em 08 fev 2014.