

CENTRO UNIVERSITÁRIO BELAS ARTES DE SÃO PAULO

DESIGN DE PRODUTO

DESIGN ASSISTIDO POR ALGORITMO APLICADO AO DESIGN DE PRODUTO

Orientanda: Júlia Tenuta Martins
Orientadora: Profa. Andrea Bezerra de Carvalho Macruz

RESUMO

Neste artigo é discutido o uso de algoritmos no design de produto, processo que vem sendo muito utilizado na concepção, desenvolvimento e fabricação de produtos. A apresentação de definições e a análise de projetos trazem uma visão inicialmente ampla sobre o assunto e depois específica. Isso proporciona diferentes abordagens do uso do algoritmo, com o objetivo de esclarecer seu conceito e sua função, quando aplicado ao design de produto. Busca-se, a partir da definição fundamental de algoritmos, entender as vantagens e desvantagens da aplicação desse processo no desenvolvimento de projetos, apresentando a história do design, atestando sua multidisciplinaridade e trazendo uma breve investigação sobre os sistemas *Computer Aided Design* (CAD).

PALAVRAS-CHAVE: Design de Produto, Algoritmos, CAD

ABSTRACT

This paper discusses the use of algorithms in product design, a process that has been widely used in the design, development and manufacture stages of a product. The presentation of definitions and projects analysis bring at first a broad view of the subject and then a specific one. This provides different approaches to the use of the algorithm, in order to clarifying its concept and function, when applied to product design. It seeks to understand the advantages and disadvantages of applying this method in the development of projects, approaching the history of design, its multidisciplinary and a brief investigation on Computer Aided Design (CAD) systems.

KEYWORDS: Product Design, Algorithms, CAD

INTRODUÇÃO

O uso de diferentes tecnologias, cada vez mais, vem se expandindo no campo do design, tanto na área de criação, como na de produção. Atualmente, são comuns termos como “fabricação digital”, “prototipagem rápida”, “parametria” e “algoritmo”, mas poucas pessoas entendem realmente seus significados, usos e benefícios, especialmente na área de design de produto. Neste artigo, será explorado especificamente o caso dos algoritmos.

Segundo Terzidis (2009), algoritmo é um conjunto de instruções fornecido por um ser humano para ser executado por um computador, que utiliza um número limitado de passos para a resolução de problemas, gerando infinitas soluções. Assim, o design algorítmico possibilita que mais formas sejam criadas, em um menor tempo, sem que a geometria seja diretamente manipulada no computador, apenas adicionando-se ou modificando-se diferentes variáveis, gerando, portanto, uma solução mais otimizada do problema, com formas mais complexas que dificilmente poderiam ser criadas a mão.

Para o desenvolvimento de um produto, o algoritmo pode ser utilizado de diferentes maneiras, tanto para otimizar o processo de produção como para gerar formas extraordinárias. Este artigo tem como objetivo analisar o uso de algoritmos no desenvolvimento de produtos e divide-se em quatro partes. Na primeira, o histórico do algoritmo é apresentado. Na segunda, é explorado o design em sua totalidade, enfatizando sua multidisciplinaridade. Na terceira, são explicitados os usos e aplicações do algoritmo na programação do design de produto, a fim de evidenciar suas vantagens. Na última, são estudados dois projetos em que o algoritmo foi utilizado na criação e fabricação.

Somando-se todas as etapas acima descritas, tem-se uma visão geral da aplicação dos algoritmos no design de produto, trazendo ao foco pontos importantes referentes aos seus usos nos processos de criação e de fabricação, com estudos de caso e explanação dos principais conceitos.

OS ALGORITMOS

Os algoritmos são conhecidos e usados há muitos anos, antes mesmo do advento da computação. Para entender como os algoritmos surgiram, deve-se voltar um pouco na história para então compreender a sua inserção na computação.

A solução de problemas na matemática exigiu a elaboração de mecanismos com regras que permitissem a repetição simplificada de um processo para a obtenção de um resultado.

Todos aprendem desde o ensino fundamental alguns pequenos algoritmos, por exemplo, a soma de dois números. Um dos processos ensinados é colocar os números um sobre o outro e ir somando cada coluna individualmente, começando pela direita. Caso a soma seja maior do que 9, a casa da dezena é somada à coluna à esquerda. Isso é repetido até a última coluna. Esse processo que é feito com muita naturalidade atualmente é um pequeno exemplo de algoritmo. Com o desenvolvimento dos computadores foi necessário desenvolver algoritmos para que as máquinas pudessem fazer a soma de dois números.

O método de Herão para calcular a raiz quadrada de um número é outro exemplo de algoritmo que pode ser usado por um computador. Para calcular a raiz quadrada do número 100, por exemplo, um computador pode iniciar com a metade de 100, ou seja 50. Dividindo-se 100 por 50, o resultado é 2. A raiz quadrada de 100 deve, portanto, ser um número entre 50 e 2. O computador toma a média entre 50 e 2, ou seja 26, e reinicia o processo. Dividindo-se 100 por 26, o resultado é 3,8. A média entre 26 e 3,8 é 14,9, então reinicia-se o processo com este número e assim por diante.

Fonseca (2007), destaca o impacto do computador na vida moderna:

A preocupação constante em minimizar o esforço repetitivo e tedioso produziu o desenvolvimento de máquinas que passaram a substituir o homem em determinadas tarefas. Entre essas está o computador, que se expandiu e preencheu rapidamente os espaços modernos pelos quais circulam as pessoas. A partir do aparecimento da noção de número natural, passando pela notação aritmética e pela notação vinculada ao cálculo algébrico, mostra-se como apareceram regras fixas que permitem computar com rapidez e precisão, poupando, como dizia Leibniz, o espírito e a imaginação.

A computação, portanto, traz a união de várias áreas do conhecimento humano, como a matemática, a eletrônica digital e a lógica de programação, facilitando a vida das pessoas, amenizando trabalhos e agilizando processos.

Todas essas máquinas e tecnologias têm o algoritmo como elemento central e é a partir disso que são resolvidos problemas no computador. Primeiro, deve-se descrever o problema de forma clara e precisa, buscando uma sequência de passos que permita que o problema seja resolvido rápida e repetidamente. Em seguida, é preciso definir como os dados serão processados e armazenados na máquina. No entanto, não existe um conjunto de regras, ou seja, um algoritmo que nos permite a criação de algoritmos. Além disso, não há apenas uma sequência de regras possível para a resolução de cada problema, pois há inúmeras formas de fazê-lo. Alguns algoritmos chegam à mesma solução, mas outros podem gerar soluções distintas. O que irá diferir é a forma como o algoritmo foi pensado para chegar a esse resultado; a lógica utilizada.

No design é possível representar o problema usando diferentes linguagens, como a icônica, a analógica ou a simbólica. A representação icônica é composta pelos desenhos bi e tridimensionais e é o meio mais utilizado pelos designers. No entanto, é muito limitadora, principalmente para resolução de problemas complexos, já que está restringida apenas ao mundo virtual. A representação analógica engloba as maquetes e protótipos, que, por outro lado, permite um contato direto com a solução, proporcionando uma melhor análise dos resultados encontrados e facilitando a otimização do projeto. A representação simbólica é caracterizada pelas operações matemáticas, que possibilitam uma análise mais minuciosa e científica do produto, desde simulações a processos de produção. O *Computer Aided Design* (CAD) engloba todos esses tipos de linguagem, além de acrescentar funcionalidades ao sistema.

As tecnologias CAD consistem em um conjunto de ferramentas digitais que auxiliam em todo o processo de design: concepção, projeto, engenharia, manufatura e pós-produção. Com isto, é possível representar e visualizar objetos, simular o desempenho funcional de um produto, verificar aspectos técnicos, funcionais e estéticos e otimizar as formas em função de parâmetros produtivos. “Tudo isto sem que haja necessidade de sair do espaço virtual das possibilidades” (MANZINI 1992: 172).

A integração dos sistemas CAD aos projetos de design trouxe, nos últimos 30 anos, alterações significativas para o ser humano. Hoje, o homem é auxiliado pela máquina enquanto utiliza como interface o teclado, o mouse e a tela do computador em vez do antigo lápis, papel e borracha. O uso do computador possibilita um registro mais completo, rápido, descritivo, objetivo e público do projeto.

Arturo Tedeschi, em seu livro *Algorithmic Aided Design* (AAD), apresenta o algoritmo como um meio que auxilia designers a achar novas soluções e ir além das limitações dos softwares de CAD tradicionais e de modelagem 3D. Ainda mais, resume o conceito principal do design algorítmico: o potencial de gerar e controlar a complexidade do design além das capacidades humanas.

Podemos pensar, ainda, que o design assistido por algoritmo é o desenvolvimento de um processo e não da forma final no sentido mais amplo da questão, já que o algoritmo irá gerar inúmeras formas a partir de parâmetros de entrada. Em 1998, Bruce Mau afirma em seu livro *Incomplete Manifesto for Growth* que “o processo é mais importante que o resultado. Quando o resultado conduz o processo nós iremos apenas onde já estivemos antes. Se o processo conduz o resultado nós podemos não saber para onde estamos indo, mas sabemos que queremos estar lá”.

A MULTIDISCIPLINARIDADE DO DESIGN

“Design é uma atividade que é agregada a conceitos de criatividade, fantasia cerebral, senso de invenção e de inovação técnica” (BÜRDEK 2006). É, portanto, uma atividade multidisciplinar que ao mesmo tempo tangencia as artes visuais e a engenharia. Um designer tem a habilidade de transformar uma necessidade em um produto por meio de pesquisa e conceituação.

O Desenho Industrial, mais conhecido hoje como Design de Produto, surge com a Revolução Industrial em meados do século de XIX, quando houve a separação do projeto e da manufatura. Antes, com o trabalho manual, o produto era desenvolvido no momento de sua concepção, sem um projeto e sem se levar em conta todo o processo - o que dizia respeito ao artesão era apenas a etapa em que trabalhava. Surge, então, o desenhista industrial, que une o projeto, a produção e a comercialização em um processo de trabalho único que busca entender todas as fases de desenvolvimento do objeto. O designer aparece como um ser social, significativo e objetivo, trabalhando para proporcionar conforto e funcionalidade. Segundo a definição da *Industrial Design Society of America* (IDSA):

O designer deve otimizar a função, valor e aparência dos produtos, para o benefício mútuo do usuário e do produtor, levando em consideração as características, necessidades e interesses humanos, e incorporando os critérios visuais, táteis, de segurança e de conveniência.

O designer, portanto, torna-se peça essencial na concepção e fabricação de qualquer produto e seu design deve buscar sempre ter como componentes principais a performance, a qualidade, a durabilidade, a aparência e os custos. Além disso, é comum que o designer atue diretamente com engenheiros, em um diálogo contínuo.

Antes vistos como duas áreas completamente distintas, o design e a engenharia trabalham muito próximos uma da outra para o desenvolvimento de novos produtos, já que nas duas disciplinas as partes funcional, técnica e estética estão sempre juntas. Pode-se dizer que o que o designer define, ou tenta definir, é o resultado final, enquanto o engenheiro tenta buscar uma maneira de chegar a esse resultado.

Em termos de interdisciplinaridade, a maior contribuição da engenharia para o design é o pensamento lógico, que possibilita uma grande variedade e versatilidade de opções para resolução de problemas, foco principal dessas duas grandes áreas. Os algoritmos vêm sendo trazidos da engenharia para atuar no design com o objetivo de facilitar e integrar a concepção e a produção do produto, já que torna a tarefa de aprimorar e otimizar o design mais dinâmica

e menos trabalhosa. No design de produto, aliás, não há uma solução única para cada problema, e sim um leque de possibilidades e respostas. Toda essa integração, no entanto, não faz com que o design se torne uma ciência exata, como a engenharia. Se o fosse, não seria completa porque lida com dados subjetivos como o ‘belo’ e não somente com operações lógicas.

Se for vista como um processo de resolução de um problema, a concepção de um produto segue uma metodologia de projeto. Segundo Munari (1981), a metodologia é constituída pelas seguintes fases:



Sem os sistemas CAD ou a integração com a engenharia, muitas dessas etapas eram

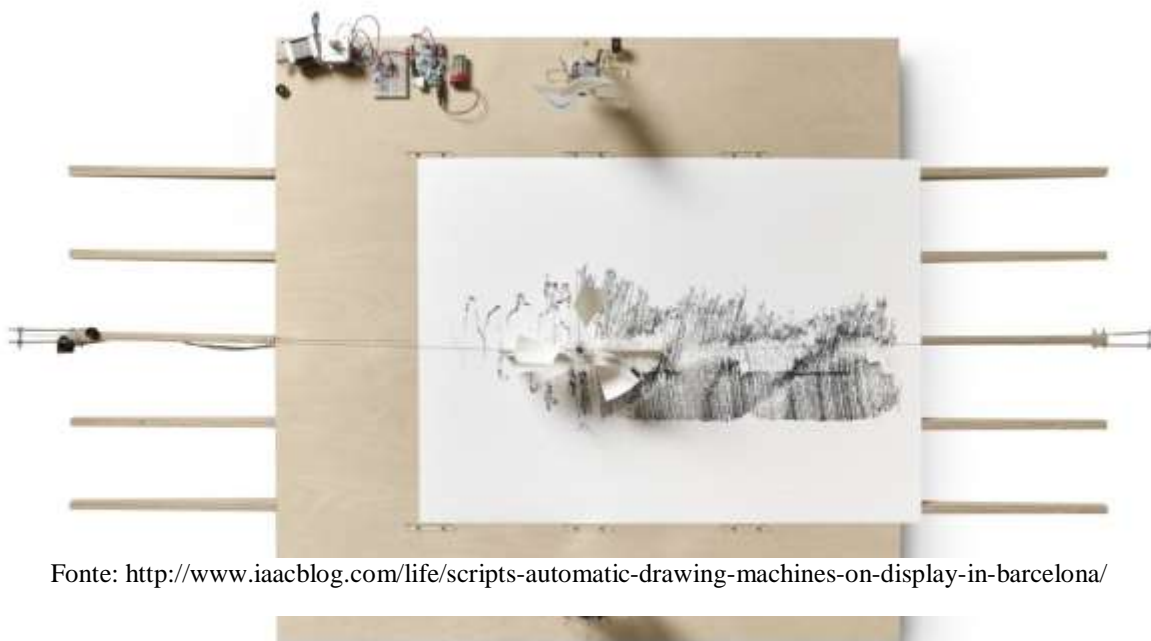
Fonte: MUNARI (1981), p.55. Adaptado.

realizadas por pessoas diferentes, em contextos espaço-temporais distintos.

Uma cadeira de madeira, por exemplo, era antes desenhada à mão por um designer que, muitas vezes, não levava em consideração a anatomia do objeto ou o comportamento do material utilizado em sua produção, apenas o concebia e o enviava a um carpinteiro. Este, por sua vez, seguia o desenho e confeccionava a cadeira da maneira mais prática e simples possível, de acordo com seu conhecimento em relação à resistência do material e aos processos de produção. Era comum que, durante esse processo, o carpinteiro encontrava um problema de estrutura, então ele o corrigia da maneira que fosse possível, desviando do design original enviado e só notificando o autor da peça quando esta já estivesse finalizada.

Hoje, o designer possui um conhecimento horizontal, ou seja, não se preocupa apenas com o projeto, mas questiona todas as áreas adjacentes, fazendo com que essa situação de linearidade e disparidade das etapas se dissolva. Em vez do processo de design ser linear (problema – análise – solução), verifica-se uma mistura de ações. Agora, o processo é muito mais rápido e integra outras áreas de conhecimento, potencializando a solução a ser encontrada, ao passo que não há perdas ao longo das etapas, já que elas acontecem ao mesmo tempo e com os profissionais em constante comunicação.

Voltando ao exemplo acima, para o desenvolvimento de uma cadeira de madeira, hoje é levado em conta muito mais do que apenas o aspecto visual do exemplar, mas também a anatomia do produto e a resistência e o comportamento do material utilizado. Para isto, há um diálogo entre todos os profissionais que trabalham no desenvolvimento dessa cadeira, como um carpinteiro, um engenheiro e provavelmente algum especialista na área comercial para que o produto atenda, da melhor forma, ao mercado consumidor. Diversas escolas ao redor do mundo já aplicam essa nova metodologia, por exemplo, o IAAC - *Institute for Advanced Architecture of Catalonia* em Barcelona. No curso de mestrado em arquitetura avançada, os alunos são instigados a projetar máquinas que criam desenhos mecanicamente por meio de estímulos externos, desde o movimento das ondas do mar até um pêndulo livre. Os resultados são desenhos singulares que lembram os traços de um artista e que são irreplicáveis. Cada vez que a máquina é acionada o resultado encontrado é diferente.



Fonte: <http://www.iaacblog.com/life/scripts-automatic-drawing-machines-on-display-in-barcelona/>

Segundo Edouard Cabay, diretor do projeto, os alunos não podem prever os resultados que irão encontrar, mas sabem a direção em que querem ir. O projeto é um exercício de análise que busca entender os fenômenos e construir um mapa para posterior aplicação em projetos de arquitetura, que devem contemplar inúmeros parâmetros distintos, como iluminação, ventilação e circulação. Por exemplo, para a concepção de um novo edifício é fundamental o estudo de mapas de análise sensorial, que são o princípio do projeto em questão.

No âmbito comercial, o uso de novos métodos de fabricação que envolvem algoritmos e CAD acabam por diminuir o preço e o tempo de criação e produção do produto, conferindo maior agilidade e rentabilidade à empresa. A aplicação dessas tecnologias também possibilita a personalização em massa, quando o produto pode ser facilmente customizado de acordo com as necessidades do cliente. Devemos também aqui ressaltar o aparecimento de um tipo de design autoral, que busca mais do que transformar um produto em obra de arte, mas instigar a produção industrial de peças personalizadas.

A INFLUÊNCIA DOS ALGORITMOS NO DESIGN

O uso da programação no design, junto à fabricação digital, surge para suprir a demanda de novos produtos personalizados em massa. Com a possibilidade de obtenção de um maior

número de possíveis soluções em um menor tempo, o algoritmo permite a geração de diferentes formas com uma mesma geometria inicial, mas buscando agradar diferentes usuários. Já a fabricação digital, é capaz de produzir fisicamente essas formas geradas por meio de máquinas por controle numérico que dispensam o uso de moldes ou gabaritos, fazendo com que o processo de fabricação seja muito mais rápido que um método convencional e manual.

Com a inserção desse novo método de desenvolvimento de produtos, os designers focam, mais nos processos do que nas formas, já que com um único algoritmo pode-se gerar as mais diferentes e fantásticas formas. No entanto, deve-se tomar cuidado com essas formas obtidas, que por serem tão realistas criam a ilusão de serem praticáveis quando nem sempre o serão, já que na maioria das vezes não seguem parâmetros de construção reais.

Quando não há o uso de algoritmos no projeto, o designer se preocupa diretamente com a forma a ser projetada, pois sua interação com a geometria é direta. A escolha dos pontos, linhas e superfícies é feita manualmente, do mouse para o programa de representação 3D. Quando os algoritmos são aplicados ao projeto, o designer procura desenvolver um algoritmo que não seja falho e responda a todas as necessidades já definidas em etapas anteriores determinadas pela metodologia de projeto.

A forma dos produtos é influenciada por todas as grandes inovações tecnológicas. Elas impactam na materialidade do objeto trazendo novas possibilidades de construção de formas complexas, exploração de diferentes materiais, melhor desempenho (a sustentabilidade, por exemplo) e a personalização em massa. Desde então, as formas dos objetos perderam rigidez e se tornaram mais próximos das artes plásticas. Essa mudança gera uma maior liberdade na manipulação das formas e possibilita a simulação de forças e movimentos aplicados a superfícies e pontos da geometria.

Os métodos de modelagem podem ser divididos em cinco tipos principais de acordo com David Rutten, criador do Grasshopper, um dos principais programas utilizado na aplicação de algoritmos no design:

- **Manual:** as formas são geradas utilizando-se o mouse e o teclado. Os resultados são gravados, mas os processos não.
- **Paramétrico:** formas geradas com o mouse e o teclado. Os processos são gravados, permitindo que sejam modificados e os resultados recalculados.
- **Computacional:** as formas não são diretamente definidas, são resultado de alguma entrada computacional ou simulação.

- **Algorítmico:** muito similar ao paramétrico e se sobrepondo ao computacional. O principal é o processo. No lugar do computador gravar e repetir o que é feito com o mouse, são criados algoritmos.
- **Generativo:** tenta imitar o processo evolucionário da natureza no design desenvolvido. Com o uso de algoritmos explora diferentes possibilidades e permutações aplicadas a uma geometria inicial para encontrar a melhor solução.

Deve-se lembrar que os métodos explicitados acima não são mutuamente exclusivos. Um método pode ser utilizado em conjunto com outro e as definições podem acabar se misturando, já que tratam de métodos muito próximos de modelagem.

No caso dos métodos Computacional e Algorítmico vale ressaltar que não necessitam o uso do computador propriamente dito. Gaudí e Frei Otto, por exemplo, faziam uso do design computacional a partir de modelos físicos.

No caso dos paramétricos, Rutten ainda ressalta que a palavra “paramétrico” foi erroneamente apropriada para este uso em questão e claramente foge de seu significado matemático. De fato, tudo que um computador faz é paramétrico, mas este termo refere-se diretamente a um parâmetro, que por sua vez é todo elemento cuja variação de valor modifica a solução de um problema, sem modificar sua natureza.

Com a difusão dos novos métodos de modelagem, surgiram os programas CAD voltados aqueles que desejam facilitar e simplificar os processos computacionais que demandam tempo para serem analisados manualmente. São ferramentas utilizadas na concepção de formas e simulação de forças. Entre tais programas alguns se destacam e são mais utilizados pelos designers e arquitetos, como Rhinoceros com seu plug-in Grasshopper, Revit com Dynamo, Vectorworks com Marionette e Maya.

ESTUDOS DE CASOS

Nos últimos dez anos, o algoritmo vem sendo inserido no trabalho de vários designers e arquitetos como Ross Lovegrove, Neri Oxman, Zaha Hadid, Andrew Kudless, Sylvia Lavin, Karl Chu, Marius Watz, entre outros. Cada um deles introduz esse novo método de resolução de problemas de uma maneira distinta, utilizando diferentes abordagens dentro das inúmeras possibilidades dentro do design assistido por algoritmo.

Para que as possibilidades da aplicação dos algoritmos no design sejam apresentadas com mais clareza, serão discutidos dois projetos que tem como principal fundamento de criação

e fabricação o design algorítmico. São eles o projeto *Carpal Skin* de Neri Oxman e *Strand Garden* de Andrew Kudless.

***Carpal Skin* - Neri Oxman**

Neri Oxman é, provavelmente, uma das mais fascinantes designers e arquitetas da sua geração. Ela investiga e explora como o design digital e as novas tecnologias podem influenciar os objetos, os edifícios e os sistemas. Seu projeto *Carpal Skin* é o protótipo de uma luva protetora contra a Síndrome do Túnel do Carpo, uma doença comum para quem usa muito o computador. Ela é causada pela compressão do nervo mediano que passa por um canal estreito no punho chamado de Túnel do Carpo, levando a dor, choque, dormência, formigamento e perda da destreza das mãos.

A luva é inspirada por padrões de revestimento animal que controlam a variação de rigidez ao longo da peça. O processo de criação de Oxman é baseado na biomimética e no estudo da biologia, integrando dados de desempenho ambiental em um processo de geração de formas.



Fonte: <https://web.media.mit.edu/~neri/site/projects/carpalskin/carpalskin.html>

A análise computacional permite a determinação do comportamento do material de acordo com vários fatores de performance. Seus métodos não se limitam à análise do comportamento orgânico dos elementos, incluem também maneiras de moldar esses elementos, por meio de simulações, análises de dados e interpretações de resultados, aplicados a

algoritmos únicos. A luva é formada por uma superfície que lembra veias e engloba dados e processos que, quando são aplicados ao algoritmo desenvolvido por Oxman, geram as características finais desejadas.

A *Carpal Skin* tem como objetivo mapear o perfil de dor do paciente e distribuir materiais de diferentes durezas ao longo da luva para atender suas necessidades anatômicas e fisiológicas. Em vez de limitar os movimentos naturais do pulso, a luva trabalha com o corpo, alinhando a textura do material aos tendões e ligamentos do pulso, atenuando, assim, as dores e incômodos.

***Strand Garden* - Andrew Kudless**

Andrew Kudless é um artista americano inovador interessado nas relações entre forma, crescimento e comportamento de sistemas materiais; uma filosofia de design que une o natural e o artificial. A instalação *Strand Garden*, desenvolvida em parceria com a fabricante de champagne Maison Perrier-Jouët para a Design Miami/2016, tem como foco a arte digital, a materialidade e a forma das peças que se relacionam diretamente ao processo de produção da champagne.



Fonte: <http://matsysdesign.com/category/projects/strand-garden/>

A instalação é composta por três formações de estruturas de folhas de carvalho, internamente iluminadas, que lembram troncos e demarcam uma área central, como uma clareira, onde há grupos de bancos de concreto com topo de carvalho, interligados.

No coração da clareira, há uma estrutura similar aos da formação exterior formação exterior, impressa em bioplástico que serve de apoio para um balde de gelo. Seu formato remete a uma pétala e foi impressa com a pele de uvas chardonnay que caíram das parreiras e foram transformadas em pó para ser possível serem utilizadas como insumo da impressão, dando um aspecto enrugado e uma textura de uva-passa.

Todos os elementos desse projeto possuem uma base algorítmica, seja para desenvolver a forma desejada, no caso das estruturas e dos bancos, ou no desenvolvimento e impressão do balde de gelo. Kudless, referindo-se ao trabalho feito com algoritmos, conclui que “você nunca sabe exatamente qual será o resultado encontrado” e é isso que ele tanto aprecia nesse processo.

CONCLUSÃO

O design sofreu inúmeras influências e alterações ao longo dos anos. O que antes era uma tarefa individual e linear agora é multidisciplinar e horizontal, englobando diversas áreas que fazem parte da concepção e da produção do produto. Uma das áreas mais correlatas ao design é a engenharia, sendo que a primeira tem domínio maior sobre o processo criativo e a segunda sobre o processo produtivo. São áreas que hoje se completam e que, se trabalhadas em conjunto, tornam o projeto mais coeso e otimizado. Dentre os novos métodos projetuais existentes no design, o algorítmico se destaca por sua flexibilidade e infinito leque de possibilidades.

Assim, a inclusão do algoritmo no design é extremamente importante para que objetos complexos e inusitados sejam produzidos. Trata-se de um processo que equilibra liberdade e limitação na elaboração do design, porque apesar de ser um processo bastante regrado, pode gerar resultados inesperados e, conseqüentemente, muito mais interessantes do que os previstos.

BIBLIOGRAFIA

TERZIDIS, Kostas. *Algorithmic architecture*. Oxford: Elsevier, 2009.

OXMAN, Rivka. *Theory and design in the first digital age*. Design Studies 27. Great Britain: Elsevier, 2005.

BÜRDEK, Bernhard E. *História, Teoria e Prática do Design de Produtos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

FONSECA FILHO, Clézio. *História da computação: O Caminho do Pensamento e da Tecnologia*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

MANZINI, Ezio. *Artefactos: Hacia una nueva ecologia del ambiente artificial*. Madrid: Celeste Ediciones y Experimenta Ediciones de Diseño, 1992.

CARDOSO, Rafael. *Design para um mundo complexo*. São Paulo: Cosac Naify, 2012.

MUNARI, Bruno. *Das coisas nascem coisas*. Tradução de José Manuel de Vasconcellos. São Paulo: Martins Fontes, 1981.

MIZANZUK, Ivan; PROTUGAL, Daniel B.; BECCARI, Marcos. *Existe design? Indagações filosóficas em três vozes*. Teresópolis, RJ: 2AB, 2013.

GARCIA, Sara Filipe Lopes. *As tecnologias CAD no design de produto: da ideia à sua materialização*. Dissertação de Mestrado em Design de Produto. Lisboa, 2010.

GRILLI, Silvia. *Um designer sozinho não faz milagre: ensaios sobre o design de produtos e o mercado*. São Paulo: Edições Rosari, 2011.

TEDESCHI, Arturo. *AAD Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper*. Itália: Le Penseur, 2014.

IDSA – Industrial Design Society of America. Disponível em: www.idsa.org. Acesso em 13 de abril de 2017.

STRAND GARDEN. MATSYS. Disponível em: <http://matsysdesign.com/category/projects/strand-garden/>. Acesso em 10 de dezembro de 2016.

CARPAL SKIN. Neri Oxman. Disponível em: <http://materialecology.com/projects/details/carpal-skin>. Acesso em 10 de dezembro de 2016.

SCRIPTS – A CHRONICLE OF INCIDENTS. IAAC. Disponível em: <http://www.iaacblog.com/life/scripts-automatic-drawing-machines-on-display-in-barcelona/>. Acesso em 12 de agosto de 2017.

CABAY, Edouard. Entrevista concedida a Júlia Tenuta Martins via Skype. Barcelona-São Paulo, 12 de agosto de 2017.

GENERATIVE VS PARAMETRIC MODELING. Grasshopper 3d Forum. Disponível em:
<http://www.grasshopper3d.com/forum/topics/generative-vs-parametric-modeling>. Acesso em:
9 de março de 2017.