

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE ARQUITETURA E URBANISMO
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DIGITAL E TECNOLOGIA BIM**

BÁRBARA RODRIGUES GRIEBELER

**O PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO ATRAVES DE MEIOS DIGITAIS E COMPUTACIONAIS:
UMA ABORDAGEM DO DESIGN PARAMÉTRICO**

MONOGRAFIA

**CURITIBA
2019**

BÁRBARA RODRIGUES GRIEBELER

**O PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
ATRAVES DE MEIOS DIGITAIS E COMPUTACIONAIS: UMA ABORDAGEM DO
DESIGN PARAMÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Digital e Tecnologia BIM, do Departamento Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Ruben Millon

CURITIBA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

O PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO ATRAVES DE MEIOS DIGITAIS E COMPUTACIONAIS: UMA ABORDAGEM DO DESIGN PARAMÉTRICO

por

BÁRBARA RODRIGUES GRIEBELER

Esta Monografia foi apresentada em 09 de setembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de **Especialista em ENGENHARIA DIGITAL E TECNOLOGIA BIM**. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Ruben Alberto Saldias Millon
Prof. Orientador

Fábio Freire
Membro titular

Heverson Akira Tamashiro
Membro titular

À minha querida mãe, Sidinéia, que sempre me incentivou em
minha formação e estudos

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”.
(Albert Einstein)

RESUMO

Desde as primeiras experiências para solucionar o processamento de informação em arquitetura e urbanismo, propostas de estudo e desenvolvimento de métodos e processos através de meios computacionais, técnicas de modelagem e plataformas BIM foram levadas adiante em diferentes direções e manifestações. Isso devido ao caráter do processo de projetar, que acontece em diferentes níveis de abstração – as soluções do espaço são exploradas tanto através de meios racionais quanto abstratos. Com os avanços dos meios digitais e o surgimento das plataformas computacionais, percebe-se que muitas das soluções são aplicadas de maneira a tornarem os processos racionais, rápidos e efetivos, porém, pouco exploradas nas etapas de definições funcionais e conceituais de projeção. Dessa maneira, é necessário entender as condicionantes desse processo, tanto racional quanto criativo, bem como analisar as formas pelas quais tem acontecido. Este trabalho traz o tema da metodologia de projeto em arquitetura e urbanismo, considerando os meios computacionais e digitais como plataforma de concepção e desenvolvimento.

Palavras-chave: BIM. Projeto de arquitetura e urbanismo. Processos criativos.

ABSTRACT

From the first experiments to solve the information processing in architecture and urbanism, proposals for study and development of methods and processes through computational means, modeling techniques and BIM platforms have been carried out in different directions and manifestations. This is because of the character of the design process, which takes place at different levels of abstraction - space solutions are explored through both rational and abstract means. With the advances of digital media and the rise of computer platforms, it is clear that many of the solutions are applied in a way that makes processes rational, fast and effective, but little explored in the stages of functional and conceptual definitions of design. Thus, it is necessary to understand the conditioning factors of this process, both rational and creative, as well as to analyze the means by which it has happened. This work brings the theme of design methodology in architecture and urbanism, considering the computational and digital media as a platform for its conception and development.

Keywords: BIM. Architecture design. Urbanism design. Creative processes.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CHARLES M. EASTMAN E BDS.....	16
FIGURA 2 – INTERFACE DO GLIDE.....	16
FIGURA 3 – ILUSTRAÇÕES DE JAMES DANA.....	19
FIGURA 4 – MODELO DE CORRENTES PENDURADAS.....	22
FIGURA 5 – MAQUETE DA BASÍLICA DA SAGRADA FAMÍLIA.....	22
FIGURA 6 – MODELO DE CORRENTES PENDURADAS.....	23
FIGURA 7 – MODELO DE CORRENTES PENDURADAS.....	23
FIGURA 8 – MAQUETE FÍSICA PARA O MULTIHALLE.....	25
FIGURA 9 – VISTA AÉREA DO MULTIHALLE.....	26
FIGURA 10 – VISTA INTERNA DO MULTIHALLE.....	26
FIGURA 11 – PORTÃO LÓGICO DO THE UNIVERSAL CONSTRUCTOR.....	29
FIGURA 12 – THE UNIVERSAL CONSTRUCTOR.....	29
FIGURA 13 – PARÂMETROS DE INCIDÊNCIA SOLAR.....	30
FIGURA 14 – SOFTWARES DA INDÚSTRIA AEC.....	32
FIGURA 15 – ESCALAS DE ANÁLISE DO PROJETO.....	36
FIGURA 16 – MAQUETE DIGITAL RHINOCERUS.....	37
FIGURA 17 – TRADUÇÃO DAS FORMAS DE PENSAR EM ALGORÍTIMOS.....	38
FIGURA 18 – FILTROS DE INFORMAÇÃO.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	09
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	10
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo Geral.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
1.4 METODOLOGIA.....	13
2 O PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO	14
3 A EVOLUÇÃO DOS MEIOS DIGITAIS E COMPUTACIONAIS	18
4 PRECURSORES HISTÓRICOS DA PARAMETRIZAÇÃO	21
4.1 ANTONI GALDÍ.....	21
4.2 FREI OTTO.....	24
4.3 JOHN FRAZER.....	27
5 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM ARQUITETURA E URBANISMO E A PARAMETRIZAÇÃO	32
5.1 ESTUDO DE CASO: LILJEWALL ARKITEKTER.....	36
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E WEBGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

As oportunidades oferecidas pela era da computação são as novas metodologias e plataformas de processamento da informação na arquitetura e urbanismo, também no design, engenharias e fabricação digital. Os novos métodos e processos contribuem muito para exploração e experimentação, mostrando-se aptos a serem usados para solucionar novos desafios do cenário contemporâneo (SCHUMACHER, 2015).

Desde os anos 90, com o surgimento das ferramentas de Desenho Assistido por Computador, ou Computer Aided Design (CAD), arquitetos e urbanistas têm utilizado tais ferramentas como meio de aumentar a velocidade de produção dos desenhos de projeto em seus escritórios (STABILE, 2015). As contribuições trazidas pela evolução do CAD modificaram de maneira definitiva as disciplinas da arquitetura e urbanismo nos âmbitos práticos, porém a inovação foi menor no campo conceitual: percebe-se que a inovação proposta pelo modelo CAD quase não atingiu os processos iniciais de design e criação, nos quais os profissionais dedicam-se a definição de conceitos e partidos de projeto, além da resolução de problemas de layout em si. Isso devido ao funcionamento dos softwares e ferramentas das plataformas CAD, que agem basicamente como uma prancheta 2D eletrônica, sem oferecer outros meios de apoio aos processos de criação e conceituação dos profissionais da área.

Com a evolução dos métodos CAD e seus sistemas de representação de bidimensionais para tridimensionais, uma nova realidade de processamento da informação em arquitetura e urbanismo surgiu: o advento do BIM (Building Information Modeling) propõem um sistema de modelagem paramétrico que se baseia em informações relacionadas a geometrias tridimensionais representadas em software (STABILE, 2015). Assim, além da representação das formas de projeto, o BIM é capaz de organizar informações vinculadas a tais geometrias, o que oferece uma dimensão a mais de processamento, se comparado a plataforma CAD. A ideia que sustenta o uso do BIM, na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), se apoia nos conceitos de parametrização e interoperabilidade, que torna possível a colaboração entre os diversos profissionais deste setor (EASTMAN, 2011).

Os novos métodos paramétricos foram responsáveis por mudanças definitivas em todo o processo de design, da concepção à fabricação (STABILE, 2015). No entanto, apesar de todo o potencial de processamento da informação oferecido pela plataforma BIM, o componente crucial de criatividade que envolve o desenvolvimento de uma proposta de arquitetura e urbanismo continua concentrado na figura do profissional e seu processo mental de criação e resolução de problemas.

Nota-se que tanto as plataformas CAD quanto as plataformas BIM são aplicadas de maneira a tornarem os processos de design em arquitetura e urbanismo mais racionais, rápidos e efetivos. No entanto, questiona-se se a eficiência oferecida por tais plataformas realmente resulta em projetos melhores e bem resolutos nos âmbitos funcionais e conceituais (KONING, 2011).

Um questionamento inicial parece, portanto, importante para a estratégia de abordagem deste trabalho: de que modo os profissionais envolvidos na resolução de problemas de layout e definição de conceitos e partidos em projetos de arquitetura e urbanismo podem interagir com as novas metodologias de processamento da informação oferecidas pelo BIM e outras plataformas computacionais? Como tais plataformas podem contribuir para o desafio arquitetônico e urbanístico da sociedade contemporânea, na busca das melhores soluções e propostas de projeto?

É importante destacar o caráter investigativo, e não propositivo, deste trabalho. O foco está nas contribuições e potencialidades das novas tecnologias computacionais e digitais e sua interação com os profissionais arquitetos e urbanistas.

1.2 JUSTIFICATIVAS

O estudo e resolução de problemas de arquitetura e urbanismo é, muitas vezes, algo altamente empírico, baseado no conhecimento do profissional que o desenvolve, o qual pode ter grande domínio das condicionantes do projeto ou não. Sendo assim, estar a par dessas condicionantes, saber articulá-las e prever o impacto de cada decisão no resultado final do projeto é de fundamental importância para o profissional. Esse domínio torna possível ao profissional estudar suas decisões, hierarquizá-las, testá-las e finalmente fundamentar e justificar o processo de tomada de decisões

adotado. Essa clareza ainda auxilia os clientes, que podem ter maior entendimento do projeto proposto pelo profissional.

O filósofo Pierre Lévy reitera a importância do entendimento das complexidades dos espaços ocupados pela sociedade contemporânea e seus níveis de articulação. Ele afirma que a compreensão de um espaço e de uma cultura a partir da evolução das tecnologias da informação se faz necessária na medida em que se almeja o amplo entendimento das transformações do saber, dos processos de formação da cidade, da democracia e da manutenção dos problemas da exclusão e das desigualdades nas cidades e nos espaços arquitetônicos (LÉVY, 2001).

Desse modo, no âmbito do exercício da arquitetura e urbanismo, o surgimento de outras espacialidades e apropriações espaciais emergem da atualização dos níveis de compreensão e de comunicação ante os problemas de ordens arquitetônicas e urbanísticas, manifestados por meio de novas complexidades sociais e culturais. Patrik Schumacher, em seu livro “In Defense of Parametricism” também valida a importância desse entendimento e da articulação na resolução e proposição de espaços:

A crescente densidade, diversidade e interconectividade dos processos da vida contemporânea exige configurações espaciais e complexas, que permitem que uma diversidade de cenários de eventos se desenvolva em proximidade correlação uns com os outros. Essas organizações espaciais complexas só podem funcionar se os agentes condicionantes puderem orientar e participar com êxito de tais espaços. Isso requer articulação arquitetônica (SCHUMACHER, 2015, tradução nossa).

Para atingir tal entendimento e articulação, acredita-se que a arquitetura e o urbanismo necessitem incorporar às teorias desenvolvidas dentro do seu próprio campo específico outras que possibilitem a ampliação de seus limites, em possíveis colaborações transdisciplinares e aplicações aos processos contemporâneos disponíveis (KONING, 2011). No âmbito do exercício profissional do arquiteto e urbanista, essa necessidade se traduz na busca processos e plataformas que proporcionem a otimização do ato criativo e lógico que vise potencializar as possibilidades de resolução dos espaços, tornando capaz de gerar uma arquitetura que seja um verdadeiro receptáculo da vida quotidiana dos seres humanos, congruente às exigências e particularidades do contexto sociocultural ao qual está

inserida. Daí a importância do estudo e pesquisa das novas metodologias de processamento da informação na arquitetura e urbanismo, objeto de estudo desse trabalho.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Entender quais são as oportunidades oferecidas pelas metodologias e plataformas contemporâneas de processamento da informação na arquitetura e urbanismo, bem como de qual maneira os profissionais da área podem interagir com os novos processos disponibilizados para expandir sua compreensão e articulação arquitetônica e urbanística no ato de criar e propor espaços.

1.3.2 Objetivos específicos

- Entender o paradigma do processamento da informação em arquitetura e urbanismo no contexto atual;
- Compreender a evolução histórica das plataformas digitais e computacionais, dentre elas a plataforma BIM e o design paramétrico, que auxiliam profissionais na concepção e desenvolvimento de ideias e soluções de projeto;
- Entender as condicionantes e o caráter dos problemas a serem solucionados na concepção e desenvolvimento de ideias e soluções de projeto;
- Delimitar o potencial dos métodos digitais e computacionais que auxiliam profissionais na concepção e desenvolvimento de ideias e soluções de projeto em arquitetura e urbanismo.

1.4 METODOLOGIA

Quanto a metodologia de desenvolvimento, este trabalho se baseou em dois principais métodos: a revisão bibliográfica e a revisão de estudos de caso. A revisão bibliográfica visa oferecer entendimento histórico e evolutivo das metodologias de processamento da informação, traçando um escopo conceitual que compreende os principais referenciais teóricos nas oportunidades para a prática da arquitetura e urbanismo, além de oferecer suporte para a revisão dos estudos de caso. A revisão dos estudos de caso se deu a partir de fontes secundárias, ou seja, de outros autores, que apontam referências essenciais para se compreender a aplicação contemporânea das teorias e conceitos abordados na bibliografia analisada.

2 O PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) possui a característica de fragmentação de sua cadeia produtiva, que engloba diferentes profissionais, plataformas e etapas de desenvolvimento. Por esse motivo, existe uma dificuldade de compatibilização inerente aos seus processos, bem como uma dificuldade de comunicação e interpretação por parte dos profissionais envolvidos, sejam eles arquitetos, urbanistas, projetistas ou empreiteiros. O setor carece de aprimoramento e desenvolvimento de aplicações para ganho de produtividade, que envolvam suas fases de projeção, automação de processos, orçamentos, planejamento, construção e manutenção (AYRES, 2009).

O final da década de 70 foi marcado pela globalização dos mercados e aumento das pressões sobre as empresas. No contexto indústria AEC, acarretou a necessidade de inserção de processos mais eficientes e otimizados, seguindo a mentalidade industrial que pairava sobre muitos setores naquela época. Essa busca pela otimização dos processos traduziu-se na aplicação de soluções adotadas na indústria da manufatura, o que tornou essencial uma abordagem integrada dos diferentes aspectos relacionados aos projetos e de sua cadeia produtiva, a fim de atingir e fidelizar um mercado cada vez mais exigente quanto a prazos, qualidade e custos.

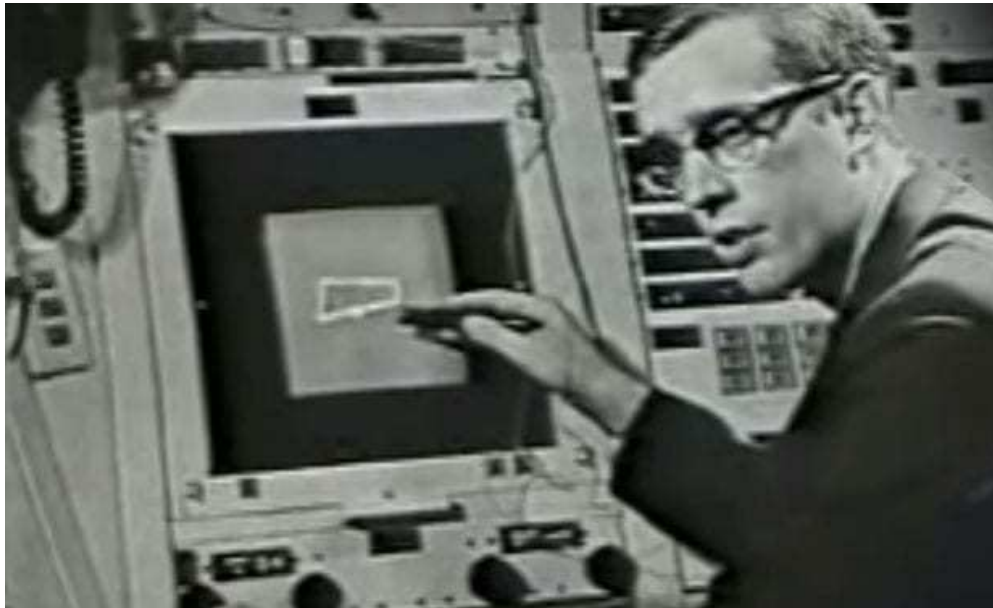
Uma das soluções adotadas da indústria da manufatura para a indústria AEC foi o conceito de modelagem do produto, que se caracteriza como uma ferramenta auxiliar na concepção, validação e construção de produtos, qualificando-os e garantindo a exatidão de sua produção. A modelagem baseia-se na integração dos sistemas envolvidos no desenvolvimento do produto e na utilização da tecnologia de informação como suporte para esses processos (AYRES, 2009).

Neste sentido, o conceito de modelagem de produto aplicado à indústria AEC deu origem ao BIM (*Building Information Modelling*), que surgiu como um processo de modelagem que buscava integrar todas as informações relacionados à construção do produto edificação - o BIM apresenta-se não só como uma plataforma, mas como um processo de trabalho que faz uso de uma série de softwares integrados com o objetivo de servir como fonte de informação completa.

Algumas das primeiras linhas explicitadas sobre o BIM podem ser encontradas em uma famosa publicação de 1974 de Charles M. Eastman, para o AIA Journal, intitulada “An outline of the building description system”, traduzindo, “Um esboço do sistema de descrição do edifício. No texto, a pesquisador publica um estudo desenvolvido por ele na Universidade Carnegie-Mellon (CMU) em Pittsburgh (EUA). Estman desenvolve a proposta de uma das primeiras plataformas BIM:

Muitos dos custos de desenho, construção e funcionamento da construção derivam da utilização de desenhos como forma para trazer as anotações do edifício. Como alternativa, este documento descreve o desenho de um sistema informático útil para memorizar e manipular as informações de projeto em um detalhe que permite o desenho, a construção e os análises operacionais. Um edifício é considerado como a composição espacial de um conjunto de partes (EASTMAN, 1974, p.74, tradução nossa).

O conceito desenvolvido por Eastman foi denominado *Building Description System* (BDS). Tratava-se de um sistema onde a representação dos elementos de projeto era baseada na agregação de elementos gráficos 3D capazes de conter informações não somente geométricas, mas também outras informações relativas aos materiais. O pesquisador caracterizou o sistema como um meio para a inserção gráfica de formas de elementos arbitrariamente complexos; uma linguagem gráfica interativa capaz de alterar e configurar a disposição dos elementos; um processador gráfico em formato de papel capaz de produzir perspectivas ou desenhos ortográficos de alta qualidade; e uma função de ordenação e esquematização, que permite a classificação de base de dados por meio de atributos (EASTMAN, 1974). De acordo com a caracterização apresentada por Eastman de sua plataforma, percebe-se como ela cumpria muitos dos objetivos buscado na época para validação e automação de processos, visto que, além de criar desenhos, o sistema permitia gerar relatórios e análises referentes a quantitativos de materiais, estimativas de custo, entre outras.



**FIGURA 1: Charles M. Eastman apresentando sua proposta de sistema de descrição de edifícios - Building Description System (BDS).
Fonte: ACCASOFTWARE**

O BDS foi um experimento que identificaria alguns dos problemas mais fundamentais a serem abordados em projetos de edifícios para os cinquenta anos seguintes.

Em sequência, o projeto desenvolvido por Eastman na mesma universidade americana em 1977 denominado GLIDE (*Graphical Language for Interactive Design*), exibiu a maioria das características de uma moderna plataforma BIM.

```

POLY PROCEDURE spiral.step(POLY centre;
    REAL riser,radius,r,angle,th)=
    BEGIN
    POLY support =
        triangle(radius*0.95,-riser*0.8,th);
    POLY collar = column(12,riser,r);
    POLY plate = wedge(radius,th,angle);
    ! return the result of shape operations;
    CUT centre FROM COMBINE collar WITH
        COMBINE support WITH plate
    END;

To make spiral staircase, (dimensions in inches)
SET PROCEDURE spiral.stair(ht,radius,angle)=
    BSET; INTEGER numsteps; REAL riser;
    numsteps ← ht/8.0;
    riser ← ht/numsteps;
    POLY centre = column(12,ht+32.0,5.0);
    POLY step = spiral.step(centre,
        riser,radius,3.0,angle,0.625);
    FOR i TO numsteps
        DO COPY step=i0,riser*i \0,angle;i}
    ESET;

SET stair1 = spiral.stair(100.0,46.0,30.0);
    
```

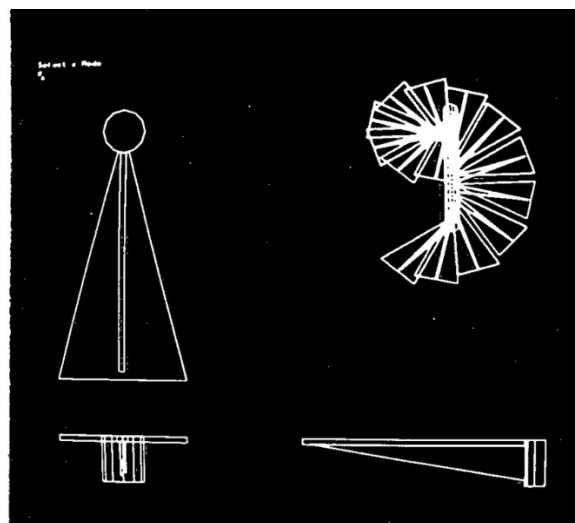


FIGURA 2: Interface do GLIDE. À esquerda são lançados dados para gerar a escadas à direita, que pode ser ajustada parametricamente.

Fonte: ADSTTC

Essa revisão dos processos na indústria AEC modificou as demandas profissionais e passou a exigir uma postura diferenciada por parte dos profissionais em relação ao tratamento da observação, da representação e da performance (AYRES, 2009).

No âmbito do desenvolvimento e proposição de espaços arquitetônicos e urbanísticos, observa-se o surgimento dos mais variados métodos de projeção, criação e conceituação, que se utilizam de todas as inovações e tecnologias disponíveis para evoluir e se aprimorar. Aponta-se que as metodologias e plataformas atuais de processamento da informação em arquitetura e urbanismo são resultado de colaborações transdisciplinares, isto é, uma de série de avanços e inovações provenientes de várias outras áreas do conhecimento, principalmente daquelas relacionadas ao desenvolvimento dos meios digitais, como o cálculo, eletrônica e computação (STABILE, 2015).

Buscando compreender a influência de outras áreas do conhecimento na evolução dos processos na indústria AEC, o capítulo a seguir apresenta brevemente algumas áreas do design digital cujo desenvolvimento provocaram inovações inerentes aos métodos de processamento da informação em arquitetura e urbanismo e, por consequência, as possibilidades de resolução dos espaços.

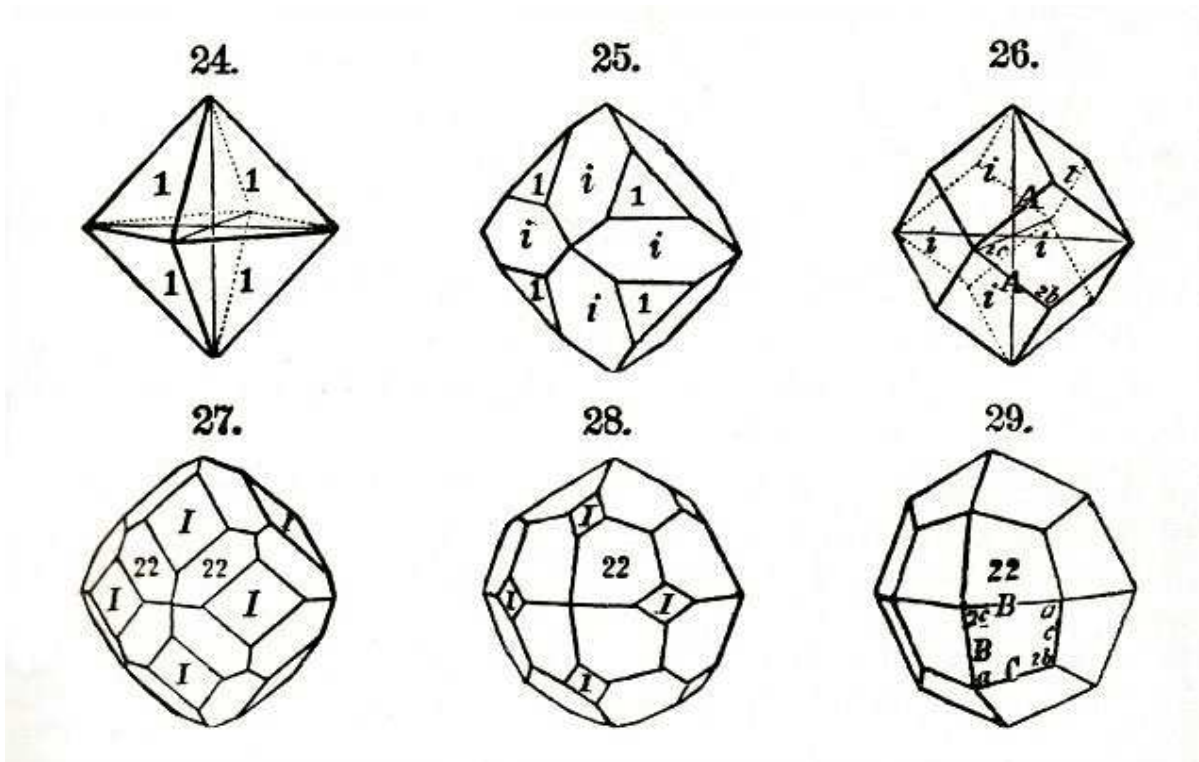
3 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS MEIOS DIGITAIS E COMPUTACIONAIS

O design de hoje é o resultado de uma série de acontecimentos históricos que tem guiado as ações e os processos no presente. As transformações nos modos de vida contemporâneos e as necessidades relacionadas ao hábitos e costumes colocam em pauta outros desafios em relação aos processos de criação de espaços. As complexidades atuais e suas respectivas demandas levam os arquitetos e urbanistas a experimentarem alternativas de criação, utilizando para isso processos mediados pela computação e mídia digital (STABILE, 2015).

A era da computação oferece soluções extremamente tecnológicas em que grande parte da inovação se dá pela implementação de novas e constantemente renovadas tecnologias. Essas novas tecnologias podem tornar-se tão fundamentais que têm a capacidade de modificar permanentemente os paradigmas das disciplinas de arquitetura e urbanismo e proporcionar novos métodos de projeto e processos de criação (STABILE, 2015).

É o caso da ciência ao redor dos dados e a evolução do cálculo, que subsidiam o que é chamado de design paramétrico - através da programação em computadores associada a softwares de representação gráfica por exemplo, é possível manipular dados e variáveis a partir de parâmetros e algoritmos de maneira a criar processos automáticos de busca e determinação de forma.

Variáveis são mecanismos matemáticos capazes de criar relações proporcionais sem a menção de valores absolutos, ou seja, estabelecem relações paramétricas entre duas ou mais entidades. O geólogo norte americano James Dwight Dana, que ainda no século XIX aplicava lógica paramétrica para a descrição de volumes tridimensionais. Dana escreveu um artigo chamado “On the Drawing of Figures of Crystals”, no qual descrevia o processo de desenho manual de cristais. Nesse artigo, Dana utilizou o termo “*parametric ratio*” (que pode ser traduzido como “relação paramétrica”) para determinar relações de proporção variáveis entre certas partes do desenho desse cristal, tratava-se de um extenso e complexo algoritmo (DANA apud STABILE, 2015).



**FIGURA 3: Ilustrações de James Dana para o Manual of Mineralogy and Petrology.
Fonte: DANA apud STABILE, 2015.**

Com a introdução da computação na arquitetura e urbanismo, o termo “paramétrico” ganhou força, especialmente a partir do século XXI, com a utilização de software de programação aliados a softwares de projeto. Buscava-se possibilitar novas maneiras de interação entre o profissional designer com o computador e com os dados.

Nesse sentido, existem três áreas do design que contribuem de maneira contundente para a exploração da questão acima: o design paramétrico, o design de interação e a fabricação digital. Em resumo, expressões paramétricas podem representar um conjunto de formas geométricas em apenas uma expressão, permitindo a exploração da variação. O design de interação, por sua vez, é entendido como a capacidade de cálculo e manejo de dados de maneira a contribuir com a experiência do usuário. Já a fabricação digital é abordada por sua função de comunicar-se diretamente as expressões paramétricas e o design de interação, proporcionando sua materialização física ou digital (STABILE, 2015).

Apesar de serem áreas bastante atuais, carregam uma série de evoluções históricas que subsidiaram o seu aparecimento. Tais campos do conhecimento oferecem potencial para explorar a resolução de problemas de design, incluindo proposições de espaço e layout arquitetônico e urbanístico.

A lógica paramétrica, por meio da qual os dados se relacionam, é manipulada através do software de programação aliado ao software de projeto, tornando possível a integração do processo criativo ao processo lógico (SCHUMACHER, 2015). Sendo assim, reitera-se a importância do entendimento de como os dados se relacionam, se agrupam e como os resultados destes relacionamentos são fundamentais para a própria concepção de um design criado a partir de dados.

A abordagem do design paramétrico trata basicamente de dados, portanto, de como estes tornam-se peças importantes desde a concepção até o projeto e a execução do design proposto. Em linha gerais, “parâmetro” é uma variável a qual outras variáveis estão relacionadas, e essas outras variáveis podem ser obtidas por meio de equações paramétricas. Daí a importância do cálculo, que oferece formas de processamento de informações através de relações lógicas. O estudo de conceitos de lógica, incluindo o estudo da lógica algorítmica, traz pressupostos para as linguagens computacionais criadas na segunda metade do século XIX, que são capazes de traduzir relações paramétricas para softwares de computador e maquetes digitais (SCHUMACHER, 2015).

Buscando compreender tais avanços, principalmente dos meios digitais de processamento da informação, o próximo capítulo apresenta uma breve evolução histórica dos acontecimentos que provocaram inovações do conhecimento e disrupções dos processos, principalmente aqueles voltados à proposição de espaços e desenvolvimento de projetos de arquitetura e urbanismo.

4 PRECURSORES HISTÓRICOS DA PARAMETRIZAÇÃO

4.1 ANTONI GALDÍ

Um arquiteto muito importante para as práticas processuais do design e da arquitetura foi sem dúvida Antoni Gaudí, arquiteto responsável por elevar o cálculo paramétrico a novos patamares. O arquiteto catalão nasceu em 1852 e ao longo de sua vida produziu obras emblemáticas, ancoradas numa pesquisa pessoal e isolada, com inspirações de anatomias da natureza. Suas obras têm um aspecto orgânico, que surgiu em sintonia com a estética Art Nouveau da Europa do fim do século (WENDLAND, 2000).

Ele estudava delicadamente a estrutura de suas obras, utilizando teorias e maquetes físicas. Sua arquitetura tinha raízes sólidas na geometria, atentava-se ao comportamento de curvas, linhas, parabolóides, hiperbolóides para criar estruturas firmes e elegantes. Por isso, pode ser considerado um arquiteto matemático (STABILE, 2015).

Alguns desses modelos geométricos estudados por Galdí remontam ao século XVII, mais especificamente o modelo de Robert Hooke. O modelo de Hooke consiste num anagrama que descreve relações para a construção de arcos em edifícios, chamado de “reverse hanging method”. Hooke propõe reverter o arco gerado por uma corrente pendurada em suas duas extremidades sob peso próprio para gerar a estrutura ótima de um arco, que é chamado de catenário e sofre apenas tensões de compressão e apresenta distribuição constante de peso (HOOKE, 1676).

Galdí utilizou o método de Hooke para testar o comportamento de suas estruturas através do seu famoso “modelo de correntes penduradas”, que consistiu na criação de um suporte de alvenaria para um complexo conjunto de correntes suspensas. Através da aplicação de cargas específicas, o arquiteto testava formas, arcos e curvas no modelo, cujo comportamento servia de base para projetar as formas de suas obras.

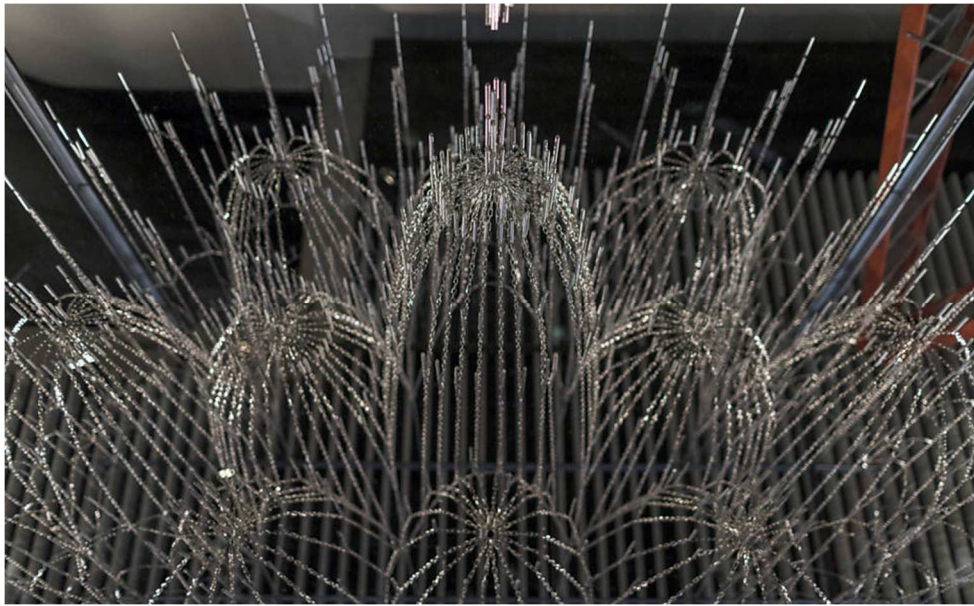


FIGURA 4: Modelo das correntes penduradas de Antoni Galdí.
Fonte: FOLHA UOL



FIGURA 5: Maquete da Basílica da Sagrada Família.
Fonte: ARCHDAILY



FIGURA 6: Modelo de correntes penduradas de Antoni Galdí com aplicação de cargas.
Fonte: NÃO TRIVIAL



FIGURA 7: Modelo de correntes penduradas de Antoni Galdí para a colônia de Guell.
Fonte: NÃO TRIVIAL

Além do modelo por si só impressionar pela complexidade e beleza, envolvia a utilização de uma plataforma paramétrica para auxílio na produção de suas obras. Relações estruturais puderam ser estabelecidos a partir do mesmo, que possibilitou a correlação entre o modelo e a obra construída. Estas formulações de Gaudí se tornaram pressupostos em áreas tecnológicas da arquitetura atual, principalmente no design paramétrico, que surgiria mais de um século após os primeiros estudos do arquiteto (WENDLAND, 2000).

4.2 FREI OTTO

Um grande personagem da segunda metade do século XX, conhecido por ter utilizado cálculos complexos e baseados em lógicas pertinentes à natureza e à biologia, este é o arquiteto Frei Otto. Sua metodologia de trabalho se tornou mundialmente conhecida, principalmente por defender a necessidade da experimentação na área arquitetônica, fazendo o uso de materiais variados e sustentáveis (STABILE, 2015).

Quando (arquitetos) constroem, eles são cuidadosos no uso da força, energia e materiais humanos, e se esforçam para construir em harmonia com a natureza e preservar a natureza como a base de toda a vida. [...] Eu considero a arquitetura do novo como parte da natureza. Cada edifício tem sua própria forma inconfundível e representa uma parte de um todo em constante mudança em um mundo de paz e amor. (ETHICS, AESTHETICS AND INNOVATION, discurso de Frei Otto, tradução nossa)

O mesmo método de suspensão reversa utilizado por Gaudí foi empregado por Otto e seu grupo de pesquisa no Institute for Lightweight Structures em Stuttgart na Alemanha, para desenhar coberturas estruturais na forma de tendas grandes, sempre aliadas às estruturas com leveza e resistência física.

O Parque Olímpico de Munique, criado em 1972, é uma de suas obras que mais se destaca, na qual largas coberturas de estrutura leve foram feitas utilizando o processo de exploração formal por ele denominada de “*form finding*” ou, traduzido, “busca da forma”. Assim como Gaudí, Otto utilizou tecnologias analógicas para a criação de formas de acordo com parâmetros estipulados previamente. Muitos

métodos de busca da forma foram descritos em seu livro “Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal” escrito em parceria com arquiteto Bodo Rasch.

Métodos analíticos foram desenvolvidos e descritos pelos autores no livro, onde a forma estrutural é definida através de geometrias conhecidas, como cilindros, esferas, elipsoides e derivações dessas geometrias, e busca a otimização estrutural. Otto traduzia suas estruturas diretamente de modelos de simulação, sistematicamente desenvolvendo estratégias auto generativas que se baseavam em maquetes físicas (OTTO; RASCH, 1996).

Uma dessas estruturas é o teto da sala polivalente “Multihalle”, desenvolvida para a Exposição Federal de Jardins em Mannheim em 1975, que se caracteriza por compor-se de duas conchas curvas, cuja estrutura sofre apenas por esforços de compressão. A obra possui uma planta baixa de configuração bastante orgânica, que conecta dois salões através de passarelas cobertas. Toda a cobertura é composta por uma grade feita de uma malha dupla de ripas de madeira (5x5 cm), coberta por uma membrana de poliéster.

A forma dessa estrutura de cobertura corresponde a forma encontrada na maquete física. A composição foi desenvolvida tanto através da maquete quanto através da descoberta de uma forma analítica estável (OTTO; RASCH, 1996).

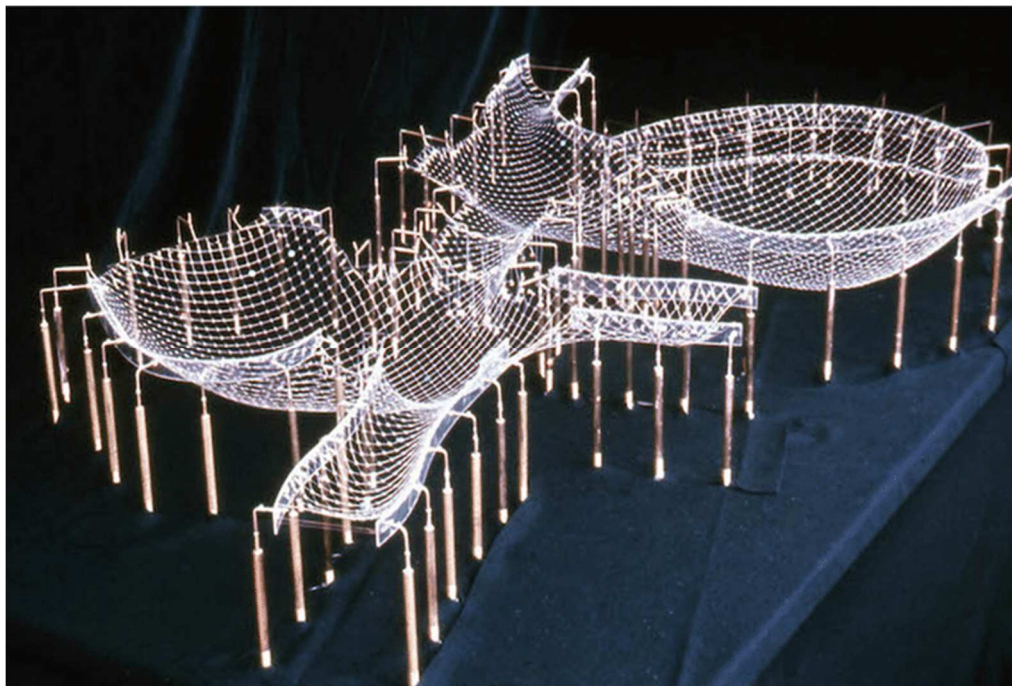


FIGURA 8: Maquete física de “busca da forma” do “Multihalle” na escala 1:100.

Fonte: RESEARCH GATE



**FIGURA 9: Vista aérea do “Multihalle” de Frei Otto.
Fonte: VISIT MANNHEIM**



**FIGURA 10: Vista interna do “Multihalle” de Frei Otto.
Fonte: VISIT MANNHEIM**

O processo de “busca da forma” é responsável pela geração de diversas opções de forma através da mesma estratégia, que se baseia na descoberta analítica através de maquetes físicas. É possível fazer uma analogia com um gráfico gerado por uma equação – mudando os valores, porém mantendo a estrutura, torna-se possível a criação de infinitas variações do mesmo gráfico. Todos eles terão a mesma lógica inicial como base, porém apresentarão uma aparência diferente (OTTO; RASCH, 1996).

A automodelagem para determinação do desenho de estruturas também se mostrou útil para a elaboração de uma tipologia de projeto que busca formas encontradas na natureza. Esse tópico foi objeto de estudos do próprio Frei Otto e pode ser apontado como sendo precursor do que chamamos hoje de “generativo”.

“Auto-formação ”e“ Construções Naturais ”são assuntos que precisam de muito comprometimento [...] o que foi feito até agora é apenas uma pequena parte do que deve ser feito. O resultado mais importante, ainda que provisório, é uma nova interpretação da origem da vida e da aquisição da forma. O trabalho futuro requer insights sobre a formação de objetos, da emergência de um estado desordenado, da criação. Isso deve ocorrer por meio de pesquisas objetivas e equilibradas, com um objetivo claro (OTTO; RASCH 1996, p. 23, tradução nossa).

Trata-se de uma área mais específica do design paramétrico baseada em sistemas genéticos da natureza. A esse respeito, Frei Otto registrou em sua publicação a crença de que os métodos computacionais estariam se tornando poderosos o suficiente para serem capazes de realizar o processo de busca da forma sem a necessidade de maquetes físicas, o que reitera a importância da pesquisa das novas metodologias de processamento da informação na arquitetura e urbanismo via meios digitais e computacionais (OTTO; RASCH, 1996).

4.3 JOHN FRAZER

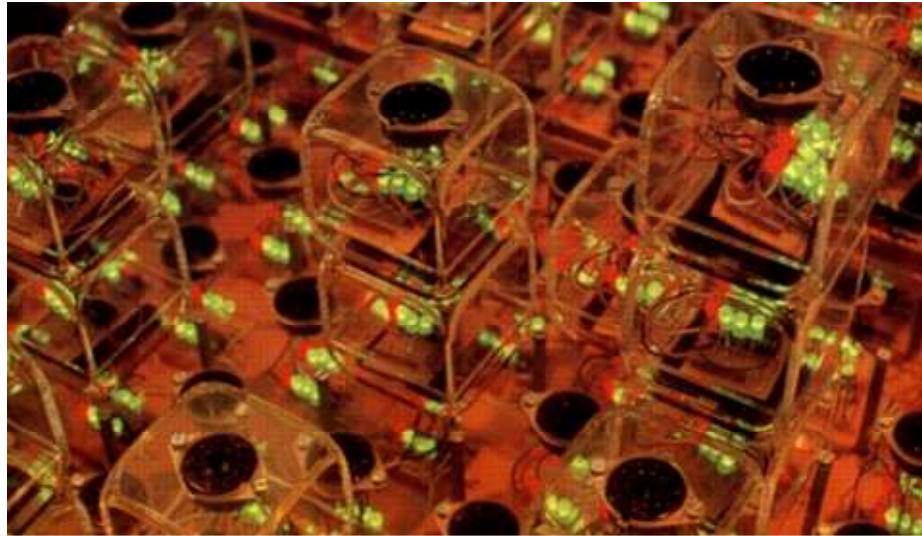
John Frazer afirmava que a arquitetura deveria ser algo vivo e evolutivo. De fato, o arquiteto literalmente considerava a arquitetura como parte da natureza, no sentido de que o ambiente construído pelo homem já se apresenta como a maior parte do ecossistema global. Além disso, tanto o homem quanto a natureza utilizam-se dos mesmos recursos para construir.

Essa teoria é mostrada no livro “Uma Arquitetura Evolutiva” (traduzido do inglês, “An evolutionary Architecture”), que apresenta trabalhos de cerca de trinta anos com estudantes. Os projetos incluem desde construções até protótipos de trabalhos realizados na Architectural Association, em Londres, e baseiam-se fortemente em analogias com a natureza.

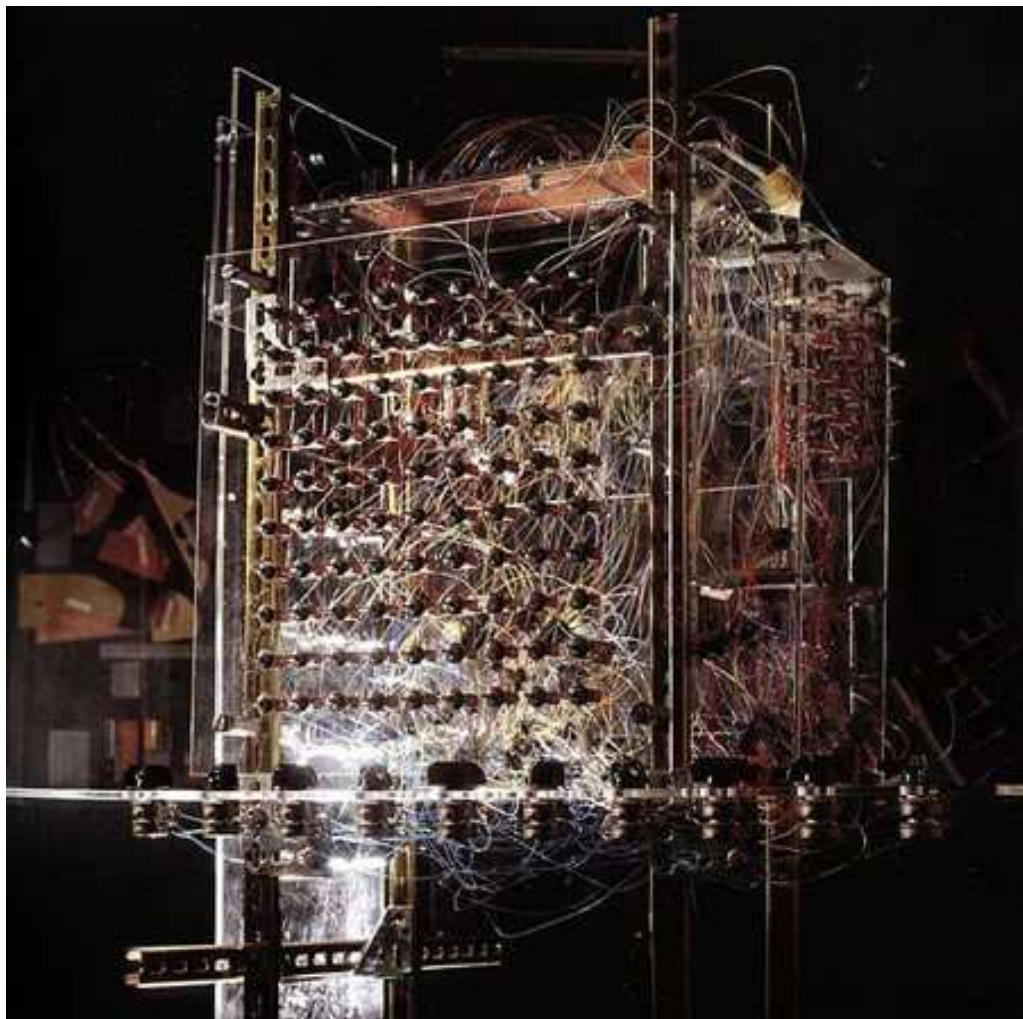
O trabalho investiga processos fundamentais de geração de formas na arquitetura e faz um paralelo com a pesquisa científica da morfogênese do mundo natural, código genético, replicação e seleção: “O objetivo de uma arquitetura evolucionária é conseguir, no ambiente construído, o comportamento simbiótico e o equilíbrio metabólico que são característicos do ambiente natural” (FRAZER, 1995, p.9).

Meios tradicionais de expressão de conceitos arquitetônicos como espaço, estrutura e forma, desenvolvidos na mente dos arquitetos, são levados adiante e expressos como regras generativas para que sua evolução seja acelerada e testada. Essas regras são descritas através de uma linguagem genética que produz códigos scripts para a geração de formas. Para tornar isso possível, é preciso considerar como formas estruturais podem ser codificadas como algoritmos genéticos e como tais critérios operam na morfologia das interações da forma construída. O desenvolvimento dessas formas é simulado através do desenvolvimento de protótipos digitais em computadores, que passam a atuar como um acelerador evolucionar da força generativa.

Frazer fala inclusive a respeito da necessidade de desenvolver seu próprio software de computador e sua própria linguagem de programação, ao mesmo tempo que enfatiza a importância de se compreender o processo de codificação das informações. De fato, o pesquisador foi além e acabou desenvolvendo seu próprio computador, desenvolvendo um hardware chamado “The Universal Constructor”, cujo funcionamento acontecia através de circuitos batizados de “portões lógicos” para trabalhar o desenvolvimento de funções lógicas.



**FIGURA 11: Portão lógico do The Universal Constructor, projeto de John Frazer.
Fonte: FRAZER, 1995.**



**FIGURA 12: The Universal Constructor, projeto de John Frazer.
Fonte: FRAZER, 1995.**

Com esses portões lógicos, Frazer experimentou a modelagem em computador, descrito por ele como um método de representação através de um protótipo eletrônico que permite que ideias sejam trabalhadas, descritas e visualizadas, sem a necessidade de construção real de maquetes físicas ou até mesmo representação em desenho. Ao abordar esse tema, Frazer também menciona a importância da interface do usuário, que deve oferecer operadores que encorajam a especificação de relações lógicas entre os elementos. Para tal, o hardware deve ser pensado para favorecer a relação homem-máquina.

Nos estudos apresentados em sua publicação, Frazer trabalhou os conceitos de estruturas de dados, transformações, simetria, processamento de forma e, por fim, a parametrização, a qual definiu como o detalhamento e descrição de ideias de design através de parâmetros que permitem trabalhar os dados através de regras que exploram as possibilidades daquele design.

Um dos trabalhos apresentados no livro é baseado em uma forma circular, que foi desenvolvido a partir de parâmetros de incidência solar: as linhas e superfícies seguiram a influência do ambiente criado pela geometria solar.

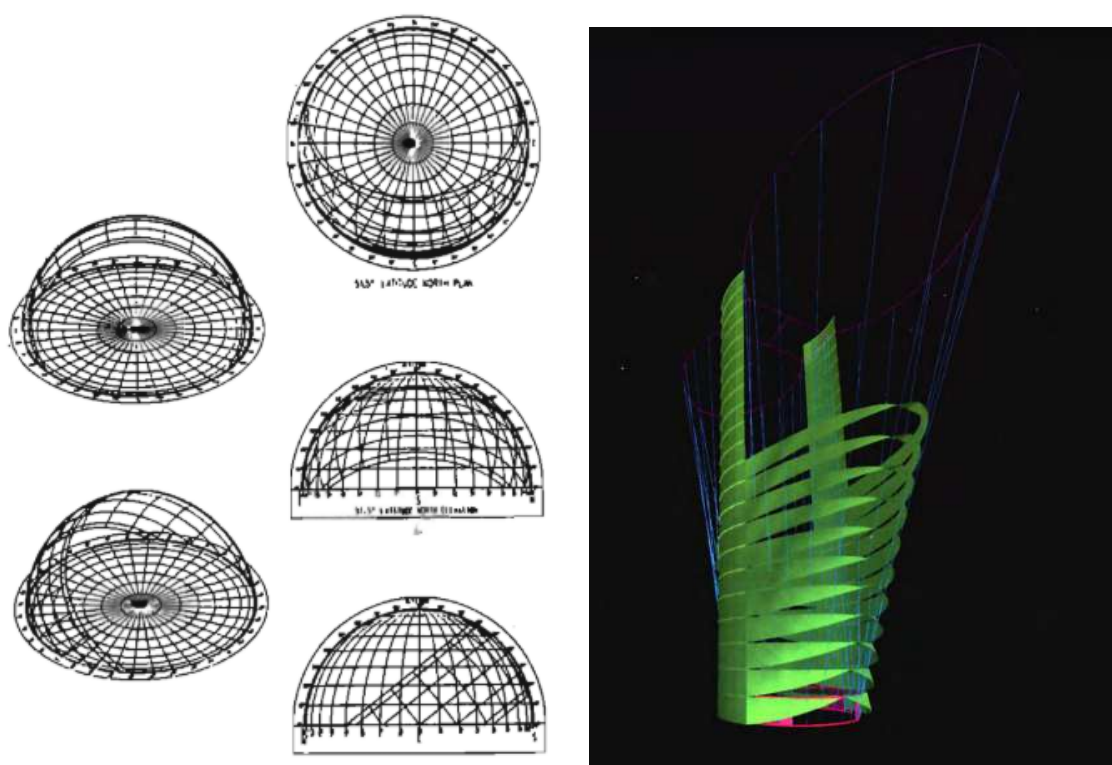


FIGURA 13: Parâmetros de incidência solar e geometria.
Fonte: FRAZER, 1995.

Dentro desse contexto, uma das teorias mais recentes relacionadas ao design paramétrico tem como base o paradigma ecológico, onde a descrição das ideias, parâmetros e até mesmo a inspiração conceitual da arquitetura são descritos em forma de um código genético. Esse código é desenvolvido e transcrito em maquetes eletrônicas através de softwares específicos, que simulam um ambiente para a evolução das mesmas. Daí a ideia da arquitetura evolutiva, que é capaz de interagir e responder ao contexto dinâmico onde está inserida. Para tornar isso possível, é necessário definir código genético, regras para desenvolvimento desse código, mapeamento de código em uma maquete virtual, a natureza o ambiente de desenvolvimento da maquete e, especialmente, critérios de seleção (STABILE, 2015).

É fato que muitos arquitetos já se apropriam de formas da natureza para criar conceitos de arquitetura, mas a proposta da arquitetura evolutiva de John Frazer é a de que os próprios conceitos que geram a arquitetura, no caso os códigos genéticos, possuem a inteligência para simular estruturas da natureza automaticamente.

Percebe-se a ideia de incluir o computador no próprio do processo de criação, oferecendo suporte ao designer na realização das complexas tarefas envolvidas no processo de criar e propor soluções adequadas (TERZIDIS, 2006). A participação do computador no processo de design e projeção ainda pode ser levada além e pensada como uma forma de “automatizar” os processos. Essa proposta será abordada mais de perto no próximo capítulo.

5 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM ARQUITETURA E URBANISMO E A PARAMETRIZAÇÃO

Como John Frazer já imaginava, nas últimas duas décadas, a arquitetura e o urbanismo se transformaram de profissões cuja prática acontecia através de ferramentas manuais de desenho e representação para profissões que agora realizam-se através de computadores. Inclusive, existe uma gama de softwares e plataformas voltadas a essa prática profissional.



FIGURA 14: Softwares da indústria AEC.
Fonte: BIMREVIT

Essa transformação, embora tenha acontecido de forma rápida e impressionante, ainda não atingiu todo o seu potencial. Isso é devido ao fato de, por um lado, alguns profissionais se mostrarem resistentes às mudanças tecnológicas, e por outro, alguns profissionais estarem cada vez mais preocupados com a possibilidade de perder controle sobre seus próprios projetos devido à natureza poderosa, mas complicada e ainda pouco conhecida, dos computadores (SCHNEIDER; FISCHER; PETZOLD; KÖNIG, 2011).

Reinhard König é um pesquisador alemão que tem liderado projetos de pesquisa sobre a complexidade das sociedades urbanas e o entendimento das

idades por meios digitais e computacionais. Como professor na Universidade de Bauhaus em Weimar, Alemanha, ele tem pesquisado o desenvolvimento de métodos de design evolutivo. Em seu artigo chamado “Rethinking Automated Layout Design”, traduzido “Repensando o projeto de layout automatizado”, desenvolvido juntamente com Sven Schneider, Jan-Ruben Fischer e Frank Petzold, reitera a importância e complexidade do exercício da profissão do arquiteto e urbanista:

As tarefas de layout em arquitetura e design urbano são de importância central. O objetivo é, em diferentes escalas, organizar lotes, prédios, salas ou elementos de construção de maneira criativa e funcionalmente sensível. Seu arranjo determina significativamente a qualidade e sustentabilidade de edifícios, bairros ou até cidades inteiras. Dependendo do projeto e do contexto, uma infinidade de requisitos diferentes deve ser atendida (SCHNEIDER; FISCHER; PETZOLD; KÖNIG, 2011, p.5, tradução nossa).

No processo tradicional de projeção, as hipóteses são estabelecidas, revisadas, refinadas e revisitadas constantemente. É uma ação completamente orgânica cuja padronização se mostra um verdadeiro desafio. Dessa maneira, os esforços no processo de projeto auxiliado por computador objetivam apoiar o profissional na execução e organização das tarefas complexas que envolvem a projeção de uma cidade, bairro, quadra ou edifício, propondo estratégias e gerando critérios que auxiliem na proposição e desenvolvimento de soluções adequadas (SCHNEIDER; FISCHER; PETZOLD; KÖNIG, 2011).

König estuda o caráter do processo de definição de layouts em arquitetura e urbanismo e se propõe a analisar o paradigma entre a intuição e a racionalidade, ao frisar a necessidade de distinção entre problemas operacionais e não operacionais: enquanto a maioria dos problemas operacionais pode ser resolvida através de padrões lógicos e até mesmo através de algoritmos em computadores, problemas não operacionais exigem interpretação humana. É por isso também que o pesquisador aponta que a maioria das plataformas CAD e BIM se mostram muito eficientes na abordagem de problemas operacionais ao tornarem os processos mais racionais, rápidos e efetivos, mas acabam deixando a componente da criatividade de lado por não oferecem meios de abordagem e resolução de problemas não operacionais.

Um problema é considerado operacional quando se é possível realizar uma descrição extremamente precisa do mesmo, de forma a especificar as etapas necessárias para resolvê-lo – quando é possível de fato se estabelecer um procedimento de resolução. Isso é conseguido através da análise e decomposição de um problema complexo em subproblemas que podem ser resolvidos independentemente, cujas soluções são mescladas e combinadas para encontrar a solução final. O objetivo da análise de um problema operacional é uma descrição precisa que contenha os critérios definíveis e tangíveis da solução, que agem como parâmetros operacionais.

Por outro lado, problemas não operacionais são vagamente definidos ou descritos. Suas condicionantes são muitas vezes desconhecidas ou imprecisamente definidas, de forma que critérios operacionais de solução não podem ser claramente formulados. O processo de tomada de decisão para problemas não operacionais está menos preocupado em encontrar soluções certas ou erradas, mas foca na especificação e demarcação partidos e objetivos conceituais (SCHNEIDER; FISCHER; PETZOLD; KÖNIG, 2011).

Os projetos arquitetônicos e urbanísticos geralmente abordam problemas não operacionais e, portanto, diferem da maioria das outras disciplinas de engenharia e construção. A resolução e proposição de tais projetos invariavelmente depende de aspectos intuitivos, subjetivos e contextuais. Além disso, na maioria das vezes, os problemas aos quais o profissional deve reagir ou responder não são todos predefinidos, mas descobertos e identificados durante o processo de design e projeção – é necessário que as situações problemáticas sejam primeiro “descobertas” antes de serem descritas, delimitadas ou solucionadas.

A partir do acima, é possível definir a real questão a ser apontada ao se abordar os processos de design e projeção em arquitetura e urbanismo, que reside na formulação em si do próprio problema. Os métodos e técnicas baseados em meios digitais só podem ser usadas uma vez que padrões não explícitos e pré-existentes tenham sido reconhecidos através de interpretação imaginativa e intuitiva, ou seja, uma vez que o problema tenha sido estruturado. Neste contexto, também se conclui que problema e solução são interdependentes entre si, porque a análise, síntese e

avaliação ocorrem simultaneamente como processos mentais (SCHNEIDER; FISCHER; PETZOLD; KÖNIG, 2011).

Ao abordar problemas operacionais e não operacionais em um processo híbrido entre o computador e o designer, é necessário encontrar um equilíbrio entre o poder de processamento do software e a criatividade individual do designer. O software oferece um espaço de possibilidades no qual o designer pode explorar e desenvolver seu próprio mundo individual criativo, portanto, a qualidade de tal processo está no potencial de diálogo usuário *versus* software.

O computador se torna um espelho da mente humana e, como tal, reflete seu pensamento. Portanto, o design pode ser explorado como um processo mental - não apenas observando o comportamento humano, mas também observando o comportamento da máquina (SCHUMACHER, 2015, p.6, tradução nossa)

É aqui que se reitera o potencial do design paramétrico, que baseia todo seu processo na manipulação de dados e variáveis através de parâmetros, para abordar e propor soluções para problemas operacionais e não operacionais. Todo objeto arquitetônico ou urbanístico que possui relações geométricas (como proporção ou simetria) pode ser descrito e determinado por meio da estipulação de funções e cálculos de valores que, por sua vez, tornam-se geradores de parâmetros operacionais. Tais parâmetros agem como scripts dentro dos softwares paramétricos e determinam um conjunto de instruções para a proposição de soluções.

Em urbanismo, por exemplo, os subsistemas urbanos que podem ser correlacionados por meio de scripts associativos baseados em regras, incluem a massa urbana, a topografia, o sistema de circulação de veículos e de pedestres, entre outros. O estabelecimento de interdependências sistemáticas por meio de parâmetros aumenta a densidade de informações a serem abordadas na resolução dos problemas do ambiente urbano e construído, já que toda cadeia de dependências pode ser rastreada por meio das inferências produzidas pelos parâmetros.

O projetista pode explorar sua criatividade ao escolher e calibrar as correlações adaptativas entre os subsistemas, o que torna possível a exploração da variação. A principal técnica para lidar com essa variabilidade é a definição do script de regras (ou

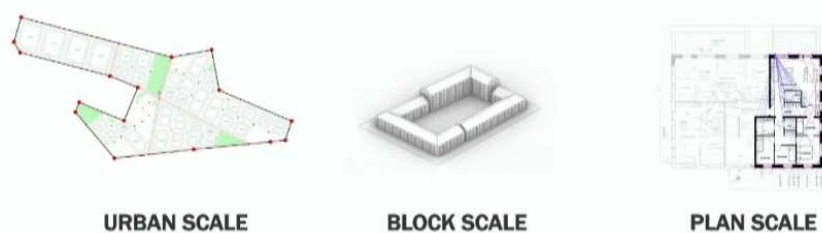
parâmetros) que determina os princípios de diferenciação e correlação na busca das soluções formais, estéticas e funcionais.

Percebe-se que o design paramétrico atinge a real questão a ser abordada nos processos de design e projeção que, como apresentado, reside na formulação em si do próprio problema. O objetivo do design paramétrico é ao mesmo tempo intensificar as interdependências internas em um projeto arquitetônico e urbanístico, com as condicionantes externas dos mais variados contextos. Tal característica passa pelo cerne da função social da arquitetura e do urbanismo: a de ordenar os cenários de interação social que compõem a sociedade contemporânea.

5.1 ESTUDO DE CASO: LILJEWALL ARKITEKTER

Um estudo desenvolvido pelo escritório sueco Liljewall Arkitekter e apresentado na conferência anual Key Client Conference (Graphisoft), no ano de 2019, ilustra o funcionamento e potencial do design paramétrico, bem como o funcionamento de uma metodologia de projeção completamente baseada nas plataformas digitais. A arquiteta sócia e BIM Manager Kristen Broberg e o arquiteto e engenheiro da computação André Agi apresentaram as ferramentas e fluxos de trabalho que tem sido utilizado em um dos maiores escritórios de arquitetura e urbanismo da Suécia.

Os processos de desenvolvimento dos projetos se baseia na representação visual da informação. O fluxo de trabalho passa pela aplicação de técnicas de digitais paramétricas, desde a automação até o design generativo, para trabalhar e interconectar as diversas escalas de trabalho envolvidas em projeto: urbana, de quadra e de planta (edifício).



**FIGURA 15: Escalas de análise do projeto.
Fonte: LILJEWALL ARKITEKTER.**

O fluxo de trabalho apresentado possui três fases de desenvolvimento: análise, automação e avaliação. Um requisito considerado essencial para o método de trabalho é a produção e manipulação precisa de maquetes digitais 3D, que, através da componente visual, são capazes de oferecer grande compreensão do contexto em que está se projetando, bem como a possibilidade de testar e validar diferentes estratégias. Sua utilização permeia todas as fases de projeção.



**FIGURA 16: Maquete desenvolvida a partir de dados do Google Maps criada digitalmente através de scripts Python no software RHINOCEROS.
Fonte: LILJEWALL ARKITEKTER.**

A fase de análise acontece através da observação do meio ambiente digital criado, que além de apresentar a configuração física do contexto do projeto, contém uma série de informações vinculadas a ele, como informações climáticas e de incidência solar, topográficas, sociais e populacionais, entre outras, que são todas apresentadas de forma visual na maquete.

A fase de automação explora opções de solução de acordo com as condições apresentadas e os parâmetros estabelecidos. Para tal, as formas de pensar em design e o processo de tomada de decisão são traduzidos em linguagem matemática de programação através de algoritmos. O escritório utiliza a linguagem de programação Python para programar dentro do software Grasshopper, para manipular modelos de construção dentro do software BIM ARCHICAD, e manipula tais algoritmos através de

aplicativos desenvolvidos para criar a interface entre o designer a linguagem de programação. Através da leitura do algoritmo, o computador gera automaticamente diversas possibilidades de solução, que são representadas através da maquete digital e que podem ser ajustadas e refinadas manualmente pelo designer, que continua sendo o agente principal no processo de conceber soluções de projeto.

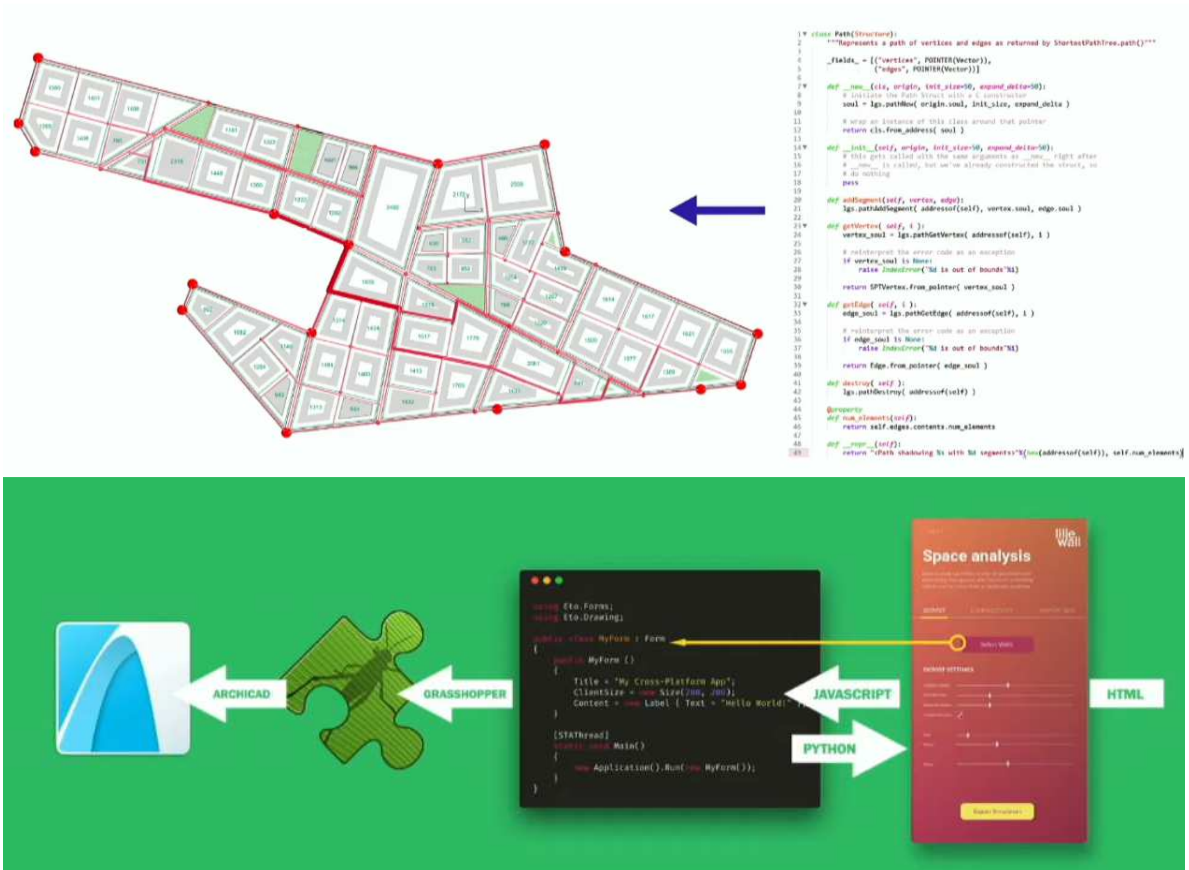
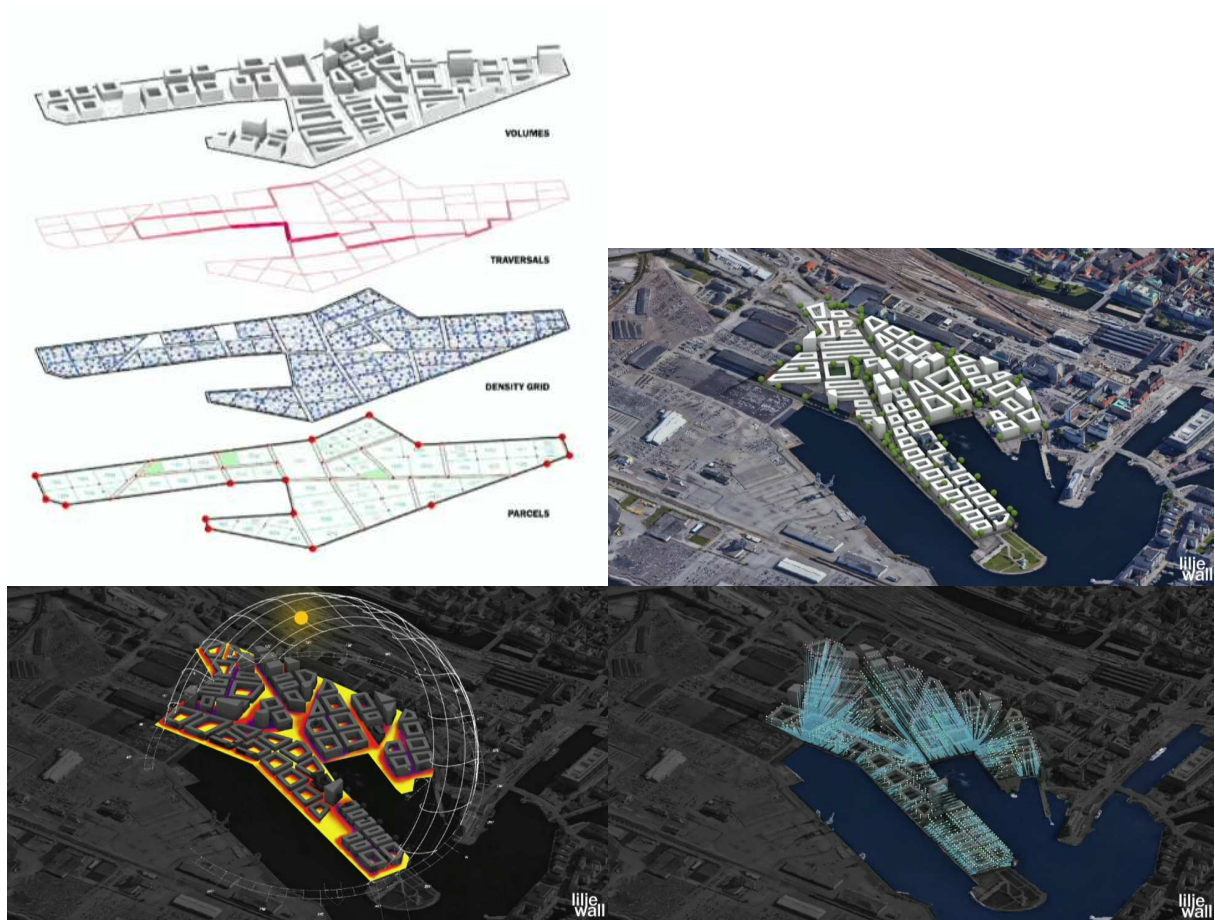


FIGURA 17: Tradução das formas de pensar em design em linguagem matemática e algorítmica.

Fonte: LILJEWALL ARKITEKTER.

A fase de avaliação estuda as soluções encontradas através de diversas perspectivas criadas a partir da manipulação de informações, buscando capturar todas as complexidades da solução proposta para validar e refinar as opções encontradas. Para tal, diversos filtros de dados são criados e aplicados para gerar relatórios visuais como forma de avaliação das propostas.



**FIGURA 18: Avaliação das soluções através de diferentes filtros de informação.
Fonte: LILJEWALL ARKITEKTER.**

O fluxo baseado nas três fases de análise, automação e avaliação é também aplicado para as escalas da quadra e do edifício, sempre representando as informações visualmente através das maquetes eletrônicas. O processo tem se mostrado muito eficiente ao processar, representar e manipular informações de projeto, bem como interconectá-las as diversas escalas de análise em projetos de arquitetura e urbanismo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente complexidade dos sistemas urbanos e contexto sociocultural acaba exigindo novas abordagens para seu entendimento e pressupõem uma mudança de abordagem em relação ao processo de criação em arquitetura e urbanismo, cujo objetivo último é desenvolver espaços capazes de responder às necessidades do nosso tempo.

A arquitetura e o urbanismo trabalhados pelos meios paramétricos, que se desenvolve através processos computacionais e que busca definir parâmetros para potencializar as possibilidades de resolução de problemas (operacionais e não operacionais), percebe as inovações da mediação digital como agente transformador disruptivo dos processos de criação e proposição de soluções de projeto. Os profissionais têm se envolvido cada vez mais com a programação e se dedicado a entender o funcionamento dos softwares e plataformas que se propõem a utilizar (MAEDA, 2001).

Apesar das plataformas digitais paramétricas estarem em processo de constante evolução de métodos e fluxos de trabalho, os softwares e ferramentas disponíveis atualmente têm otimizado e potencializado os processos de concepção de design, permitido arquitetos e urbanistas processar enormes quantidades de informação e atingir altos níveis de compreensão e solução dos problemas e complexidades socioculturais contemporâneos.

O design paramétrico é um modelo compatível com os recentes avanços em capacidades de interação e simulação digital e computacional (SCHUMACHER, 2015) e se apresenta como uma metodologia com potencial de aproveitar ao máximo a revolução computacional que tem impulsionado a civilização contemporânea.

7 REFERÊNCIAS BIBLIORÁFICAS E WEBGRÁFICAS

AYRES FILHO, C. **Acesso ao modelo integrado do edifício**. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Construção Civil - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

EASTMAN, Chuck et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

FRAZER, J. **An Evolutionary Architecture**. London - UK: AA Publications, 1995.

Hooke R. **A description of helioscopes and some other instruments made by Robert Hooke, Fellow of the Royal Society**. London: T.R. for John Martyn, 1676.

LÉVY, P. **As formas do saber**. Transcrição de vídeo. Nomads.usp, 2001.

MAEDA, J. **Design by Numbers**. Boston - MA: MIT Press, 2001.

OTTO F.; RASCH B. **Finding Form Towards an Architecture of the Minimal**. Axl Mnga, 1996.

Patrik Schumacher, **In Defense of Parametricism**. Machine Books. London 2015.

SCHNEIDER S.; FISCHER J.; PETZOLD F.; KÖNIG R. **Rethinking Automated Layout Design**. Capítulo de livro. Bauhaus-Universität Weimar, TU München, Alemanha. 2011.

STABILE. H; **Entre o Físico e o Digital - Processos paramétricos, de interação e de fabricação digital aplicados ao design**. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

TERZIDIS, K. **Algorithmic Architecture**. Burlington - MA: Elsevier Ltd, 2006.

WENDLAND D. **Model-based form finding processes: free forms in structural and architectural design**. Universität Stuttgart, Institut für Darstellen und Gestalten, 2000.

WIENER, N. **Cibernética e sociedade: o uso humano dos seres humanos**. São Paulo: Cultrix, 1954.

ARCHDAILY: Disponível em <<https://www.archdaily.com.br/br/769188/em-foco-antoni-gaudi>>. Acesso em 12 de agosto de 2019.

ACCASOFTWARE. Disponível em <<http://biblus.accasoftware.com/ptb/nascimento-do-bim-eastman/>>. Acesso em 12 de agosto de 2019.

ADSTTC. Disponível em:

<<https://images.adsttc.com/media/images/50be/3c5b/b3fc/4b4f/e600/00ea/slideshow/glide-image.jpg?1354644571>>. Acesso em 12 de agosto de 2019.

BIMREVIT. Disponível em: <<http://www.bimrevit.com/2017/12/software-bim.html>>.

Acesso em 12 de agosto de 2019.

FOLHA UOL. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/ilustrada/2016/11/1833420-mostra-revela-como-gaudi-extraiu-da-natureza-suas-formas-fantasticas.shtml>>. Acesso em 12 de agosto de 2019.

LILJEWALL ARKITEKTER. Apresentação em congresso. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=_A1nzElwBto>. Acesso em 12 de agosto de 2019.

NÃO TRIVIAL. Disponível em: <<https://naotrivial.wordpress.com/2017/03/29/a-catenaria-gaudi-e-confusoes-de-nomenclatura/>>. Acesso em 12 de agosto de 2019.

RESEARCH GATE. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Final-Hanging-chain-model-for-Mannheim_fig2_283164806>.

Acesso em 12 de agosto de 2019.

VISIT MANNHEIM. Disponível em:

<<https://www.visitmannheim.de/en/Media/attractions/multihalle-mannheim>>. Acesso em 12 de agosto de 2019.