

## TEORIA DA TECTÔNICA: DO TRADICIONAL AO DIGITAL

*Rafael Jeí Fuhr Puig<sup>1</sup>  
Underléa Miotto Bruscato<sup>2</sup>*

**Resumo:** O termo “tectônica” é, usualmente, empregado para referir-se a uma perspectiva de integração entre forma, material, estrutura e construção associada à arquitetura vernacular. O advento da “Era Digital” motivou um novo debate a respeito da tectônica, a partir da integração das tecnologias digitais com a Arquitetura, mais especificamente entre design e a fabricação digitais, originando uma teoria da “Tectônica Digital”. Nesse contexto, o presente artigo realiza uma revisão da literatura sobre a teoria da tectônica, tanto em sua corrente tradicional quanto na digital. São apresentadas, para isto, as definições e os conceitos-chave postulados pelos principais teóricos no assunto, seguidas de uma análise comparativa, entre teóricos de mesma corrente e das teorias entre si, destacando suas contribuições e consequências. Como resultado, pretende-se tornar clara a delimitação entre ambas teorias, tradicional e digital, contribuindo para tornar o conhecimento a respeito da teoria da tectônica acessível a todos os campos de estudo.

**Palavras-chave:** tectônica, tectônica digital, teoria da arquitetura, design digital, fabricação digital.

**Abstract:** The term "tectonics" usually refers to a perspective of integration between form, material, structure and construction associated with vernacular architecture. The advent of the “digital age” motivated a new debate about tectonics from the integration of digital technologies with architecture, more specifically digital design and digital fabrication, giving rise to a “digital tectonics” theory. In this context, the present article performs a literature review on tectonics theory, both in its traditional and digital currents. For this purpose, the key definitions and concepts postulated by the main theorists in the subject are presented, followed by a comparative analysis between theorists of same current and theories among themselves, highlighting their contributions and consequences. As result, it is intended to make the delimitation between both theories clear, contributing to make knowledge about the tectonics theory accessible to all fields of study.

**Keywords:** tectonics, digital tectonics, architectural theory, digital design, digital fabrication.

---

<sup>1</sup> Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [rafaelfpuig@gmail.com](mailto:rafaelfpuig@gmail.com)

<sup>2</sup> Professora no Departamento Arquitetura e na Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [arqleiab@gmail.com](mailto:arqleiab@gmail.com)

## 1 Introdução

A tectônica é um termo que, embora seja corrente no meio arquitetônico, é frequentemente mal empregado, sugerindo que, ainda que conhecido, não é clara a sua definição (AMARAL, 2009). A origem do termo provém do grego antigo “*tektonikós*”, cujo significado é “algo pertencente, ou do domínio, da construção”. O seu radical “*téktōn*”, tinha por significado inicial a figura do “carpinteiro”, mas adquiriu, ao longo do tempo, a conotação mais ampla de “construtor”, no senso de “artesão” – referindo-se às artes e aos ofícios em geral. A mesma palavra é a origem da palavra “arquiteto” (*arkhitektōn*), referente ao “mestre construtor”. Isto torna clara a sua proximidade com o campo da Arquitetura (FRAMPTON, 1995). Após sua criação pelos gregos antigos, a “tectônica” cai em desuso e é esquecida até o século XIX. Naquele momento, retorna em meio a um debate teórico promovido por Karl Friedrich Schinkel (1781-1841), em seu círculo acadêmico em Berlim, por volta de 1830. O objetivo desse foi o de discutir o cerne da relação entre a Arquitetura e a Construção (GERMANN, 2000). Este mesmo debate ainda perdura na disciplina da Arquitetura, acompanhando o amadurecimento da mesma, e integrando, também, outros campos de estudo como a Engenharia, e, mais recentemente, o Design (SCHUMACHER; 2017).

Na atualidade, o advento da chamada “Era Digital”, que trata das transformações decorrentes da digitalização dos meios de produção e comunicação, tem motivado um novo debate no campo teórico da Arquitetura. Trata-se de tentativa de adequá-la ao contexto dos novos conhecimentos e experimentações proporcionados pelo uso das tecnologias digitais, mais especificamente o design e a fabricação digitais (KOLAREVIC, 2005). Nesse sentido, diversos teóricos preocupam-se com a necessidade de adequar a teoria da tectônica a esse novo contexto, propondo uma nova ramificação teórica – a “Tectônica Digital” (OXMAN, 2010).

O presente artigo tem caráter exploratório e objetiva a compreensão geral da teoria da tectônica, tornando clara a delimitação entre suas ramificações ditas “tradicional” e “digital”. Para isso, realizou-se a revisão da literatura, a partir dos principais teóricos, destacando as definições e os conceitos-chave adotados por estes. Em seguida, como método, foram elaborados quadros síntese para cada ramificação da teoria da tectônica, relacionando autores e definições, e apontando divergências e semelhanças entre estes. Ao final, apresenta-se o debate a respeito dos principais aspectos encontrados para a delimitação entre as tectônicas tradicional e digital. Através deste debate, pretende-se auxiliar na compreensão geral da tectônica, tornando o conteúdo

acessível tanto para o campo da Arquitetura quanto para as demais áreas do conhecimento. Por fim, cabe ressaltar ainda que esse estudo faz parte de uma pesquisa maior que investiga formas de reinterpretar o vernacular a partir das tecnologias digitais.

## **2 Tectônica tradicional**

Inicialmente, a teoria da tectônica foi empregada para referir-se a uma perspectiva de integração entre forma, material, estrutura e construção na produção arquitetônica vernacular (OXMAN, 2006). Entretanto, também assumiu diversas outras conotações, a partir das obras de teóricos como Karl Bötticher (1844), Gottfried Semper (1851), Eduard Sekler (1965) e Kenneth Frampton (1995), servindo de insumo para o debate de temas mais amplos, como as relações entre ética e estética no ambiente construído e das implicações, na Arquitetura, do desenvolvimento científico, técnico e social de uma sociedade em termos culturais. A esta aplicação da teoria da tectônica, o presente artigo refere-se ao termo “tectônica tradicional” (GAO, 2004) em detrimento da alcunha usual de “clássica” (LIU; LIM, 2006). Usa-se esta terminologia, por remeter, com maior afinidade, à origem nas tradições construtivas da arquitetura “vernacular”, também conhecida por “tradicional”. A presente seção é destinada à compreensão da tectônica tradicional, na qual são apresentados definições, conceitos e ideias dos teóricos citados.

### **2.1 Teóricos da tectônica tradicional no século XIX**

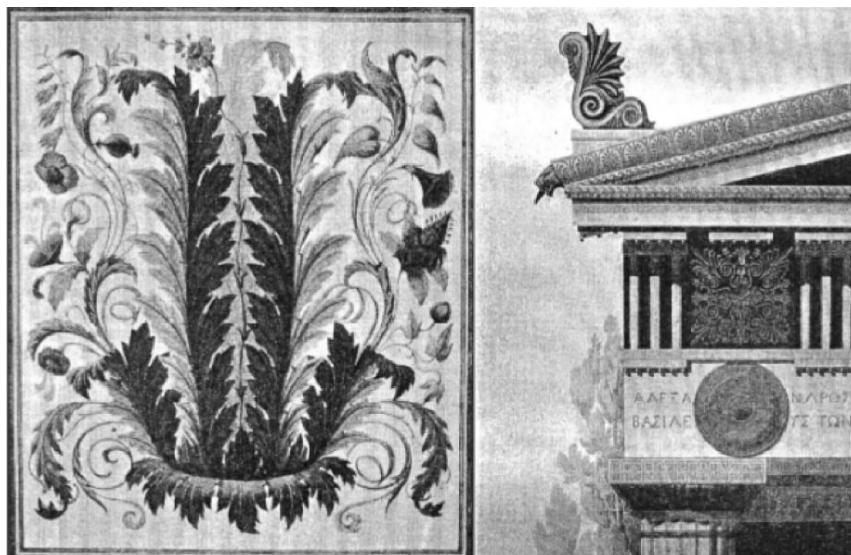
Ao longo da segunda metade do século XVIII, havia um descompasso entre a teoria e a prática arquitetônica. Os ofícios da Arquitetura e da Construção eram essencialmente fundamentados nas tradições clássicas. Entretanto, avanços técnicos na área da Engenharia, especialmente a popularização do uso do aço e do vidro – ausentes nas formas clássicas – motivaram novas demandas sociais, e, conseqüentemente, uma nova interpretação da construção (BERGDOLL, 2000). Na Alemanha, o debate intelectual crescia, juntamente com o surgimento de novas universidades, o que criava um ambiente bastante propício para o desenvolvimento de novas teorias. Assim, aquele país sediou um rico debate sobre os diversos ofícios da arte. Foi nesse ambiente, entre as décadas de 1830 e 1860, que surgiu o primeiro conceito de tectônica (CANTALICE, 2015). Apesar desse debate ter sido liderado pelo destacado arquiteto alemão Karl Friedrich Schinkel, foi no trabalho de seus pupilos,

Karl Bötticher e Gottfried Semper, que as ideias sobre a tectônica atingiram um maior amadurecimento teórico.

### 2.1.1 Karl Bötticher

Karl Bötticher (1806-1889) foi um arqueólogo especializado em Teoria da Arquitetura e importante teórico na concepção da tectônica. Em 1844, publicou o livro *“Die Tektonik der Hellenen (1844)”*, em que investigou os processos que guiam a prática arquitetônica dos gregos antigos. Argumenta que teriam criado e aperfeiçoado um sistema projetual, ao qual referiu-se como “tectônica”. A partir desta sistematização, seria possível garantir que cada detalhe fosse concebido preservando a lógica estrutural da edificação, a sua função e a “essência” dos materiais empregados de forma que a composição arquitetônica se apresentasse fiel aos seus princípios históricos fundamentais (GUTSCHOW, 2000).

Logo, a tectônica era compreendida como a atividade de formação da edificação que remontava sua harmonia com a cultura humana em uma perspectiva historicista. Isto seria mediado pela ornamentação artística (Figura 1) e expressa por um “senso de pertencimento” da edificação proveniente da relação dialética entre duas de suas dimensões – a ontologia e a representação. A primeira, diz respeito às formas operativas da edificação, cuja função é operar as cargas estruturais e ambientais. A segunda, é relativa às formas artísticas, sem correspondência com uma função essencial à integridade da edificação, exercendo papel simbólico (DE MATTIA, 2012).

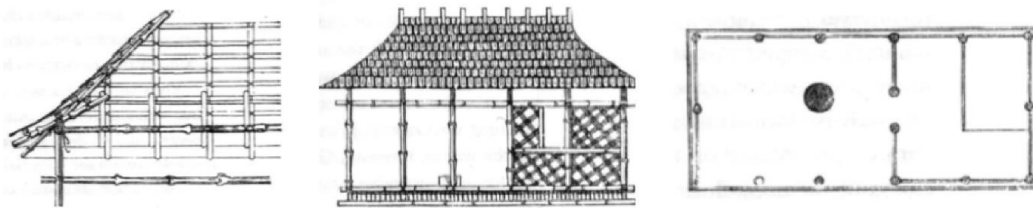


**Figura 1** – Ilustração de estudo da ornamentação dos templos dóricos, realizado por Bötticher.  
Fonte: De Mattia, 2012.

### 2.1.2 Gottfried Semper

Gottfried Semper (1803-1879) foi arquiteto e professor de Arquitetura, considerado uma autoridade no debate a respeito da estética. Semper dedicou-se, em suas obras, à formulação de uma Teoria Geral da Arquitetura baseada em preceitos antropológicos. Foi elaborada a partir da necessidade por abrigos, dos povos primitivos no seu processo de assentamento, em paralelo ao desenvolvimento de seu artesanato com materiais naturais locais (SCHWARZER, 1993). Assim, acreditava que seria possível conformar uma Teoria da Arquitetura mais objetiva, capaz de incorporar desde sua forma mais simples e original – o “abrigo” – até a sua forma mais desenvolvida – a “arquitetura” (MADEIRA, 2015).

Em 1851, Semper publicou o livro “Os quatro elementos da Arquitetura”. Nesta obra, utilizou o arquétipo da cabana primitiva caraíba (Figura 2) para explicar os princípios formativos da Arquitetura, representados a partir de quatro elementos arquitetônicos: o terraplano, como a base na qual é erguida a edificação; o telhado, sua cobertura; o fechamento, que diz respeito às fachadas; e o “coração” – o núcleo da reunião social da edificação (SCHWARZER, 1993; AMARAL, 2009; CANTALICE, 2015). Para Semper, esses elementos eram construídos a partir de dois partidos arquitetônicos possíveis, a tectônica e a estereotomia. A tectônica seria a lógica construtiva e estrutural, a partir da madeira e demais materiais leves e descontínuos, enquanto a estereotomia diria respeito a sua produção a partir de materiais homogêneos e contínuos, como a pedra e a terra (FRAMPTON, 1995).



**Figura 2** - Ilustração da cabana primitiva caraíba, realizada por Semper em 1863. Fonte: Hvattum, 2004.

Mais tarde, revisou os quatro elementos, garantindo a cada um deles propriedades “tectônicas” ao se referir à capacidade dos mesmos de adquirirem uma “expressão cultural” pela associação entre o seu material constituinte e a técnica artesanal empregada na sua produção (MADEIRA, 2015). Assim, associou a constituição do terraplano especialmente aos ofícios relacionados com a terra e a pedra. O telhado, ao trabalho da madeira, portanto ao ofício da carpintaria. O



fechamento, aos ofícios ligados aos tecidos como a tecelagem e a tapeçaria. E, por fim, o coração aos ofícios da cerâmica, como a alvenaria (CANTALICE, 2015). Esta lógica, para Semper, era a origem de todos os primeiros artefatos da humanidade (Figura 3), e, que logo, foi aplicada à Arquitetura. Desta forma, era capaz de explicar os “estilos”, servindo de ferramenta teórica na análise das edificações, para a determinação de sua identidade cultural (HVATTUM, 2004).



**Figura 3** - Ilustração de artefatos produzidos por diferentes culturas a partir de técnicas de “nós” provenientes da tecelagem. Fonte: Hvattum, 2004.

## 2.2 Teóricos da tectônica tradicional no século XX

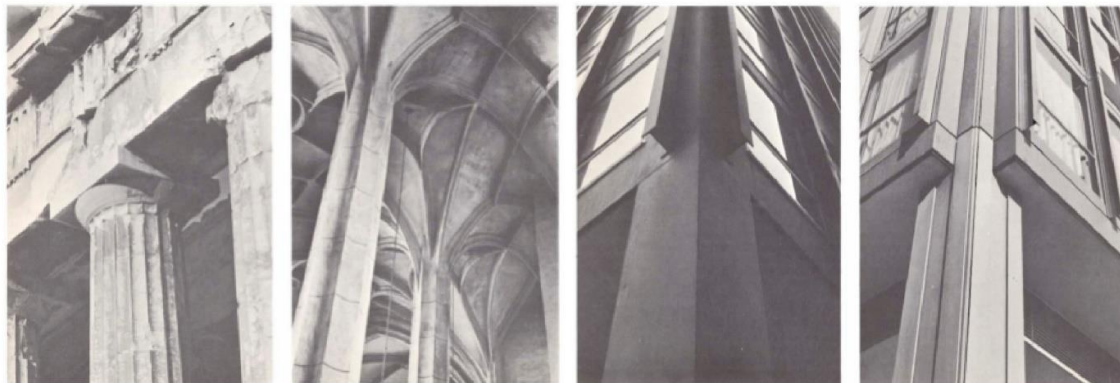
A partir do século XX, por influência das vanguardas modernas, o foco da Teoria da Arquitetura voltou-se, primariamente, às questões a respeito do “espaço arquitetônico” e da “função”, relegando os temas referentes à materialidade e à construção, como a tectônica, para um segundo plano (CANTALICE, 2015). Entretanto, com a crise do Movimento Moderno, há uma importante retomada do debate teórico da tectônica, a partir de um novo interesse nos aspectos simbólicos da Arquitetura (AMARAL, 2009). Nesse renovado debate, teóricos como Eduard Sekler e Kenneth Frampton passam a analisar a tectônica a partir da perspectiva da produção industrial da Arquitetura Moderna.

### 2.2.1 Eduard Sekler

Eduard Sekler (1920-2017), historiador e professor emérito de Arquitetura e Artes Visuais de Harvard, publica, em 1965, o artigo intitulado “*Structure, Construction, Tectonics*”, definindo a tectônica como a qualidade de uma expressão estética ao qual cunhou de “empatia”. Usou este termo em alusão à trabalhos desenvolvidos na área da psicologia. Para Sekler, esta expressão surgiria, exclusivamente, a partir da

interação entre a estrutura e a construção, não sendo perceptível a partir de qualquer uma dessas isoladamente.

Em sua obra, a “estrutura” é compreendida como um conceito abstrato, não pertencendo a qualquer material em particular, tratando-se apenas dos princípios e regras funcionais da construção. A “construção”, por outro lado, representa a lógica que guia o processo de incorporação da materialidade ao sistema estrutural (SEKLER, 1965; SCHWARTZ, 2017). Logo, pode-se dizer que, para ele, a tectônica é o fenômeno que emerge da integração da lógica estrutural com a construtiva na elaboração criativa e intencional do sistema construtivo de uma edificação (Figura 4).



**Figura 4** - Imagens ilustrativas do fenômeno estético da “empatia” em diferentes sistemas construtivos, de diversas épocas. Fonte: Sekler, 1965.

### 2.2.2 Kenneth Frampton

Kenneth Frampton, ao longo de sua carreira foi crítico, historiador e professor de Arquitetura. É considerado o responsável pela popularização do termo “tectônica” no meio arquitetônico, a partir de suas publicações “*Towards a critical regionalism: Six points for an architecture of resistance*”, em 1983, “*Rappel à l’ordre: The case for the tectonic*”, em 1990, e “*Studies in tectonic culture*” em 1995. A última, com repercussão internacional, é considerada a mais importante obra a respeito do assunto (AMARAL, 2009). Para Frampton, o desenvolvimento da Arquitetura situa-se entre as condições humanas de produzir, compreendida como a ontologia, e o desenvolvimento da Ciência, a episteme, de forma que a relação entre ambas exprime um determinado “estado” da humanidade. A tectônica, por sua vez, seria o meio pelo qual se pode exprimir esses diferentes estados, os acomodando de maneira integrada, em uma “poética da construção” (FRAMPTON, 1995).

As ideias de Frampton têm como inspiração, dentre outras, a obra de Heidegger “Da origem da obra de arte”, de 1950, em que o autor discorre sobre a

etimologia da “técnica” e suas implicações filosóficas. A origem do termo seria o grego antigo “*tikto*”, cujo significado é “produzir”, sugerindo a inexistência de uma distinção para os gregos antigos entre os conceitos de “arte” e de “artesanato” (na obra original “*craft*”, podendo ser traduzida também como “artesanaria” ou “artifício”). Desta forma, isto implicaria num estado no qual o “conhecer” e o “fazer” são integrados e a dimensão de um é revelado pelo desenvolvimento do outro (FRAMPTON, 1995). Em outras palavras, a condição da existência de um objeto produzido corresponde ao conhecimento e às condições disponíveis no meio para a sua produção. No caso da tectônica, a Arquitetura. A própria forma de Frampton referir-se ao termo “poética”, em detrimento de “poesia”, sugere a referência ao termo “*poietike*”, cujo significado se aproxima de “ciência da produção”. Essa definição implica, também, que o contexto é parte intrínseca ao objeto em seu processo de produção, conformando sua dimensão cultural.

O interesse no assunto da tectônica, por parte de Frampton, está intimamente relacionado a sua crítica a respeito da produção arquitetônica no Modernismo e Pós-Modernismo, expressas em seu manifesto “*Towards a critical regionalism: six points for a architecture of resistance*” de 1983. Neste buscou, através da formulação do “regionalismo crítico”, uma reconciliação da Arquitetura com os aspectos locais e artesanais de produção, baseada no contexto no qual se insere. Para tal, propõe uma abordagem “tátil”, em detrimento da visualidade e de recursos cenográficos, de forma que a tectônica reflita a manifestação cultural de uma região, contrapondo a pura mercantilização da Arquitetura (Figura 5) (FRAMPTON, 1983; 1995).



**Figura 5** - Interior da câmara do conselho da prefeitura municipal de Säynätsalo, exemplo de expressão tectônica baseada no contexto local. Fonte: Frampton, 1995.



### 2.3 Considerações a respeito da tectônica tradicional

Nesta seção, foi apresentada a etimologia da palavra “tectônica”, bem como a variedade de sentidos que o termo assume ao longo dos períodos Clássico e Moderno. Dessa forma, pode-se afirmar, resumidamente, que a chamada tectônica tradicional, ao longo da sua conformação, foi interpretada das seguintes maneiras pelos autores citados. Em Bötticher, como a expressão artística que emerge ao se relacionar aspectos simbólicos (artísticos e representativos) aos ontológicos (funcionais e estruturais) de uma edificação através da ornamentação da estrutura. Para Semper, como uma expressão cultural que emerge dos elementos arquitetônicos quando produzidos a partir de uma associação entre as técnicas artesanais com os materiais naturais. Para Sekler, como a qualidade de um efeito estético que surge da relação entre a lógica estrutural e a construtiva em sistemas construtivos. E, por fim, para Frampton, como um veículo de expressão da sociedade, elaborado em conjunto ao partido arquitetônico, associando as capacidades técnicas (representando o “fazer” de forma ontológica) e o estado de desenvolvimento científico das sociedades, enquanto uma “poética da construção”.

Assim, tem-se o seguinte quadro teórico, estabelecendo os principais autores e a associação dos elementos que se relacionam para configurar um determinado fenômeno que representa a tectônica tradicional (Quadro 1).

**Quadro 1** – Quadro síntese da tectônica tradicional

Autor	Definição para a tectônica tradicional
<b>Bötticher</b>	Integração entre as dimensões operativas (ontologia) e simbólicas (representação) da edificação através da ornamentação coerente à estrutura.
<b>Semper</b>	Associação entre as técnicas construtivas vernaculares advindas do artesanato e os materiais naturais locais na constituição dos elementos arquitetônicos.
<b>Sekler</b>	Efeito estético de “empatia” que surge a partir da integração das lógicas estrutural e construtiva na constituição dos sistemas construtivos.
<b>Frampton</b>	Poética da construção como um meio de comunicar, de forma integrada, o estado científico (ontologia) e as condições sociotécnicas e culturais (episteme) de uma sociedade.

Fonte: dos autores

A partir da definição desses teóricos para a tectônica tradicional, é possível identificar as palavras-chave relacionadas à mesma como: ornamento, representação, estrutura, artesanato (enquanto técnica construtiva), material, construção, ontologia e episteme. Pode-se dizer que a integração da estrutura, do material e da construção são o núcleo constitutivo da tectônica tradicional, a partir do qual seu fenômeno estético é perceptível. Por tratar-se de um fenômeno estético, a tectônica assume também um caráter comunicativo expresso através da relação entre a técnica, entendida como condição científica, e o conhecimento, a condição do saber, representando uma dialética entre o saber e o fazer de uma determinada sociedade.

### 3 Tectônica digital

A inauguração do Museu Guggenheim de Bilbao (Figura 6), no final do século XX, projetado pelo arquiteto Frank Gehry, é considerado um ponto de inflexão para a Teoria da Arquitetura, pois inaugura um novo período para produção arquitetônica. Este baseado nas novas capacidades proporcionadas pelas tecnologias da Era Digital (KOLAREVIC, 2005). A utilização inédita de técnicas, que integram o projeto auxiliado por computador (CAD) à manufatura auxiliada por computador (CAM), abriu portas para uma nova era de formas livres e não-euclidianas que popularizaram a produção digital na Arquitetura e proporcionaram um novo paradigma para cultura de Design, baseado na informação e na complexidade (MITCHELL, 2005; OXMAN, 2006).



**Figura 6** - Museu Guggenheim de Bilbao, projeto do arquiteto Frank Gehry. Fonte: Mitchell, 2005.

A partir deste novo paradigma, teóricos, como Philip Beesley (2000), Neil Leach (2004), Rivka Oxman (2009) e Patrik Schumacher (2012), destacaram o fato da tectônica, na sua interpretação tradicional, não ser capaz de explicar o estado dinâmico da produção digital. Afirmaram ser necessário introduzir novas variáveis teóricas em sua definição que comportem a utilização de modelos digitais baseados em processos de design e fabricação digital como a geração, a análise e a otimização da forma arquitetônica. Com isso, seria integrada uma dimensão digital à tectônica tradicional, dando origem a uma “tectônica digital”.

### 3.1 Teóricos da tectônica digital

Os termos “tectônica” e “digital” são, por sua natureza, contraditórios entre si e pode ser confusa a associação entre os dois pois, o digital, tem base no virtual e no abstrato, de manifestação livre das leis da natureza, enquanto, a tectônica, é tátil e concreta e expressa uma relação direta com o mundo físico (LEACH *et al.*, 2004). Logo, para auxiliar na compreensão da tectônica digital, a presente seção apresenta, os principais teóricos a respeito do assunto e seus conceitos-chave.

#### 3.1.1 Philip Beesley

Philip Beesley é um arquiteto e escultor experimental, que, em conjunto com o filósofo Thomas Seebohm (1934-2014), publicou o artigo “*Digital Tectonic Design*” em 2000. Apresentam, neste, a tectônica digital como uma metodologia proporcionada por uma abordagem digital do design arquitetônico, chamada de “projeto tectônico digital”. Logo, a tectônica digital resulta da integração entre o design auxiliado por computador, através do uso dos softwares de projeto, com métodos construtivos tradicionais (BEESLEY, SEEBOHM; 2000). A metodologia, proposta por Beesley, baseia-se no trabalho criativo, na escala dos detalhes, das relações geométricas e espaciais do objeto a partir dos encaixes (articulações), utilizando-se de um processo generativo de design – no qual o computador é utilizado para produzir sistemas de formas (padrões) através de algoritmos. Esses sistemas podem, então, ser replicados em diferentes escalas, conformando o caráter da edificação (Figura 7).

#### 3.1.2 Neil Leach

Neil Leach é arquiteto e teórico de Arquitetura, professor adjunto na Universidade da Carolina do Sul e visitante nas universidades de Harvard e Tongji. É, também,

colaborador do programa “*Innovative Advanced Concepts*”, promovido pela “*National Aeronautics and Space Administration*” (NASA). No livro “*Digital Tectonics*”, de 2004, defende a ideia de uma quebra de paradigmas no “*design thinking*” do projeto arquitetônico. Seria proporcionada pelo uso das ferramentas digitais, que permitem ao designer trabalhar sua sensibilidade tectônica com o auxílio de processos de análise, geração e otimização da forma, com a finalidade de testar diversas opções de design em termos de eficiência estrutural, acústica, ambiental, construtiva ou programática. Nesse processo, o papel do designer passa a ser o de garantir as melhores condições, com a menor interferência possível, para que o sistema computacional possa formular a melhor configuração possível para o projeto (LEACH *et al.*, 2004).

As ideias de Leach estão associadas ao conceito emergente da morfogênese, termo utilizado, inicialmente, na área das Ciências Biológicas. Na Biologia, refere-se a geração da forma e criação de padrões, em organismos vivos, através de processos de crescimento e diferenciação. Na Arquitetura, foi adaptado para se referir a uma abordagem de design orientada pela performance material e com foco no processo de projeto, em detrimento da preferência por objetivos visuais e foco na representação (LEACH, 2009). Na morfogênese, a construção da forma, ou “*form-making*”, é substituída por processos formativos, chamados de “*form-finding*” (HENSEL *et al.*, 2004). Logo, a forma passa a ser relegada a uma posição secundária da “*formação*”, visto que a “*informação*” altera a forma baseada em seus critérios de “*performance*”. Desta maneira, a arquitetura passa a ser conformada em função de parâmetros de performance associados aos materiais (LEACH, 2009).



**Figura 7** - Protótipo para a instalação artística no pavilhão do Canadá da Bienal de 2010 em Veneza, projetado a partir do “digital tectonic design”. Fonte: Beesley, 2012.

Logo, a tectônica digital, para Leach, diz respeito a expressão da tectônica, a partir de técnicas computacionais, no sentido de integração e complementação, em que o projetista alcança uma compreensão maior do comportamento dos materiais através da capacidade dos softwares em realizar análises de desempenho e gerar soluções em termos de forma, dando origem à “ferramentas tectônicas digitais” (Figura 8) (LEACH *et al.*, 2004). Essas ferramentas, por fim, resultam de uma associação das dimensões ontológicas e representacionais da arquitetura, pois garantem que, qualquer mudança em uma dessas dimensões, resulte em manifestações na outra. Na prática, possibilita que as demandas culturais possam influenciar diretamente a formação da edificação a partir do diálogo contínuo entre essas dimensões (LEACH *et al.*, 2004).



**Figura 8** - Instalação “Swarm Tectonics”, construída a partir de ferramentas tectônicas digitais em oficina ministrada por Leach em 2002. Fonte: Leach et al, 2014.

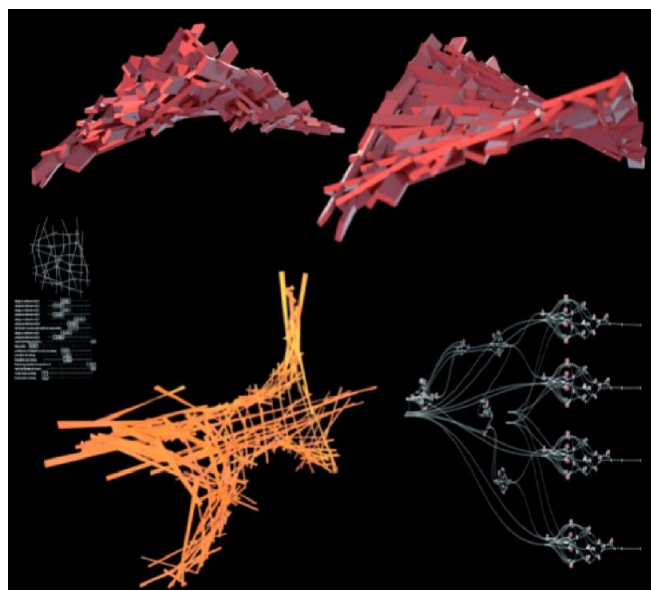
### 3.1.3 Rivka Oxman

Rivka Oxman é uma arquiteta e pesquisadora israelense, professora do Instituto Técnico de Haifa, cuja pesquisa vem contribuindo para a teoria e metodologia do Design Digital. Em seu artigo “*Digital Tectonics as a Morphogenetic Process*”, de 2009, reconhece que as teorias contemporâneas começavam a caminhar para uma interpretação mais complexa que a tectônica proposta por Frampton, pois exploram novas relações entre estrutura e materiais em um processo generativo da forma. Para a autora, o conteúdo metodológico, resultante de métodos e tecnologias emergentes, originou processos digitais e potencial representacional capazes de, juntos, estabelecerem novas tectônicas. Portanto, a tectônica digital deve ter sua origem



nesse novo conteúdo metodológico, integrando a computação a novos materiais, estruturas e construções (OXMAN, 2009).

Para tal, Oxman foca nos processos formativos desses e pública, em 2010, um artigo, em conjunto com Robert Oxman, no qual apresenta a ideia de um “novo estruturalismo”, em alusão ao “estruturalismo”, que corresponde ao processo estudado, no campo da Engenharia, para formalizar padrões estruturais, revisando-o através das possibilidades de sua aplicação a partir da morfogênese digital. Através disto, seria possível conformar relações tectônicas, a partir dos processos de geração, simulação e otimização, e estabelecer um “modelo tectônico digital” (OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert, 2010). Logo, a tectônica digital passa a se referir a um método de design, orientado por pesquisa, que explora os modelos da morfogênese digital. Trata-se, portanto, de um meio para modular as estruturas topológicas da tectônica, através de processos de *form-finding* digital, convertendo-as em topologias paramétricas com o auxílio da programação de maneira a configurar um “artesanato digital” (Figura 9) (OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert, 2010).



**Figura 9** – Exploração de princípios estruturais inspirados em técnicas construtivas vernaculares para aplicação em sistemas tectônicos. Fonte: Oxman, Rivka e Oxman, Robert, 2010.

Essa prática, diz respeito não apenas a integração do design digital, mas também da fabricação digital no processo de estruturação. É utilizada não somente como uma simples solução técnica de modelagem, mas como lógica integrada no processo de materialização do modelo digital através de suas técnicas de fabricação (OXMAN, 2017).

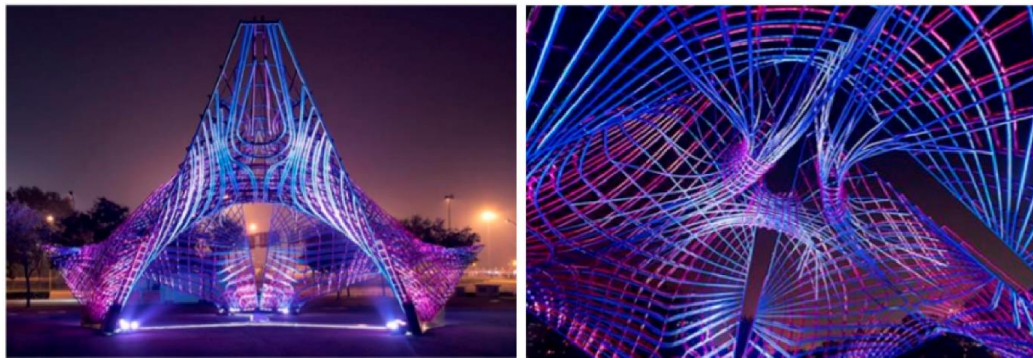
### 3.1.4 Patrik Schumacher

Patrik Schumacher é um teórico e renomado arquiteto, diretor do escritório de Arquitetura britânico “Zaha Hadid Architects”. É autor da obra, em dois volumes, “*The Autopoiesis of Architecture*” (SCHUMACHER, 2011; 2012). Nesta publicação, propõe uma nova teoria para a Arquitetura Contemporânea, inspirado na teoria dos sistemas sociais de Niklas Luhmann (1927-1988): o “Parametricismo”. O Parametricismo, segundo Schumacher (2014), é um novo estilo arquitetônico que emerge em resposta à complexidade e ao dinamismo das interações sociais da Era Digital através de modelos parametricamente maleáveis, responsivos a funções técnicas e sociais em uma perspectiva sistêmica e ecológica. Isto configura o que o autor chama de “articulação tectônica” (SCHUMACHER, 2014).

A articulação tectônica é proposta como sendo a utilização de estratégias de diferenciação morfológica adequadas às exigências das Engenharias Estrutural e Ambiental. A tectônica, neste contexto, é compreendida como a seleção e utilização de formas e detalhes tecnicamente engendrados em articulação com o sistema de comunicação social. Proporciona, assim, morfologias eficientes e bem articuladas com suas funções comunicativas, levando à “legibilidade” e ao rigor técnico. Esta perspectiva da tectônica é aplicável a qualquer artefato, desde produtos a edificações como um todo (Figura 10). A dimensão “tectônica digital”, nesta visão articulada, é a utilização de ferramentas generativas de design e análises computacionais capazes de otimizar parâmetros de Engenharia e de fabricação com a finalidade de explorar a integração entre o design e a fabricação digitais, assim como a robótica neste processo (Figura 11) (SCHUMACHER, 2017).



**Figura 10** – 1) Cadeira “ACADIA 3D Printed Chair” de ZHA CODE. 2) Jaqueta produzida por Schumacher e Zivanic. Fonte: Schumacher, 2017.



**Figura 11** – Instalação “Candela revisitado”, para a Bienal de 2013. Fonte: Schumacher, 2017.

Assim, Schumacher recria a definição da tectônica digital através de um viés semiológico, no qual todos os processos da vida social podem ser compreendidos como sendo de comunicação e expressos através de signos indexicais e simbólicos articulados “tectonicamente”, em meio digital, de tal maneira a adquirirem ambas conotações (SCHUMACHER, 2014). Em suma, a tectônica digital e seu papel de articulação no Parametricismo fazem parte da proposta de uma nova metodologia e agenda para o design arquitetônico proposto por Schumacher. Tem o objetivo de endereçar, de forma mais correta, a função social da Arquitetura, no período pós-fordista, a partir de uma abordagem de semiologia paramétrica (SCHUMACHER, 2014). A sua proposta tem como base as técnicas de modelagem digital, para simular formas e padrões de comportamento do usuário, e os traduzir de maneira legível para qualquer escala de artefato, da Arquitetura ao Urbanismo, de maneira a facilitar os processos da sociedade, em termos de densidade, complexidade e intensidade de interação, com desempenho superior aos estilos que a precedem (Figura 12) (SCHUMACHER, 2017).

### **3.2 Considerações a respeito da tectônica digital**

Nesta seção, foram apresentados os motivos que levaram à formulação da teoria da tectônica digital, bem como os principais autores que a defendem e os conceitos chave para o entendimento de suas propostas. As propostas mostram particularidades de cada autor e podem ser resumidas como descrito a seguir. Para Beesley, trata-se de uma metodologia que aplica as ferramentas digitais no processo de design a partir das técnicas construtivas. Leach destaca a integração da tectônica tradicional ao meio digital através da morfogênese digital. Oxman descreve como uma abordagem de design, orientada por pesquisa, que explora modelos tectônicos com o auxílio da morfogênese e fabricação digitais. Por fim, Schumacher aborda a tectônica digital

como um meio de gerar formas e detalhes tecnicamente engendrados em articulação com um sistema de comunicação social através da integração entre o design e a fabricação digitais (Quadro 2).



**Figura 12** - Projeto do centro cultural Qingdao por Zaha Hadid Arquitetos. Fonte: Schumacher, 2014.

**Quadro 2** – Quadro síntese da tectônica digital

Autor	Definição da tectônica digital
<b>Beesley</b>	Metodologia que integra ferramentas digitais e técnicas construtivas no processo de design.
<b>Leach</b>	Integração da tectônica tradicional com técnicas computacionais de análise, geração e otimização conformando “ferramentas tectônica digitais” para compreensão do comportamento dos materiais e otimização da forma.
<b>Oxman</b>	Design orientado por pesquisa que explora modelos da morfogênese digital na constituição de topologias tectônicas paramétricas.
<b>Schumacher</b>	Seleção e utilização de formas e detalhes tecnicamente engendrados em articulação com o sistema de comunicação social, proporcionando morfologias tectônicas tecnicamente e socialmente eficientes.

Fonte: dos autores



Dessa forma, percebe-se que o núcleo das propostas desses autores é a integração das tecnologias digitais em um processo de design tectônico, mas divergindo na sua finalidade e forma de aplicação. Beesley diferencia-se dos demais em uma abordagem “pré-digital”, da construção da forma ao invés de processo de formação da morfogênese digital. Leach, Oxman e Schumacher valem-se desse conceito em sua proposta, divergindo, até certo ponto, na sua aplicação. Enquanto Leach vê na tectônica digital a possibilidade de produzir artefatos arquitetônicos baseados na performance estrutural e ambiental, Oxman percebe um novo meio de produção que permite o estudo de seu potencial através da utilização de novos métodos e materiais baseados em processos de estruturação e materialização com a utilização de tecnologias digitais. Por fim, para Schumacher, a tectônica digital é um meio, não só para garantir maior rigor na produção de artefatos do ponto de vista de desempenho estrutural e ambiental, mas, também, de uma perspectiva semiótica, da sua comunicação simbólica, como forma de expressão do estado de uma sociedade, que inclui sua dimensão social, e não apenas uma resposta técnica ao seu contexto.

#### **4 Considerações finais**

Após a apresentação dos teóricos, suas definições e conceitos-chave, bem como as considerações sobre as tectônicas tradicional e digital, pode-se aferir que a diferenciação entre ambas se resume à aplicação das tecnologias digitais, tanto nas ferramentas quanto nos métodos do design digital através de algoritmos e das ferramentas e técnicas de produção da fabricação digital.

O que torna ambas teorias assemelhadas é a preservação do cerne da tectônica tradicional na integração entre a estrutura, o material e a construção (Figura 13). Isto ocorre com base no processo de formação da arquitetura vernacular, fruto do artesanato e das tradições construtivas que, gradualmente, transformaram os materiais disponíveis em sistemas construtivos (OXMAN, 2009). Pode-se dizer, a partir do exposto, que esse processo é semelhante à morfogênese, mas em uma perspectiva antropológica: da ação criativa humana, através das gerações, como uma espécie de “evolução natural” das edificações, assim como ocorre nos seres vivos.

A teoria da tectônica digital, nesse sentido, passa a ser mais um estágio ontológico desse processo formativo das edificações, que deu origem a arquitetura vernacular, mas perpetuada através da morfogênese digital. Assim, a tectônica tradicional mantém seu núcleo teórico, embora passe a ser reavaliada a partir de uma perspectiva mais complexa, tratando os processos de geração da forma considerando



a relação entre materiais, estrutura e construção, mas incluindo as capacidades de análise, geração e otimização das ferramentas digitais (Figura 14).



**Figura 13** – Diagrama esquemático para compreensão da formulação conceitual da tectônica tradicional. Fonte: Dos autores.

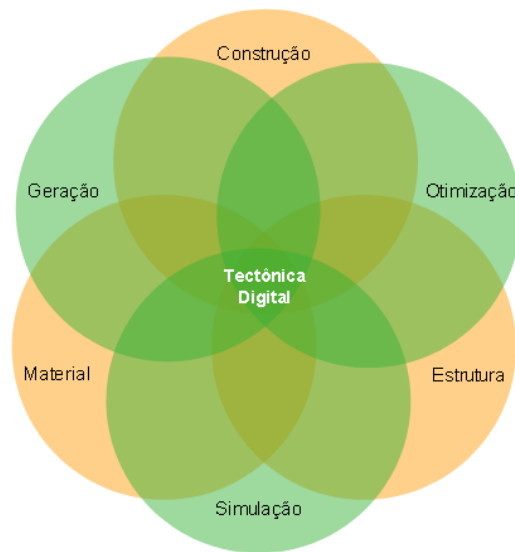


**Figura 14** – Diagrama esquemático para compreensão da formulação conceitual da morfogênese digital. Fonte: Dos autores.

Por fim, é possível afirmar que a transição da exploração tectônica em meios analógicos para os digitais, possibilitada pelo “*form-finding*” digital, passa a ser o ponto de inflexão entre as tectônicas tradicional e digital (Figura 15).

Os processos de formação em meio digital, a partir do design digital, e a possibilidade de reproduzir a complexidade de seus resultados em termos de fabricação e montagem, a partir da fabricação digital, estabelecem um novo “saber fazer” da era digital que motiva uma nova “poética”, como apontado por Frampton a respeito da Arquitetura Moderna. Logo, o debate a respeito da tectônica digital parece algo natural e inevitável. O presente artigo buscou delimitar cada uma dessas

correntes, a partir do método proposto, com a intenção de tornar clara as suas delimitações na esperança de tornar acessível sua compreensão para todas as áreas do conhecimento.



**Figura 15** – Diagrama esquemático para compreensão da formulação conceitual da tectônica digital. Fonte: Dos autores.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001.

## Referências

AMARAL, Izabel. Quase tudo que você queria saber sobre tectônica, mas tinha vergonha de perguntar. **Pós**. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP. V. 16, n. 26, p.148-167, São Paulo, 2009.

BEESLEY, Philip; SEEBOHM, Thomas. Digital Tectonic Design. **Promise and Reality: State of the Art versus State of Practice in Computing for the Design and Planning Process**. Weimar, 2000, p. 287-290.

BEESLEY, Philip. **Sibyl: Projects 2010-2012**. Toronto: Riverside Architectural Press, 2012.

BERGDOLL, Barry. **European Architecture 1750-1890**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

CANTALICE, Aristóteles. **Descomplicando a tectônica: três arquitetos e uma abordagem**. 2015. 304 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Urbano), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

DE MATTIA, Daniella. The birth of the Tectonics: from the history of construction to the structural analysis and architectural design. **Structural Analysis of Historical Constructions**. Wroclaw, 2012, vol. 2, p. 1097-1105.

FRAMPTON, Kenneth. Towards a critical regionalism: six points for an architecture of resistance. In: Foster, H. (ed). **Postmodern culture**. London: Pluto Press, p. 16-30, 1983.

FRAMPTON, Kenneth. Rappel à l'Ordre: The Case for the Tectonic. **Architectural Design Journal**, Londres, v. 60, n. 3-4, p. 19- 25, 1990.

FRAMPTON, Kenneth. **Studies in Tectonic Culture**. MIT Press, Cambridge, 1995.

GAO, Wan-Ping. Tectonics? A case study for digital free-form architecture. **Proceedings of CAADRIA 2004**, Yonsei University Press, Seoul, p.519–534, 2004.

GERMANN, Georg. **La doctrine de la tectonique de Bötticher**, Faces, Genebra, 2000.

HENSEL, Michael; MENGES, Achim; WEINSTOCK, Michael. Emergence: Morphogenetic Design Strategies, **Architectural Design**, London: Wiley Academy, 2004.

HVATTUM, Mari. **Gottfried Semper and the Problem of Historicism**. Cambridge University Press, Cambridge, 2004

GUTSCHOW, Kai. Restructuring Architecture's History: Historicism in Karl Bötticher's Theory of Tectonics. **(Re)Viewing the Tectonic Collegiate Schools of Architecture Regional Conference**, Ann Arbor, 2000.

KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. [S.l.]: Taylor & Francis, 2005.

LEACH, Neil.; TURNBULL, David; WILLIAMS, Chris. **Digital tectonics**. Chichester: Wiley-Academy, 2004.

LEACH, Neil. Digital Morphogenesis. **Architectural Design**. n.79. p.32-37, 2009.

LIU, Yu-Tung; LIM, Chor-Keng. New tectonics: a preliminary framework involving classic and digital thinking. **Design studies**, n.27, p.267–307, 2006.

MADEIRA, Luís Emanuel Lopes da Silva. **Gottfried Semper: proposta para um método (1852-1859)**. 2015. Dissertação (Mestrado Integrado em Arquitectura) - Departamento de Arquitectura, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015.

MITCHELL, William. Constructing complexity. **Proceedings of the Tenth International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures**, Vienna, p. 41-50. 2005.

OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, v.27, 2006.

OXMAN, Rivka. Digital tectonics as a morphogenesis process, a special issue on morphogenesis. **IASS: Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures**, v.51, p.195-207, 2009.

OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. New Structuralism: Design, Engineering and Architectural Technologies. **Architectural Design**. v.80, p.14 - 23, 2010

OXMAN, Rivka. Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. **Design Studies**, v.52, p. 4 -19, 2017.

SCHUMACHER, Patrik. **The Autopoiesis of Architecture**: a new framework for Architecture. Chichester: Wiley, 2011.

SCHUMACHER, Patrik. **The Autopoiesis of Architecture, Volume II**: a new agenda for Architecture. Chichester: Wiley, 2012.

SCHUMACHER, Patrik. Tectonic Articulation: Making Engineering Logics Speak. **Architectural Design**, v.84, 2014.

SCHUMACHER, Patrik. Tectonism in Architecture, Design and Fashion: Innovations in Digital Fabrication as Stylistic Drivers. **Architectural Design**, v.87, p.106-113, 2017.

SCHWARTZ, Chad. **Introducing Architectural Tectonics**. New York: Routledge, 2017.

SCHWARZER, Mitchell. Ontology and Representation in Karl Botticher's Theory of Tectonics. **Journal of the Society of Architectural Historians**, v.52, p. 267-80, 1993.

SEKLER, Edward. Structure, construction, tectonics. **Structure in art and in science**. Nova York, George Braziller, p. 89-95, 1965.