

**ANA CAROLINA SANTOS VICENTE**

**A NOVA TECTÔNICA: PERSPECTIVAS CONCEITUAIS APLICADAS AOS  
PROCESSOS COMPUTACIONAIS DE PROJETO E À FABRICAÇÃO DIGITAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Denise Mônaco dos Santos

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

V632n  
2022  
Vicente, Ana Carolina Santos, 1995-  
A nova tectônica: perspectivas conceituais aplicadas aos  
processos computacionais de projeto e à fabricação digital / Ana  
Carolina Santos Vicente. – Viçosa, MG, 2022.  
1 dissertação eletrônica (104 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexo.

Orientador: Denise Mônaco dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2022.

Referências bibliográficas: f. 94-97.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.057>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Projeto arquitetônico - Processamento de dados.  
2. Arquitetura - Projeto auxiliado por computador. 3. Arquitetura  
e tecnologia. I. Santos, Denise Mônaco dos, 1967-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD 22. ed. 720.28

**ANA CAROLINA SANTOS VICENTE**

**A NOVA TECTÔNICA: PERSPECTIVAS CONCEITUAIS APLICADAS AOS  
PROCESSOS DE PROJETO COMPUTACIONAIS E À FABRICAÇÃO DIGITAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 06 de dezembro de 2022

Assentimento:

Ana Carolina Santos Vicente  
Ana Carolina Santos Vicente  
Autora

Denise Mônico dos Santos  
Denise Mônico dos Santos  
Orientadora

*A todos que acreditam no potencial da  
ciência e da educação libertadora.*

## **AGRADECIMENTOS**

Minha trajetória no mestrado foi uma grande montanha-russa com altos e baixos. No início a euforia do aceite e do início de um passo importante para minha formação como pesquisadora. Pouco tempo depois a preocupação, desamparo e solidão decorrentes da pandemia da covid-19 no contexto brasileiro. Todo esse período foi marcado por muitos desafios e inseguranças, mas também muito aprendizado e felicidade compartilhados. Por isso agradeço:

Aos meus pais, Sueli e Francisco, que me ensinaram o valor da educação desde cedo, e me incentivaram em todo o caminho até aqui, celebrando cada pequena vitória.

À minha orientadora, Denise, que me recebeu e me guiou nesse percurso, e me ensinando tanto sobre a arquitetura e sobre a docência.

Ao Túlio, que sempre me motivou e acreditou no meu potencial, especialmente quando eu mesma não acreditava.

Aos meus amigos e maiores presentes da graduação André, Blanca, Giovanna e Rodrigo com quem compartilhei choro e riso até aqui.

Aos amigos e parceiros de vida acadêmica que me auxiliaram e ajudaram a passar pelas dificuldades com mais leveza e alegria Alexander, Angélica, Caio, Débora, Luana, Mariana, Matheus, Megg, Rafael, Renato, Thiago, Vinícius e Tiffany.

Ao Nó, e todos os membros e amigos do grupo, que foram fundamentais para a pesquisa, especialmente Wallace e Wesley.

À Universidade Federal de Viçosa, ao PPG.AU, aos professores e funcionários, que mesmo com as dificuldades buscam sempre oferecer aos alunos a melhor formação. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Por fim, agradeço e reconheço a mim mesma, que mesmo quando parecia impossível perseverei e consegui, com muita ajuda, vencer esse que foi o maior desafio pessoal até aqui.

Que venham os próximos!

*“Somos o resultado de tanta gente, de tanta história, tão grandes sonhos que vão passando de pessoa a pessoa, que nunca estremos sós.”*

(Valter Hugo Mãe)

## RESUMO

VICENTE, Ana Carolina Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2022. **A nova tectônica: perspectivas conceituais aplicadas aos processos computacionais de projeto e à fabricação digital**. Orientadora: Denise Mônaco dos Santos.

A tectônica pode ser entendida como o que permite auxiliar a compreensão de relações intrínsecas à arquitetura como entre arte e construção, poética e função, ornamento e estrutura. Essa compreensão é fundamental para que arquitetos possam criar conexões entre esses diferentes aspectos na concepção e realização de projetos arquitetônicos. A partir das particularidades advindas dos diversos processos computacionais de projeto e de fabricação digital, nas últimas duas décadas o termo tectônica digital tem sido utilizado para descrever a possibilidade de incorporar e informar dados acerca da materialidade, assim como dos sistemas estrutural e construtivo, desde os estágios iniciais de projeto condicionando as decisões projetuais. Portanto, este estudo aborda a noção de tectônica na teoria da arquitetura, desde o século XIX até a contemporaneidade, a partir do exame dos fundamentos da noção de tectônica sob a ótica dos processos computacionais de projeto e das tecnologias de fabricação digital, buscando por sua coerência com as abordagens teóricas mais tradicionais acerca do tema. Fundamentada por uma Revisão Bibliográfica sobre as diferentes abordagens teóricas acerca da noção de tectônica e tectônica digital, a análise do experimento prático se propôs a identificar os elementos fundamentais da tectônica. Observou-se que elementos como detalhe, junção, material, estrutura e construção podem ser adaptados nos diversos processos computacionais de projeto como informação, ou seja, dados de entrada para manipulações algoritmo-paramétricas em associação à fabricação digital. Acredita-se, portanto, que a noção de tectônica é inerente ao fazer arquitetônico em si, e que seus fundamentos e elementos constituintes se mantêm coerentes independentemente da linguagem arquitetônica, dos processos de projeto e das tecnologias utilizadas. O arquiteto, enquanto “mestre-construtor”, consegue determinar a partir de quais relações vai resultar a tectônica em determinado edifício, através da manipulação dos elementos que compõem tectônica. Concluiu-se que a maior diferença entre as noções de tectônica tradicional e digital está no foco que é dado pelos autores que discutem o tema e pelas questões tangenciadas por essa tectônica ao longo do tempo.

Na tectônica tradicional o foco está na relação entre os elementos que é demonstrada no objeto arquitetônico em si, enquanto na tectônica digital o foco está na relação entre os elementos que é elaborada a partir das lógicas dos processos computacionais de projeto.

Palavras-chave: Tectônica. Tectônica digital. Processos computacionais de projeto. Fabricação digital. Teoria da arquitetura contemporânea.

## ABSTRACT

VICENTE, Ana Carolina Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2022. **The new tectonics: conceptual perspectives applied to computational design processes and digital fabrication**. Adviser: Denise Mônaco dos Santos.

Tectonics can be understood as what allows for the understanding of intrinsic relationships in architecture, such as those between art and construction, poetics and function, and ornament and structure. This understanding is crucial for architects to create connections between these different aspects in the conception and realization of architectural projects. In the last two decades, with the emergence of various computational design and digital fabrication processes, the term "digital tectonics" has been used to describe the possibility of incorporating and informing data about materiality, as well as structural and constructive systems, from the early stages of design, conditioning design decisions. Therefore, this study addresses the notion of tectonics in architectural theory from the 19th century to the present day, examining the foundations of the notion of tectonics from the perspective of computational design processes and digital fabrication technologies, seeking coherence with more traditional theoretical approaches to the topic. Based on a literature review of different theoretical approaches to the notion of tectonics and digital tectonics, the analysis of the practical experiment aimed to identify the fundamental elements of tectonics. It was observed that elements such as detail, joint, material, structure, and construction can be adapted in various computational design processes as information, that is, input data for algorithmic-parametric manipulations in association with digital fabrication. It is believed, therefore, that the notion of tectonics is inherent in architectural practice itself, and that its fundamental elements remain coherent regardless of architectural language, design processes, and technologies used. The architect, as a "master-builder," can determine which relationships will result in the tectonics of a particular building, through the manipulation of the elements that make up tectonics. It was concluded that the main difference between traditional and digital tectonics lies in the focus given by authors discussing the topic and the issues addressed by tectonics over time. In traditional tectonics, the focus is on the relationship between elements that is demonstrated in the architectural object itself, while in digital tectonics, the focus is on the relationship between elements that is developed from the logic of computational design processes.

Keywords: Tectonics. Digital tectonics. Computational design processes. Digital fabrication. Contemporary Architectural theory.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Schinkel.....	23
Figura 2 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Bötticher.....	28
Figura 3 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Semper.....	33
Figura 4 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Sekler.....	36
Figura 5 – Linha do tempo das referências teóricas da tectônica segundo Frampton (1995).....	39
Figura 6 - Linha do tempo dos arquitetos que trabalharam bem a tectônica segundo Frampton (1995).....	40
Figura 7 – Elementos da tectônica trabalhados pelos arquitetos segundo Frampton. ....	41
Figura 8 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Frampton.....	42
Figura 9 – Elementos da tectônica.....	44
Figura 10 – Esquema gráfico das técnicas de fabricação digital.....	53
Figura 11 - Elementos da nova tectônica.....	64
Figura 12 – Síntese dos elementos da nova tectônica.....	65
Figura 13 – Grandes áreas do fazer arquitetônico centrado na tectônica e seus elementos.....	68
Figura 14 – Torre selecionadas para prototipagem e análise segundo os elementos da tectônica.....	71
Figura 15 – Torre 1: Manipulação do código.....	72
Figura 16 – Torre 1: Manipulação formal.....	72
Figura 17 - Torre 1: Partes do código referente à estrutura e modelo preliminar.....	73
Figura 18 – Torre 1: Manipulação estrutural e ajustes para fabricação.....	74
Figura 19 – Torre 1: Fatiamento.....	74
Figura 20 – Torre 1: Prototipagem digital através de impressão 3D.....	75
Figura 21 – Torre 1: Retirada manual de suportes.....	75
Figura 22 – Torre 1: Montagem e resultado preliminar.....	76
Figura 23 – Torre 1: Comparação entre modelo digital e modelo físico final.....	76
Figura 24 – Torre 2: Manipulação do código.....	77
Figura 25 – Torre 2: Manipulação formal e estrutural.....	77
Figura 26 – Torre 2: Corte das envoltórias.....	78
Figura 27 – Torre 2: Adaptação do modelo para inserir estrutura alternativa.....	78

Figura 28 – Torre 2: Lajes numeradas e perfuradas para a passagem da estrutura.	79
Figura 29 – Torre 2: Adaptações das peças e montagem.....	79
Figura 30 – Torre 2: Junções adaptadas durante a montagem.....	80
Figura 31 – Torre 2: Falhas após a montagem. ....	80
Figura 32 – Torre 2: Comparação entre modelo digital e modelo físico final. ....	81
Figura 33 – Torre 3: Manipulação formal da torre a partir do componente discreto. .	82
Figura 34 – Torre 3: Manipulação dos dados de projeto. ....	82
Figura 35 – Torre 3: Fabricação e testes do componente discreto. ....	83
Figura 36 – Torre 3: Prototipagem dos componentes discretos, peças da envoltória e da base. ....	83
Figura 37 - Torre 3: Montagem e teste de encaixes dos módulos na base, e entre eles. ....	84
Figura 38 – Torre 3: Junção entre componentes discretos, módulos, envoltória e base de suporte. ....	84
Figura 39 – Torre 3: Comparação entre modelo digital e modelo físico final. ....	85
Figura 40 – Torre 4: Manipulação formal. ....	86
Figura 41 – Torre 4: Manipulação dos dados do projeto. ....	86
Figura 42 – Torre 4: Peças, verticais e horizontais, planificadas e cortadas.....	87
Figura 43 – Torre 4: Junções das peças previamente numeradas.....	87
Figura 44 – Torre 4: Dificuldades e falhas na montagem.....	88
Figura 45 – Torre 4: Comparação entre modelo digital e modelo físico final. ....	88

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAD	Computer-Aided Design.
CAM	Computer-Aided Manufacture.
PP	Projeto Paramétrico.
PA	Projeto Algorítmico.
PG	Projeto Generativo.
CNC	Controle Numérico Computadorizado.
PLA	Polylactic Acid .

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1. Objetivos .....	16
1.2. Metodologia .....	17
1.3. Estrutura da Dissertação .....	19
<b>2. A TECTÔNICA NA TEORIA DA ARQUITETURA .....</b>	<b>20</b>
2.1. Perspectiva histórica da teoria da tectônica até o século XIX .....	20
2.1.1. A beleza e a intencionalidade como fundamentos para a tectônica.....	21
2.1.2. A contribuição da estética filosófica na definição da tectônica para além de estilos.....	24
2.1.3. A origem simbólica da arte na constituição da tectônica.....	28
2.2. Abordagem conceitual da teoria da tectônica no século XX.....	34
2.2.1. A distinção entre estrutura, construção e tectônica.....	34
2.2.2. A tectônica como poética da construção.....	36
2.3. Síntese: A noção de tectônica e seus elementos fundamentais .....	42
<b>3. A TECTÔNICA NA PRÁTICA COMPUTACIONAL .....</b>	<b>46</b>
3.1. As recentes transformações nos processos de projeto e de construção da arquitetura.....	46
3.1.1. Os processos computacionais de projeto .....	49
3.1.2. A fabricação digital .....	52
3.2. A Nova Tectônica .....	57
3.2.1. Tectônica digital: nova metodologia, mesmo raciocínio construtivo.....	57
3.2.2. Tectônica digital: um novo paradigma de projeto. ....	58
3.3. Os elementos que constituem a nova tectônica .....	62
3.4. Síntese.....	65
<b>4. POSSÍVEIS PARALELOS NA NOVA TECTÔNICA: EXERCÍCIO DE ANÁLISE EM OBJETOS ARQUITETÔNICOS .....</b>	<b>67</b>
4.1. Sistematização dos Elementos de Análise.....	67
4.2. Descrição do Estudo Prático .....	69
4.3. Aplicação da sistematização .....	70
Torre 1: <i>Beyond Turn</i> .....	72
Torre 2: Casulo .....	77
Torre 3: Conecta .....	81
Torre 4: Wrinkled .....	85
4.4. Discussão dos resultados.....	89
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>91</b>

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>94</b>
<b>GLOSSÁRIO:.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO:.....</b>	<b>99</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A noção de tectônica, comumente definida como “arte da construção”, atravessou a teoria da arquitetura em vários momentos. Mas, foi durante o século XIX, a partir das obras de Schinkel, Bötticher e Semper, que a discussão ganhou caráter teórico ao integrar à tradição construtiva novas tecnologias e debates artísticos e filosóficos acerca da expressividade simbólica arquitetônica (ANDRADE, 2016; SCHWARZER, 2017). Entretanto, a interpretação da tectônica mais consolidada na teoria da arquitetura contemporânea foi proposta, no final do século XX, pelo teórico Kenneth Frampton, em uma tentativa de contraposição a certas correntes da arquitetura dita pós-moderna que privilegiavam, quase exclusivamente, certo caráter semiológico em detrimento da abordagem ontológica da arquitetura (ANDRADE, 2016; FRAMPTON, 2006). Para Frampton, a tectônica, que constitui a “poética da construção”, deve ir além dos aspectos técnicos, intensificando a expressividade das dinâmicas estrutural e construtiva da arquitetura ao relacionar simbolicamente o objeto percebido ao sujeito que percebe (YAN; YUAN, 2021).

O conceito de tectônica assume, assim, o papel de auxiliar a compreensão de relações intrínsecas à arquitetura como entre a arte e a construção, entre o ornamento e a estrutura, entre a poética e a função, e é um domínio que permite criar conexões entre esses diferentes aspectos na concepção e realização arquitetônica (SCHMIDT; KIRKEGAARD, 2005; SCHWARTZ, 2017a). Contudo, desde a inserção das tecnologias computacionais nos processos de projeto, nas duas últimas décadas, tais relações começaram a ser repensadas, principalmente frente à associação entre as lógicas de projeto computacional e de fabricação digital, especialmente no que se refere às novas possibilidades de dar materialidade aos objetos arquitetônicos e à atualização dos processos de produção (SÁNCHEZ VELASCO; CASTRO SALGADO, 2020). Os processos computacionais possibilitam que as propriedades dos materiais, relacionadas à aparência e textura ou ligadas ao desempenho mecânico e físico-químico, possam ser incorporadas desde a concepção do projeto, permitindo que a materialidade, assim como os sistemas estrutural e construtivo, sejam declaradamente informados nos estágios iniciais de projeto condicionando futuras decisões projetuais (ANDERSSON; KIRKEGAARD, 2006; OXMAN, 2017; PICON, 2013; SANTOS; PAOLETTI, 2020).

Os processos computacionais de projeto instauram um novo paradigma em processos de projeto, no qual as ferramentas computacionais não são mais usadas apenas como “pranchetas eletrônicas”, e situam-se para além da simples edição de geometrias, auxiliando a busca por soluções inexploradas através de processos computacionais de projeto algorítmicos e paramétricos, ambos baseados na introdução de dados de entrada variáveis e na manipulação de atributos mensuráveis de diferentes naturezas (LEACH, 2014). Assim, abordagens muito distintas de projetos, feitos com o auxílio do computador, parecem determinar horizontes de exame e exploração, dado que se estabelecem não mais sob a perspectiva da automatização de representação gráfica, e sim ante a computação voltada à construção de relações e às análises, simulações, otimizações e novos métodos de fabricação (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2019).

Essas abordagens distintas resultam na determinação da chamada tectônica digital, termo usado para descrever a possibilidade de se incorporar dados acerca da materialidade em diversos processos computacionais, desde a geração formal até a fabricação digital (BALIŃSKI; JANUSZKIEWICZ, 2016; SANTOS; PAOLETTI, 2020). No entanto, por mais que as diferentes perspectivas acerca da tectônica digital apresentem similaridades conceituais entre si, parece não haver um consenso sobre sua definição e nem sobre seus elementos fundamentais (OXMAN, 2012). Além disso, enquanto a tectônica digital pode ser mais orientada para o controle e manipulação dos aspectos técnicos e formais da arquitetura, a tectônica “tradicional” como compreendida por Bötticher, Semper e Frampton, enfatiza a relação entre construção, material e expressão cultural, através da ‘poética’ da clareza estrutural (AL-ALWAN; MAHMOOD, 2020; JABI, 2004).

Nesse sentido, considerando as muitas questões que as novas possibilidades dos projetos de processo estabelecem para a arquitetura na contemporaneidade, questiona-se: em que medida é coerente a relação entre o conceito de tectônica estabelecido no âmbito da teoria da arquitetura e aquele associado aos processos computacionais de projeto e de fabricação digital? Se há coerência, as transformações advindas dos novos processos constituem uma nova tectônica?

## **1.1. Objetivos**

### **Objetivo Geral:**

Examinar os fundamentos da noção de tectônica na teoria da arquitetura contemporânea sob a ótica dos processos computacionais de projeto e das tecnologias de fabricação digital, com o objetivo de destacar suas possíveis singularidades.

### **Objetivos Específicos:**

I. Examinar a noção de tectônica na teoria da arquitetura, principalmente aquela formulada a partir da segunda metade do século XX, identificando seu arcabouço conceitual, principais autores e obras;

II. Examinar a noção de tectônica usada por diferentes autores em textos e obras que discutem design computacional, identificando seus pressupostos fundamentais em relação à natureza ímpar dos processos computacionais de projeto e de fabricação digital;

III. Investigar as operacionalizações integradas de forma, estrutura e material em experimentos de processos computacionais de projeto e de prototipagem, buscando identificar possíveis níveis de manipulação de elementos que compõem a tectônica digital para além da teoria.

## **1.2. Metodologia**

Este trabalho faz parte de uma pesquisa teórica de natureza básica por se propor a gerar conhecimentos úteis para a ciência, mas que não necessariamente tenham fins práticos, e apresenta abordagem qualitativa por se tratar de indicativos não numéricos. A pesquisa, que apresenta caráter de estudo exploratório, foi desenvolvida inicialmente através dos seguintes procedimentos: (i) Revisão Bibliográfica que fundamentou uma proposição e sistematização teórica, subsequentemente testada em um (ii) Exercício Prático (PROVDANOV; FREITAS, 2013).

### **(I) Revisão bibliográfica:**

Esse procedimento metodológico objetivou a construção de embasamento teórico e crítico acerca dos conceitos e noções da tectônica na arquitetura contemporânea, e dos processos computacionais de projeto e de tecnologias de fabricação digitais. Para a coleta de dados foram consultados livros, capítulos de livros e artigos científicos que trouxeram diferentes abordagens sobre os temas para se

construir panoramas do desenvolvimento da teoria. Com relação à noção de tectônica na teoria arquitetônica, a obra de Kenneth Frampton, foi utilizada como base principal a partir da qual os outros autores foram consultados. Em referência à chamada ‘tectônica digital’, a busca pelos materiais de revisão considerou trabalhos publicados nos repositórios de artigos acadêmicos CUMINCAD, *Web of Science* e Google Acadêmico, e também em revistas e periódicos de impacto internacional como *Architectural Design*, *Design Studies*, *Procedia Engineering* e *Architectural Science Review*, além de dissertações e teses disponíveis nos portais das universidades e da CAPES. Como critérios de busca foram utilizados os termos “tectônica digital” e “tectônica + digital”, em português e inglês, e por mais que a preferência tenha sido dada para artigos publicados no intervalo dos últimos 5 anos, alguns estudos mais antigos também foram incluídos nessa revisão.

## **(II) Exercício Prático:**

Com a principal intenção de atender ao objetivo específico III, o exercício prático foi conduzido em duas etapas. Na primeira foi feita a observação, e participação, do desenvolvimento de projetos de torres paramétricas na disciplina ARQ 359 (Projeto Paramétrico e Fabricação Digital), oferecida pelo Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa. Na segunda foi observada a fase de prototipagem digital das torres paramétricas, em um workshop organizado em parceria com o laboratório Nó.Lab, do mesmo departamento.

Durante o desenvolvimento do exercício prático dados foram coletados, organizados e analisados, através da observação e participação nas atividades da disciplina e do workshop, como das discussões de apresentação dos resultados dos projetos na primeira etapa, e das discussões do workshop na segunda. Também foi feito o levantamento, a organização e a análise das pranchas, modelos 3D, e arquivos dos códigos de todos os projetos, assim como imagens da fase de prototipagem. Tais análises foram a base para testar as proposições e sistematizações teóricas elaboradas a partir da revisão de literatura.

Ambas as etapas serão apresentadas e discutidas no Capítulo 3, mas destaca-se aqui, que como o estudo envolveu a participação de seres humanos, as atividades da pesquisa tiveram que ser submetidas para aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Viçosa (CEP-UFV). O

projeto foi aprovado e foi registrado sob o número 57226422.1.0000.5153. O parecer de aprovação encontra-se no Anexo 1.

### 1.3. Estrutura da Dissertação

Essa dissertação é composta por três capítulos principais, além da presente Introdução e das Considerações Finais.

O Capítulo: **A Tectônica na teoria da arquitetura** examina a noção de tectônica desde o surgimento do termo, e discute as abordagens dos teóricos mais importantes sobre o tema. Além disso, são destacados os elementos que compõem a abordagem acerca da tectônica para cada um dos autores, e é construída uma sistematização base, através de sínteses diagramáticas, para o Exercício Prático.

O Capítulo: **A Tectônica na prática computacional**, traz uma breve contextualização acerca dos diferentes processos computacionais de projeto e os métodos de fabricação digital. Também examina a noção de tectônica conforme a interpretação de diferentes autores em publicações que discutem projeto computacional. Além disso, apresenta e discute as sistematizações propostas, também em artigos publicados nos últimos 20 anos, de elementos da chamada tectônica digital.

O Capítulo: **Possíveis paralelos na nova tectônica**, sugere, a partir das sínteses anteriores, uma sistematização dos elementos da tectônica que integram a abordagem contemporânea da teoria aos seus fundamentos mais importantes. Então, a análise dessa sistematização é feita através de um exercício prático que busca identificar os possíveis níveis de manipulação dos elementos da chamada nova tectônica.

Por fim, na seção das **Considerações Finais**, são apresentadas as conclusões da pesquisa, assim como são apontadas algumas limitações. Além disso, são feitas sugestões para pesquisas futuras que desejem expandir os estudos acerca da noção da tectônica na arquitetura contemporânea.

## 2. A TECTÔNICA NA TEORIA DA ARQUITETURA

O entendimento da noção de tectônica na arquitetura pode ser comprometido pela variedade de abordagens teóricas e, portanto, pela dificuldade de uma definição única. Para identificar esse arcabouço conceitual, apresenta-se um panorama sobre a noção de tectônica na teoria da arquitetura ao longo do tempo, segundo seus principais teóricos, com aprofundamento na discussão feita por Kenneth Frampton. São propostas, então, sistematizações da tectônica nos elementos arquitetônicos que a compõem de acordo com cada teórico estudado, destacando as similaridades encontradas entre elas.

Destaca-se que o objetivo não é estabelecer um ponto final sobre o tema, mas, através do estudo das diferentes abordagens e definições, ajudar a delinear a compreensão do que é a tectônica na teoria da arquitetura.

### 2.1. Perspectiva histórica da teoria da tectônica até o século XIX

A tectônica deriva etimologicamente de *tékton*, palavra grega que significa carpinteiro ou construtor. Ao longo do tempo, o entendimento do *tékton* sofreu transformações, tendo adotado um significado mais amplo aludindo à arte da construção nas obras de Homero (900 a.C.), e posteriormente assumido, pela primeira vez, uma conotação poética nas obras de Safo (600 a.C.) (FRAMPTON, 1990, 1995). O termo *tékton* também apresenta um aspecto estético, que permite extrapolar a utilidade, ao ser vinculado à noção da *tékhne* que implica a simultaneidade entre arte e ofício, e um saber fazer adquirido através da experiência (BORBEIN, 1982 apud FRAMPTON, 1995; KIM, 2006). Mas, foi na Alemanha do século XIX que o estudo sobre a noção de tectônica ganhou profundidade e assumiu um caráter importante na teoria da arquitetura (FRAMPTON, 1990, 1995).

O aprofundamento teórico sobre a tectônica foi uma resposta à afirmação, sugerida por filósofos da época como Immanuel Kant (1724-1804), de que a arquitetura, por ser guiada pela utilidade e técnica, era uma arte inferior à pintura, à escultura e à música (FRAMPTON, 1995; SCHWARTZ, 2017b). Além disso, uma renovação teórica da arquitetura, e conseqüentemente da tectônica, foi motivada pelo desenvolvimento e utilização de novas técnicas construtivas e novos materiais como o vidro, o ferro e o concreto (BERGDOLL, 2000). Segundo Kenneth Frampton (1995) e Mitchell Schwarzer (2017), entre outros autores, os principais responsáveis pelo

estabelecimento da noção da tectônica na teoria da arquitetura foram os alemães Friedrich Schinkel, Karl Bötticher e Gottfried Semper, por isso, é a partir deles que esse estudo se inicia.

### **2.1.1. A beleza e a intencionalidade como fundamentos para a tectônica**

Karl Friedrich Schinkel (1781-1841), arquiteto alemão, iniciou a escrita de sua obra inacabada *Architektonisches Lehrbuch*<sup>1</sup> nos anos 1820. Na obra, Schinkel investiga as maneiras pelas quais é possível atribuir e transmitir significado a técnicas construtivas através de variados exemplos de articulações estruturais e artísticas (FRAMPTON, 1995; SCHWARZER, 2017). Para o autor essa comunicação acontece através do ornamento que não necessariamente deve se relacionar com os aspectos técnicos da arquitetura, como defendia o arquiteto Heinrich Hübsch (1795-1863), mas cujo papel é transmitir os significados históricos e as dinâmicas estruturais e materiais, fazendo com que o observador possa perceber a essência da construção (SCHWARZER, 2017).

A obra, que se tornou uma espécie de catálogo, continha desenhos que exemplificavam as técnicas construtivas e seus significados e, por isso, focava mais nos materiais e sistemas construtivos do que nos revestimentos artísticos dos edifícios arquitetônicos (FRAMPTON, 1995). Schinkel propõe uma divisão da arquitetura entre os aspectos artísticos, relacionados à linguagem e comunicação de significado, e os aspectos construtivos, vinculados à utilidade e técnica. A partir dessa divisão o autor elabora o conceito de *Grundformen*<sup>2</sup>, como a relação entre ambos os aspectos, em que o ornamento artístico comunica as realidades construtivas e estruturais. Assim, o ornamento adquire uma condição que vai além do caráter decorativo e passa a expressar os fenômenos construtivos da arquitetura (SCHWARZER, 2017).

Essa elaboração pode ser observada nos projetos de Schinkel, nos quais, segundo Frampton (1995), a articulação da essência construtiva em relação à aparência artística era mais importante do que a escolha de seguir qualquer estilo específico. Por mais que o conhecimento dos diversos estilos arquitetônicos seja importante, Schinkel acredita que os arquitetos devem se debruçar sobre os costumes e condições características de seu próprio país e dos locais de implantação de seus

---

<sup>1</sup> Em português seria: Manual da Arquitetura.

<sup>2</sup> A tradução literal seria “formas básicas”, mas entende-se que o autor está tratando dos diferentes aspectos que compõem a arquitetura.

projetos (ZURKO, 1957). Então, além da divisão conceitual entre os aspectos artísticos e construtivos, seu pensamento também é marcado pelo dualismo entre o *typos*<sup>3</sup> e o *topos*<sup>4</sup> já que para ele o lugar é um repositório de identidade cultural, e a tarefa do arquiteto é adaptar a tipologia ao local específico através do respeito pelo caráter do lugar (FRAMPTON, 1995).

Outra das ideias defendidas por Schinkel, especialmente em seus projetos, é a de que nem todos os edifícios têm a mesma importância e posição hierárquica no contexto das funções da arquitetura na sociedade. Por isso, a escolha, ou não, da utilização de ornamentos, seus materiais e sua localização, deve expressar a relevância do edifício (FRAMPTON, 1995). Apesar das influências francesas, Frampton (1995) afirma que essa noção de ordem a partir da hierarquia era demarcada na língua alemã que diferenciava os termos *Architektur* (a arquitetura em seu nível mais elevado), *Baukunst* (o edifício como elemento construído), e *Bauen* (verbo referente ao ato de construir). Entende-se que, para Schinkel, a condição de arquitetura é alcançada quando, através da intencionalidade do arquiteto, consegue-se relacionar os aspectos artísticos aos construtivos (FRAMPTON, 1995; ZURKO, 1957).

A intencionalidade na arquitetura, para o autor e arquiteto, pode ser considerada a partir de elementos que determinam a forma, as proporções e o caráter de cada edifício: (i) distribuição espacial, em que se considera a divisão e otimização do espaço de acordo com os usos; (ii) construção, que trata da melhor combinação entre os materiais e técnicas construtivas para atender ao propósito da edificação, e (iii) ornamento, que refere-se à manipulação dos objetos artísticos, como a escolha de seus tipos, materiais e localização no edifício (FRAMPTON, 1995; ZURKO, 1957).

A noção de intencionalidade de Schinkel é de certa forma derivada da proposição filosófica de Immanuel Kant, que em “Crítica da Faculdade de Julgar”<sup>5</sup>, de 1790, propôs um princípio capaz de reger o julgamento estético, ao mesmo tempo universal e subjetivo. Esse princípio era *Zweckmässigkeit*, ou intencionalidade, que para Kant era o viés pelo qual interpreta-se o mundo e o ato estético, e o meio pelo qual relaciona-se à arte. Mas, além de argumentar em favor da melhor escolha dos materiais e ornamentos na construção, Schinkel defende também a qualidade da

---

<sup>3</sup> Em português: tipo.

<sup>4</sup> Em português: lugar.

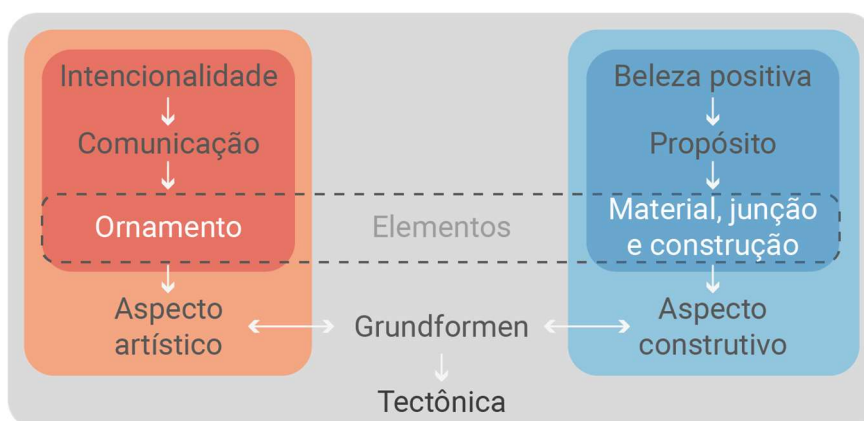
<sup>5</sup> Do original: *Kritik der Urteilskraft*.

junção entre todos os objetos construtivos e artísticos. Essa preocupação é derivada da teoria da beleza positiva de Claude Perrault (1613-1688) que considerava a simetria, a qualidade material e a execução construtiva precisa como constituintes de uma beleza universal (FRAMPTON, 1995).

Intencionalidade e beleza são dois conceitos associados nos escritos de Schinkel, e suas teorias estão relacionadas à identificação do ideal e do real do filósofo Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling (1775-1854), que definiu a beleza como a transposição da ideia na experiência (ZURKO, 1957; FRAMPTON, 1995). Para Schinkel o ideal na arquitetura só pode ser alcançado quando um edifício, como um todo, expressa satisfatoriamente e da maneira mais adequada seu propósito e seus meios de construção. Dessa maneira, o ideal é modificado conforme as demandas, estéticas, utilitárias e artísticas, de cada época (ZURKO, 1957; SCHWARZER, 2017).

Entende-se, então, que as discussões filosóficas acerca da intencionalidade e beleza fundamentaram a proposta de Schinkel de dividir a arquitetura entre seus aspectos artístico e construtivo. O aspecto artístico, vinculado à noção de intencionalidade, comunica através do ornamento o significado e a hierarquia do edifício. O aspecto construtivo, vinculado à ideia da beleza positiva, cumpre o propósito utilitário da arquitetura através da escolha dos materiais, das técnicas e das junções entre os diferentes objetos construtivos. Por mais que Schinkel não tenha proposto uma definição oficial, entende-se que a teoria da *Grundformen*, ou seja, o sistema que relaciona os aspectos artístico e construtivo da arquitetura, constitui a primeira formulação do entendimento da noção de tectônica na teoria da arquitetura (Figura 1).

Figura 1 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Schinkel.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A partir desse entendimento, a tectônica, para Schinkel, enquanto sistema que relaciona intencionalidade e beleza, comunicação e propósito, é composta pelos elementos: ornamento, vinculado ao aspecto artístico, e material, junção, e construção, vinculados ao aspecto construtivo.

### **2.1.2. A contribuição da estética filosófica na definição da tectônica para além de estilos**

O arquiteto, arqueólogo e professor alemão Karl Bötticher (1806-1889), desenvolveu a noção de *Grundformen* de Schinkel, seu colega e mestre, em uma teoria mais aprimorada da tectônica na obra *Die Tektonik der Hellenen*<sup>6</sup>, publicada em três volumes entre 1844 e 1852 (SCHWARZER, 1993, 2017). Seu estudo da noção de tectônica foi consequência, além da proximidade com Schinkel, dos discursos interrelacionados entre as áreas da arquitetura e da filosofia, muito comuns no meio acadêmico de Berlim no século XIX (SCHWARZER, 1993).

Além da influência direta da discussão de Schinkel acerca da importância do ornamento como elemento simbólico capaz de elevar a arquitetura ao patamar artístico, Bötticher também se aproximou de Aloys Hirt (1759-1837), professor de história da arte e arquitetura clássica na Universidade de Berlim. Essa proximidade pode ser vista no interesse de Bötticher pela arquitetura, e tectônica, dos helenos. No tratado *Die Baukunst nach den Grundsätzen der Alten*<sup>7</sup>, de 1809, Hirt defende que a noção da beleza na arquitetura se relaciona com princípios do classicismo, como proporção, simetria, ritmo e ornamento (SCHWARZER, 1993).

O apreço de Hirt pela arquitetura clássica contrasta com a racionalidade construtiva defendida por Heinrich Hübsch, que também foi determinante para o desenvolvimento da teoria da tectônica de Bötticher. No livro *In welchem Style sollen wir bauen*<sup>8</sup>, de 1828, Hübsch defende que o estilo arquitetônico do século XIX deve surgir a partir dos materiais locais, das tecnologias construtivas e das necessidades específicas do abrigo no contexto ambiental e cultural alemão. Além disso, Hübsch argumenta que as demandas utilitárias devem determinar as formas dos edifícios e que o uso dos ornamentos não deve seguir uma imitação da arquitetura clássica, mas partir da criatividade artística do arquiteto (SCHWARZER, 1993).

---

<sup>6</sup> Em português seria: A Tectônica dos Helenos.

<sup>7</sup> Em português seria: A Arquitetura Baseada nos Princípios dos Antigos.

<sup>8</sup> Em português seria: Em que Estilo Devemos Construir.

Por mais que as ideias de Hirt e Hübsch tenham tido grande apelo, Bötticher não concorda completamente com o tradicionalismo e a resistência à inovação do primeiro e nem com o racionalismo e a ousadia artística do segundo. Assim, uma boa solução poderia ser a combinação de diferentes estilos, como proposto pelo teórico de arquitetura Wilhem Stier (1799-1856) durante os anos 1840. Entretanto, Bötticher também discorda do ecletismo de Stier e por isso busca uma racionalização que pudesse resolver a oposição entre o Clássico e o Gótico (SCHWARZER, 1993).

A partir dessas influências, desde Hirt até Stier, Bötticher sugere uma divisão da arquitetura entre representação<sup>9</sup> e ontologia<sup>10</sup> baseada na proposição de Schinkel, mas com um caráter filosófico. Para Bötticher, enquanto o papel representativo do ornamento está vinculado ao estilo Clássico, a condição ontológica dos métodos construtivos e sistemas estruturais está associada ao estilo Gótico. Sua teoria da tectônica busca solucionar essa oposição, de maneira que o ornamento, como um elemento artístico, deve não só se referir ao aspecto ontológico da construção, mas também comunicá-lo, tornando-o perceptível e compreensível ao observador (FRAMPTON, 1995; SCHWARZER, 1993, 2017).

Para entender a relação entre a dicotomia representativa-ontológica e a teoria da tectônica deve-se lembrar que essa discussão na arquitetura coincidiu com a questão do julgamento artístico proveniente da estética filosófica alemã. Na teoria estética a percepção da arte, com caráter mais subjetivo e desprendido de regras clássicas como simetria e proporção, desassociou o simbolismo artístico da essência mecânica e utilitária da arquitetura. Como implicação disso, a maneira pela qual se refletia sobre as qualidades artísticas da arquitetura foi modificada, e a disciplina, por ser baseada em seus propósitos utilitários, passou a não ser considerada como uma das belas-artes (SCHWARZER, 1993).

Discordando dessa abordagem, Bötticher defende que na arquitetura a arte deve se referir aos propósitos utilitários, e propõe que as funções mecânicas e construtivas podem ser representadas através da condição simbólica do ornamento. (SCHWARZER, 1993). Entende-se, então, que o desenvolvimento da teoria da tectônica por Bötticher é fruto de uma tentativa de responder ao reducionismo estético

---

<sup>9</sup> O termo representação é utilizado nas obras originais e nas traduções em inglês, e se refere à capacidade de comunicação e expressão do ornamento. Por isso, quando utilizado no presente trabalho não será relacionado à representação gráfica, mas ao ato de mostrar com clareza.

<sup>10</sup> O termo ontologia, na filosofia, se refere ao raciocínio sobre a natureza e a essência do ser. No caso da interpretação de Bötticher a essência da arquitetura é a estrutura.

da arquitetura e, ao mesmo tempo, de elevá-la à mesma condição artística e cultural em que eram consideradas a pintura, a escultura e a música.

Uma das influências para esse posicionamento de Bötticher foi o filósofo Friedrich von Schelling que, em *Philosophie der Kunst*<sup>11</sup>, argumentou que para a arquitetura ascender à categoria das belas-artes deveria extrapolar a preocupação utilitarista. Isso seria possível ao representar as demandas mecânicas e construtivas através da linguagem artística, de maneira que para von Schelling a arquitetura poderia se transformar na “arte da necessidade” (SCHWARZER, 1993). A ideia de que a arquitetura poderia transcender o pragmatismo da construção ao assumir um caráter simbólico e artístico se torna, então, uma das bases da teoria da tectônica de Bötticher (FRAMPTON, 1990, 1995).

O simbolismo artístico para Bötticher depende de variáveis como inovação tecnológica e disponibilidade material, ou seja, em sua teoria o simbólico não é dissociado da natureza mecânica da arquitetura (SCHWARZER, 1993). Além disso, para o autor, a representação artística, ou seja, o ornamento, não deve ocultar a essência estrutural e construtiva do edifício arquitetônico. Isso porque a ideia de Bötticher de beleza arquitetônica está ancorada na explicitação do caráter ontológico, e na relação entre utilidade e expressão que compõe a tectônica (FRAMPTON, 1995; SCHWARZER, 1993).

A partir da interrelação entre a estética filosófica e a arquitetura, e da divisão da disciplina entre seu caráter ontológico e de representação, Bötticher estabelece que cada aspecto está relacionado a determinados elementos arquitetônicos e diferentes fases de projeto. Segundo ele, a primeira fase parte da delimitação espacial através do traçado da planta arquitetônica, que é seguida pela definição do sistema estrutural e das características materiais e construtivas da cobertura e dos fechamentos verticais. Nesta fase, vinculada à ontologia, o autor destaca que elementos como estrutura, material e construção integram a chamada *Werkform*<sup>12</sup>, ou aspecto operacional da arquitetura, que constitui a essência arquitetônica. A segunda fase, de acordo com Bötticher, é o momento em que as camadas de revestimento, interno e externo, do edifício são concebidas e materializadas. Nesta fase, associada

---

<sup>11</sup> Em português: Filosofia da Arte, foi publicado originalmente em 1859 mas baseado em discussões feitas em aulas entre 1801 e 1804.

<sup>12</sup> A tradução literal em português seria algo como “forma operacional”, mas neste trabalho será utilizado o termo aspecto para facilitar a compreensão de que o conceito vai além da forma, ou formato.

à representação, o ornamento é o elemento que constitui a chamada *Kunstform*<sup>13</sup>, ou aspecto artístico da arquitetura, e que expressa a essência arquitetônica (SCHWARZER, 1993, 2017).

O entendimento da noção de tectônica para Bötticher é baseado na integração entre esses dois aspectos no edifício arquitetônico, sendo que o aspecto artístico deve ser compreendido como a linguagem que comunica o aspecto operacional, e portanto, essencial. Essa noção integra as complexidades materiais e mecânicas, as demandas culturais e de uso, além da expressão artística, de maneira que “entender a tectônica é compreender como todos os elementos únicos de um edifício estão integrados em um todo espacial harmônico”<sup>14</sup> (SCHWARZER, 1993, p. 275, traduzido pela autora). Além disso, Bötticher considera que as necessidades de uso se transformam ao longo do tempo de acordo com as mudanças sociais. Também considera que as técnicas e os materiais construtivos estão em frequente processo de adaptação, e que o debate artístico depende de cada momento da história (SCHWARZER, 2017). Por isso, a noção de tectônica não está vinculada a nenhum estilo específico, mas implica que a expressividade deve ser trabalhada em conjunto com o constante desenvolvimento técnico da disciplina arquitetônica (FRAMPTON, 1996; SCHWARZER, 1993).

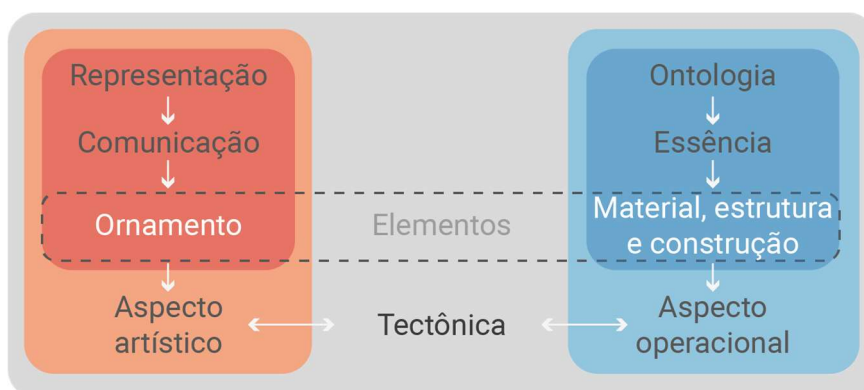
Por fim, entende-se que o debate filosófico acerca da dicotomia entre ontologia e representação, e a teoria da *Grundformen* de Schinkel constituíram as bases principais para a formulação da noção de tectônica de Bötticher. Para o autor, a tectônica é entendida como um sistema que integra a essência construtiva da arquitetura e a capacidade artística de comunicá-la, ou seja, um sistema que integra e relaciona os aspectos operacional e artístico na espacialidade arquitetônica (Figura 2).

---

<sup>13</sup> A tradução literal em português seria “forma artística”, mas neste trabalho utiliza-se o termo aspecto para auxiliar no entendimento de que o conceito vai além do componente formal.

<sup>14</sup> No original: “To understand tectonics is to grasp how all single elements of a building are integrated into a harmonious and organic spatial whole.”

Figura 2 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Bötticher.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Nesse sistema, o aspecto operacional que constitui a essência ontológica da arquitetura inclui seus elementos materiais, estruturais e construtivos. Já o aspecto artístico que constitui a capacidade de comunicação da essência arquitetônica, inclui o ornamento como o elemento de representação e como detentor de significado.

### 2.1.3. A origem simbólica da arte na constituição da tectônica

O arquiteto e professor alemão Gottfried Semper (1803-1841) é considerado, junto com seu contemporâneo Karl Bötticher, um dos fundadores da teoria da tectônica na arquitetura. Mesmo que ambos tenham tido influências semelhantes, como os conceitos de intencionalidade e *Grundformen* de Schinkel, eles discutem a noção de tectônica por vieses diferentes (AMARAL, 2009; SCHWARZER, 2017). Semper defende a perspectiva de uma arquitetura que relaciona a evolução da arte com a dos ofícios tecnológicos e, assim como Bötticher, entende o ornamento como uma linguagem artística que foi desenvolvida de acordo com aspectos operacionais. Mas, Semper não concorda com a ideia de que o ornamento deve comunicar às pessoas o caráter ontológico dos edifícios. Para ele, o ornamento tem o papel fundamental de retorno simbólico às práticas e costumes primitivos, enquanto a estrutura e a construção devem suprir as demandas de seu tempo (SCHWARZER, 2017). Para além disso, o ornamento assume, na discussão de Semper, a importância de origem da arte (VIANA, 2017).

A preocupação com as origens das artes, que permeia o discurso semperiano, era comum a estudiosos de diversas áreas do saber, especialmente pós consolidação do pensamento iluminista do século XVIII. Nesse momento em que as crenças e os princípios tradicionais eram continuamente questionados, buscava-se não só as

origens das artes, mas também uma explicação para os saberes e costumes humanos. Essa busca pretendia uma compreensão científica de tudo o que fazia parte dos fenômenos do mundo material e imaterial, e dos aspectos da vida social e cultural (HVATTUM, 2004; VIANA, 2017).

Nesse contexto, o interesse de Semper pela origem das artes se desenvolve a partir de uma abordagem mítica em torno do homem primitivo, muito influenciada pela teoria antropológica de Gustav Klemm (1802-1867). Na obra *Allgemeine Kultur-Geschichte der Menschheit*<sup>15</sup>, publicada entre 1843 e 1852, Klemm discutiu sobre como as práticas artísticas, materiais, intelectuais e espirituais estavam conectadas entre si e poderiam ser entendidas como partes do desenvolvimento cultural humano (FRAMPTON, 1995; SCHWARZER, 2017). Além disso, para o antropólogo, toda manifestação artística era constituída da necessidade humana de representar tudo o que ao homem se apresentasse. Klemm caracterizou essa necessidade através da noção de *Kunsttrieb*, ou impulso artístico, que ordenava o universo individual humano e estava associada ao sagrado e ao surgimento da vida (SCHWARZER, 2017; VIANA, 2017).

Com base nessa perspectiva antropológica, Semper associa a origem das manifestações artísticas à noção de *Kunsttrieb* na obra *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten*<sup>16</sup>, de 1863. Além disso, Semper compara esse impulso artístico ao instinto humano que busca atender às necessidades básicas como alimentação, descanso, e proteção do frio e do calor intensos. Instinto esse que levou o homem primitivo a desenvolver instrumentos que o auxiliassem a satisfazer essas necessidades, sendo a construção do abrigo um dos mais relevantes (VIANA, 2017).

Um ponto comum entre o impulso artístico e a construção do abrigo pelo homem primitivo é que ambos são ancorados nos rituais sagrados (VIANA, 2017). Para esse homem o espaço não é uniforme, sendo constituído pela oposição entre o sagrado, considerado real, e o profano, que era desestruturado e disforme. Por isso, espaço sagrado tem uma importância existencial para o homem primitivo porque o permitia viver a realidade fora do “caos” do espaço profano. Essa realidade, alvo dos anseios desse homem, constitui o “mundo” organizado chamado de “Cosmos”. É possível organizar o “Caos” e transformá-lo simbolicamente em “Cosmos” ao habitar um território e construir o espaço sagrado através do ritual cosmogônico. A

---

<sup>15</sup> Em português seria: História cultural geral da humanidade.

<sup>16</sup> Em português seria: O estilo nas artes técnicas e tectônicas.

cosmogonia consiste na imitação da obra divina de “criação do mundo”, e se torna o paradigma do ato criativo, desde a construção do abrigo até a fabricação de artefatos, em que o homem confere ordem e harmonia ao seu universo (ELIADE, 1992; VIANA, 2017).

O impulso artístico e o ato cosmogônico são entendidos como equivalentes para Semper, por conta da capacidade da arte de ordenar e organizar o mundo. Como resultado dos rituais sagrados, a arte é fundamental e essencialmente simbólica ao homem enquanto ser no mundo. Nesse contexto, dentre as manifestações artísticas primitivas, chamadas “artes cósmicas”, se destacam a dança, a música e os artefatos de adorno, cujos princípios de harmonia, ritmo e proporção ordenam o universo e são intrínsecos aos instintos humanos primordiais (MALLGRAVE, 2017; VIANA, 2017). A partir desses entendimentos, Semper defende que a arquitetura não é uma arte plástica, como a pintura e a escultura, mas uma “arte cósmica”, por sua capacidade de criação espacial (FRAMPTON, 1990, 1995; MALLGRAVE, 2017).

Ao tratar das “artes cósmicas” Semper dá mais destaque ao adorno, ou ornamento<sup>17</sup>, e segundo ele, ao se adornar ou ornamentar o que está à sua volta o homem se diferencia do mundo ao seu redor e expressa sua individualidade. Para o autor, o ornamento é derivado da técnica têxtil, que foi uma das primeiras atividades humanas de manufatura de artefatos que levava em consideração a utilidade e a beleza (VIANA, 2017). Como o ato de embelezar está vinculado ao simbolismo sagrado de ordenação do universo, Semper considera que o ornamento na arquitetura é uma camada artística sobre o edifício que evoca os rituais de celebração primitivos, e não uma simples tradução do sistema construtivo (SCHWARZER, 2017).

De acordo com a teoria semperiana o simbolismo da técnica têxtil, e portanto do ornamento, é marcado pelo nó como elemento que compreende o sentido de união, ou junção, e constitui um símbolo religioso para várias culturas. Além da importância simbólica, Semper acredita que foi a partir do nó que surgiram outros artefatos com diferentes técnicas de entrelaçamento e diferentes materiais. As possibilidades de combinações podem ter levado à percepção e reprodução dos padrões decorativos, não só nas vestimentas e acessórios sagrados, mas também na construção do abrigo (VIANA, 2017). Um dos focos do estudo de Semper acerca dos padrões decorativos foi a arquitetura policrômica grega, em que a ornamentação, especialmente nos

---

<sup>17</sup> Os termos adorno e ornamento foram utilizados por Semper de maneira intercambiável, e também como sinônimos de decoração (VIANA, 2017).

templos, se tornava um símbolo artístico que permitia à construção comunicar aspectos do campo subjetivo, religioso e até ideológico (SCHWARZER, 2017).

No ensaio *Wissenschaft, Industrie und Kunst*<sup>18</sup>, de 1852, Semper discute a desvalorização da importância simbólica do material e a alienação da arte de seus significados originais. Na tentativa de enfrentar a crise estilística do século XVIII, o autor busca as origens da arquitetura através da correlação entre elemento, técnica e material construtivos (FRAMPTON, 1995). Mais tarde, em *Der Stil...*, Semper entende o estilo como uma noção teórica e empírica da arte, que além da ornamentação considera também a relação entre o material e a forma. Nesse sentido, ele se esforça para elaborar uma teoria da arquitetura, a tectônica, capaz de articular as relações entre a essência material e sua forma de representação simbólica (AMARAL, 2009).

Fundamental para o desenvolvimento de sua teoria da tectônica e de sua busca pelas origens da arquitetura é sua rejeição ao modelo de cabana primitiva proposto pelo francês Marc-Antoine Laugier (1713-1769) em *Essai sur l'architecture*<sup>19</sup>. Para Semper, além do modelo divergir da realidade primitiva vernacular ele sugeria que a arquitetura teria surgido de um único padrão construtivo, o clássico. Como resposta a isso, Semper propõe um modelo de origem arquitetônica baseado na associação dos quatro elementos originais da arquitetura: lareira, fundação, cobertura e envoltória (AMARAL, 2009; FRAMPTON, 1990, 1995; SCHWARZER, 2017).

Ao apresentar e discutir esses elementos em *Die vier Elemente der Baukunst*<sup>20</sup>, de 1851, Semper adiciona uma camada antropológica à noção de tectônica. Por remeter à socialização do homem primitivo, a lareira é dotada de alto valor simbólico e os outros elementos surgem para protegê-la da umidade do solo, das intempéries e dos ventos (AMARAL, 2009; FRAMPTON, 1990, 1995; MALLGRAVE, 2017). Sua noção de tectônica não considera apenas a relação entre os elementos, mas também como cada um deles está conectado às primeiras quatro artes técnicas: cerâmica, originada a partir da lareira; alvenaria, decorrente do aterro e fundação; carpintaria, derivada da cobertura e estrutura; e a técnica têxtil, associada à envoltória (AMARAL, 2009; FRAMPTON, 1995; MALLGRAVE, 2017; SCHWARZER, 2017). Ao considerar o caráter simbólico e cósmico do nó, previamente apresentado, Semper enfatiza os

---

<sup>18</sup> Em português seria: Ciência, Indústria e Arte.

<sup>19</sup> Em português seria: Ensaio sobre arquitetura. A primeira edição foi publicada anonimamente em 1753, mas já em 1755 foi publicada uma segunda edição, ampliada e ilustrada, com identificação da autoria (VIANA, 2020).

<sup>20</sup> Em português seria: Os quatro elementos da arquitetura.

têxteis e, conseqüentemente, o ornamento. Com isso ele confere à envoltória um papel significativo que garante que a produção do espaço, e da arquitetura, não seja reduzida à funcionalidade e técnica apenas, mas esteja relacionada a aspectos artísticos, simbólicos e expressivos (DEAMER, 2000).

Além dos elementos e das técnicas a eles vinculadas, Semper propõe quatro categorias de materiais, e suas características específicas, também associadas a esses elementos e técnicas. A maciez da argila está vinculada à cerâmica; a densidade da pedra à alvenaria; a elasticidade da madeira à carpintaria; e a maleabilidade do tecido à técnica têxtil. Mas, por mais que para Semper, a conexão entre elemento, técnica e material seja inerente à arquitetura e à tectônica, ela não deve ser vista como uma limitação determinista, de maneira que o interessante é a possibilidade de combinações entre cada uma dessas categorias. A teoria semperiana considera que a articulação entre as técnicas e materiais representa uma evolução das habilidades produtivas, em que o aprimoramento da técnica possibilita elevar o material à sua expressividade máxima (AMARAL, 2009; DEAMER, 2000; FRAMPTON, 1995). Além disso, para Semper, as associações entre as técnicas e os materiais podem ser alteradas de acordo com o contexto, as necessidades de uso, os avanços tecnológicos e as intenções do arquiteto (AMARAL, 2009).

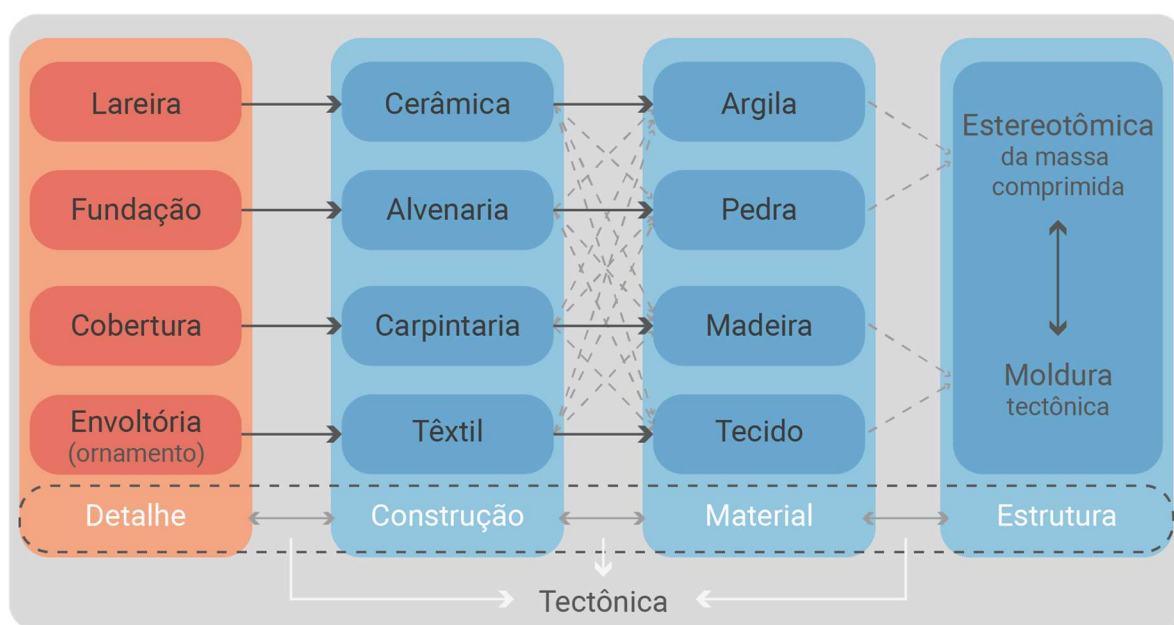
Outro ponto de destaque no desenvolvimento da noção de tectônica para Semper foi a classificação e distinção das técnicas construtivas em dois sistemas arquitetônicos: (i) a moldura tectônica, que consiste em uma lógica construtiva que configura tramas espaciais a partir de materiais leves como madeira, tecido, vidro e até metal, e pode assumir função estrutural; (ii) a estereotômica da massa comprimida, que forma volumes densos através do empilhamento repetitivo de materiais pesados, como pedra, tijolos de cerâmica, terra e concreto. As particularidades desses sistemas podem variar dependendo do clima, da cultura e da disponibilidade material local (FRAMPTON, 1995; NESBITT, 2006).

Para Semper as formas e os significados dos elementos arquitetônicos podem ser transformados, não só através dos materiais e técnicas, inerentes à cada época e cultura, mas também a partir da assimilação de aspectos culturais de uma civilização para outra. As questões que Semper aborda em suas obras podem ser entendidas para além da teoria arquitetônica, mas como uma complexa teoria da cultura artística na arquitetura (MALLGRAVE, 2017). O autor vê a arte como um vocabulário linguístico

que não é meramente descritivo, mas detentor da capacidade de expressar as necessidades técnicas e culturais da sociedade (FRAMPTON, 1995).

O estudo, com viés antropológico, de Semper acerca da importância simbólica e da origem das artes e da arquitetura, fundamentou seu entendimento da tectônica como um sistema em que a associação entre elemento arquitetônico, técnica e material resulta na expressividade arquitetônica (Figura 3). É importante destacar que, para o autor, a alteração de qualquer um dos componentes desse sistema, inclusive por razões culturais ou devido a transformações tecnológicas e produtivas, não diminui a expressividade arquitetônica.

Figura 3 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Semper.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Entende-se que esse sistema tectônico, conforme abordado por Semper, é composto pelos seguintes elementos: (i) detalhe, que inclui cada um dos elementos arquitetônicos e incorpora os significados atrelados, especialmente o caráter artístico da envoltória, ou ornamento; (ii) construção, que está vinculada às técnicas construtivas; (iii) estrutura, que lida com a distribuição das forças no edifício, e (iv) material.

## 2.2. Abordagem conceitual da teoria da tectônica no século XX

As abordagens a respeito da tectônica, na Alemanha do século XIX, construíram uma ponte entre o passado e o presente da arquitetura, ao proporem a relação entre as necessidades, estruturais e utilitárias, que constituem o cerne da disciplina, e sua expressividade simbólica. Entretanto, esse discurso, que valorizava a importância do ornamento, perde espaço especialmente quando, no início do século XX, se iniciam movimentos de rompimento com a tradição arquitetônica (SCHWARZER, 2017).

A discussão da noção de tectônica só volta a ter força no momento em que, pós anos 1960, a chamada crítica pós-moderna se volta à questão da expressividade e do simbolismo no fazer arquitetônico. Para muitos dos teóricos e arquitetos desse contexto, a tectônica constitui uma possibilidade de se opor aos preceitos abstracionistas, e de negação do ornamento, do Movimento Moderno e à tendência cenográfica do historicismo pós-moderno (NESBITT, 2006). O primeiro autor a retomar o debate, ainda nos anos 1960, é Eduard Sekler, mas é Kenneth Frampton o grande expoente no ressurgimento da teoria da tectônica na contemporaneidade, e é na direção das discussões desses teóricos que o presente estudo vai seguir.

### 2.2.1. A distinção entre estrutura, construção e tectônica

As discussões de Schinkel, Bötticher e Semper foram fundamentais para o desenvolvimento da noção de tectônica na arquitetura, e isso ficou marcado no reconhecimento que o teórico austríaco Eduard Franz Sekler (1920-2017) deu a elas em seu ensaio *Structure, Construction, Tectonics*<sup>21</sup>. Sekler se propõe a esclarecer as diferenças entre três conceitos intimamente relacionados na disciplina arquitetônica: estrutura, construção e tectônica. Por mais que estrutura e construção sejam muitas vezes considerados como sinônimos, Sekler define a estrutura como uma noção mais abstrata que se refere à concepção, ordenação e avaliação da eficiência dos sistemas estruturais e de transmissão de forças em um edifício. Já a construção é a efetiva realização desses princípios estruturais através da escolha e manuseio dos materiais, dos processos e das técnicas possíveis para sua execução (SEKLER, 1965).

---

<sup>21</sup> Em português seria: Estrutura, Construção, Tectônica. Foi um ensaio publicado em 1965 na antologia *Structure in art and in science* (em português seria: A estrutura na arte e na ciência).

A tectônica por sua vez, segundo Sekler, é derivada da mesma raiz grega encontrada em arquitetura e tecnologia, e constitui a atividade de dar forma visível a algo. Por mais que não seja um termo tão confundido quanto estrutura e construção, a tectônica é definida a partir deles, sob a ótica da empatia<sup>22</sup>, sendo considerada pelo autor como o resultado expressivo da integração entre as lógicas estrutural e construtiva nos processos arquitetônicos. Dessa maneira, a estrutura, enquanto conceito intangível, é concretizada através da fisicalidade da construção e adquire expressividade, especialmente visual, por meio da tectônica (SEKLER, 1965).

Essa expressividade não pode ser obtida em termos estruturais ou construtivos apenas, de maneira que, para Sekler, o potencial de expressão tectônica depende da articulação entre ambos. As variadas relações entre estrutura e construção podem, de acordo com Sekler, possibilitar diferentes níveis de expressão tectônica: (i) equilibrada, quando a construção consegue expressar a concepção estrutural, (ii) exagerada, quando o jogo de forças é enfatizado através da construção, como na arquitetura gótica, e (iii) indefinida ou inexistente, chamada de “atectônica”, quando os elementos construtivos não refletem os princípios estruturais, negando propositalmente a expressividade (SEKLER, 1965).

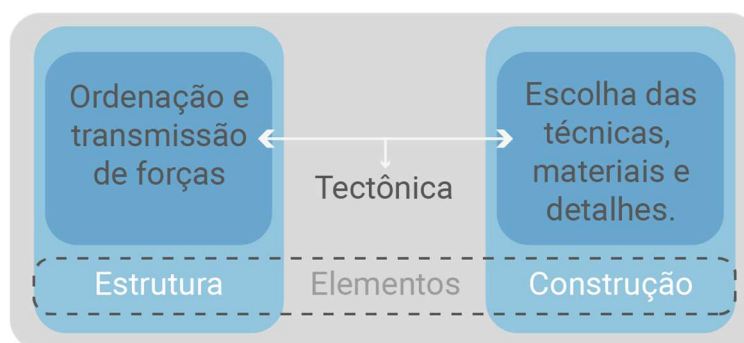
Entre os três conceitos inter-relacionados, Sekler argumenta que a tectônica é o que pode ser trabalhado de maneira mais autônoma pelo bom arquiteto, que para ele, é o “mestre da expressão tectônica”. Indo além de uma expressividade artística, o autor utiliza o termo “expressão tectônica” como o domínio, pelo arquiteto, da capacidade de comunicação da linguagem arquitetônica. Isso denota uma relação direta entre as lógicas estrutural e construtiva e a expressividade tectônica no edifício construído (AMARAL, 2009; SEKLER, 1965).

Entende-se que, ao invés de definir a tectônica a partir da dicotomia entre arte e técnica, entre ornamento e construção, Sekler considera a tectônica como a expressividade resultante da articulação entre estrutura e construção. Dessa maneira, ao considerar, neste estudo, a tectônica como um sistema, pode-se dizer que seus elementos constituintes segundo Sekler são estrutura e construção (Figura 4).

---

<sup>22</sup> Do alemão *Einfühlung*, foi um conceito elaborado por Theodor Lipps (1851-1914) e desenvolvido por Heinrich Wölfflin (1864-1945), que permite relacionar a arquitetura ao ser corpóreo através de mecanismos da percepção (MALLGRAVE, 2017; ZEVI, 1996).

Figura 4 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Sekler.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

É importante destacar que enquanto a estrutura se refere à ordenação e transmissão das forças atuantes no edifício, a construção inclui não só as técnicas construtivas, mas também a escolha dos materiais e dos detalhes arquitetônicos, desde pequenas dobradiças até a composições de ornamentos e aberturas nas fachadas, por exemplo.

### 2.2.2. A tectônica como poética da construção

O crítico e professor de arquitetura britânico Kenneth Frampton (1930-) é um dos mais importantes historiadores e teóricos da noção de tectônica na contemporaneidade. Por unir conceitos filosóficos e artísticos, a teoria da tectônica na arquitetura é muitas vezes complexa e de difícil compreensão. E é justamente nessa teoria que Frampton faz um aprofundamento em sua obra seminal a respeito do assunto, o livro *Studies in Tectonic Culture: the poetics of construction in Nineteenth and Twentieth century*<sup>23</sup>, publicado em 1995 sem tradução para o português. Por mais que *Studies...* seja a sua produção mais importante acerca da tectônica, Frampton já vinha construindo seu entendimento e sua argumentação nas publicações anteriores: “Perspectivas para um regionalismo crítico”<sup>24</sup>, de 1983, e “*Rappel à l’ordre*: argumentos em favor da tectônica”<sup>25</sup>, de 1990.

A discussão da noção de tectônica feita por Frampton, em todas essas publicações, remonta ao contexto da crítica à homogeneização arquitetônica do Estilo Internacional e do Movimento Moderno, e da crítica à arquitetura cenográfica

<sup>23</sup> Em português seria: Estudos sobre a cultura tectônica: a poética da construção nos séculos XIX e XX.

<sup>24</sup> Publicado originalmente em *Perspecta: The Architectural Journal*.

<sup>25</sup> Publicado originalmente em *Architectural Design* 60.

concebida como mercadoria, chamada pós-moderna (NESBITT, 2006). Como alternativa, Frampton propõe que se deve voltar à essência da arquitetura, ou seja, ao seu caráter tectônico que é capaz de expressar poeticamente a articulação entre material, estrutura e construção. Ao argumentar a favor do retorno à essência arquitetônica, Frampton explicita não só a assimilação da dicotomia filosófica entre ontologia e representação, mas também a influência que a fenomenologia, do filósofo Martin Heidegger (1889-1976), teve no seu entendimento da tectônica como poética (FRAMPTON, 1990; NESBITT, 2006). Outra noção incorporada em sua teoria foi a da empatia, previamente abordada por Sekler, que presume a conexão entre a percepção humana e o edifício construído (MALLGRAVE, 1995).

É a partir dessa conexão, perceptiva e fenomenológica, que a noção de tectônica para Frampton passa a ser dotada de significado simbólico, e pode ser elevada de uma condição puramente utilitarista ou cenográfica. Dessa maneira, Frampton não tem a intenção de negar o caráter técnico-construtivo da arquitetura, mas de enriquecê-lo através do potencial artístico e simbólico do detalhe arquitetônico, também entendido como ornamento, que não é abstrato e nem figurativo. Para o autor, a articulação entre material, técnica e arte, entre construção e significado, acontece através capacidade expressiva da tectônica. Assim, a potencialidade tectônica de qualquer edifício depende da habilidade do arquiteto de articular esses aspectos, levando em consideração também as inovações tecnológicas e as especificidades, ambientais e culturais, do lugar (FRAMPTON, 1995). Entende-se, então, que o contexto está implícito na arquitetura dotada de expressividade tectônica.

Com base nessas considerações, Frampton (1990, p. 560) afirma que “a definição da palavra ‘tectônica’ no dicionário como “pertinente à edificação ou à construção em geral... é um tanto redutiva...”, isso porque a tectônica “indica não só a probidade material e estrutural de uma obra, mas também uma poética do construir subjacente à prática da arquitetura”. Mas, mesmo que a noção de tectônica tenha sido interpretada por Frampton como poética, ela não pode ser desvinculada do caráter técnico-construtivo da arquitetura, visto que para ele “... a arquitetura deve necessariamente expressar-se na forma estrutural e construtiva” (FRAMPTON, 1990, p. 558). Outro ponto fundamental é que a tectônica não está vinculada à nenhum estilo arquitetônico, sendo segundo o autor “aestilística”, de modo que é possível, através da tectônica, relacionar edifícios de épocas e origens variadas, reforçando as

afinidades tectônicas entre elas que ultrapassam as diferenças estilísticas (FRAMPTON, 1990, 1995).

De acordo com Frampton, o que garante que a tectônica não seja reduzida às linguagens e aos estilos arquitetônicos de cada época é a junção, que se constitui como um elemento essencial à tectônica, com importância por si só. Influenciado pela ideia de Semper, de que é a partir da junção que o edifício se articula enquanto presença no mundo, Frampton afirma que é nessa transição de um componente construtivo para outro que as similaridades e diferenças culturais se manifestam. Por isso, a “não junção” também é relevante para o autor, que argumenta que tanto a conexão como a ruptura, se bem pensadas pelo arquiteto, são fundamentais à tectônica (FRAMPTON, 1990).

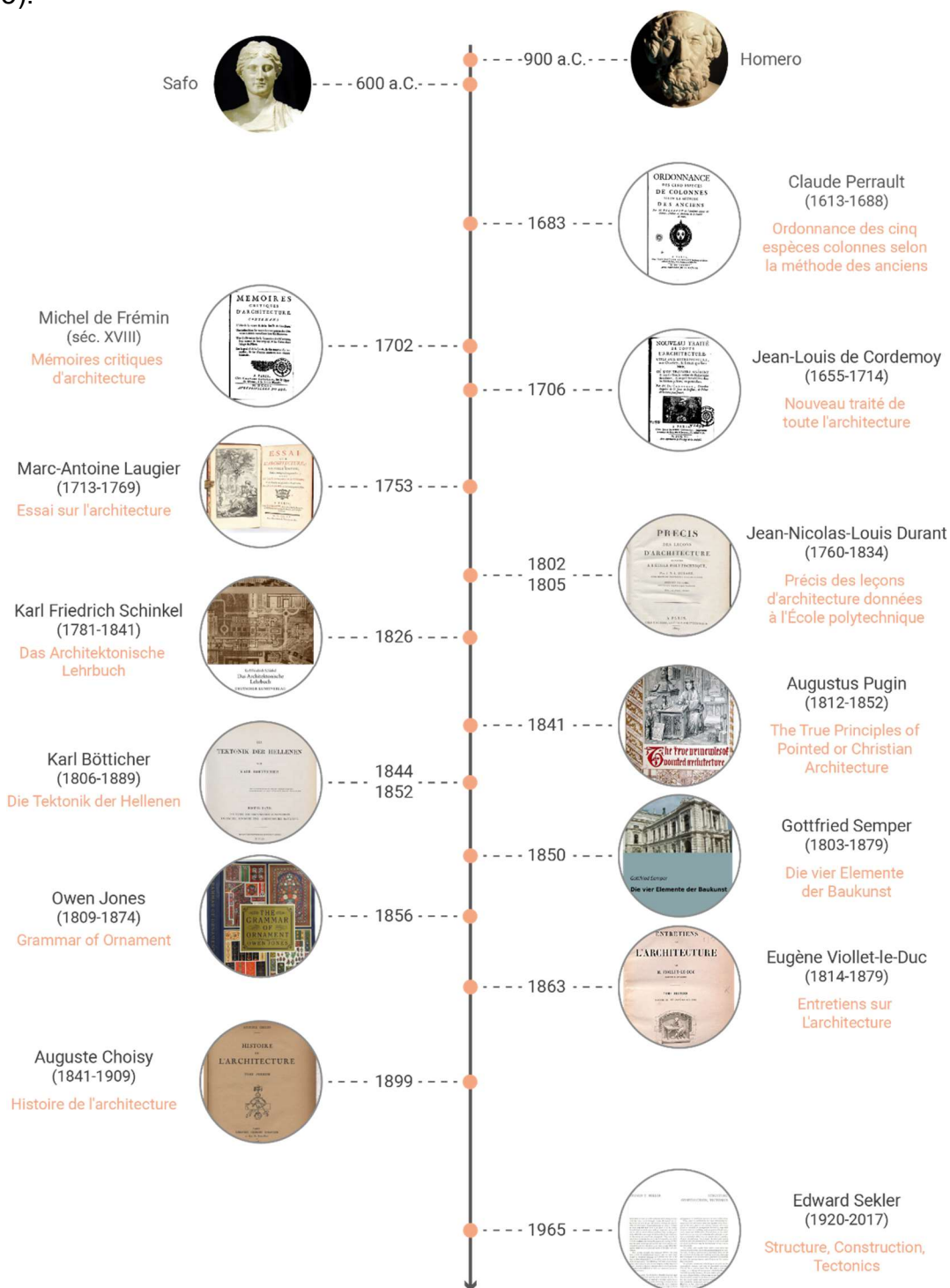
Além de destacar a importância da junção, Frampton propõe a categorização dos objetos arquitetônicos em três condições: (i) objeto tecnológico: responde às necessidades técnicas e instrumentais; (ii) objeto cenográfico: alude a elementos ausentes, como quando um material simula outro material; (iii) objeto tectônico: que relaciona o caráter simbólico e o caráter utilitário da arquitetura (FRAMPTON, 1990). Além disso, Frampton (1990) afirma que o objeto tectônico pode ser apreendido como representacional quando enfatiza o caráter simbólico, ou como ontológico, quando enfatiza o caráter utilitário da arquitetura. Entretanto, para o autor, é muito raro que os edifícios arquitetônicos sejam reduzidos a uma coisa ou outra apenas, e por isso, a tectônica, enquanto poética da construção, é justamente a inter-relação entre esses diferentes aspectos.

Em *Studies...*, obra de relevância internacional desde o lançamento até o momento presente, Frampton conduz um denso estudo etimológico e conceitual com base nas referências teóricas que fundaram e discutiram o conceito, desde a primeira aparição do termo em Homero, passando por Schinkel, Bötticher, Semper, até chegar a Sekler (Figura 5). Nesse apanhado teórico, Frampton dá o devido destaque aos alemães do século XIX, mas procura traçar as relações que possibilitaram a cada um deles desenvolver suas abordagens próprias.

Então, a fim de consolidar seu entendimento da noção de tectônica, baseado na fundamentação teórica apresentada e discutida, Frampton analisa projetos e edifícios construídos de diferentes arquitetos, predominantemente europeus, que segundo ele consideraram e trabalharam a tectônica com primazia em suas obras (Figura 6). Auguste Perret, Frank Lloyd Wright, Mies van der Rohe, Louis Kahn, Jørn

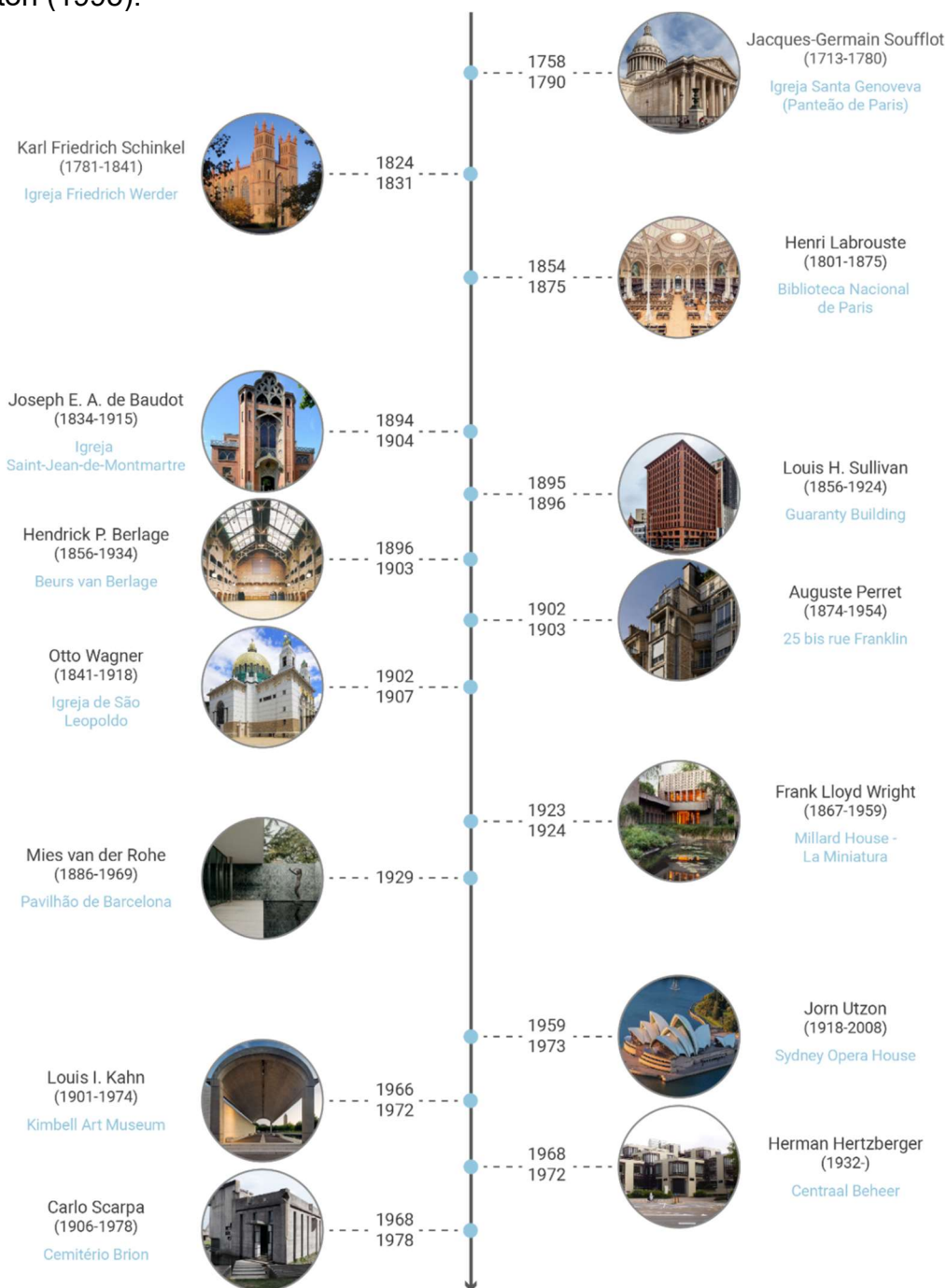
Utzon e Carlo Scarpa são os arquitetos com maior destaque na publicação, porque é em suas obras que Frampton mais se debruça na análise da tectônica, dedicando a cada um deles um capítulo específico do livro.

Figura 5 – Linha do tempo das referências teóricas da tectônica segundo Frampton (1995).



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 6 - Linha do tempo dos arquitetos que trabalharam bem a tectônica segundo Frampton (1995).

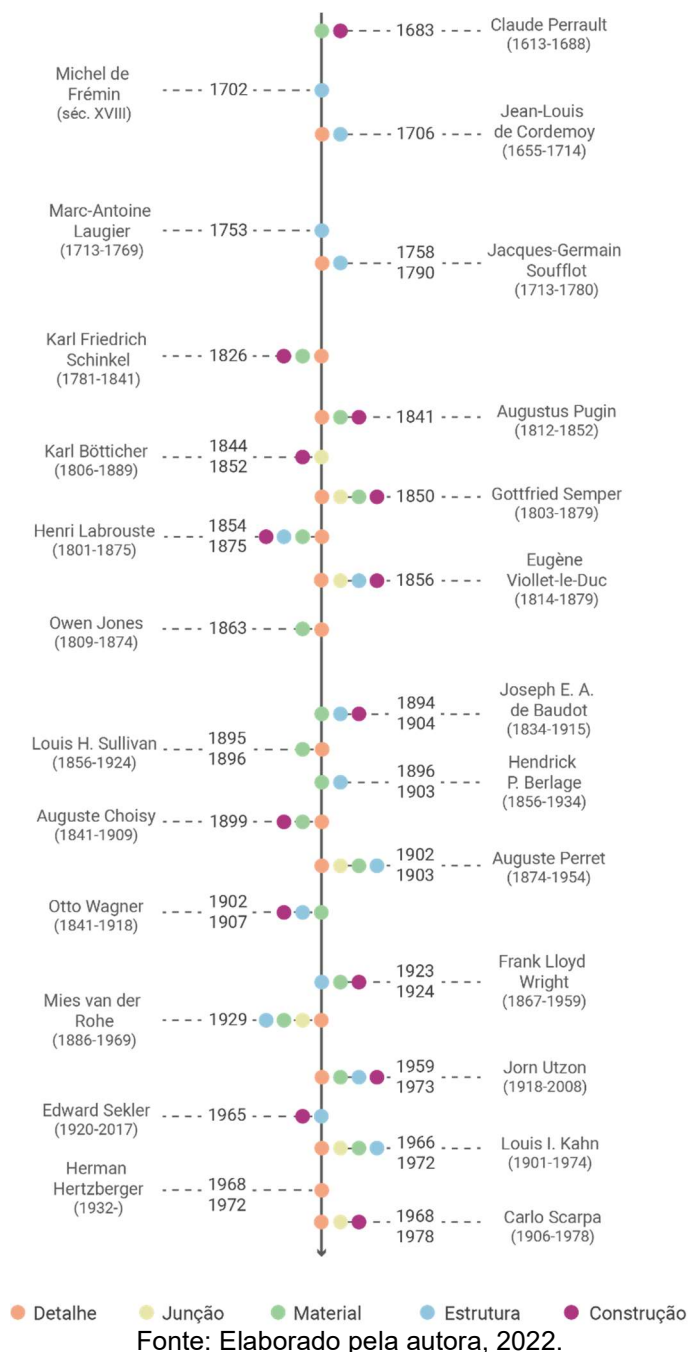


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A partir do estudo das publicações de Frampton que tratam da noção de tectônica, percebeu-se que para uma melhor compreensão, análise e, até mesmo, produção de uma arquitetura dotada de expressividade, essa tectônica pode ser decomposta, enquanto sistema, em elementos fundantes. Por isso, de acordo com as discussões levantadas por Frampton em *Studies...* com base nas referências, detalhadamente estudadas e descritas por ele, foram elencados como elementos que

compõem a tectônica<sup>26</sup>: (i) detalhe, (ii) junção, (iii) material, (iv) estrutura e (v) construção. O autor, então, destacou os elementos trabalhados nas obras de cada um dos teóricos e arquitetos<sup>27</sup> (Figura 7).

Figura 7 – Elementos da tectônica trabalhados pelos arquitetos segundo Frampton.



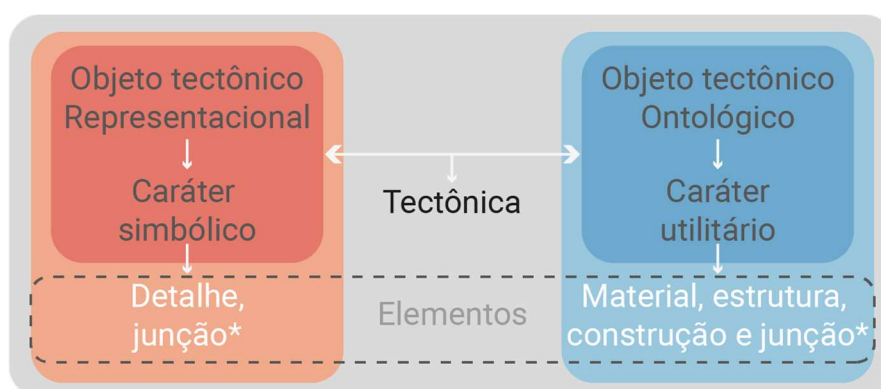
<sup>26</sup> Esses elementos foram elencados de acordo com os termos apresentados por Frampton ao analisar e discutir os projetos de cada um dos arquitetos, tratando-se de uma síntese a partir do estudo e da observação da autora desta dissertação.

<sup>27</sup> É importante destacar que Frampton não afirma que cada um só abordou os elementos destacados na imagem, mas que estes foram mais significativos na análise em detrimento dos outros.

A fim de esclarecer a que cada um dos elementos se refere, de acordo com o Frampton (1995), aponta-se que: (i) o detalhe inclui os componentes arquitetônicos, dentre eles o ornamento e seu caráter expressivo; (ii) a junção une os diferentes componentes construtivos e arquitetônicos; (iii) o material trata do que é relativo à matéria; (iv) a estrutura concerne ao suporte de forças que atuam no edifício, e (v) a construção está relacionada aos processos, técnicas ou métodos construtivos.

Com tudo o que foi apresentado, entende-se que a compreensão de Frampton da noção de tectônica não só incorpora as discussões e abordagens anteriores, mas também é influenciada por conceitos filosóficos como fenomenologia e empatia. Dessa maneira, a tectônica para Frampton constitui uma poética da construção que integra os aspectos simbólicos, expressivos e culturais aos aspectos técnicos, materiais e construtivos da arquitetura (Figura 8).

Figura 8 - Esquema síntese da teoria da tectônica de Frampton.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 2.3. Síntese: A noção de tectônica e seus elementos fundamentais

A noção de tectônica na arquitetura passou um por percurso contínuo de desenvolvimento no campo teórico, o que pode ser observado através das abordagens dos autores examinados neste capítulo. Mesmo que cada uma das abordagens tenham especificidades, acerca do entendimento da tectônica e seus elementos, todas guardam similaridades entre si. Acredita-se que para uma melhor compreensão da tectônica é necessário concatenar essas similaridades através da síntese e comparação dos elementos que a constituem, segundo cada um dos autores apresentados, desde Schinkel até Frampton.

Como o responsável pela primeira elaboração da noção de tectônica com um caráter teórico, Schinkel divide a arquitetura entre seus aspectos artístico e construtivo, de maneira que a *Grundformen*, ou seja, a tectônica é o que permite relacioná-los no edifício. Cada um desses aspectos inclui elementos arquitetônicos próprios: (i) ornamento, (ii) material, (iii) junção e (iv) construção (como apresentado na figura 1).

Bötticher, dando prosseguimento ao trabalho de Schinkel e a partir da influência da estética filosófica alemã, propõe que o edifício arquitetônico é composto pelos aspectos artístico (*Kunstform*) e operacional (*Werkform*), e que a inter-relação entre eles é possível através da tectônica. Nesse contexto, os elementos arquitetônicos são: (i) ornamento, (ii) material, (iii) estrutura e (iv) construção (apresentado na figura 2).

Com influências parecidas mas com uma abordagem com viés antropológico, Semper tenta elaborar uma teoria que contemple o surgimento da arquitetura ao relacionar elemento arquitetônico, técnica e material. Dessa maneira, a tectônica é a expressão resultante desses relacionamentos, que não são material ou tecnicamente determinísticos. Os elementos destacados por Semper são: (i) detalhe, que inclui especialmente o ornamento, (ii) material, (iii) estrutura e (iv) construção, ou técnica construtiva (apresentado na figura 3).

Em um ensaio mais curto que as obras dos outros autores examinados, Sekler argumenta que a tectônica pode ser entendida como a expressão arquitetônica proveniente da articulação entre as lógicas estrutural e construtiva no edifício, ou seja, deve comunicar essa articulação. Por isso, os elementos arquitetônicos na visão de Sekler são: (i) estrutura e (ii) construção, de maneira que a escolha e a maneira de trabalhar com os materiais e as técnicas construtivas estão incluídas no elemento construção (apresentado na figura 4).

Depois de fazer um estudo aprofundado acerca da noção de tectônica, com um olhar regionalista e crítico à arquitetura cenográfica do período chamado pós-moderno, Frampton foi o responsável por popularizar o debate no campo teórico nos últimos 30 anos. Sua obra mais importante, *Studies...*, embasou diversos estudos após sua publicação em 1995, inclusive de autores que tratam dos processos computacionais de projeto. Para Frampton, a capacidade da tectônica de articular os aspectos artísticos e técnico-operacionais da arquitetura a transformou na poética da construção. Dessa maneira, a tectônica é capaz de expressar a essência construtiva da arquitetura através da consideração dos seguintes elementos: (i) detalhe, que inclui

o ornamento, (ii) material, (iii) junção, (iv) estrutura e (v) construção (apresentado na figura 8).

De maneira geral, pode-se dizer que a tectônica é inerente à prática e à materialidade da arquitetura, e que constitui um sistema que inter-relaciona os aspectos artístico-expressivos e os aspectos construtivo-operacionais do edifício arquitetônico. Considerando a tectônica como esse sistema inter-relacionado, acredita-se que ao decompô-la em seus elementos fundamentais é possível construir um panorama teórico que sintetize todas as abordagens apresentadas. Partindo desse ponto, ao comparar os elementos da tectônica nas obras dos autores examinados, destaca-se que mesmo que o significado de alguns termos seja diferente em determinados casos, acredita-se que seu entendimento seja similar, como é o caso do ornamento e do detalhe (Figura 9).

Figura 9 – Elementos da tectônica.

	Artístico-expressivo	Construtivo-operacional			
Schinkel	Ornamento	Junção	Material		Construção
Bötticher	Ornamento		Material	Estrutura	Construção
Semper	Detalhe		Material	Estrutura	Construção
Sekler				Estrutura	Construção
Frampton	Detalhe	Junção	Material	Estrutura	Construção

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Dessa maneira, os elementos adotados no presente estudo são:

- Detalhe: elemento capaz de expressar o aspecto artístico da arquitetura, através do ornamento, mas também o aspecto construtivo através de cada componente arquitetônico;
- Junção: elemento que une fisicamente cada um dos componentes arquitetônicos, e que em alguns casos pode assumir um caráter expressivo, enquanto em outros pode estar incluído no elemento da construção;

- Material: elemento que se refere à tudo que é relativo à matéria, como vidro, aço, concreto, etc.;
- Estrutura: elemento que considera o raciocínio de sustentação e de resistência às forças que atuam no edifício construído;
- Construção: elemento que inclui os processos, técnicas e métodos construtivos, em alguns casos os outros elementos podem ser considerados como parte da construção.

Também é importante destacar que à medida que diferentes técnicas construtivas passam a ser utilizados na prática arquitetônica, e que são trazidas novas relações entre arquitetura, arte e filosofia, a discussão da noção de tectônica é consequentemente retomada no campo teórico da disciplina. Nesse sentido, acredita-se que decompor a tectônica em seus elementos fundamentais permite atualizar a discussão na contemporaneidade, inclusive para o contexto dos diferentes processos computacionais de projeto e das novas possibilidades construtivas advindas da fabricação digital.

### 3. A TECTÔNICA NA PRÁTICA COMPUTACIONAL

A noção da tectônica na arquitetura está em constante desenvolvimento. A inserção das tecnologias digitais e computacionais nos processos de projeto e de construção, como um fenômeno recente, traz ao pensamento novos desafios e perspectivas para repensar a tectônica. Neste capítulo, apresenta-se uma breve contextualização acerca dos diversos processos computacionais de projeto e dos diferentes métodos de prototipagem rápida e de fabricação digital. Em seguida, a fim de identificar os pressupostos fundamentais da tectônica na prática computacional, faz-se um panorama das abordagens de alguns autores que discutem o projeto computacional. Além disso, mostram-se sistematizações acerca da tectônica nestes processos, em seus possíveis elementos fundamentais, propostas em estudos científicos dos últimos 20 anos que destacam as similaridades encontradas entre as noções já demarcadas e as instauradas a partir desses novos processos.

#### 3.1. As recentes transformações nos processos de projeto e de construção da arquitetura

O desenvolvimento da teoria e prática arquitetônicas está relacionado a questões sociais, culturais e tecnológicas, e conseqüentemente tem um papel importante na transformação dos paradigmas e das maneiras de se pensar o projeto em arquitetura (CAETANO; LEITÃO, 2019). Diversos estudos propõem-se a investigar a relação entre os diferentes meios e técnicas de representação gráfica e o processo de projeto (DAVE, 2000). Desde a mudança gradual do projeto tradicional, baseado no desenho à mão sob papel, até o projeto algorítmico-paramétrico centrado em códigos para manipulações formais, há uma aceleração nas mudanças intrínsecas ao processo de projeto, e mais, ao pensamento de projeto<sup>28</sup> (OXMAN, 2017).

O pensamento computacional na arquitetura não é uma novidade, visto que desde a Antiguidade, com Vitruvius, e a Idade Média, com Alberti, já existiam descrições textuais arquitetônicas com lógicas algorítmicas (FRAZER, 2016). Mas, a partir da década de 1990 as tecnologias digitais de projeto e de fabricação auxiliadas por computadores (CAD/CAM<sup>29</sup>) possibilitaram não só a exploração de formas complexas, mas também sua construção, e permitiram uma correlação entre o que

---

<sup>28</sup> Do termo original: *Design Thinking*.

<sup>29</sup> No original *Computer-aided Design* (CAD) se refere ao projeto auxiliado por computador, e *Computer-aided Manufacturing* (CAM) se refere à manufatura auxiliada por computador.

poderia ser projetado e o que poderia ser construído (KOLAREVIC, 2003). Nesse contexto, o Museu Guggenheim Bilbao de Frank Gehry, finalizado em 1997, representa um marco da transformação paradigmática dos processos de projeto em arquitetura (KOLAREVIC, 2003; OXMAN, 2017).

Apesar da tendência de a arquitetura ser um campo que aborda as mudanças tecnológicas mais tardiamente que áreas como as engenharias aeroespacial, automobilística, naval e até de construção civil (CARPO, 2017), os arquitetos possuem uma prática interdisciplinar que incorpora materiais, métodos e processos de diversos campos do conhecimento (KOLAREVIC, 2003). Durante os anos 1990 os arquitetos começaram a utilizar as ferramentas e tecnologias digitais, como CAD/ CAM, comuns a essas outras áreas, não apenas por seu grande potencial de experimentação e geração formal, mas por sua capacidade de produção com alta variabilidade e possibilidade de customização sem aumento de custos (CARPO, 2017; OXMAN, 2006).

A utilização dessas tecnologias digitais alterou os processos de projeto como um todo, ou seja, alterou não só os meios de representação gráfica, mas a maneira pela qual os edifícios eram concebidos, projetados, documentados e construídos (KOLAREVIC, 2003; OXMAN, 2006). Por isso, essa mudança de paradigma vai além da possibilidade de modelagem de formas curvas e complexas enquanto linguagem formal, mas inclui também a compreensão de novos processos de projeto não-lineares em que as decisões projetuais são declaradas e explicitadas desde o início do processo (KOLAREVIC, 2003). Nesse contexto, por mais que características do processo de projeto tradicional sejam mantidas, como exploração e modificação formal, a principal transformação nos novos processos reside na alteração da lógica projetual que permite elaborar e editar relações entre os diferentes componentes do projeto. Estes novos, e diversos, processos de projeto possibilitados pelo potencial das tecnologias digitais, estão incluídos no chamado “pensamento paramétrico de projeto”<sup>30</sup> (OXMAN, 2017).

Um dos pontos mais relevantes no pensamento algorítmico-paramétrico de projeto é a maneira como os processos são mediados pela informação, ou seja, pelos dados formais, materiais, ambientais, construtivos etc. (KOLAREVIC, 2003; OXMAN, 2006). Segundo Kolarevic (2003, p. 10, traduzido pela autora) “...com o uso das

---

<sup>30</sup> Do original: *Parametric Design Thinking (PDT)*.

tecnologias digitais, a informação de projeto é a informação da construção”<sup>31</sup> e é essa informação que possibilita a interação direta entre a concepção estrutural e formal, e a fabricação e montagem. Assim, é possível pensar a reconexão entre arquitetura e construção, áreas por muito tempo dissociadas, de maneira que os arquitetos podem assumir novamente o papel de “mestres construtores”, só que agora por meio do controle e manipulação da informação desde o início até o fim do processo (KOLAREVIC, 2003).

O pensamento algorítmico-paramétrico é fruto da lógica, das tecnologias e das ferramentas computacionais que tem como precedentes conceitos matemáticos como a não-linearidade, a continuidade e a exploração de geometrias topológicas e não-Euclidianas (KOLAREVIC, 2003; OXMAN, 2006). A topologia constitui um ramo da matemática que estuda as propriedades de objetos que são mantidas após variados processos de deformação, como torção, esticamento etc. O que faz da exploração topológica interessante nos projetos arquitetônicos não é o apelo formal, especialmente das formas complexas, mas a possibilidade de manipular as relações e interconexões do objeto arquitetônico para além das transformações dimensionais e estritamente geométricas. Dessa maneira, entende-se que na abordagem topológica o foco está nas relações entre a forma e as informações resultantes de diferentes variáveis que podem ser morfológicas, ambientais, culturais e materiais, entre outras (KOLAREVIC, 2003).

O projeto algorítmico-paramétrico vai além da simples utilização de determinado programa computacional ao explorar as relações entre os diferentes parâmetros formais que compõem um projeto arquitetônico (WHITEHEAD, 2010). Afinal, essa exploração se vale de processos e técnicas de geração, simulação, otimização, avaliação e fabricação através das capacidades digitais e computacionais (OXMAN, 2017). A disseminação desses processos, tanto na academia como na prática arquitetônica, vem alterando as dinâmicas da concepção e produção em arquitetura, o que permitiu não só tornar os processos de projeto mais eficientes, mas ter controle sobre eles em suas diferentes etapas (CAETANO; LEITÃO, 2019; CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2019).

Também é importante destacar que os processos computacionais de projeto são muito diversos, não havendo uma linguagem arquitetônica única, tampouco uma

---

<sup>31</sup> Do original: “...with the use of digital technologies, the design information is the construction information”.

maneira de se construir única (KOLAREVIC, 2003). Como consequência, as diferentes abordagens teóricas relacionadas a esses processos ainda não apresentam um consenso terminológico (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2019). A falta desse consenso também pode ser observada, portanto, ao tratar do estudo da noção de tectônica nesses processos que, a depender do autor, pode ser chamada de “tectônica digital”, “tectônica informada”, “tectônica material”, “materialidade digital”, entre outros. Por isso, nas próximas seções as diferentes abordagens com relação ao processos computacionais de projeto, à prototipagem/fabricação digital e à tectônica nesse contexto serão introduzidas e brevemente discutidas.

### **3.1.1. Os processos computacionais de projeto**

Para a discussão no campo arquitetônico, o termo computacional deve ser entendido “como uma operação ou sequência de operações efetuadas sobre representações simbólicas” (FLEMMING, 1992 apud. CELANI, 2008). Nos processos computacionais de projeto as tecnologias CAD/ CAM, ou seja, tecnologias auxiliadas pelo potencial da computação, são utilizadas desde a concepção do projeto até a construção do edifício. Essas tecnologias viabilizam uma nova maneira de projetar em arquitetura que vai além de diferentes possibilidades de representar graficamente os mesmos processos tradicionais de projeto (CELANI, 2008; OXMAN, 2006). Nos modelos computacionais os projetistas interagem desde o princípio com manipulações explícitas de dados formais, materiais, construtivos, etc. (OXMAN, 2006). Entende-se, então, que a chamada “revolução computacional”, do início do século XXI, possibilita novas maneiras de pensar o projeto, a construção e, conseqüentemente, a arquitetura (CARPO, 2017).

Nesse contexto de utilização extensiva dos sistemas CAD/CAM, expressões como digital e computacional tem sido empregadas para descrever processos de projeto auxiliados por computadores, mas que são de naturezas distintas. A fim de diferenciá-las Caetano, Santos e Leitão (2019) adotam projeto digital<sup>32</sup> para caracterizar processos de projeto que utilizam das ferramentas e das possibilidades advindas do ambiente digital. Já o projeto computacional<sup>33</sup> é utilizado, pelos autores, para processos de projeto desenvolvidos a partir do uso de computação, mas também

---

<sup>32</sup> Do termo original: Digital Design.

<sup>33</sup> Do termo original: Computational Design.

em ambiente digital. Ao tratar dos processos computacionais de projeto, destaca-se que os termos (i) projeto paramétrico<sup>34</sup>, (ii) projeto algorítmico<sup>35</sup> e (iii) projeto generativo<sup>36</sup> são frequentemente confundidos entre si por conta da dificuldade de delimitação dos seus próprios processos (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2019; LEACH, 2014).

O Projeto Paramétrico (PP) é uma abordagem que descreve um projeto baseado no uso de parâmetros<sup>37</sup> (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2019). Oxman (2017) define o PP como um processo de formação<sup>38</sup> baseado na exploração e reedição de relações associativas explícitas de estruturas paramétricas em um espaço de solução geométrico através do auxílio de programas e *plug-ins* paramétricos. Leach (2014) argumenta que apesar do termo se referir ao trabalho com parâmetros em um intervalo definido, na arquitetura o PP compete à utilização de programas computacionais paramétricos que vinculam fatores dimensionais, dentre outros<sup>39</sup>, a geometrias. No projeto paramétrico, conforme explica Woodburry (2010), o projetista estabelece relações entre as partes de um todo ao invés de manipular diretamente a solução projetual, e assim elabora o projeto a partir da edição de relações topológicas. Desta forma, entende-se que o design paramétrico se constitui na construção e edição de relações através de parâmetros dentro de um ambiente computacional e digital.

Ao tratar do Projeto Algorítmico (PA), Leach (2014, p. 2, traduzido pela autora) entende que “o termo algorítmico se refere ao uso de técnicas procedurais de solução de problemas”<sup>40</sup>, como instruções. Entretanto, segundo o autor, na arquitetura o termo se relaciona à utilização de linguagens de programação que permitem ao projetista manipular diretamente códigos aos invés de geometrias. Além disso, o PA explora a capacidade do computador de realizar processos de otimização em um menor intervalo de tempo do que o que seria necessário analogicamente (LEACH, 2014). Oxman (2017, p. 10, traduzido pela autora) define pensamento algorítmico, de forma similar à Leach, como um “... conjunto de regras escritas em códigos de instruções

---

<sup>34</sup> Do termo original: *Parametric Design* (PD).

<sup>35</sup> Do termo original: *Algorithmic Design* (AD).

<sup>36</sup> Do termo original: *Generative Design* (GD).

<sup>37</sup> O termo parâmetro, no campo arquitetônico, pode ser definido como os valores numéricos e/ou características referentes ao projeto que podem ser estabelecidos e modificados pelo projetista.

<sup>38</sup> Do termo original: *form finding*, ou seja, busca da forma

<sup>39</sup> Entende-se que também é possível parametrizar dados referentes a características dos materiais, aos esforços atuantes no edifício, a especificidades climáticas do terreno de implantação, etc.

<sup>40</sup> Do original: “*Algorithmic is a term that refers to the use of procedural techniques in solving design problems*”.

explícitas que iniciam procedimentos computacionais que geram formas digitais”<sup>41</sup>. É importante mencionar que esses códigos são escritos com foco em propósitos/objetivos já determinados e estabelecidos pelo projetista. Ainda, para a autora, a linguagem de processamento de dados do PA permite aos projetistas a adaptação, customização e reconfiguração de componentes dos programas computacionais como parte do processo de refinamento projetual e exploração da solução espacial (OXMAN, 2017).

A respeito do Projeto Generativo (PG), Caetano, Santos e Leitão (2019, p. 8, traduzido pela autora) definem o termo como um “...paradigma projetual que utiliza descrições algorítmicas mais autônomas que o projeto paramétrico”<sup>42</sup>, e apontam que os resultados obtidos costumam ser inesperados devido à falta de rastreabilidade entre os programas generativos e os modelos gerados. Essa indeterminação evidencia um certo grau de “coautoria” entre o ser humano e a máquina (MARENKO, 2015). Por isso, apesar de alguns estudos considerarem que o projeto generativo e o projeto algorítmico constituem o mesmo processo de projeto devido à utilização de algoritmos em ambos, no PA a correlação direta entre o algoritmo e o modelo gerado permite ao usuário identificar quais partes do algoritmo geraram determinadas partes do modelo, o que não acontece no PG (CAETANO; SANTOS; LEITÃO, 2019).

Segundo Caetano e Leitão (2019), os processos computacionais de projeto proporcionaram possibilidades de projeto mais amplas, métodos de construção mais avançados e maior consciência e controle sobre a concepção do projeto por parte dos arquitetos. Entretanto, entre todas as tendências produzidas por esses processos e pelas tecnologias de fabricação digital, para Shelden (2006), nenhuma é mais surpreendente do que seu papel no retorno do interesse em relação à materialidade e à noção de tectônica como termos relevantes em projeto, e como impulsionadores da expressão arquitetônica por esses meios. Por mais que a discussão acerca da tectônica tenha ocorrido independentemente dos processos computacionais de projeto, o aumento das possibilidades formais físicas por meio do uso das mídias digitais reverberou no protagonismo dos aspectos construtivos e materiais na produção da arquitetura contemporânea.

---

<sup>41</sup> Do original: “*Algorithmic Thinking can be defined as a set of rules written by a source code of explicit instructions that initiate computational procedures that generate digital forms*”.

<sup>42</sup> Do original: “*...we define GD as a design paradigm that employs algorithmic descriptions that are more autonomous than PD*”.

### 3.1.2. A fabricação digital

A prática arquitetônica é marcada pela reciprocidade entre os modos de representação gráfica e os modos de construção, ou seja, os arquitetos tendem a desenhar e, portanto, projetar o que é possível construir, e de maneira inversa, construir o que conseguem desenhar (IWAMOTO, 2009; KOLAREVIC, 2003; MITCHELL, 2001). Além das tecnologias advindas da “era digital” ampliarem as possibilidades formais e espaciais, a prática arquitetônica também foi transformada a partir da utilização das tecnologias e ferramentas computacionais. Ao estreitarem a relação entre o projeto, o desenho (ou modelagem) e a construção, essas ferramentas permitiram a interação direta entre o conceber e o construir (IWAMOTO, 2009; KOLAREVIC, 2003). Logo, a construtibilidade está vinculada não só à disponibilidade material, mas às capacidades produtivas das tecnologias computacionais que auxiliam o projeto e dos equipamentos, e métodos, de fabricação digital (KOLAREVIC, 2003).

É cada vez mais difícil considerar processos de projeto que não utilizem as potencialidades dos computadores em algum nível, desde a concepção até a construção. Ao associar a programação, seja para modelagem, simulações, otimizações e/ou gerenciamento de custos, à manufatura auxiliada por computador, é possível simplificar a produção (IWAMOTO, 2009). Através da utilização da lógica computacional são estabelecidas regras e relações que permitem elaborar, checar e refinar processos de decisão de projetos que são altamente informados por sequências de operações previamente determinadas pelo arquiteto (GRAMAZIO; KOHLER, 2008). É importante destacar que apenas desenhar digitalmente é diferente de projetar computacionalmente e, ainda mais, de fabricar digitalmente através de dados algorítmicos parametrizáveis.

A fabricação digital utiliza a tecnologia chamada CNC, Controle Numérico Computadorizado<sup>43</sup>, em que os movimentos das máquinas são controlados pela interpretação dos dados, ou instruções, referentes ao objeto a ser fabricado, que são gerados nos programas computacionais. Por isso, os processos em que são aliados o projeto computacional e a fabricação digital são chamados de “*file-to-factory*”<sup>44</sup>

---

<sup>43</sup> Do termo original: *Computer Numerical Control*.

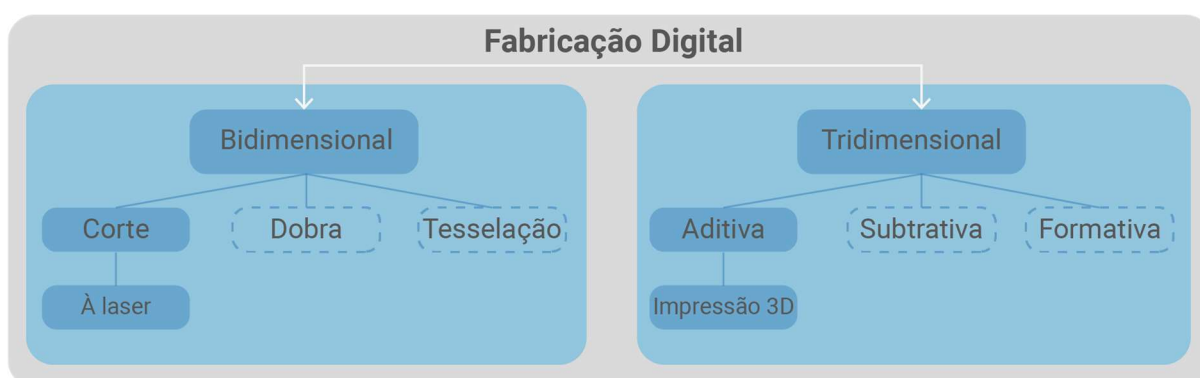
<sup>44</sup> Em português seria: “do arquivo para a fábrica”. Ou seja, o processo segue direto do projeto computacional para a fabricação.

(KOLAREVIC, 2003). Nesses processos os arquitetos são os responsáveis pela etapa de concepção do projeto e, conseqüentemente, pela manipulação dos dados que serão interpretados pelas máquinas CNC. Por isso, os arquitetos também se aproximam da etapa da construção, tomando o controle do processo construtivo e assumindo o papel de mestres-construtores da informação (CARPO, 2013; KOLAREVIC, 2003).

Projetar e construir com o auxílio de computadores garante, além dos benefícios econômicos e industriais, diversas possibilidades formais, materiais e construtivas. Para que o resultado seja alcançado é necessário que o arquiteto conheça as capacidades e limitações produtivas das técnicas de fabricação, assim como dos materiais utilizados em cada uma delas. Por isso, essas especificidades devem ser consideradas pelo arquiteto desde o início do processo e projeto, de maneira que a decisão acerca das técnicas e materiais deve estar alinhada com a intenção projetual (IWAMOTO, 2009; KOLAREVIC, 2003).

As técnicas de fabricação digital são muito diversas entre si, e autores como Branko Kolarevic (2003) e Lisa Iwamoto (2009) se propuseram a categorizá-las, e a partir dessas definições e organizações é que serão apresentadas e discutidas algumas das principais técnicas. Inicialmente elas podem ser divididas entre: (i) as bidimensionais, em que estão incluídas as técnicas de corte, dobra e tesselação (ou tecelagem), e (ii) as tridimensionais, em que estão incluídos os métodos de fabricação aditiva, subtrativa e formativa. Apesar desta categorização, destaca-se que a partir da modelagem bidimensional de determinado objeto pode-se utilizar de um processo de fabricação digital bidimensional. Na figura 10, são destacadas as técnicas de fabricação utilizadas no exercício prático deste estudo (abordado no próximo capítulo).

Figura 10 – Esquema gráfico das técnicas de fabricação digital.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### **- Fabricação Digital Bidimensional:**

É bastante comum a utilização dessas técnicas na arquitetura, seja para fabricação digital de objetos em escala real ou para a prototipagem rápida. Mesmo que sejam bidimensionais elas permitem a construção de superfícies complexas, desde que haja a devida atenção na escolha da estratégia capaz de melhor preservar as características do projeto inicial, seja corte, dobra, contorno ou tesselação (IWAMOTO, 2009; KOLAREVIC, 2003).

O corte, uma das técnicas mais utilizadas, pode produzir superfícies ou componentes estruturais a partir da união de uma série de perfis cortados em intervalos definidos. As cortadoras CNC possuem diferentes tecnologias de corte como laser, plasma ou jato de água, e envolvem o corte, e marcação, de materiais bidimensionais, como chapas de papelão, metal, compostos plásticos, entre outros. Mesmo que todas as cortadoras operem a partir do mesmo princípio, a escala do objeto, o tipo e a espessura máxima do material a ser cortado varia conforme as especificidades de cada máquina (IWAMOTO, 2009; KOLAREVIC, 2003). Segundo Iwamoto (2009), por mais que essas cortadoras à laser tenham o potencial de auxiliar a construção em escala real normalmente são utilizadas para a prototipagem rápida por conta do tamanho das máquinas. Já as fresadoras CNC, que apesar de possibilitarem a fabricação tridimensional também cortam bidimensionalmente, já conseguem fabricar objetos em escala 1:1.

A dobra, que é uma técnica materialmente econômica e estruturalmente eficaz, permite transformar uma superfície plana em uma tridimensional sem a perda ou a transformação das características do material dobrado. Através das capacidades da fabricação digital materiais maleáveis como chapas metálicas e papéis com maior espessura podem ser vincados nas cortadoras à laser, por exemplo, e então dobrados. Entretanto, ao contrário do corte, a eficácia da dobra depende das propriedades do material utilizado, de modo que há uma relação direta entre o material e a técnica de fabricação. Ao projetar relações arquitetônicas que envolvam a dobra, os arquitetos devem escolher materiais que sejam capazes, elásticos e plasticamente, de dobrar também. Por isso, a tectônica da dobra exige que o projeto considere as características materiais e físicas desde o início do processo de projeto (IWAMOTO, 2009).

A tesselação, na arquitetura, se refere à combinação de peças para formar uma superfície, como nos mosaicos, nos vitrais e padrões de azulejos que revestem

os edifícios. No contexto da fabricação digital, o termo tesselação também se refere aos padrões de malhas poligonais, ou *meshes*, definidos digitalmente que são capazes de produzir formas curvas a partir de materiais planos. Esta técnica requer o remapeamento da superfície projetada, de modo que a disposição de painéis bidimensionais consigam conformá-la. Com isso, ao invés de serem limitados pelas possibilidades formais tradicionais, os arquitetos podem cortar chapas de diversos materiais em escalas diferentes e construir uma mesma superfície com várias curvaturas. Portanto, há uma relação entre o comportamento do material, da atenção às junções entre as peças e a forma gerada (IWAMOTO, 2009). Nesse ponto, os robôs, controlados por computador como máquinas CNC, podem auxiliar a montagem dessas superfícies, por sua capacidade de mover, perfurar, fixar, etc. cada componente construtivo com precisão (IWAMOTO, 2009; KOLAREVIC, 2003).

#### **- Fabricação Digital Tridimensional:**

A fabricação aditiva parte do princípio de formação incremental através da deposição de material camada a camada. A fim de possibilitar essa deposição, o modelo digital deve ser separado em camadas bidimensionais, em um procedimento chamado de fatiamento. Ao longo do desenvolvimento dessa técnica surgiram diferentes máquinas capazes de fabricar objetos depositando camadas de materiais em cima de outras camadas, sendo as impressoras 3D as mais comuns atualmente (KOLAREVIC, 2003). Há diferentes tipos e modelos de impressoras capazes de imprimir utilizando materiais diversos, como as que utilizam compósitos plásticos derretidos para a prototipagem rápida, mais comuns e menores. Mas também existem impressoras 3D que permitem, com o auxílio de braços robóticos, a impressão com materiais como argila e concreto em escala real.

Essa técnica permite uma exploração formal com curvas mais complexas, e modifica o raciocínio tectônico da separação entre estrutura, junção e construção, visto que esses elementos se unem em um só. Além disso, como cada máquina utiliza determinado material, deve-se considerar suas características e especificidades desde o início do processo de projeto. Segundo Kolarevic (2003) algumas das principais limitações na aplicação da impressão 3D pela indústria construtiva se referem às dimensões das máquinas e, portanto, dos objetos produzidos, o tempo de produção longo e o custo do equipamento.

A fabricação subtrativa, ao contrário, parte da remoção de volume material de peças sólidas em processos redutivos que podem ser elétricos, químicos ou mecânicos, sendo este último conhecido como fresagem, ou usinagem, que é muito utilizada na produção de moldes na indústria da construção. A fresagem pode ser feita em dois ou três eixos de movimento simultaneamente, através de máquinas CNC, a depender das capacidades de cada máquina. Além disso, pode ser realizada em diferentes velocidades de rotação, dependendo das propriedades de cada material, como dureza e espessura (KOLAREVIC, 2003).

Uma das potencialidades da fresagem, chamada de contorno por Iwamoto (2009), é a capacidade de alcançar formas e superfícies com curvaturas complexas mais precisamente que outras técnicas, como corte ou tesselação. Para que esse resultado seja possível é necessário que o projetista defina, através do programa computacional utilizado, o tamanho e o tipo de fresa, o material a ser fresado e o caminho de deslocamento da fresa. Assim, ao escolher esse método de fabricação deve-se considerar as limitações da máquina e do material, que impactam diretamente na possibilidade formal (IWAMOTO, 2009).

Já no que se refere à fabricação formativa, ou moldagem, forças mecânicas, calor ou vapor são aplicados a um material a fim de moldá-lo na forma desejada. O mais comum é que os moldes sejam feitos através de fresadoras CNC e máquinas de prototipagem rápida (IWAMOTO, 2009; KOLAREVIC, 2003). Depois de fabricados os moldes, pode-se seguir para a produção, muitas vezes em massa, de componentes arquitetônicos como montantes de janela, painéis para fachadas, objetos de ornamentação, além de lajes e paredes estruturais pré-moldadas. Nesses processos o padrão de roteamento<sup>45</sup>, como espiral ou paralelo, pode ser intencionalmente deixado visível no resultado final constituindo parte do projeto (IWAMOTO, 2009).

Por mais que a moldagem não seja um processo digital em si, a fabricação digital possibilitou a produção de moldes personalizáveis com economia de custos, e como resultado do rigor e exatidão computacional conseguiu reduzir os erros relacionados à imprecisão dos processos tradicionais. Essa técnica, associada à fabricação digital, talvez seja a que tenha a maior aplicação para a arquitetura em grande escala por conta de sua capacidade de produzir moldes personalizáveis, com maiores dimensões e menores custos (IWAMOTO, 2009).

---

<sup>45</sup> Roteamento pode ser entendido como a escolha do caminho de deslocamento da fresa.

### 3.2. A Nova Tectônica

Pouco tempo depois da publicação do *Studies...* de Frampton, o arquiteto e professor australiano William J. Mitchell (1944-2010) tratou da dicotomia entre a tectônica e o digital em seu ensaio *Antitectonics: The Poetics of Virtuality*<sup>46</sup>, publicado em 1998. Mitchell (1998) indica a aparente oposição conceitual entre os termos, mas argumenta que essa oposição ficou menos demarcada após a introdução da fabricação digital nas práticas arquitetônicas. O autor afirma que a materialidade se beneficiou da lógica de projeto procedural dos processos computacionais, e que mesmo uma arquitetura gerada através de ambientes digitais pode ser dotada de elementos tectônicos bem trabalhados, especialmente se o projeto estiver associado às tecnologias CAD/CAM (MITCHELL, 1998). Isso acontece porque essas tecnologias possibilitam uma maneira declarada de integrar e mediar os elementos da tectônica, e é a partir desse raciocínio que a noção de tectônica ganha relevância nas discussões teóricas da arquitetura digital (HVEJSEL; BEIM; BUNDGAARD, 2015; OXMAN, 2012).

Apesar dessas possibilidades, alguns estudiosos dos processos computacionais de projeto acreditam que interpretação tradicional da noção de tectônica, como a de Frampton, não abarca todas as particularidades desse novo paradigma, de maneira que seu entendimento, como conhecido até então, precisou ser revisto a partir da perspectiva computacional (OXMAN, 2012). Ao longo dos anos, desde o início dos anos 2000, foram propostas, em publicações e eventos científicos, diferentes abordagens para a noção de tectônica frente ao contexto digital. Essas variadas abordagens apontam e consideram uma “nova tectônica” como estratégia de explorar a concepção formal e a manipulação das propriedades materiais e construtivas, através dos processos generativos, de análise e simulação, e de fabricação digital (AL-ALWAN; MAHMOOD, 2020; YAN; YUAN, 2021).

#### 3.2.1. Tectônica digital: nova metodologia, mesmo raciocínio construtivo.

Em um dos primeiros estudos que tratou diretamente da noção de tectônica digital, Beesley e Seebohm (2000) caracterizam a tectônica digital como uma metodologia de projeto que integra o projeto digital aos métodos construtivos tradicionais. Os autores argumentam que a manipulação do objeto arquitetônico pode

---

<sup>46</sup> Em português seria: “Anti-TECTÔNICA: a poética da virtualidade”.

tender à certa abstração<sup>47</sup> espacial em detrimento da construção física, o que pode acontecer, por exemplo, se o arquiteto não considerar as variáveis relacionadas às forças atuantes no edifício, como a gravidade. A tectônica digital, como considerada por eles, é justamente o que permite lidar com essa possível abstração ao combinar o uso de algoritmos digitais e ordenações geométricas aos componentes físicos construtivos. Beesley e Seebohm concluem seu artigo defendendo que a utilização das ferramentas digitais para a experimentação formal e concepção projetual associada à intencionalidade material é capaz de produzir uma arquitetura com forte caráter tectônico (BEESLEY; SEEBOHM, 2000). Assim, para os autores, a tectônica digital constitui uma metodologia de projeto que combina fatores como eficiência e expressividade, seminais à arquitetura, em projetos concebidos e representados digitalmente mas construídos através das técnicas tradicionais.

### 3.2.2. Tectônica digital: um novo paradigma de projeto.

Para entender a tectônica digital como um novo paradigma de projeto deve-se considerar que as capacidades computacionais passaram a fazer parte do processo de projeto, desde a concepção até a fabricação, sob o controle e manipulação do arquiteto (LEACH, 2009). Dentre essas capacidades, a solução projetual do tipo *form-finding*<sup>48</sup> destaca-se como uma das mais relevantes, porque não se refere apenas a uma técnica computacional, mas à busca de uma expressividade tectônica resultante da associação entre forma, construção e performance, seja material, estrutural, ambiental, etc. (LEACH, 2009; SCHMIDT; KIRKEGAARD, 2005). Diversos autores interpretam a noção da tectônica digital como esse novo paradigma de projeto, mas existem similaridades e diferenças nessas diferentes interpretações que serão exploradas nesta seção da dissertação.

Na antologia *Digital Tectonics*<sup>49</sup>, publicada 2004, Neil Leach, David Turnbull e Chris Williams, utilizam o termo “tectônica digital” como uma tentativa de ressignificar a noção de tectônica com viés mais tradicional, como a utilizada, e popularizada, por Kenneth Frampton (SCHUMACHER, 2017). O conceito da tectônica digital é definido pelos autores como um novo paradigma no processo de projeto arquitetônico

---

<sup>47</sup> Destaca-se que os autores não tratam da abstração na representação gráfica, que em muitos casos é maior nos projetos desenhados à mão sob o papel do que modelos construídos em ambientes digitais.

<sup>48</sup> Em português seria: encontrar a forma.

<sup>49</sup> Em português seria: Tectônica Digital.

possibilitado pelas tecnologias digitais e evidenciado pela crescente relevância dos elementos materiais e estruturais no projeto digital (JABI, 2004; OXMAN, 2012). Essa mudança de paradigma se estabeleceu através da viabilidade de manipulação paramétrica dos elementos que compõem a tectônica, e da capacidade computacional na geração de soluções otimizadas no que se refere à eficiência estrutural, ambiental, acústica e funcional, por exemplo (AL-ALWAN; MAHMOOD, 2020; PUIG; BRUSCATO, 2020).

Seguindo uma linha de raciocínio parecida, Gao (2004) argumentou que ao utilizar as tecnologias digitais, CAD/ CAM, é imprescindível considerar as novas possibilidades de materiais, de métodos e de técnicas construtivas na concepção do projeto. Sabe-se que nos processos computacionais é possível manipular diretamente as informações referentes aos componentes arquitetônicos, desde a concepção até a fabricação. Portanto, para Gao (2004), a tectônica digital é a expressividade resultante da capacidade de inter-relacionar, de maneira lógica e intencionalmente projetada, a forma arquitetônica e a modificação de parâmetros referentes às características dos materiais e componentes construtivos. A expressão dessa intencionalidade, segundo Gao (2004), acontece quando a ideia abstrata é desenvolvida através do projeto e transformada em realidade por meio da construção, em um processo não necessariamente linear. Por isso, a possibilidade de manipulação direta das relações entre forma, material e construção constitui um novo paradigma em projeto, que quando associado à fabricação digital permite gerar a expressividade da arquitetura, ou seja, a tectônica digital.

Ainda em 2004, Wassim Jabi propõe que a noção de tectônica de Frampton pode ser atualizada para o conceito de tectônica digital, a poética de uma arquitetura concebida, declarada e fabricada digitalmente. Ao defender que as diferentes tecnologias digitais trouxeram a possibilidade de transformar em objetos físicos as ideias concebidas, e modeladas, em ambientes digitais, especialmente através da fabricação digital, o autor aponta como a teoria, a prática e a expressividade estão associados no processo de projeto digital e computacional. Dessa maneira, Jabi (2004) argumenta que os projetos advindos de processos digitais e computacionais podem ser dotados de caráter tectônico, isso se o projeto mantiver os aspectos mais significativos da tradição tectônica ao endereçar as mudanças técnico-culturais, especialmente construtivas, provenientes da incorporação do digital na arquitetura.

A integração entre a programação computacional e a fabricação digital nos diferentes processos de projeto gerou o que Gramazio e Kohler (2008) chamam de “materialidade digital”. Esse termo, segundo os autores, descreve uma transformação da expressividade arquitetônica que ocorre através da relação direta entre as características materiais e construtivas e as possibilidades advindas do digital, como programação e controle de dados. A síntese entre a programação e a construção permite que o arquiteto controle o processo de projeto do início ao fim. Além disso, essa relação requer que os dados relativos ao material e, conseqüentemente, ao método construtivo a ele vinculado, informem, ou determinem, o projeto desde o início do processo. Assim, entende-se que as especificidades do material e das técnicas construtivas, ou seja, de fabricação, constituem uma parte fundamental da noção de tectônica no contexto de produção computacional (GRAMAZIO; KOHLER, 2008).

Com uma abordagem similar, para Oxman (2012) as tecnologias de fabricação digital ampliaram a função da materialidade, e do material em si, como parte fundamental do pensar a tectônica da arquitetura digitalmente. Em seu estudo, a autora explora como a estruturação, codificação e fabricação dos componentes materiais contribui para a consolidação da tectônica digital no projeto baseado em materiais<sup>50</sup> e vice-versa. Para Oxman, o projeto baseado em materiais é um processo em que as técnicas digitais possibilitam, através da informação, a melhor associação entre material, estrutura e forma nas lógicas de fabricação digital. Assim, a autora sugere o termo “tectônica informada” como a competência operacional que delinea uma nova tectônica nos projetos baseados em materiais. Nos processos de projeto que consideram os aspectos e particularidades da tectônica informada as formas, as condições materiais e as lógicas de fabricação são integradas nos estágios iniciais do projeto. Nesse contexto, a fabricação digital não deve ser reduzida a técnicas de prototipagem, mesmo que sejam diversas, visto que é uma parte substancial do processo de projeto computacional e das relações tectônicas mais complexas da contemporaneidade (OXMAN, 2012).

O arquiteto Patrick Schumacher<sup>51</sup>, em publicação de 2017, caracteriza a tectônica digital como uma espécie de ramificação do paradigma contemporâneo de projeto, o “parametricismo”<sup>52</sup>. Segundo ele, essa ramificação, denominada

---

<sup>50</sup> Do original “*material-based design*”.

<sup>51</sup> Arquiteto e sócio do escritório de arquitetura *Zaha Hadid Architects*.

<sup>52</sup> Do original “*Parametricism*”.

“tectonismo”, é dotada de variedade formal e expressividade arquitetônica a partir de processos declarados que unem parâmetros focados na eficiência e otimização, estrutural e ambiental. Tudo isso é possibilitado pelas ferramentas computacionais generativas que estão diretamente ligadas à fabricação digital, cujo papel na articulação tectônica entre as lógicas formal, estrutural, ambiental e expressiva é considerado como fundamental. Schumacher argumenta que a competência essencial da arquitetura é a articulação entre as dimensões técnicas, sociais e comunicativas, o que ele chama de “articulação tectônica”. Assim, para o arquiteto, a tectônica digital não só é capaz de produzir uma arquitetura expressiva, mas também de articular a função do abrigo, a lógica estrutural e a performance ambiental, entendidas por ele quase como diretrizes para a arquitetura, através das tecnologias computacionais e de fabricação digital (SCHUMACHER, 2017).

Mais recentemente, Al-Alwan e Mahmood (2020) defendem que mesmo que a tectônica digital apresente particularidades relacionadas à uma nova lógica de processo de projeto, os fundamentos teóricos da tectônica tradicional (apresentados no capítulo anterior) são mantidos. Por isso, para as autoras, a tectônica digital é considerada como uma nova maneira de pensar a arquitetura que vai além da inclusão das ferramentas digitais e da atualização conceitual da noção de tectônica, constituindo um processo metodológico integrado entre os aspectos estéticos e técnicos, abstratos e concretos, simbólicos e funcionais da arquitetura (AL-ALWAN; MAHMOOD, 2020).

A mudança no pensamento de projeto proporcionada pela tectônica digital, de acordo com Yan e Yuan (2021) recoloca as propriedades materiais e a lógica construtiva como parte fundamental da concepção projetual. Além disso, a arquitetura está passando por uma transformação de um paradigma produtivo industrial para um modo produtivo em que o processo criativo e a própria tectônica envolvem as tecnologias computacionais como base para a geração formal. Dessa maneira, a tectônica digital constitui um processo integrado que inclui, além das propriedades materiais e estruturais, as possibilidades formais advindas das tecnologias CAD/CAM. Para os autores, a tarefa da expressividade na tectônica digital é a de fornecer uma representação da dinâmica estrutural e material que comunique a lógica computacional por trás de sua produção (YAN; YUAN, 2021).

### 3.3. Os elementos que constituem a nova tectônica

Ao longo do desenvolvimento da noção de tectônica, desde Schinkel até Frampton, é possível observar que a intencionalidade, ou seja, a ideia abstrata, passa a existir no ato de construir, que resulta no edifício arquitetônico, através dos componentes materiais, estruturais e construtivos (GAO, 2004). Entretanto, desde a utilização de variadas tecnologias digitais nas diferentes etapas do processo de projeto, a partir dos anos 1990, as fases de concepção, manipulação e construção vem sofrendo modificações. No campo teórico da arquitetura buscou-se acompanhar o desenvolvimento de novos materiais, métodos construtivos, contextos socioculturais, novas filosofias e tecnologias (LIU; LIM, 2006). Por mais que o entendimento da noção de tectônica, antes e depois da inserção das tecnologias computacionais no processo de projeto, tenha bases teóricas similares como o foco no relacionamento entre o aspecto construtivo e sua expressividade, a inserção de uma nova lógica de projeto resultou na transformação de certos aspectos no pensamento de projeto (AL-ALWAN; MAHMOOD, 2020). Dessa maneira, alguns estudos se propuseram a sistematizar os elementos e estratégias que constituem a chamada tectônica digital.

Ao argumentar que a produção de projeto digital tem um processo de projeto mais declarado e dinâmico que os processos tradicionais, Gao (2004) sumariza os elementos que constituem essa nova tectônica digital: (i) Conceito; (ii) Manipulação; (iii) Forma; (iv) Construção; (v) Espaço. O conceito é o elemento que considera os processos dinâmicos no desenvolvimento do projeto, como estratégias de simulação e otimização no que se refere aos fatores ambientais e estruturais. A manipulação está vinculada ao processo de experimentação formal, através do estabelecimento e modificação de parâmetros, e é o elemento que possibilita a manipulação direta dos aspectos formais, materiais, estruturais e construtivos do objeto de projeto. A forma é o que permite que a modificação dos componentes projetuais seja feita diretamente no modelo digital, de maneira que as imagens produzidas demonstrem como a forma gerada considera, dinâmica e expressivamente, as intenções de projeto. A construção está relacionado à materialidade no ambiente digital, em que os componentes materiais e construtivos são transformados em informação, ou seja, nos processos computacionais de projeto os dados sobre os materiais são informação de entrada para diferentes configurações paramétricas. Por fim, o espaço enfatiza a interação,

não só entre os aspectos anteriores, mas também entre a forma arquitetônica, o contexto em que está inserida e as pessoas, através da dinamicidade dos processos digitais, de maneira que o edifício construído seja dotado de expressividade.

Ao estudarem os fenômenos envolvidos nos projetos digitais, Liu e Lim (2006) destacam a dinamicidade na concepção de projeto, a evolução formal generativa auxiliada por programas computacionais algorítmico-paramétricos, a possibilidade de trabalhar com características dos materiais como dados que informam o projeto, e a exploração de novos métodos de construção através da fabricação digital. Com base nesses fenômenos Liu e Lim (2006) sistematizam como elementos da nova tectônica: (i) Formação; (ii) Manipulação; (iii) Informação; (iv) Fabricação. A formação, enquanto elemento, pode ser definida pelos procedimentos de experimentação formal que utilizam técnicas algoritmo-paramétricas como auxílio nos processos tipo *form-finding*. A manipulação refere-se ao controle, pelo arquiteto, das operações dinâmicas na concepção de projeto e evolução formal. A informação pode ser considerada como o elemento que permite trabalhar com os dados materiais no ambiente digital através das ferramentas computacionais, de maneira mais dinâmica e responsiva que nos processos tradicionais. Já a Fabricação está relacionada à prototipagem rápida que, possibilitada pelas tecnologias CAD/ CAM, permite a manufatura digital dos diferentes componentes projetuais e a exploração de novos métodos construtivos.

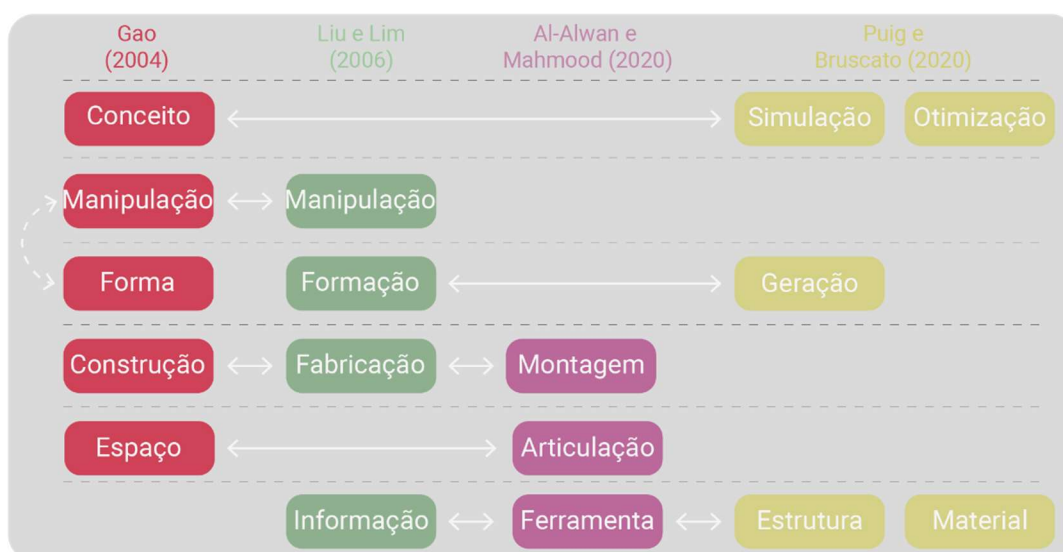
Mais recentemente, após o desenvolvimento de novos programas computacionais de programação visual para arquitetos e o estabelecimento das tecnologias de fabricação digital, outros estudos buscaram sintetizar a tectônica digital em seus elementos principais. Al-Alwan e Mahmood (2020) propõem a “tríade da tectônica digital” que inclui os seguintes elementos: (i) Ferramenta; (ii) Articulação; (iii) Montagem. A ferramenta é o elemento que trata dos aspectos técnicos e ontológicos da produção arquitetônica, como os programas computacionais que auxiliam o projeto e a fabricação. A articulação inclui as dimensões poéticas, simbólicas e culturais da arquitetura. A montagem considera os novos métodos construtivos, através da fabricação digital, e as maneiras de montar e unir cada um dos componentes fabricados.

Depois do aprofundamento teórico acerca das diferenças e similaridades da noção de tectônica antes e depois da inserção das tecnologias digitais, Puig e Bruscatto (2020) argumentam que a essência da tectônica é mantida nos processos computacionais, mas adquire uma perspectiva mais complexa como resultado das

capacidades digitais. Por isso, os autores sugerem que os elementos da tectônica digital são a combinação das relações entre material, estrutura e construção (elementos da tectônica previamente apresentados) com as competências da morfogênese digital, que incluem: (i) geração da forma, através de processos computacionais generativos; (ii) simulação ambiental e estrutural, auxiliada pelos programas computacionais mas considerando as especificidades e necessidades de cada projeto; (iii) otimização, que busca atingir a eficiência no edifício arquitetônico, através do estabelecimento de critérios pelo arquiteto.

A partir da análise dos estudos aqui apresentados observa-se que há uma convergência terminológica menor entre os elementos propostos em cada um, de modo que alguns termos nominalmente distintos são conceitualmente similares, como é o caso (i) do Conceito que inclui a Simulação e Otimização; (ii) da Construção, Fabricação e Montagem que se referem a essencialmente o mesmo processo; (iii) do Espaço e Articulação que aludem ao aspecto artístico-simbólico do edifício construído; (iv) da Informação, Ferramenta, Estrutura e Material que tratam das possibilidades dos programas computacionais de trabalhar e considerar como dados os componentes estruturais e materiais. Mas também é possível observar que termos nominalmente parecidos não são necessariamente iguais, como é o caso de Forma e Formação, que por mais que estejam relacionados, entende-se que a Forma se aproxima mais da Manipulação, enquanto a interpretação da Formação está mais próxima da Geração (Figura 11).

Figura 11 - Elementos da nova tectônica.



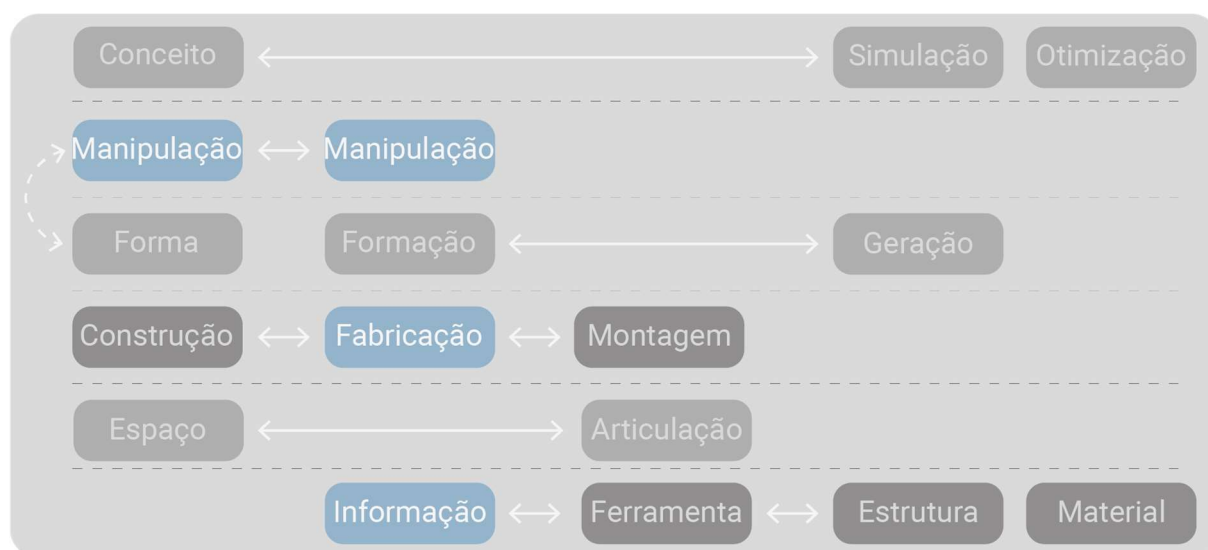
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 3.4. Síntese

A partir do estudo da fundamentação teórica apresentada confirma-se que a noção de tectônica continuou sendo desenvolvida ao longo dos anos a partir das novas possibilidades tecnológicas, das demandas contemporâneas e das elaborações entre o saber e o fazer no ambiente digital. Entende-se que mesmo com as particularidades dos processos computacionais, o caráter expressivo da tectônica, e sua capacidade de articular as dimensões artísticas e técnicas da arquitetura, se mantém nos processos computacionais de projeto e de fabricação digital.

A fim de elaborar uma síntese dos elementos da nova tectônica é necessário pensá-los a partir de suas similaridades conceituais e não terminológicas, além de suas aproximações com os elementos da tectônica previamente apresentados no primeiro capítulo (Figura 12).

Figura 12 – Síntese dos elementos da nova tectônica.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Dessa maneira, destacam-se:

- **Informação:** elemento em que características materiais e estruturais configuram dados de entrada para manipulações paramétricas nos processos computacionais;

- **Manipulação:** elemento que considera que a maneira controlar as experimentações formais e de operar componentes construtivos, ou até outros elementos, é facilitada pelas ferramentas computacionais;

- Fabricação: elemento que trata da materialização do objeto arquitetônico e é considerado desde o início do processo de projeto.

Acredita-se que esses elementos mantêm o entendimento da noção de tectônica “tradicional”, mas com as potencialidades dos processos computacionais, em que os elementos da tectônica podem ser informados declaradamente, manipulados diretamente e fabricados digitalmente.

#### **4. POSSÍVEIS PARALELOS NA NOVA TECTÔNICA: EXERCÍCIO DE ANÁLISE EM OBJETOS ARQUITETÔNICOS**

Nos primeiros capítulos foi realizada a investigação do desenvolvimento da noção de tectônica, desde o século XIX até o início do século XXI quando passou a ser considerada como aspecto importante nos processos computacionais de projeto. A fim de compreender melhor as relações entre todas as abordagens, foi conduzido um estudo acerca dos elementos que compõem a noção de tectônica frente às tecnologias computacionais de projeto e de fabricação digital.

Nesse capítulo apresenta-se uma sistematização desses elementos tendo como base a fundamentação teórica construída até aqui e a síntese dos elementos elencados nos primeiros capítulos, destacando suas principais diferenças e similaridades. Além disso, com o objetivo de identificar possíveis níveis de manipulação dos elementos da tectônica nos processos computacionais de projeto associados à fabricação digital, essa sistematização é aplicada em um exercício de análise de objetos arquitetônicos prototipados.

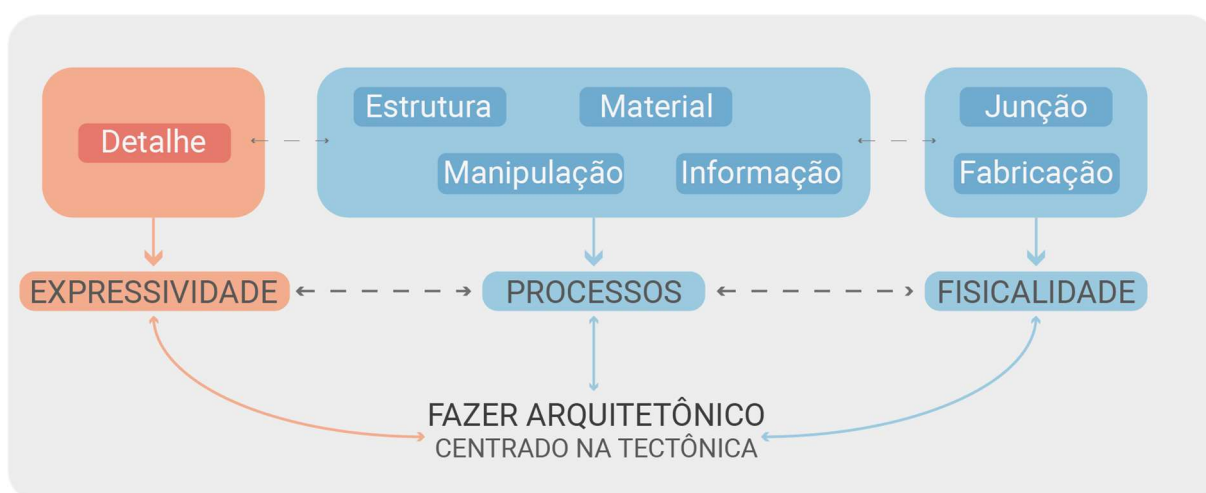
Destaca-se que o experimento realizado não pretende estabelecer uma definição e, até mesmo, sistematização final da noção de tectônica na teoria da arquitetura contemporânea, e sim encontrar uma outra maneira de refletir sobre as questões teóricas no campo prático. Mas um campo prático hipotético, ainda distante da realidade da indústria da arquitetura e construção civil. Por isso, esse experimento funciona como uma exploração da nova tectônica, através da interpretação das potencialidades e dificuldades de sua aplicação nos processos computacionais de projeto.

##### **4.1. Sistematização dos Elementos de Análise**

Ao analisar as diferentes proposições de sistematizações da tectônica, em seus elementos fundamentais, são observadas certas relações de similaridade e algumas divergências entre elas, especialmente terminológicas. Busca-se discutir, a partir de equivalências conceituais, a pertinência de se pensar a tectônica diante dos processos computacionais de projeto. Por isso, acredita-se que a investigação dessas relações pode auxiliar na elaboração de uma compreensão própria dos elementos fundamentais para a discussão de uma “nova tectônica” no presente estudo.

Diante, especialmente, da abordagem de Frampton (1995), entende-se que as considerações acerca da noção de tectônica nos distintos processos computacionais de projeto e de fabricação digital indicam um cenário de mudanças paradigmáticas nos modos de pensar, projetar e construir (CARPO, 2013, 2017; LEACH, 2014; OXMAN, 2017; PICON, 2020). Mesmo com essas mudanças, a noção de tectônica como a inter-relação entre os aspectos artístico-simbólicos e técnico-construtivos permanece como um ponto de convergência teórica. Dessa maneira, acredita-se que a tectônica pode ser considerada a partir de três grandes áreas do fazer arquitetônico que se complementam ao se inter-relacionarem: Expressividade, Processos e Fisicalidade (Figura 13).

Figura 13 – Grandes áreas do fazer arquitetônico centrado na tectônica e seus elementos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A fim de consolidar essa proposição, evidenciam-se os elementos, comuns às sistematizações apresentadas previamente, que compõem cada uma dessas grandes áreas:

- O **Detalhe** é o elemento ligado à expressividade do fazer arquitetônico. O detalhe normalmente é considerado na envoltória do edifício, como ornamento, ou revestimento interno e externo. Seguindo o desenvolvimento teórico do primeiro capítulo, acredita-se que esse elemento é vinculado ao aspecto artístico-simbólico da arquitetura;

- **Estrutura** e **Material** são os elementos ligados aos processos do fazer arquitetônico, que no contexto computacional podem ser considerados como

**Informação**, ou seja, suas propriedades constituem dados de entrada que informam o projeto, inclusive a **Manipulação** formal e paramétrica. Esses elementos estão vinculados aos aspectos técnico-construtivos da arquitetura, e especialmente no contexto computacional, são considerados desde o início do projeto e determinam os modos do fazer arquitetônico;

- **Junção e Fabricação** (ou Construção) são os elementos ligados à fisicalidade do fazer arquitetônico, e estão relacionados aos métodos e técnicas do fazer arquitetônico. Estão vinculados aos aspectos técnico-construtivos da arquitetura e são diretamente impactados pelos processos do fazer, além de influenciarem a expressividade do fazer.

É importante destacar que como esses elementos são inter-relacionados, em alguns casos, a junção pode assumir o papel de detalhe, em outros a escolha do material, do sistema estrutural ou da técnica construtiva é que vai determinar a expressividade da arquitetura. A maneira como cada um desses elementos é considerada no edifício arquitetônico vai depender da intencionalidade do arquiteto, e de sua habilidade de associar os aspectos artístico-simbólicos e técnico-construtivos na concepção e execução do projeto.

#### **4.2. Descrição do Estudo Prático**

A fim de identificar, nos processos computacionais de projeto e de fabricação digital, possíveis níveis de manipulação dos elementos da tectônica, o estudo foi conduzido em duas etapas, como previamente mencionado na seção 1.3. *Metodologia*.

Na primeira etapa, foi analisada a fase de concepção projetual de torres paramétricas, que aconteceu como exercício da disciplina Projeto Paramétrico e Fabricação Digital, cursada remotamente, durante a pandemia da COVID-19, por alunos de graduação e pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Antes de os alunos darem início aos projetos, a professora responsável pela disciplina deu uma capacitação sobre o projeto algorítmico no *Grasshopper*, com o objetivo de apresentar as possibilidades do programa. Também foi apresentada uma introdução sobre os componentes arquitetônicos que deveriam ser considerados nos projetos das torres, como a estrutura, a divisão em 20 pavimentos, a envoltória, além do material e da

técnica de fabricação digital utilizada para a prototipagem<sup>53</sup>. Não houve restrições formais ou conceituais, mas foi exigido que as torres fossem projetadas no ambiente virtual do *Rhino* + *Grasshopper*, e que os resultados fossem entregues em pranchas contendo o conceito formal, o código e o render do projeto. Dessa maneira, os dados coletados na primeira etapa consistiram não só das pranchas de apresentação e códigos dos projetos das torres (em arquivos com formato *.gh*), mas também da participação ativa do processo de concepção, inclusive como aluna da disciplina.

Na segunda etapa, realizada através do workshop “Tectônica e Fabricação Digital”, foi analisado o processo de fabricação digital das torres desenvolvidas na disciplina. O workshop foi conduzido com a participação voluntária de membros do grupo de pesquisa NÓ (Núcleo de Investigação em Meios Digitais, Arquitetura e Cidade), do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa. No workshop foi introduzida brevemente a questão da noção de tectônica, “tradicional” e “digital”, nos processos computacionais de projeto e de fabricação digital, além de terem sido apresentadas todas as torres desenvolvidas na disciplina para que então fossem selecionadas as torres que seriam fabricadas coletivamente, por meio de prototipagem. Após a etapa de prototipagem o grupo de responsáveis e voluntários voltou a se reunir para discutir os resultados. Dessa maneira, os dados foram coletados através da participação ativa em toda a etapa, por meio de imagens do processo de prototipagem, dos modelos finais produzidos e de anotações das elaborações e discussões feitas em grupo.

#### **4.3. Aplicação da sistematização**

Os objetos de estudo desse exercício prático, como mencionado anteriormente, são os projetos, e seus protótipos, de torres paramétricas desenvolvidas por alunos de graduação e pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Por mais que as torres apresentem similaridades com relação ao que foi exigido na disciplina, existem diferenças fundamentais entre elas, não só formalmente, mas também na maneira como consideraram os componentes estruturais e de fechamento. Portanto, acredita-



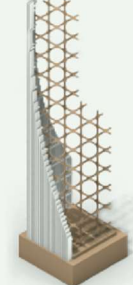
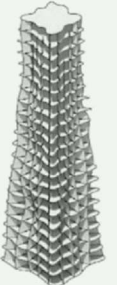



---

<sup>53</sup> É fundamental destacar que o exercício da disciplina não foi proposto com o objetivo de estudar ou analisar a tectônica, ou seus elementos. Por mais que algumas discussões a respeito do tema tenham sido mencionadas, o aprofundamento na aplicação de conceitos ligados à tectônica digital não era o foco, de modo que as análises foram feitas posteriormente ao desenvolvimento dos projetos.

se que mesmo que o foco da disciplina não tenha sido pensar na questão da tectônica digital, é possível verificar como os grupos pensaram, ou não, as relações entre seus elementos constituintes, como material, estrutura e fabricação.

Essas diferenças, além das técnicas de prototipagem (corte à laser e impressão 3D) e dos materiais disponíveis (chapas de papel couro e de acrílico, e filamento plástico tipo PLA<sup>54</sup>), foram fundamentais na escolha de quais torres fabricar, de modo que as análises pudessem compreender as especificidades de cada uma das torres. As torres escolhidas, junto do grupo de voluntários, foram: (i) Torre 1, *Beyond Turn*<sup>55</sup>; (ii) Torre 2, Casulo; (iii) Torre 3, Conecta; (iv) Torre 4, *Wrinkled*<sup>56</sup> (Figura 14).

Figura 14 – Torre selecionadas para prototipagem e análise segundo os elementos da tectônica.

Grupos	Grupo 1 (3 alunos)	Grupo 2 (3 alunos)	Grupo 3 (3 alunos)	Grupo 4 (2 alunos)	Grupo 5 (3 alunos)	Grupo 6 (2 alunos)	Grupo 7 (3 alunos)
Torres	Beyond Turn Tower 	Casulo 	Conecta Torre 	Wrinkled Tower 	Hexagons Tower 	Blue Tower 	Braided Tower 
Nº de pavimentos	19	21	20	20	11	20	19

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Antes de prosseguir com as análises é importante destacar que para que os dados coletados, como o código e a definição de projeto do *grasshopper*, pudessem auxiliar na identificação, e discussão, dos elementos da “nova tectônica” nesses objetos de estudo, foi necessário relativizá-los. Isso porque, como mencionado, o exercício da disciplina não tinha como objetivo a observação e análise da tectônica, e as análises foram feitas à posteriori, durante a etapa de prototipagem.

<sup>54</sup> O PLA (ácido polilático) é um termoplástico biodegradável.

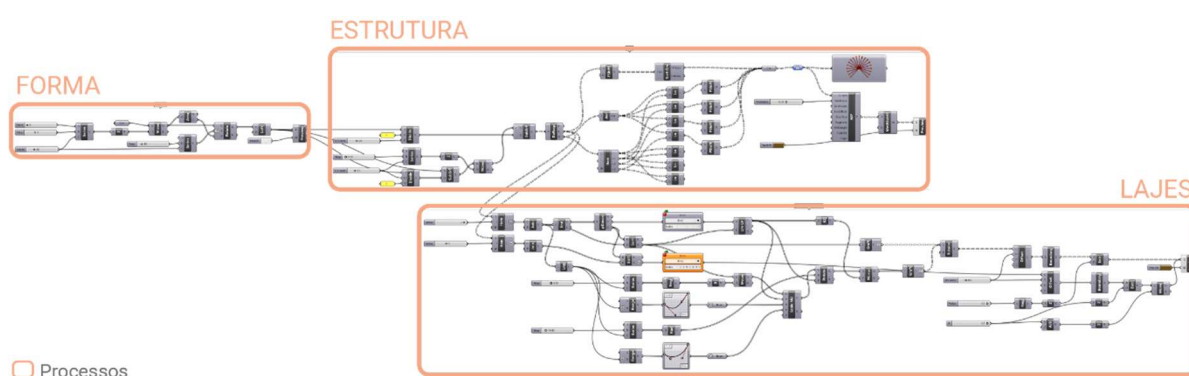
<sup>55</sup> Em português poderia ser traduzido como: “Além da curva”.

<sup>56</sup> Em português poderia ser traduzido como: “Enrugada”.

## Torre 1: *Beyond Turn*

O projeto partiu da **manipulação** formal com base na determinação de uma forma inicial, seguida da extrusão da sua superfície e, então, da torção do volume em seu próprio eixo, como pode ser observado no código e no esquema apresentados (Figuras 15 e 16).

Figura 15 – Torre 1: Manipulação do código.



Fonte: Adaptado pela autora, 2022.

Figura 16 – Torre 1: Manipulação formal.

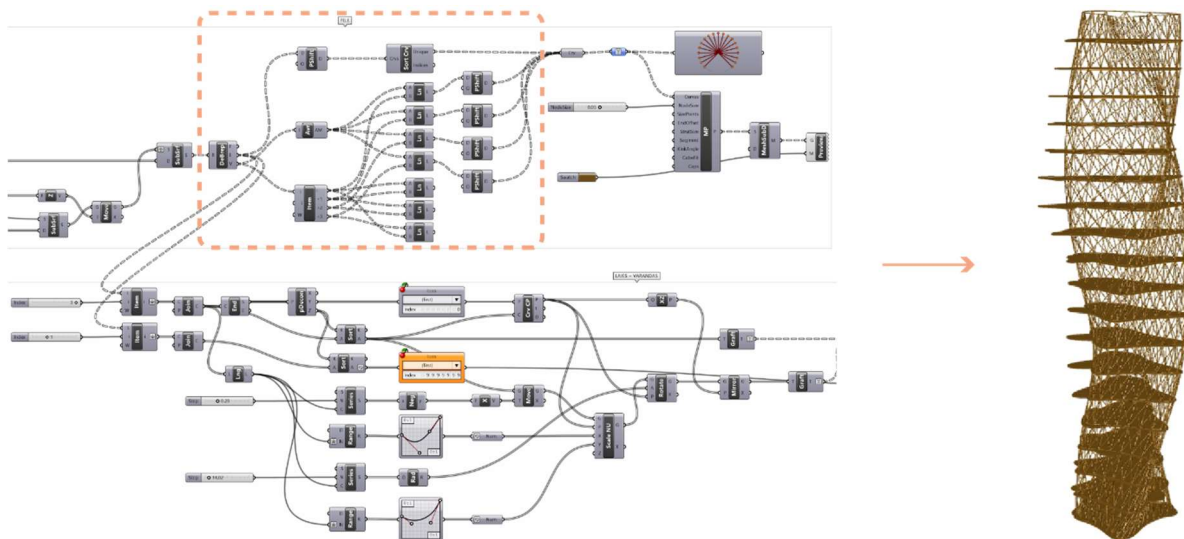


Fonte: Adaptado pela autora, 2022.

Dessa maneira, os elementos estruturais, constituídos pelas treliças e lajes, foram a **informação** de entrada para a constituição formal. Além disso, a **estrutura** vertical treliçada funciona como a envoltória da torre, e a extrapolação das lajes para fora do limite da envoltória conformam o **detalhe** expressivo da torre, que comunica a lógica estrutural e construtiva. Ao posicionar as lajes nos encontros entre as treliças,

além da estabilidade estrutural ser garantida, há também a facilitação da etapa de **fabricação** (Figura 17).

Figura 17 - Torre 1: Partes do código referente à estrutura e modelo preliminar.



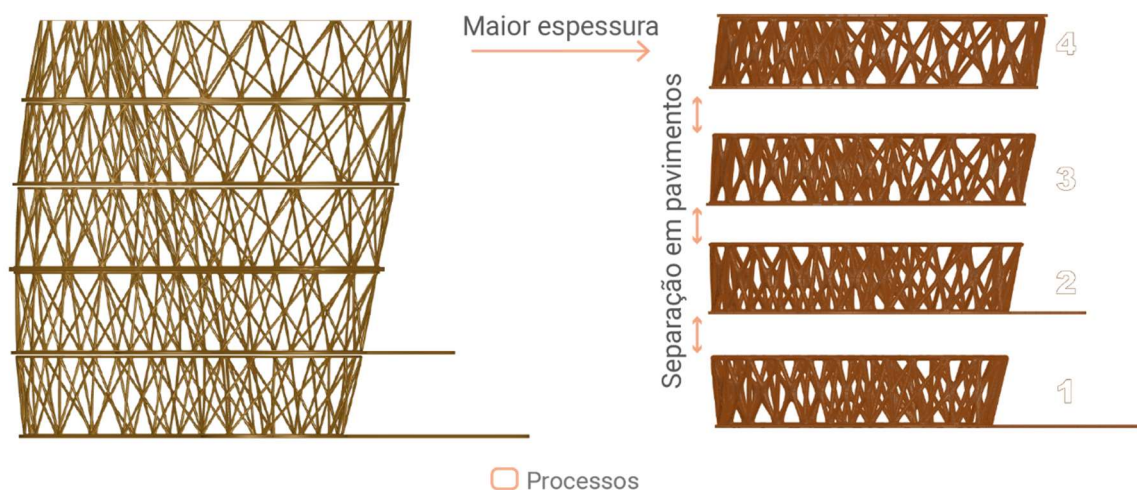
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Por mais que a escolha do **material** não tenha sido pré-determinada, ao explorar uma forma complexa que só poderia ser prototipada através de impressão 3D, considera-se que essa decisão teve que ser feita antes do início da fabricação em si, ou seja, ainda na etapa de desenvolvimento do projeto. Por isso, o material utilizado para a prototipagem, o PLA, foi determinado pela técnica e máquina utilizadas.

Dessa maneira, a **fabricação** foi pensada e trabalhada concomitantemente à **manipulação** do projeto, através dos ajustes necessários ao se iniciarem os testes de impressão. Um dos ajustes realizados consistiu na separação dos “blocos” de impressão compostos pela laje e estrutura treliçada de cada pavimento, por conta das

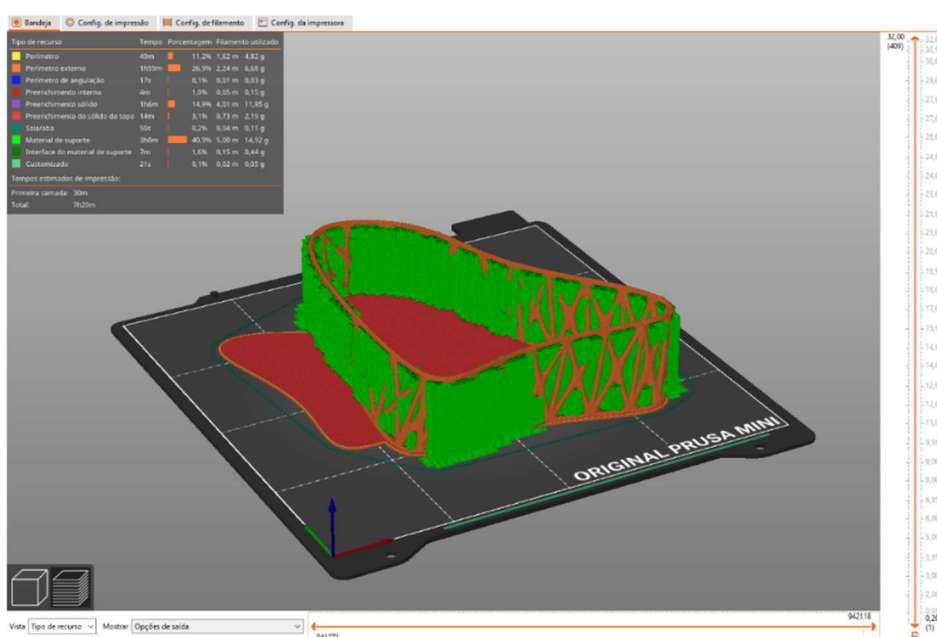
dimensões da impressora, além de ter sido necessário aumentar a espessura das treliças (Figura 18).

Figura 18 – Torre 1: Manipulação estrutural e ajustes para fabricação.



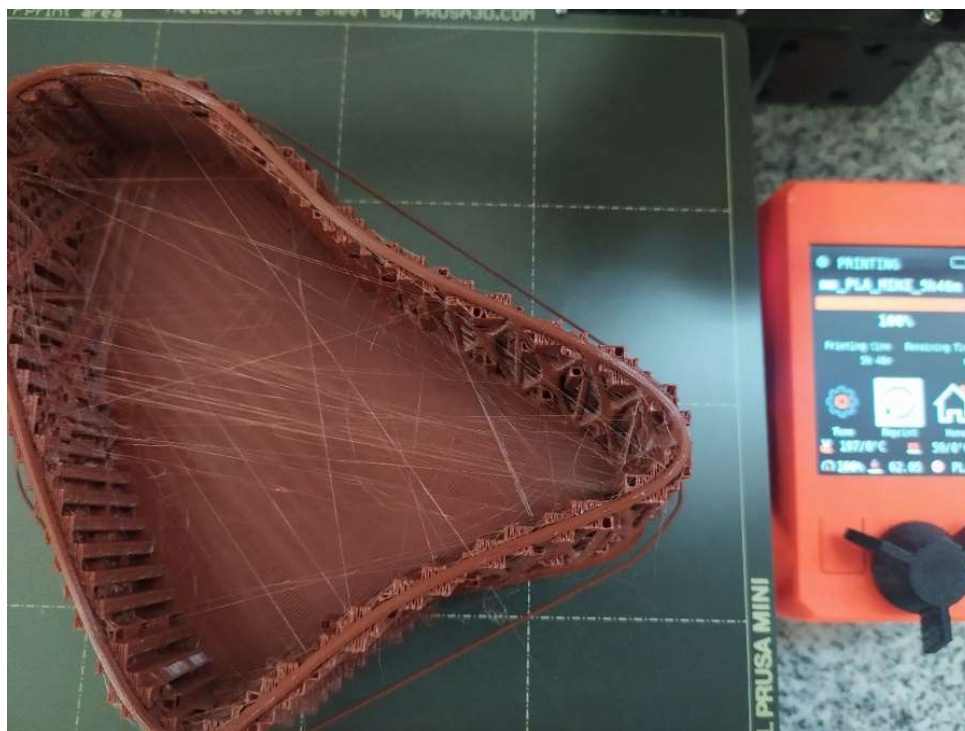
Para possibilitar a impressão correta de cada bloco da torre, durante a etapa de fatiamento foi necessário incluir suportes (Figura 19) para as partes do objeto que excediam o ângulo máximo ou não atingiam o ângulo mínimo necessário para autossustentação no momento de impressão (Figura 20). Esses suportes precisaram ser removidos manualmente em um processo dispendioso de tempo (Figura 21), e a montagem dos blocos da torre utilizou cola instantânea (Figura 22).

Figura 19 – Torre 1: Fatiamento.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 20 – Torre 1: Prototipagem digital através de impressão 3D.



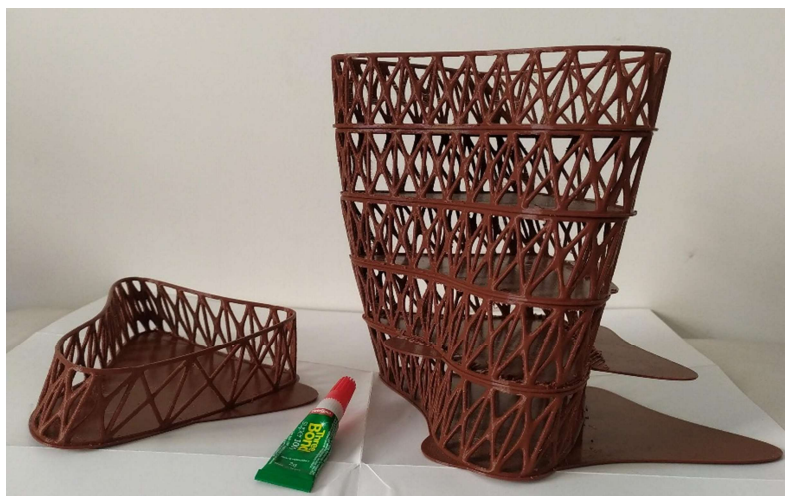
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 21 – Torre 1: Retirada manual de suportes.



Fonte: Acervo pessoal.

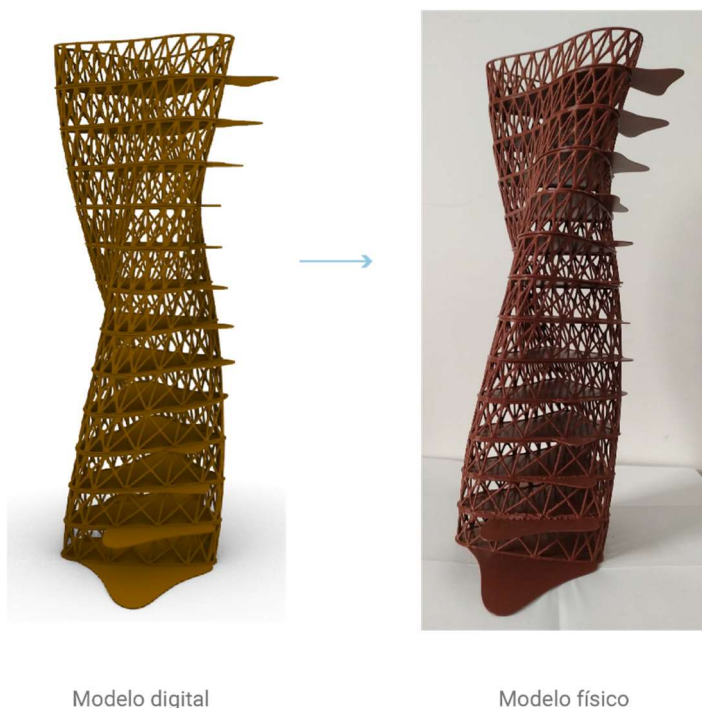
Figura 22 – Torre 1: Montagem e resultado preliminar.



Fonte: Acervo pessoal.

Após finalizar o processo de prototipagem foi possível observar que os principais ajustes foram realizados nos elementos que se referem à **junção** e à **estrutura** (lajes + treliças), a fim de possibilitar a impressão de acordo com os limites tanto de maquinário, como de material e tempo disponíveis. Mesmo com as alterações nota-se que, formalmente, o modelo digital e o modelo físico mantiveram similaridades (Figura 23).

Figura 23 – Torre 1: Comparação entre modelo digital e modelo físico final.



Modelo digital

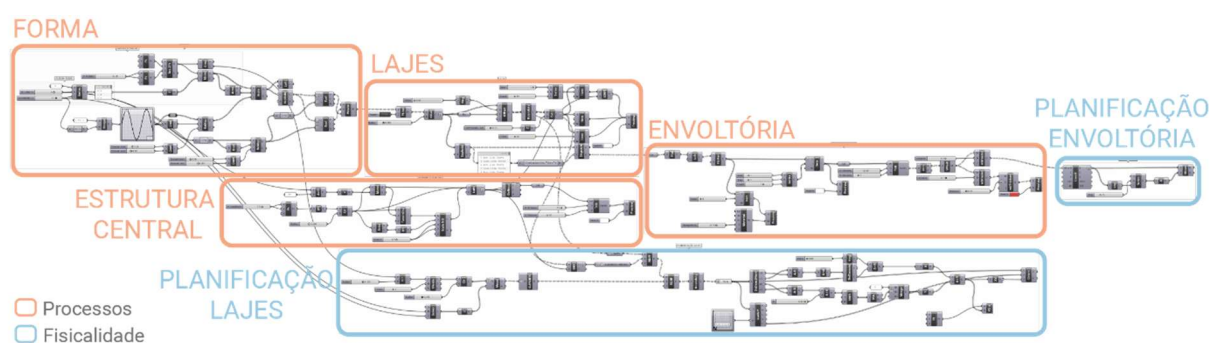
Modelo físico

Fonte: Acervo pessoal.

## Torre 2: Casulo

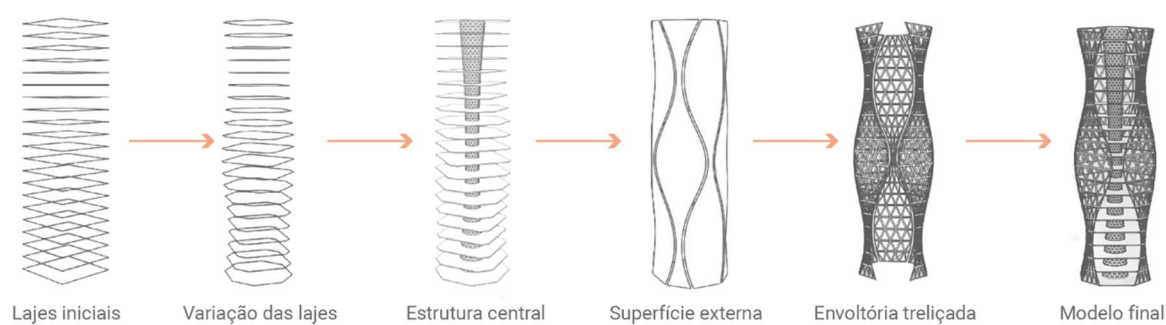
O projeto partiu da **manipulação** formal de um volume em superfícies horizontais, as lajes, e posterior variação formal dessas lajes dentro do alcance de possibilidades de acordo com o gráfico de referência. No centro das lajes foi posicionada uma **estrutura** central, que funcionaria como um núcleo rígido, além de sistema de circulação vertical. A envoltória, que constitui o **detalhe** expressivo da torre, foi conformada como uma superfície triangular vazada e partiu da variação formal das lajes. Pode-se observar essas manipulações formais e estruturais podem no código e no esquema apresentados a seguir (Figuras 24 e 25).

Figura 24 – Torre 2: Manipulação do código.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 25 – Torre 2: Manipulação formal e estrutural.



Fonte: Adaptado pela autora, 2022.

Ainda durante o exercício considerou-se que a impressão 3D seria o melhor método de **fabricação** para manter as relações entre os elementos tectônicos originais do projeto. Entretanto, devido à curta duração do workshop, optou-se por prototipar a torre utilizando o corte à laser (Figura 26).

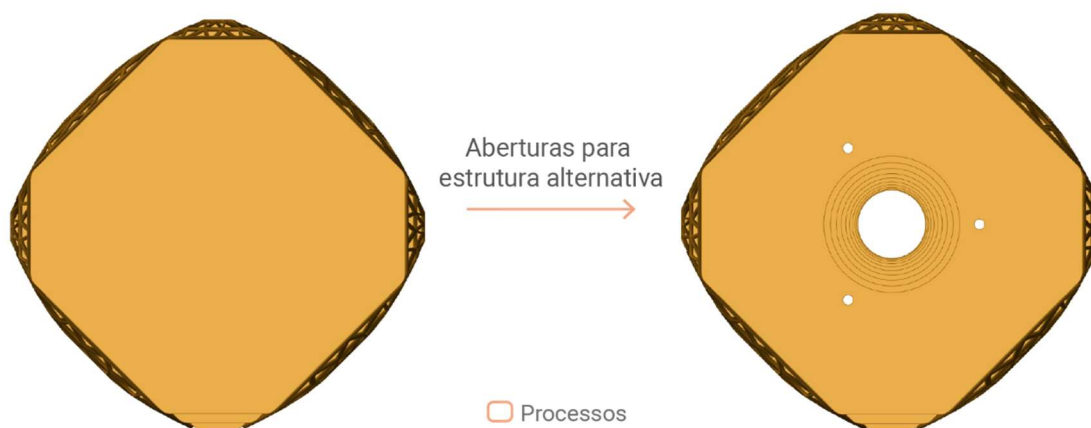
Figura 26 – Torre 2: Corte das envoltórias.



Fonte: Acervo pessoal.

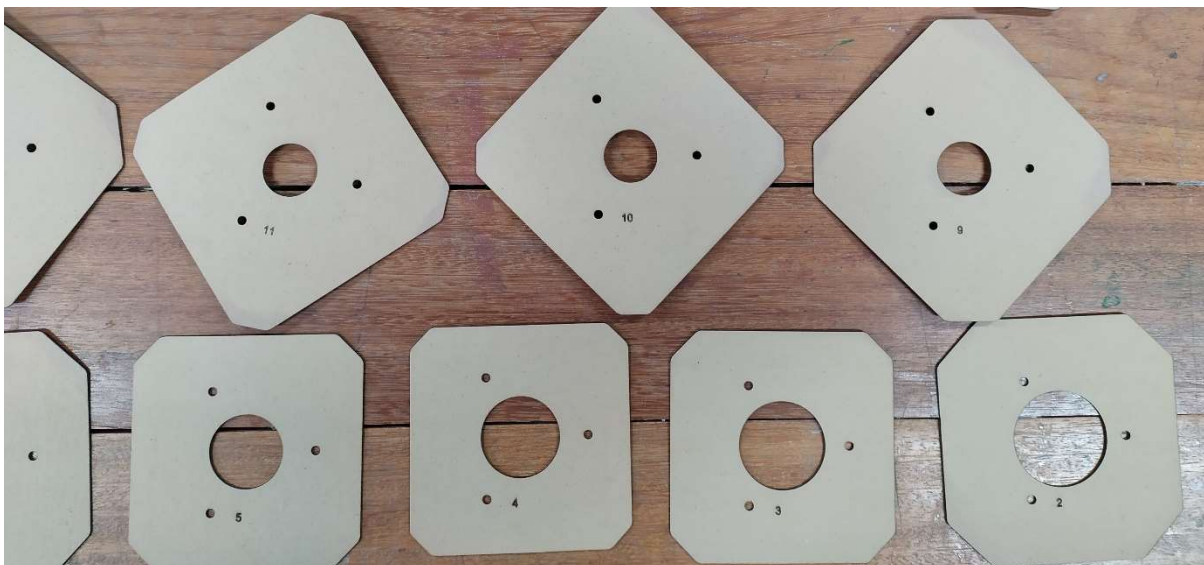
Decidido o método de prototipagem, as superfícies da envoltória foram planificadas, as lajes numeradas e a estrutura central original foi adaptada através da abertura de furos nas lajes em que foi inserida uma **estrutura** alternativa composta por barras roscadas (Figuras 27, 28 e 29). Assim, os **materiais** utilizados foram as barras metálicas e chapas de papel couro.

Figura 27 – Torre 2: Adaptação do modelo para inserir estrutura alternativa.



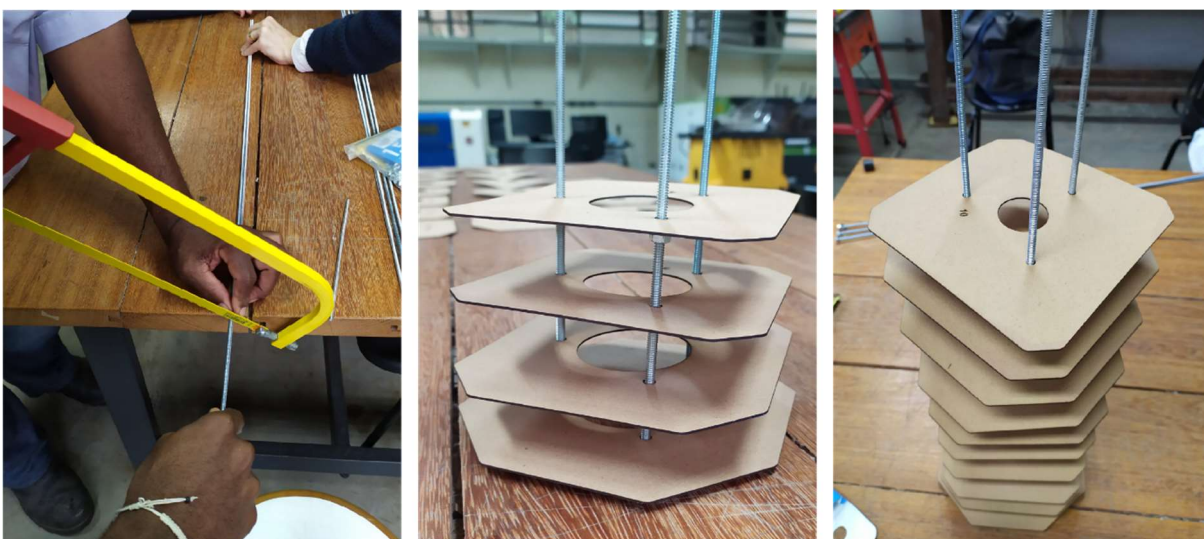
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 28 – Torre 2: Lajes numeradas e perfuradas para a passagem da estrutura.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

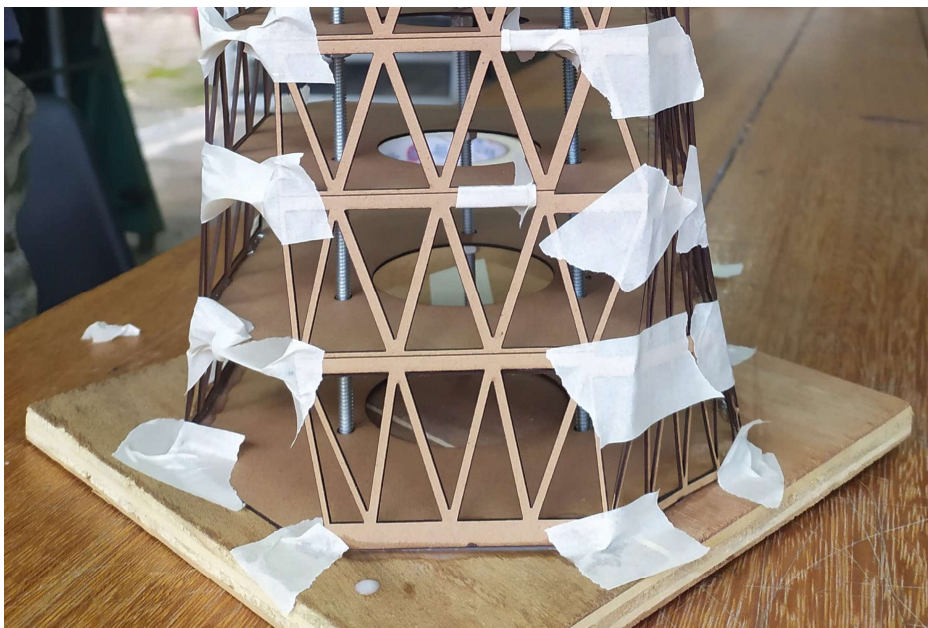
Figura 29 – Torre 2: Adaptações das peças e montagem.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Durante a **fabricação**, devido à alteração da técnica de prototipagem, mas não da reformulação entre as relações tectônicas entre os elementos, surgiram alguns problemas relacionados à sustentação estrutural e à **junção** da envoltória com o corpo da torre. Para solucionar a questão da instabilidade a estrutura foi encaixada em uma base de madeira mais espessa e pesada que as lajes. Com relação à junção entre a envoltória e as lajes, a estratégia foi colar as superfícies com cola branca, e esperar a cola secar com o auxílio de pedaços de fita crepe, como pode ser visto na Figura 30.

Figura 30 – Torre 2: Junções adaptadas durante a montagem.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Essas alterações que foram efetuadas apenas na fase de montagem, e que foram resultado de não readaptar a tectônica à técnica e materiais escolhidos, ocasionaram em alguns erros no modelo final, como a falta de junção adequada entre as superfícies da envoltória e dobras nos detalhes dessas envoltórias. Além disso, por conta do processo artesanal de colagem os pavimentos não mantiveram a mesma altura entre eles e alguns ficaram desnivelados (Figura 31).

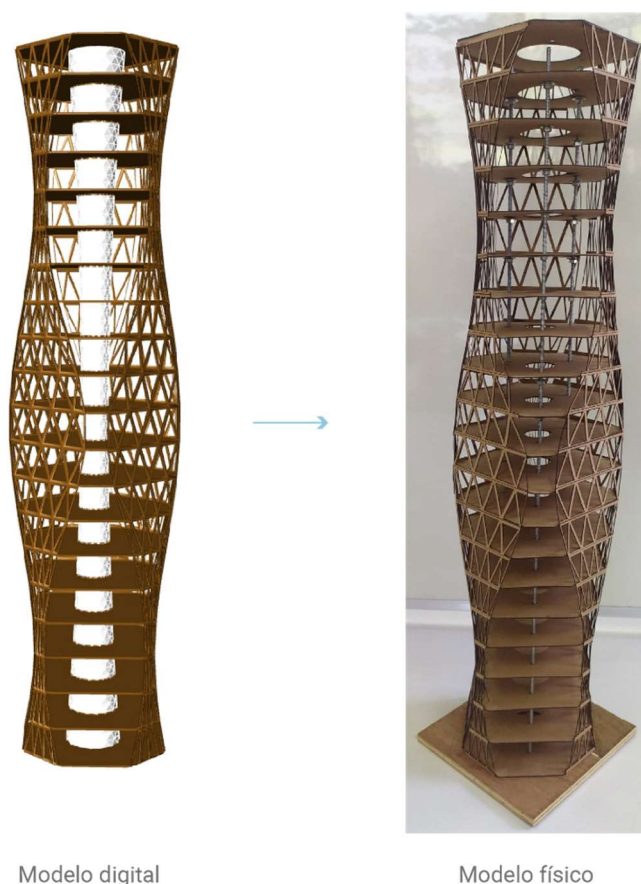
Figura 31 – Torre 2: Falhas após a montagem.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Acredita-se que a necessidade dessas estratégias foi fruto da inadequação ao método de fabricação utilizado em relação às relações formais planejadas no projeto original. Dessa maneira, por mais que tenha sido possível fabricar a torre, o resultado final, especialmente no que se refere à estrutura, seria beneficiado se o raciocínio tectônico subjacente à impressão 3D tivesse sido respeitado (Figura 32).

Figura 32 – Torre 2: Comparação entre modelo digital e modelo físico final.

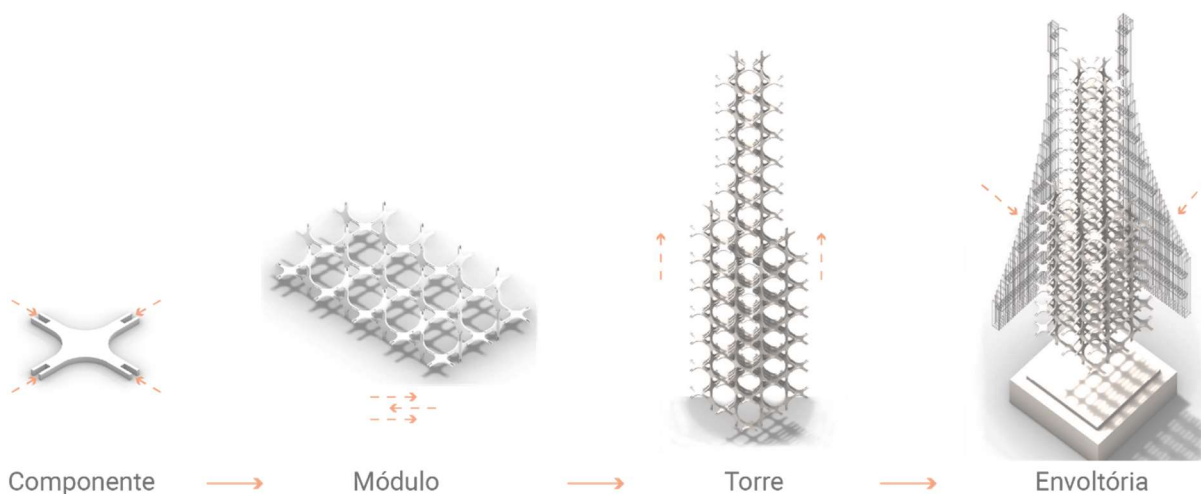


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### Torre 3: Conecta

A **manipulação** da torre partiu do estabelecimento dos parâmetros de um componente discreto, uma peça inicial e independente do todo (RETSIN, 2019), que se repetiu funcionando como **estrutura**, **detalhe**, **junção** etc. além de, através da combinação de vários desses componentes, ter moldado a forma da torre à qual a envoltória seria adicionada. Após a definição do componente discreto partiu-se para as manipulações formais de possíveis configurações de conjuntos de componentes (Figura 33).

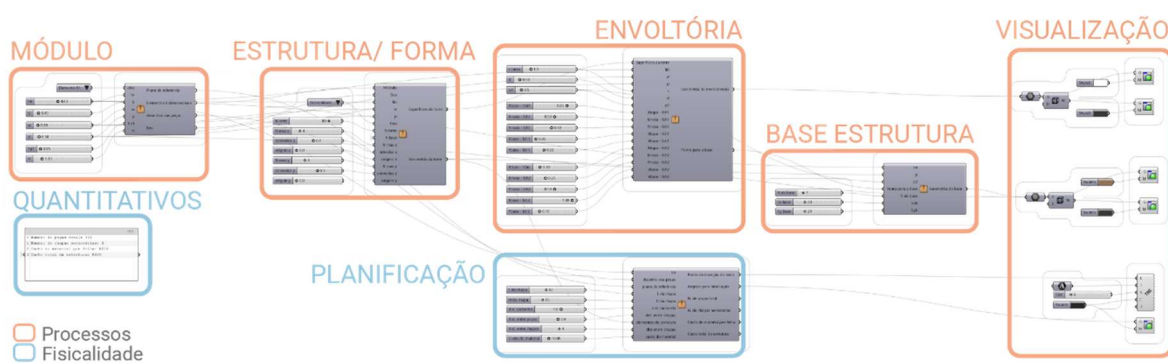
Figura 33 – Torre 3: Manipulação formal da torre a partir do componente discreto.



Fonte: Adaptado pela autora, 2022.

Dessa maneira, a concepção do projeto e a elaboração e **manipulação** do código considerou como **informações** para os parâmetros: o módulo, a estrutura da torre (composta pela repetição e encaixes deste módulo), a envoltória da torre e a preparação para a fabricação, através do planejamento, inclusive do quantitativo de custos, da prototipagem por corte à laser (Figura 34).

Figura 34 – Torre 3: Manipulação dos dados de projeto.



Fonte: Adaptado pela autora, 2022.

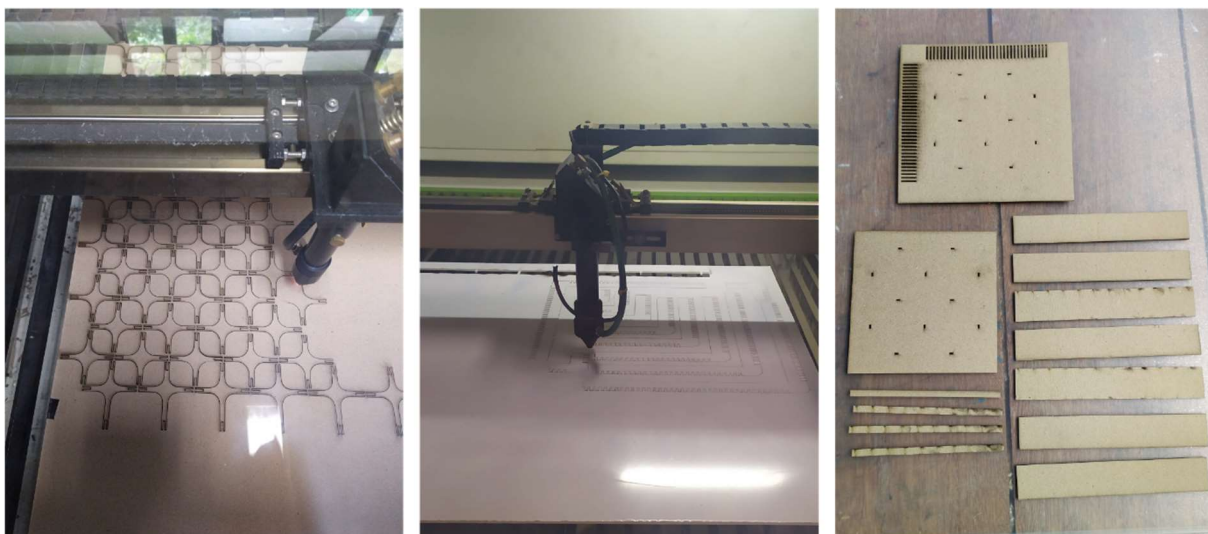
Logo no início da etapa de fabricação foram feitos testes de corte e encaixes do componente discreto, além de montagem dos módulos (Figura 35). Depois de ajustadas questões como espessura e profundidade dos encaixes, prosseguiu-se para o corte do restante dos componentes, além das partes que constituem a envoltória (Figuras 36 e 37).

Figura 35 – Torre 3: Fabricação e testes do componente discreto.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

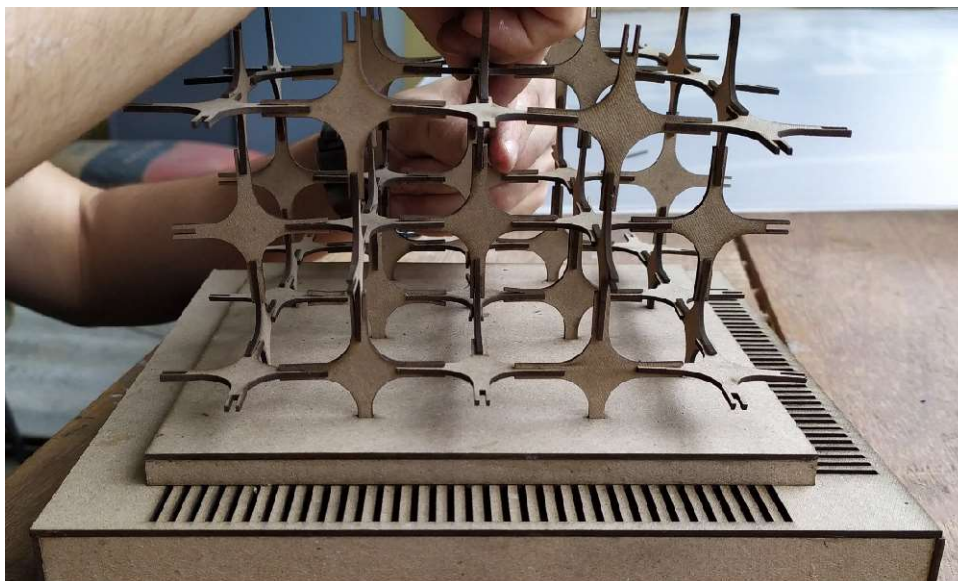
Figura 36 – Torre 3: Prototipagem dos componentes discretos, peças da envoltória e da base.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

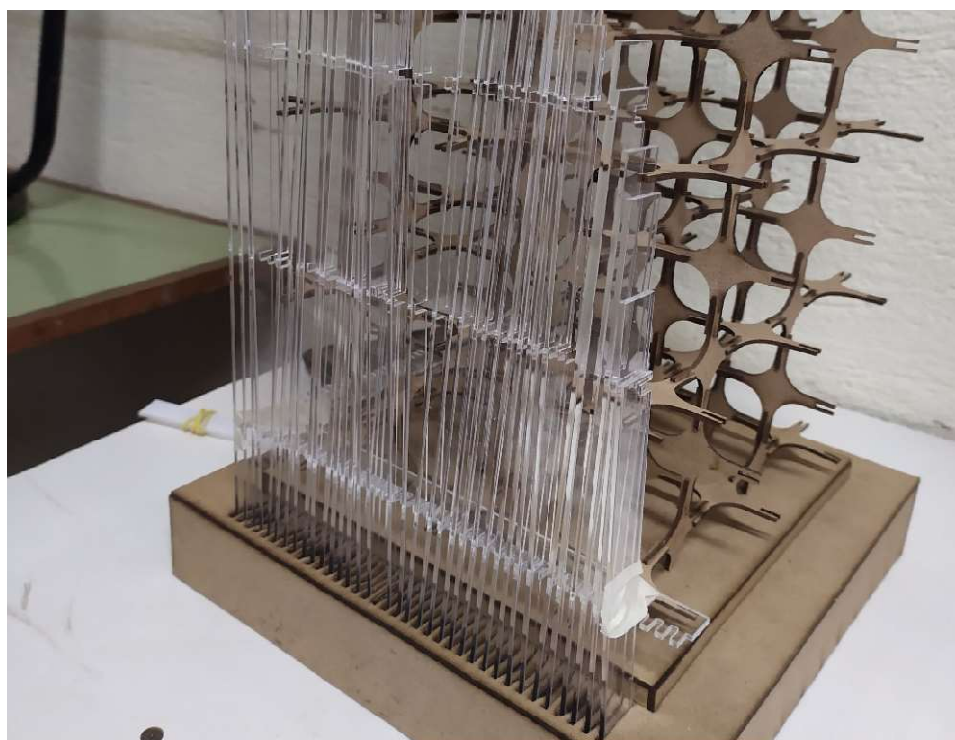
Ainda na fase de prototipagem e montagem, por conta da diferença de espessura entre os **materiais** (acrílico e papel couro), fez com que fosse necessário colar alguns pontos da envoltória com seu suporte horizontal para garantir sua estabilidade, o que, entretanto, não modificou as relações tectônicas entre as diferentes partes da torre no resultado final (Figuras 37 e 38).

Figura 37 - Torre 3: Montagem e teste de encaixes dos módulos na base, e entre eles.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Figura 38 – Torre 3: Junção entre componentes discretos, módulos, envoltória e base de suporte.

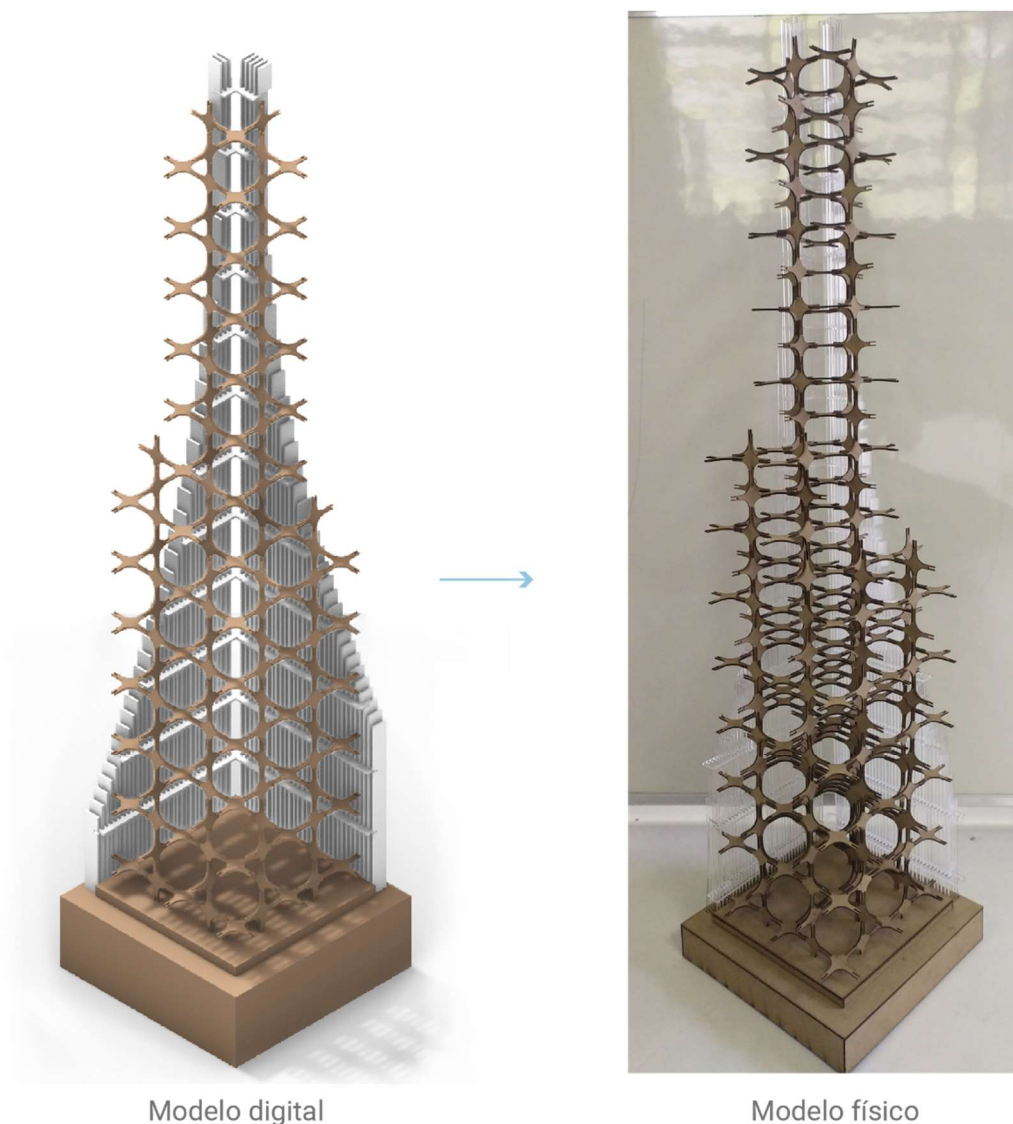


Fonte: Acervo pessoal, 2022.

O código deixa claro que o corte à laser foi considerado o método de **fabricação** desde o início do projeto, e que foram realizados teste de encaixes, o que resultou em uma montagem sem grandes intercorrências e que não requisitou por

nenhuma modificação significativa no projeto original, como pode ser visto ao comparar o modelo digital e o modelo físico (Figura 39).

Figura 39 – Torre 3: Comparação entre modelo digital e modelo físico final.



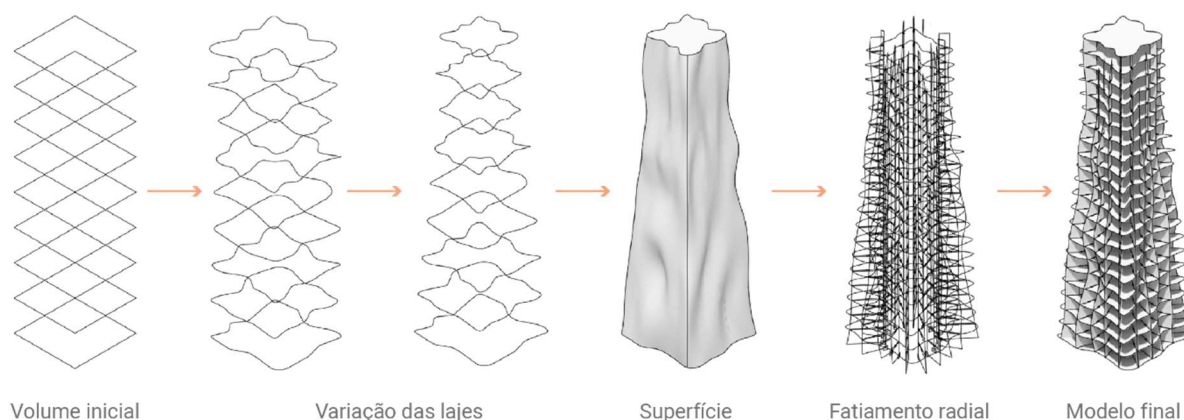
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

#### Torre 4: Wrinkled

De maneira similar à torre 2, o desenvolvimento do projeto aqui foi iniciado pela **manipulação** formal que partiu de um volume simples que foi dividido em superfícies horizontais, as lajes. Entretanto, a transformação formal das lajes seguiu uma lógica diferente, de maneira que suas superfícies planas com contornos ondulados, reduzem as dimensões nos eixos x e y ao longo da extensão, no eixo z, da torre, o que deixou a base mais larga que o topo. Depois, a partir do contorno das superfícies

foi gerada a envoltória, que em seguida foi fatiada radialmente, criando as **estruturas** de sustentação vertical da torre, tipo waffle que, segundo Iwamoto (2009) constitui uma técnica de **encaixes** dotada de flexibilidade e capacidade de adaptação a várias formas (Figura 40).

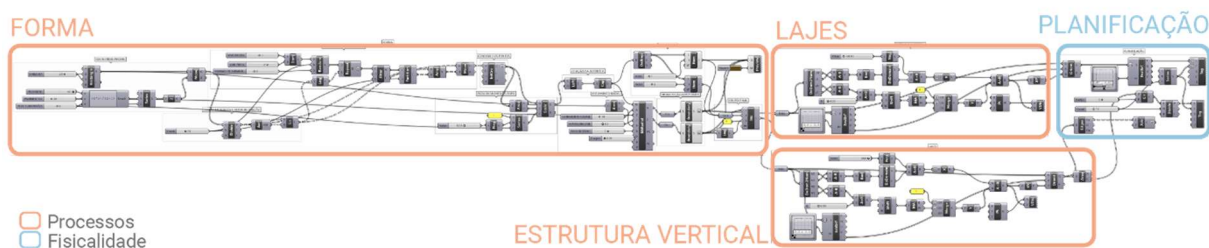
Figura 40 – Torre 4: Manipulação formal.



Fonte: Adaptado pela autora, 2022.

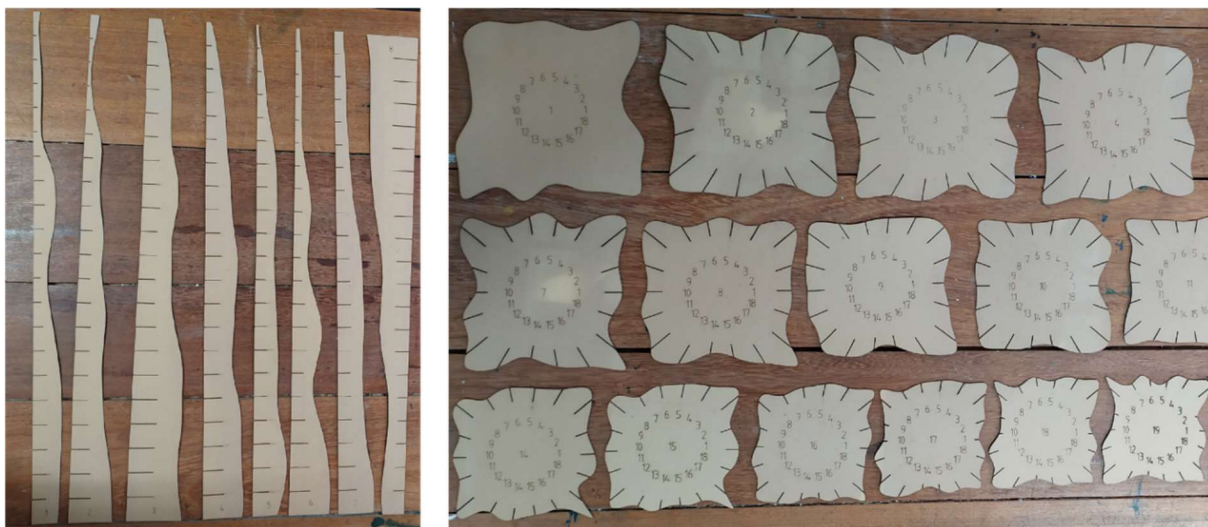
O projeto da torre 4 também optou pelo método de **fabricação** de corte à laser ainda na fase de concepção do projeto. Por isso, já foram consideradas no código, as características do **material** que seria utilizado na prototipagem, o papel couro, e da montagem (Figura 41). Seguindo a técnica waffle, as peças foram planificadas e numeradas para facilitar o encaixe, e os encaixes já constituíram as **junções** da torre (Figuras 42 e 43).

Figura 41 – Torre 4: Manipulação dos dados do projeto.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 42 – Torre 4: Peças, verticais e horizontais, planificadas e cortadas.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

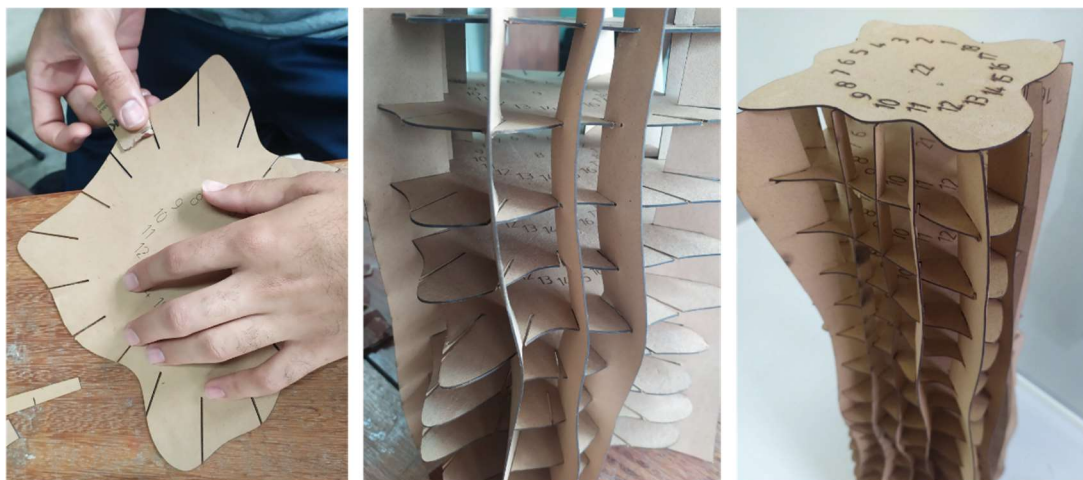
Figura 43 – Torre 4: Junções das peças previamente numeradas.



Fonte: Acervo pessoal.

Tendo em vista que foi utilizado o mesmo **material**, a etapa de montagem teria se beneficiado de chapas um pouco mais espessas a fim de construir um modelo mais resistente. Além da questão da espessura, a falta de testes com as dimensões finais dos componentes fez com que os encaixes ficassem muito justos, sendo necessário lixar cada um deles. Isso resultou em falhas na montagem (Figura 44).

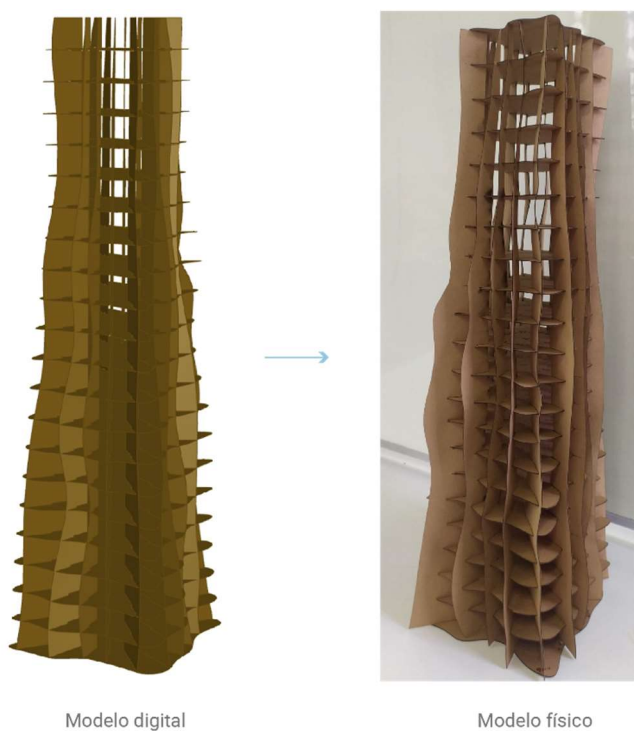
Figura 44 – Torre 4: Dificuldades e falhas na montagem.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Apesar das dificuldades na montagem, acredita-se que as relações entre os elementos da tectônica não foram alteradas entre o projeto e o modelo físico final (Figura 45). Essas relações possibilitaram uma expressividade tectônica que foi alcançada especialmente através das junções entre os elementos estruturais da torre, mas também da maneira como cada componente foi manipulado a fim de ser beneficiado pela técnica de fabricação digital escolhida para prototipar o modelo físico.

Figura 45 – Torre 4: Comparação entre modelo digital e modelo físico final.



Modelo digital

Modelo físico

Fonte: Acervo pessoal, 2022.

#### 4.4. Discussão dos resultados

Após a proposição dos elementos que compõem a nova tectônica nos processos computacionais de projeto e de fabricação digital, e da contextualização do que foi realizado ao longo de todo o exercício prático, chegou-se à fase final da presente pesquisa. Nesta fase, busca-se a aplicação da sistematização do estudo na prática, desde a concepção até à fabricação, das torres paramétricas.

Com a finalização do exercício prático, ficou um pouco mais claro que os elementos propostos abarcam os fundamentos da nova tectônica, e de que é possível projetar edifícios dotados de expressividade que relacionem as grandes áreas da tectônica no fazer arquitetônico. Entretanto, confirmou-se que é fundamental considerar, além da exploração formal, os materiais, os métodos de fabricação e a concepção estrutural não só para possibilitar a fabricação digital, mas também para aproveitar ao máximo suas vantagens quando relacionada aos processos computacionais de projeto. Isto ganha ainda mais importância caso o arquiteto tenha a intenção de projetar um edifício dotado de expressividade tectônica e de uma lógica computacional/ digital.

Observa-se que os projetos que evidenciaram os elementos da nova tectônica na concepção do projeto, e como parâmetros de manipulação, conseguiram construir inter-relações mais expressivas entre eles, mesmo que esse não tenha sido o foco durante a disciplina. Nesses casos, os grupos souberam aproveitar as potencialidades dos processos computacionais de projeto, para além da elaboração de formas complexas, na criação de objetos arquitetônicos em que a lógica computacional, a técnica de fabricação digital e a escolha material amplificou a expressividade tectônica.

Além disso, durante a fabricação, ficou claro que alguns grupos, como o 3 e o 4, consideraram a prototipagem por corte à laser ainda no início do processo de projeto das torres, pensando também nos materiais disponíveis e na compreensão das especificidades de funcionamento das máquinas. Entretanto, as torres em que foram necessárias modificações para possibilitar o fatiamento no caso da impressão 3D, para a torre 1, ou a planificação no caso do corte à laser, para a torre 2, as relações entre os elementos da tectônica podem ter sido alterada do projeto inicial para o modelo físico final. Isso corrobora o entendimento de que a expressividade tectônica é alcançada, especialmente, através das relações entre **junção, detalhe, material,**

**estrutura e fabricação.** Além disso, essa expressividade pode ser potencializada nos processos computacionais de projeto nos casos em que o projetista considerar as características desses elementos como informação (dados de entrada) para as manipulações paramétricas no ambiente digital e se beneficiando da lógica e das ferramentas computacionais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A noção da tectônica na arquitetura tem sido continuamente desenvolvida à medida que surgem novos materiais, novos sistemas estruturais e novas técnicas construtivas. Por isso, a partir de novas lógicas e novos paradigmas instaurados pelas tecnologias computacionais nos processos de projeto e fabricação em arquitetura, buscou-se entender a coerência entre o conceito de tectônica “tradicional” como o estabelecido por Kenneth Frampton na teoria da arquitetura e o entendimento de tectônica “digital” fruto da associação com os diversos processos computacionais de projeto e de fabricação/ prototipagem digital.

Após o estudo aprofundado das referências selecionadas e apresentadas nos primeiros capítulos, seguido da proposição de sínteses e sistematizações, entendeu-se que a noção de tectônica é inerente ao fazer arquitetônico em si. Portanto, seus fundamentos e elementos constituintes se mantêm coerentes independentemente da linguagem arquitetônica, dos processos de projeto e das tecnologias utilizadas, tanto para desenho/ modelagem como para a construção. Dessa maneira, acredita-se que **detalhe, junção, material, estrutura e construção** podem ser elencados como os elementos fundamentais da tectônica, de acordo com as teorias dos autores apresentados, e podem ser adaptados nos diversos processos computacionais de projeto como **informação**, ou seja, dados de entrada para **manipulações** algoritmo-paramétricas em associação à **fabricação** digital.

Mas é necessário destacar que a criação das relações entre esses elementos não resultará em uma expressividade tectônica igual, ou similar, em edifícios com características materiais, estruturais ou construtivas distintas, visto que essa expressividade é resultante justamente da maneira como são elaboradas as relações entre esses elementos e suas características específicas. Tal afirmação pode ser observada nos resultados do último capítulo, em que todas as torres fabricadas foram consideradas como dotadas de expressividade tectônica. De modo que o que mudou foram as relações que possibilitaram essa expressividade, em algumas torres o foco foi junção, em outras nos detalhes estruturais, e em outras a própria fabricação constituiu uma expressividade distinta.

Por isso, apesar de uma referência importante, acredita-se que não é possível mensurar o grau de expressividade tectônica, como Sekler sugeriu, mas que o arquiteto, enquanto “mestre-construtor” consegue determinar a partir de quais

relações vai resultar a tectônica em determinado edifício, através da manipulação dos elementos que compõem tectônica, seja ela chamada de tradicional, digital ou nova. Inclusive, entende-se que a maior diferença entre as noções de tectônica “tradicional” e a de tectônica “digital” está no foco que é dado pelos autores que discutem o tema e pelas questões tangenciadas por essa tectônica ao longo do tempo. Na tectônica tradicional o foco está na relação entre os elementos que é demonstrada no **objeto arquitetônico** em si. Enquanto na tectônica digital o foco está na relação entre os elementos que é elaborada, e pode ser potencializada, a partir das lógicas dos **processos computacionais de projeto**.

Além disso, tratando especificamente da fabricação digital, observou-se que as técnicas utilizadas neste estudo possibilitam inverter os raciocínios da tectônica tradicional. Na impressão 3D, por exemplo, os componentes são contínuos, portanto a primazia da junção pode passar para os detalhes que constituem a complexidade formal e estrutural. E independente das limitações, as técnicas de fabricação digital e prototipagem rápida podem auxiliar a percepção da expressividade tectônica no contexto dos processos computacionais, em que novos materiais e relacionamentos entre os diferentes componentes dos edifícios são considerados possíveis. Um ponto fundamental nos processos auxiliados pela fabricação digital é que a escolha do material e da técnica impacta diretamente na tectônica resultante do objeto construído, visto que os aspectos materiais, construtivos e estruturais são modificados a partir disso. Como disse Kolarevic (2003) a utilização de qualquer uma das técnicas de fabricação depende da intenção tectônica e das relações entre os elementos que a compõem.

Não se pode deixar de apontar que mesmo com todas as possibilidades de inovação advindas das novas tecnologias digitais e computacionais, os processos de produção ainda apresentam desafios éticos com relação aos trabalhadores no canteiro de obras, como apontou Arantes (2009), além de desafios na área ambiental. Assim, as promessas dos novos processos computacionais devem ser celebradas e estudadas, mas sem deixar de lado as discussões acerca de suas problemáticas.

Este estudo buscou examinar os fundamentos da noção de tectônica na teoria da arquitetura contemporânea sob a ótica dos processos computacionais de projeto e das tecnologias de fabricação digital, mas procurando por sua coerência com as abordagens teórica mais tradicionais acerca do tema. Acredita-se que os resultados mostraram a importância da discussão no contexto atual da arquitetura, mas que

limitações como a curta duração da pesquisa e a impossibilidade de fabricar as torres em escala 1:1 pode ter reduzido a robustez das análises. Dessa maneira, recomenda-se que futuros estudos se debrucem na análise de como são considerados e manipulados, pelos arquitetos, os elementos da “nova tectônica” em edifícios construídos que tenham sido projetados através de processos computacionais de projeto e, se possível, fabricados digitalmente.

Por fim, entende-se que estudos teóricos parecem ter a tarefa de situarem-se frente ao fazer projetual investigando, refletindo e fomentando posturas críticas no contexto das novas práticas que permeiam a produção arquitetônica, e que explorar um campo recente e em constante transformação, propondo definições rígidas, sem espaço para diferentes interpretações e olhares pode ser um risco para o desenvolvimento e enriquecimento da própria teoria arquitetônica.

## REFERÊNCIAS

- AL-ALWAN, H.; MAHMOOD, Y. B. The Connotation of Tectonics in Architectural Theory. In: The Fourth Scientific Conference for Engineering and Postgraduate Research, 2020, Bagdá. **Anais [...]**. Londres: IOP Publishing, 2020, p. 1-12.
- AMARAL, I. 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**, São Paulo, v. 0, n. 26, p. 148–167, 2009.
- ANDERSSON, I. K.; KIRKEGAARD, P. H. A discussion of the term digital tectonics. **WIT Transactions on the Built Environment**, v. 90, n. Digital Architecture and Construction, p. 29–39, 2006.
- ANDRADE, R. P. **MATRIZES TECTÔNICAS da Arquitetura Moderna Brasileira 1940 - 1960**. 2016, p. 182. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- ARANTES, P. F. Forma, valor e renda na arquitetura contemporânea . **ARS**, v. 8, n. 16, p. 85-108, 2009.
- BALIŃSKI, G.; JANUSZKIEWICZ, K. Digital Tectonic Design as a New Approach to Architectural Design Methodology. In: Procedia Engineering - World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium, WMCAUS 2016. **Anais [...]**. Amsterdã, Elsevier Ltd., 2016, p. 1504-1508.
- BEESELEY, P.; SEEBOHM, T. Digital Tectonic Design. In: 18th eCAADe Conference, 2000, Weimar. **Anais [...]**. [s.l.] , 2000, p. 287-290.
- BERGDOLL, B. **European Architecture 1750-1890**. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- CAETANO, I.; LEITÃO, A. Architecture meets computation: an overview of the evolution of computational design approaches in architecture. **Architectural Science Review**, v. 63, n. 2, p. 165–174, 2019.
- CAETANO, I.; SANTOS, L.; LEITÃO, A. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. **Frontiers of Architectural Research**, v. 9, n. 2, p. 287–300, 2019.
- CARPO, M. **The Digital Turn in Architecture 1992-2012**. Chichester: Wiley, 2013.
- CARPO, M. **The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2017.
- CELANI, G. Prefácio à edição brasileira. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. In: MITCHELL, J. W. **A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.
- DAVE, B. Architecture of digital imagination. In: CAADRIA 2000, 2000, Singapura. **Anais [...]**. [s.l.] , 2000, p. 283-292.
- DEAMER, P. Detail, the Subject of the Object. **Praxis : journal of writing + building**, v. 1, p. 108–115, 2000.
- ELIADE, M. **O Sagrado e o Profano**. 1ª edição ed. São Paulo: Martins Fontes, 1992.
- FRAMPTON, K. **Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture**. Cambridge: MIT Press, 1995.

- FRAMPTON, K. Rappel à l'ordre. Argumentos em favor da tectônica. 1990. In: NESBITT, K. (org.). **Uma nova agenda para a arquitetura: antologia teórica (1965-1995)**. São Paulo: Cosac Naify, 2006.
- FRAZER, J. Parametric computation: History and future. **Architectural Design**, v. 86, n. 2, p. 18–23, 2016.
- GAO, W. P. Tectonics? A Case Study for Digital Free-Form Architecture. In: 9th CAADRIA, 2004, Seul. **Anais [...]**. [s.l.], 2004, p. 519-534.
- GRAMAZIO, F.; KOHLER, M. **Digital Materiality in Architecture**. 1st. ed. [s.l.] Lars Müller, 2008.
- HVATTUM, M. **Gottfried semper and the problem of historicism**. [s.l.] Cambridge University Press, 2004.
- HVEJSEL, M. F.; BEIM, A.; BUNDGAARD, C. Tectonic vocabulary and materialization. **Nordic Journal of Architectural Research**, v. 27, n. 1, 2015.
- IWAMOTO, L. **Digital fabrications :architectural and material techniques**. Nova Iorque: Princeton Architectural Press, 2009.
- JABI, W. Digital tectonics: the intersection of the physical and the virtual. In: 23<sup>rd</sup> ACADIA, 2004, Ontario. **Anais [...]**. [s.l.], 2004, p. 256-269.
- KIM, R. S. A Study on the Definition of the Term “Tectonics” in Architecture. **Architectural Research**, v. 8, n. 2, p. 17–26, 2006.
- KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age: Design and manufacturing**. Nova Iorque: Guggenheim Museum Publications, 2003.
- LEACH, N. Digital morphogenesis. **Architectural Design**, v. 79, n. 1, p. 32–37, 2009.
- LEACH, N. Parametrics Explained. **Next Generation Building**, v. 1, n. 1, p. 1–10, 2014.
- LIU, Y. T.; LIM, C. K. New tectonics: A preliminary framework involving classic and digital thinking. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 267–307, 2006.
- MALLGRAVE, H. F. Foreword. Cambridge: MIT Press, 1995. In: FRAMPTON, K. **Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture**. Cambridge: MIT Press, 1995.
- MALLGRAVE, H. F. Gottfried Semper and Modern German Theory. In: MALLGRAVE, H. F.; BRESSANI, M.; CONTANDRIOPOULOS, C. (Eds.). **Companion to the History of Architecture**. 1. ed. Nova Jérsei, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 2017. v. IIIp. 1–22.
- MARENKO, B. When making becomes divination: Uncertainty and contingency in computational glitch-events. **Design Studies**, v. 41, p. 110-125, 2015.
- MITCHELL, J. W. Antitectonics: The Poetics of Virtuality. In: BECKMANN, J. (Ed.). **The virtual dimension: architecture, representation and crash culture**. [s.l.] Princeton Architectural Press, 1998. p. 205–217.
- MITCHELL, J. W. Roll Over Euclid: How Frank Gehry Designs and Builds. In: **Frank Gehry Architect**. [s.l.] 2001, p. 352– 363.
- MITCHELL, J. W. **A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição**. Tradução: Gabriela Celani. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.

- NESBITT, K. **Uma Nova Agenda Para a Arquitetura: Antologia Teórica 1965-1995**. 1. ed. São Paulo: Cosac Naify, 2006.
- OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 229–265, 2006.
- OXMAN, R. Informed tectonics in material-based design. **Design Studies**, v. 33, n. 5, p. 427–455, 2012.
- OXMAN, R. Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. **Design Studies**, v. 52, p. 4–39, 2017.
- PICON, A. Architecture, innovation and tradition. **Architectural Design**, v. 83, n. 1, p. 128–133, 2013.
- PICON, A. **The Materiality of Architecture**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2020.
- PROVDANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- PUIG, R. J. F.; BRUSCATO, U. M. Teoria Da Tectônica : Do Tradicional Ao Digital. **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**, v. 8, n. 2, p. 22–43, 2020.
- RETSIN, G. In Part Whole: The Aesthetics of the Discrete. **Architectural Design**, v. 89, n. 5, p. 120–127, 2019.
- SÁNCHEZ VELASCO, V. E.; CASTRO SALGADO, S. A. In: XXIV SIGraDi, 2020, Medellín. **Anais [...]** São Paulo, Blucher Proceedings, 2020, p. 3-8.
- SANTOS, D. M. DOS; PAOLETTI, I. Material-Based Design: Improving a Continuous Changing Praxis. In: XXIV SIGraDi, 2020, Medellín. **Anais [...]** São Paulo, Blucher Proceedings, 2020, p. 17-22.
- SCHMIDT, A. M. D.; KIRKEGAARD, P. H. Navigating towards digital tectonic tools. In: V ACADIA, 2005, Savanna. **Anais [...]**. [s.l.], 2005, p. 114-127.
- SCHUMACHER, P. Tectonism in Architecture, Design and Fashion: Innovations in Digital Fabrication as Stylistic Drivers. **Architectural Design**, v. 87, n. 6, p. 106–113, 2017.
- SCHWARTZ, C. A Taxonomy of Architectural Tectonics. In: Building Technology Educators' Society, Des Moines, 2017. **Anais [...]**. Des Moines, Building Technology Educators' Society, 2017a, p. 179-186.
- SCHWARTZ, C. **Introducing Architectural Tectonics: Exploring the intersection of Design and Construction**. New York, USA: Routledge, 2017b.
- SCHWARZER, M. Ontology and Representation in Karl Bötticher's Theory of Tectonics. **Journal of the Society of Architectural Historians**, v. 52, n. 3, p. 267–280, 1993.
- SCHWARZER, M. German Tectonics. In: MALLGRAVE, H. F.; BRESSANI, M.; CONTANDRIOPOULOS, C. (Eds.). **Companion to the History of Architecture**. 1. ed. Nova Jérsei, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 2017. v. IIIp. 1–13.
- SEKLER, E. F. Structure, Construction, Tectonics. In: KEPES, G. (Ed.). **Structure in Art and in Science**. Nova Yorque: George Braziller, 1965. p. 89–95.

SHELDEN, D. R. Tectonics , Economics and the Reconfiguration of Practice : The Case for Process Change by Digital Means. **Architectural Design**, p. 82–87, 2006.

VIANA, A. DE O. **Gottfried Semper e o Ornamento em Arquitetura**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2017.

VIANA, A. DE O. Em busca da casa perdida: a cabana primitiva segundo Laugier e Semper. **Arq.Urb**, v. 28, p. 10–25, 2020.

WHITEHEAD, H. Foreword. Nova Iorque: Routledge, 2010. In: WOODBURY, R. **Elements of parametric design**. Nova Iorque: Routledge, 2010.

WOODBURY, R. **Elements of parametric design**. Nova Iorque: Routledge, 2010.

YAN, C.; YUAN, P. F. Beyond Embodiment: An Existential Project of Digital Tectonics in the Posthumanist Discourses. In: 26th CAADRIA, 2021, Hong Kong. **Anais [...]**. Hong-Kong, CAADRIA, 2021, p. 91-100.

ZEVI, B. **Saber ver a arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

ZURKO, E. R. DE. **Origins of Functionalist Theory**. Nova Iorque: Columbia University Press, 1957.

**GLOSSÁRIO:**

- **Aspecto:** Cada uma das formas pelas quais algo pode ser explicado ou entendido.
- **Sistema:** Reunião e categorização de elementos que se interligam de modo a formar um todo ordenado.
- **Elemento:** Cada parte que compõe um todo. No caso deste trabalho, o todo é a tectônica.
- **Objeto:** Coisa material que pode ser percebida pelos sentidos.
- **Componente:** Aquilo que compõem alguma coisa. Neste trabalho são considerados componentes os objetos arquitetônicos, desde a menor até a maior escala.
- **Estilo:** Conjunto de características que distinguem uma obra ou grupo de obras umas das outras; ou que representam uma época ou movimento cultural.
- **Ontológico:** Refere-se à ontologia, que é o ramo da metafísica que analisa as coisas existentes no mundo, a natureza do ser e a realidade. Neste trabalho, considera-se que o ontológico é a essência da arquitetura, e essa essência é constituída pela estrutura.
- **Representação:** Ato ou efeito de representar, de mostrar com clareza, de expor.
- **Expressivo:** Capacidade de transmitir com clareza, no caso da arquitetura, os edifícios podem ser considerados expressivos quando seus aspectos estruturais/ construtivos são comunicados através de seus aspectos artísticos, ou seja, seus componentes externos.

**ANEXO:**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
VIÇOSA - UFV



## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Implicações entre tectônica e processos de projeto computacionais: perspectivas conceituais

**Pesquisador:** Denise Mônico dos Santos

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 57226422.1.0000.5153

**Instituição Proponente:** Departamento de Arquitetura e Urbanismo

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 5.414.920

#### Apresentação do Projeto:

O presente protocolo foi enquadrado como pertencente à Grande Área 6. Ciências Sociais Aplicadas

As informações elencadas nos campos “Apresentação do Projeto”, “Objetivo da Pesquisa” e “Avaliação dos Riscos e Benefícios” foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa (PB\_INFORMAÇÕES\_BÁSICAS\_DO\_PROJETO\_ 1903488.pdf) e/ou do Projeto Detalhado:

1. RESUMO: A principal noção da tectônica na teoria contemporânea em Arquitetura foi definida por Kenneth Frampton (1996) como o “potencial de expressão construtiva da arquitetura”, capaz de unir os aspectos materiais e construtivos aos culturais e estéticos. A discussão ganhou evidência no âmbito dos processos computacionais de projeto a partir do crescimento da inter-relação entre tecnologias digitais e design, no que tange à materialidade (integração dos materiais como base de projeto) e à associação das lógicas de fabricação digital (Amaral, 2009; Oxman, 2017). Sabe-se que o design computacional e a fabricação digital oferecem a possibilidade de se projetar com os materiais desde os primeiros estágios do processo de projeto. Nesse sentido, a chamada “tectônica digital” configura uma metodologia de projeto orientada para processos com incorporação de dados materiais em ferramentas de geração formal, simulação, análise, otimização e fabricação (Picon, 2004; Andersson & Kirkegaard, 2006; Baliski & Januszkiewicz, 2016; Oxman, 2017; Al-Alwan & Mahmood, 2020). Entende-se, assim, que os aspectos tecnológicos computacionais possivelmente modificaram a concepção da tectônica nos processos de projeto. Em vista disso, questiona-se em que medida é coerente a relação entre os conceitos clássicos da tectônica e os

**Endereço:** Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes

**Bairro:** Campus Universitário

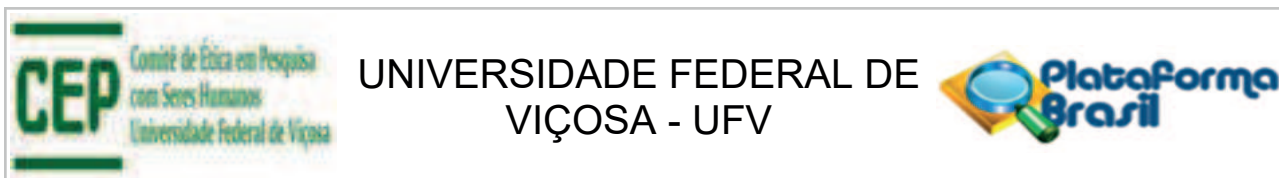
**CEP:** 36.570-977

**UF:** MG

**Município:** VICOSA

**Telefone:** (31)3612-2316

**E-mail:** cep@ufv.br



Continuação do Parecer: 5.414.920

processos de projeto computacionais e de fabricação digitais? Este trabalho objetiva examinar a noção de tectônica, e seus conceitos derivados, na teoria da arquitetura contemporânea, sob a perspectiva dos processos computacionais de projeto, buscando destacar as singularidades dos componentes tectônicos nesses processos. A metodologia se apoia nos procedimentos de revisão de literatura e análise de estudo de casos, e a pesquisa pretende gerar uma compreensão e sistematização dos elementos que compõem a tectônica digital, em relação com os que compõem a tectônica tradicional, a fim de endereçar as transformações no pensamento de projeto.

2. METODOLOGIA: A presente pesquisa apresenta abordagem qualitativa, por se tratar de indicativos não numéricos, é de natureza básica, por se propor a gerar conhecimentos úteis para a ciência mas que não necessariamente tenham fins práticos, e se dará em caráter de estudo exploratório, que será desenvolvido essencialmente através de procedimentos de Revisão Bibliográfica e Estudo de Caso (PRODANOV; FREITAS, 2013). A coleta de dados será feita por meio da seleção dos autores mais relevantes e obras clássicas da teoria da arquitetura contemporânea, especialmente dos últimos 40 anos (livros, ensaios); também de autores e publicações mais recentes, como dissertações e teses disponíveis nos repositórios virtuais das universidades e da CAPES, que abordem discussões acerca da tectônica clássica e da chamada 'tectônica digital'; e também de artigos acadêmicos publicados nos repositórios: CUMINCAD, Web of Science, e outros; e revistas de maior relevância internacional na área: Architectural Design, Design Studies, entre outras, com foco de busca por trabalhos e pesquisas relacionadas às temáticas da pesquisa. O Estudo de Caso, como modalidade de pesquisa, consistirá no estudo aprofundado de poucos objetos de modo a ampliar e detalhar o conhecimento sobre os mesmos (GIL, 2002), e terá como principal intenção o cumprimento do objetivo específico III, através da 14 investigação da operacionalização da integração entre formas, estruturas e materiais nos processos computacionais de projeto e de fabricação digital. Para isso será feita uma análise diacrônica com dois polos, um deles o estudo do processo de projeto tradicional de uma obra construída (tectônica clássica), e outro do processo de projeto computacional, paramétrico e algorítmico, de objetos não necessariamente construídos (tectônica digital), com o objetivo de investigar as alterações nas dimensões, relações e presença dos elementos tectônicos tradicionais em processos computacionais de projeto. Desta forma, propõem-se as seguintes fases: 1) Seleção dos casos: para o estudo da tectônica tradicional serão escolhidas algumas das obras analisadas por Kenneth Frampton em *Studies in Tectonic Culture*, de 1995; para o estudo da tectônica digital serão utilizados os projetos desenvolvidos por participantes em workshop desenvolvido em parceria com o laboratório NÓ. Lab, do departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa; 2) Coleta e organização dos

**Endereço:** Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes

**Bairro:** Campus Universitário

**CEP:** 36.570-977

**UF:** MG

**Município:** VICOSA

**Telefone:** (31)3612-2316

**E-mail:** cep@ufv.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
VIÇOSA - UFV



Continuação do Parecer: 5.414.920

dados: em relação aos dados dos processos de projeto tradicionais, estes serão obtidos por meio de levantamento de desenhos, documentos e imagens referentes aos projetos e seus processos; em relação aos dados dos processos de projeto computacionais, a coleta de dados primários será feita por meio de observação participante nas atividades do workshop, já a coleta de dados secundários se dará por meio do levantamento das pranchas, modelos 3D, imagens e arquivos dos códigos de todos os projetos elaborados no workshop. Após a coleta, a organização dos dados será feita mediante a identificação (mantendo-se a anonimização dos voluntários), caracterização e sistematização dos projetos das torres conforme os elementos tectônicos tradicionais; 3) Análise dos dados: após a realização do workshop e da coleta dos projetos apresentados, os modelos produzidos digitalmente pelos voluntários serão ajustados para que sejam então fabricados e montados pela pesquisadora, a partir dos procedimentos de corte à laser e impressão 3D. Nesta etapa, propõe-se a análise crítica e detalhada dos elementos tectônicos clássicos em cada caso selecionado, seguida da exploração da relação entre estes elementos em diferentes processos de projeto, tradicionais e computacionais, por meio da comparação diacrônica.

3. HIPÓTESES: Considera-se que a partir da configuração de uma nova tectônica vinculada aos processos computacionais de projeto, que apresenta singularidades e implicações como a preponderância do aspecto mensurável e do controle dos componentes físicos (materiais, estruturais e construtivos), é necessário atualizar a sistematização da noção de tectônica na teoria e prática arquitetônica contemporânea, a fim de endereçar as transformações da tectônica no pensamento de projeto.

4. Critério de Inclusão: As atividades realizadas no workshop incluem alunos de graduação do departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa, que cursaram a disciplina ARQ 359 (Projeto paramétrico e fabricação digital). Além dos professores, pesquisadores voluntários, mestrands, doutorandos e bolsistas de iniciação científica vinculados ao laboratório NÓ. Lab, do mesmo departamento.

Critério de Exclusão: As atividades a serem realizadas no workshop com os participantes voluntários excluem a participação de alunos que não tenham cursado previamente a disciplina ARQ 359 (Projeto paramétrico e fabricação digital), e pesquisadores ou alunos que não possuam vínculo com o laboratório NÓ. Lab ou com a pesquisa em questão.

### Objetivo da Pesquisa:

De acordo com as pesquisadoras,

Objetivo Primário: Examinar os fundamentos da tectônica, e seus derivados, na teoria da arquitetura contemporânea, sob a ótica dos processos computacionais de projeto e das tecnologias de fabricação

**Endereço:** Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes

**Bairro:** Campus Universitário

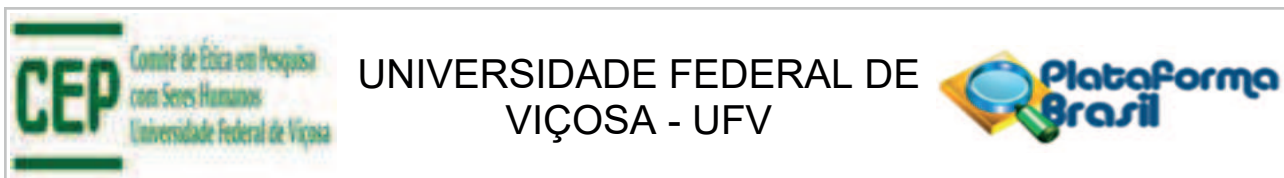
**CEP:** 36.570-977

**UF:** MG

**Município:** VICOSA

**Telefone:** (31)3612-2316

**E-mail:** cep@ufv.br



Continuação do Parecer: 5.414.920

digital, com o objetivo de destacar as singularidades da tectônica nestes processos.

Objetivos Secundários:

- I. Examinar a noção de tectônica na teoria da arquitetura, principalmente aquela formulada a partir da década de 1960, identificando seu arcabouço conceitual, principais autores e obras;
- II. Examinar a noção de tectônica usada por diferentes autores em textos e obras que discutem design computacional, identificando seus pressupostos fundamentais;
- III. Investigar as operacionalizações integradas de formas, estruturas e materiais nos processos de projeto e produção digitais buscando identificar possíveis níveis de manipulação de componentes tectônicos (junção, detalhe, material, objeto, estrutura, construção e interação), assim como as ausências dos mesmos;
- IV. Investigar as potencialidades e desafios das fundamentações teórico-conceituais quando das adoções de termos como 'tectônica digital', 'tectônica informada', 'materialidade digital', no que tange à caracterização da natureza ímpar de processos de projeto e produção computacionais contemporâneos.

#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

As pesquisadoras apresentam no formulário online da Plataforma os seguintes Riscos:

Esta pesquisa não apresenta maiores riscos além de um possível desconforto ou constrangimento dos participantes ao serem observados ou gravados (através da plataforma Google Meet) durante as atividades do workshop. Para minimizá-los, faremos o possível para que as discussões não sejam invasivas e nem gerem constrangimento, além de que as câmeras dos participantes poderão permanecer desligadas, caso prefiram.

E os seguintes Benefícios:

Essa pesquisa pode colaborar para o aprendizado dos participantes, e das pesquisadoras, sobre os processos de projeto e de fabricação digital, além das particularidades da tectônica nesses processos. Para além, os resultados obtidos com a pesquisa poderão compor o arcabouço teórico acerca da denominada tectônica digital.

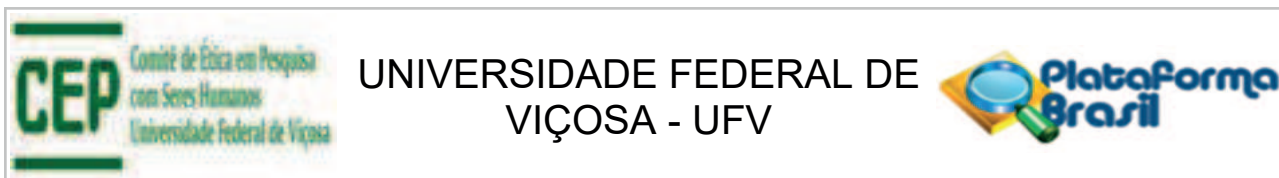
#### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

As pesquisadoras propõem realizar uma pesquisa de natureza qualitativa, em nível de Mestrado, com financiamento próprio, envolvendo 25 sujeitos. A coleta de dados está prevista para maio de 2022 e o encerramento do estudo será em novembro deste mesmo ano.

#### **Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Foram todos entregues de acordo com as normas do Sistema CEP/CONEP.

**Endereço:** Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes  
**Bairro:** Campus Universitário **CEP:** 36.570-977  
**UF:** MG **Município:** VICOSA  
**Telefone:** (31)3612-2316 **E-mail:** cep@ufv.br



Continuação do Parecer: 5.414.920

### Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Aprovado.

### Considerações Finais a critério do CEP:

Ao término da pesquisa é necessário apresentar, via notificação, o Relatório Final (modelo disponível no site [www.cep.ufv.br](http://www.cep.ufv.br)). Após ser emitido o Parecer Consubstanciado de aprovação do Relatório Final, deve ser encaminhado, via notificação, o Comunicado de Término dos Estudos para encerramento de todo o protocolo na Plataforma Brasil.

Projeto aprovado autorizando o início da coleta de dados com os seres humanos a partir da data de emissão deste parecer.

### Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1903488.pdf	25/03/2022 14:21:18		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_DE_PESQUISA_ANA_CAROLINA.pdf	25/03/2022 14:20:56	Denise Mônaco dos Santos	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA_ANA_CAROLINA_MODIFICADO.pdf	25/03/2022 14:19:27	Denise Mônaco dos Santos	Aceito
Folha de Rosto	FOLHA_DE_ROSTO_ORIGINAL.pdf	19/03/2022 15:39:31	Denise Mônaco dos Santos	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_ANA_CAROLINA_VICENTE.pdf	09/03/2022 18:01:29	Denise Mônaco dos Santos	Aceito

### Situação do Parecer:

Aprovado

### Necessita Apreciação da CONEP:

Não

VICOSA, 18 de Maio de 2022

---

**Assinado por:**  
**Guilherme de Azambuja Pussieldi**  
**(Coordenador(a))**

**Endereço:** Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes  
**Bairro:** Campus Universitário **CEP:** 36.570-977  
**UF:** MG **Município:** VICOSA  
**Telefone:** (31)3612-2316 **E-mail:** cep@ufv.br