



Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro

Marcos Vinicius Pereira da Silva

**Projeto, Modelo e Protótipo:
O ensino e o ofício de projeto de arquitetura
na era digital**

Dissertação de mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura, do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Marcos Favero

Rio de Janeiro, setembro 2024



Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro

Marcos Vinicius Pereira da Silva

**Projeto, Modelo e Protótipo:
O ensino e o ofício de projeto de arquitetura
na era digital**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof. Marcos Favero

Orientador
Departamento de Arquitetura e Urbanismo
PUC-Rio

Prof. Fernando Esposito Gallarce

Departamento de Arquitetura e Urbanismo
PUC-Rio

Prof. Fernando Cesar Negrini Minto

Departamento de Arquitetura e Urbanismo
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 setembro de 2024

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, deste trabalho é proibida sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Marcos Vinicius Pereira da Silva

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2013), especialização em Design de Interação (design de experiência e interface do usuário) pelo SENAC. Atualmente é técnico responsável pelas áreas de prototipagem rápida e fabricação digital do laboratório de Arquitetura e Construção do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Experiência em: Ensino de projeto de arquitetura e de técnicas construtivas em madeira, fabricação digital, prototipagem rápida e modelagem paramétrica.

Ficha Catalográfica

Silva, Marcos Vinicius Pereira da

Projeto, modelo e protótipo: o ensino e o ofício de projeto de arquitetura na era digital / Marcos Vinicius Pereira da Silva ; orientador: Marcos Favero. – 2024.

161 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2024.

Inclui bibliografia

1. Arquitetura e Urbanismo – Teses. 2. Projeto de arquitetura. 3. Ensino de arquitetura. 4. Projeto digital. 5. Fabricação digital. 6. Design thinking. I. Favero, Marcos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD: 720

Dedicatória

Para minha mãe Célia,
com todo o amor que cabe em mim

Agradecimentos

À Deus

À minha mãe por ser meu porto seguro e uma fonte de incentivo inesgotável.

À Juliana pelo companheirismo, apoio e paciência nesse período de imersão.

À família da Juliana (mãe, irmão, tia, avó e padrasto e primos) pelo carinho e atenção.

Ao meu orientador, Prof. Marcos Favero, por toda assertividade, dedicação e aconselhamentos.

Aos professores e mentores Luciano Alvares e Fernando Betim (*in memoriam*) por serem um espelho e inspiração.

Ao professor Ricardo Esteves (*in memoriam*), por ser um dos meus primeiros incentivadores a cursar o Mestrado.

À PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus amigos por serem a calma em meio ao caos.

Aos professores que dedicaram tempo para ler e avaliar este trabalho.

A todos os professores e professoras do DAU pelas palavras de incentivo.

Aos meus colegas, funcionários do DAU, pelos ensinamentos, pela ajuda e inúmeras confraternizações.

Aos meus colegas da Pós-graduação por todas as palavras de apoio e companheirismo.

E a todos e todas que de alguma forma me apoiaram e estiveram ao meu lado durante esta trajetória.

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

Resumo

Silva, Marcos Vinícius Pereira; Favero, Marcos (Orientador). **Projeto, Modelo e Protótipo: o ensino e o ofício de projeto de arquitetura na era digital**. Rio de Janeiro, 2024. 161p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta pesquisa aborda a relação entre os métodos de ensino de projeto de arquitetura e os avanços das tecnologias digitais, destacando a transição do fazer analógico para o fazer digital, bem como formas de complementaridade entre tais abordagens, enfatizando a importância da preparação dos estudantes para tais transformações. Busca investigar uma abordagem de ensino de projeto que reforce tal complementaridade e que dê fluidez a prática projetual. Propõe reflexões sobre como as escolas de arquitetura podem se preparar o paradigma digital. Para tanto, parte do conceito da dialogia do fazer e do pensar para a criação de um saber emancipado presente em abordagens de prática reflexiva no âmbito do projeto de arquitetura. Em seguida, busca traçar um paralelo entre o fazer analógico e fazer digital como formas complementares de trabalho. Utiliza os conceitos de ensino prático reflexivo nas obras de Donald Schön e Paulo Freire para demonstrar como a abordagem trabalho prático do fazer arquitetônico se torna uma ferramenta poderosa para a assimilação de conhecimento e de construção de uma consciência crítica e, por desdobramento, de um saber emancipado. Incorpora também os conceitos de Richard Sennett sobre engajamento artesanal e Juhani Pallasmaa sobre o saber corporificado como elementos para evidenciar como a reflexão a partir do fazer artesanal nas fases de ideação, projeção e execução pode promover um maior engajamento dos estudantes. Por último, parte do arcabouço teórico construído por Rivka Oxman, juntamente com outros autores, para traçar um panorama do estado da arte do projeto de arquitetura digital, no campo do design computacional através do conceito de projeto baseado em materiais e fabricação.

Palavras-chave

Projeto de arquitetura; ensino de arquitetura; projeto digital; fabricação digital; design thinking.

Abstract

Silva, Marcos Vinícius Pereira; Fávero, Marcos (Advisor). **Project, model and prototype: teaching and the craft of architectural design in the digital age**. Rio de Janeiro, 2024. 161p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This research addresses the relationship between architectural design teaching methods and advances in digital technologies, highlighting the transition from analog to digital design, as well as forms of complementarity between these approaches, emphasizing the importance of preparing students for such transformations. It seeks to investigate an approach to teaching design that reinforces this complementarity and that gives fluidity to design practice. It proposes reflections on how architecture schools can prepare for the digital paradigm. To this end, it starts from the concept of the dialogism of doing and thinking for the creation of an emancipated knowledge present in approaches to reflective practice in the context of architectural design. It then seeks to draw a parallel between analog and digital design as complementary forms of work. It uses the concepts of reflective practical teaching in the works of Donald Schön and Paulo Freire to demonstrate how the practical work approach to architectural design becomes a powerful tool for the assimilation of knowledge and the construction of a critical consciousness and, by extension, of an emancipated knowledge. It also incorporates Richard Sennett's concepts on artisanal engagement and Juhani Pallasmaa's on embodied knowledge as elements to highlight how reflection based on artisanal work in the ideation, design and execution phases can promote greater student engagement. Finally, it uses the theoretical framework constructed by Rivka Oxman, together with other authors, to outline an overview of the state of the art of digital architectural design, in the field of computational design through the concept of design based on materials and fabrication.

Keywords

Architectural design; architectural teaching; digital design; digital manufacturing; design thinking.

Sumário

1	Introdução	13
2	A prática reflexiva no ensino de projeto de arquitetura	20
2.1	O fazer, o pensar e o saber	21
2.2	O engajamento no fazer arquitetônico.	26
2.2.1	O Canteiro Experimental e o fazer artesanal engajado	34
2.2.2	O Canteiro Experimental da PUC-Rio	37
3	Entre o analógico e o digital	52
3.1	O advento do CAD e a tomada de consciência digital	53
3.1.1	O arquiteto artífice digital	57
3.2	A complementaridade entre o projeto analógico e o digital	71
4	O fazer e o pensar digital	76
4.1	Projeto baseado em materiais e fabricação digital	91
4.1.1	A evolução do CAM: do chão de fábrica a mesa de trabalho	92
4.1.2	Do desenho paramétrico ao projeto de materialização	101
4.1.3	Ensino de projeto baseado em materiais e fabricação digital	105
4.1.3.1	Workshop Babilônia	106
4.1.3.2	Workshop INSITU	110
4.1.3.3	Workshop Cabine do Bosque	114
5	Considerações finais	125
6	Bibliografia	128

Lista de figuras

Figura 1 - Diagrama Projeto, Modelo e Protótipo	15
Figura 2 - Ciclo Fazer, Pensar e Saber	16
Figura 3 - Categorias conceituais digitais	17
Figura 4 - Analógico e digital	26
Figura 5 - Renzo Piano Building Workshop	33
Figura 6 - Projeto Anexo do Canteiro Experimental do DAU	39
Figura 7 - Projeto anexo, alunos na fase de construção da fundação	40
Figura 8 - Projeto anexo, alunos e técnicos executando a estrutura de madeira	40
Figura 9 - Exercício de construção com tijolo de adobe	41
Figura 10 - Alunos construindo o forno de pizza	41
Figura 11 - Professor Luciano Alvares fazendo pizza	42
Figura 12 - Construção de muro de superadobe	43
Figura 13 - Exercício de construção com taipa de pilão	43
Figura 14 - Exercício de pisos em argamassa armada e formas têxteis	43
Figura 15 - Instalação dos pisos no térreo do Ed. IMA PUC-Rio.	44
Figura 16 - Viveiro de Mudas, levantamento e discussão do projeto	45
Figura 17 - Viveiro de Mudas, apresentação das maquetes e dos desenhos	46
Figura 18 - Modelo 3D do projeto do Viveiro de Mudas	46
Figura 19 - Viveiro de Mudas, Montagem das peças	47
Figura 20 - Viveiro de Mudas, momento heureka finalizando um pórtico.	47
Figura 21 - Montagem e ajustes finais do Viveiro de Mudas no Horto Natureza	49
Figura 22 - O Viveiro de Mudas montado no Horto Natureza	50
Figura 23 - Sketchpad.	54
Figura 24 - Tela do Autocad.	55
Figura 25 - Croqui de concepção do Museu Guggenheim	58
Figura 26 - Frank Gehry trabalhando artesanalmente com maquete.	59
Figura 27 - Maquete do museu Guggenheim Bilbao.	60
Figura 28 - Museu Guggenheim, versão computadorizada.	61
Figura 29 - Museu Guggenheim convertido em modelo digital pelo CATIA.	61
Figura 30 - Museu Guggenheim Bilbao.	62
Figura 31 - Fotos do Ateliê.	63
Figura 32 - Modelos de estudo do projeto de expansão do Tate Modern	64
Figura 33 - Projeto de expansão do Tate Modern	64
Figura 34 - Parametrização das unidades de tijolo Tate Modern.	65

Figura 35 - Maquetes em 1:1 de partes detalhadas do Tate Modern.	66
Figura 36 - Maquetes espalhadas pelo estúdio Gehry Partners.	69
Figura 37 - Kabinett de modelos físicos dos projetos H&dM.	69
Figura 38 – Diagrama fluxo de trabalho analógico e digital	71
Figura 39 - Modelo 3D no Rhinoceros parametrizado no Grasshopper	77
Figura 40 - Linha de código do Grasshopper	78
Figura 41 - Aranha d'água	82
Figura 42 - Pavilhão ICD/ITKE	83
Figura 43 - Pavilhão ICD/ITKE, braço robótico aplicando filamento de carbono	84
Figura 44 - Montagem do pavilhão ICD/ITKE	84
Figura 45 - Projeto Future Tree	86
Figura 46 - Estrutura de montagem da Future Tree	87
Figura 47 - Composição da forma e da estrutura da Future Tree	87
Figura 48 - Processo de cofragem Eggshell	88
Figura 49 - Estruturas de concreto construídas com fôrmas Eggshel	89
Figura 50 - Diagrama de transição do projeto analógico para o projeto digital	90
Figura 51 - Categorias conceituais digitais	92
Figura 52 - John T. Parsons e a Máquina CNC de 3 eixos do MIT de 1952	93
Figura 53 - Fab Lab Casa Firjan	94
Figura 54 - Adaptação do braço robótico – pavilhão ICD/ITKE e Future Tree	97
Figura 55 - Impressão 3D FDM e SLA	98
Figura 56 - Modelo original da impressora 3D RepRap	98
Figura 57 - Impressora 3D robótica e impressora 3D de tamanho industrial	99
Figura 58 - CNC Router, cortadora laser, centro de usinagem, braço robótico.	99
Figura 597 - CNC Router MTM Snap faça você mesmo	100
Figura 60 - Espaço das peças igual a espessura da fresa	104
Figura 61 - Workshop Babilônia, fase de concepção	107
Figura 62 - Workshop Babilônia, fase de execução	108
Figura 63 - Workshop Babilônia, fase de instalação	108
Figura 64 - Banco da Banca, morro da Babilônia	109
Figura 65 - Fachada de cobogó do Consulado Geral de Portugal no RJ	110
Figura 66 - INSITU, Imagens do processo	111
Figura 67 – INSITU, Cobogó Trança	112
Figura 68 - Banco da Banca, detalhe construtivo do Septo	113
Figura 69 - Usinagem em compensado e em isopor	114
Figura 70 - Posto de estacionamento no cruzamento	115
Figura 71 - WCB, apresentação final com exposição dos modelos físicos	118

Figura 72 - WCB, croquis e apresentação com maquetes em 1:15	119
Figura 73 - WCB, alunos utilizando algumas peças do catálogo de encaixes	120
Figura 74 - WCB, detalhes construtivos em escala 1:3 e 1:1.	120
Figura 75 - WCB, evolução de solução estrutural de encaixes em madeira.	121
Figura 76 - WCB, alunos usando os computadores de trabalho dos técnicos do LAB.ARCO	123
Figura 77 - WCB, encerramento do workshop	124

*O maior dilema enfrentado pelo moderno artífice-
artesão é a máquina. Seria ela uma ferramenta
amistosa ou um inimigo substituindo o trabalho da
mão humana?*

Richard Sennett

1 Introdução

A **motivação** da presente pesquisa decorre da necessidade de se fazer uma reflexão sobre os métodos de projeto e de ensino-aprendizagem de projeto de arquitetura, tendo em vista discutir a relação dialógica do fazer e do pensar durante o processo de projeto diante dos avanços tecnológicos, sobretudo, no contexto digital. Portanto, lança luz sobre um debate premente sobre a complementaridade do fazer analógico e do fazer digital, na elaboração de desenhos e protótipos, assim como, nas percepções e entendimento do projeto na utilização de modelos 3D digitais, associados a fabricação digital. Tenta, também, apontar possíveis configurações de ambientes nas escolas de arquitetura que podem potencializar a absorção de conhecimento, a segurança na tomada de decisão e a colaboração criativa entre estudantes de arquitetura.

Observa-se uma forte tendência de mudança no perfil comportamental nas novas gerações, sem dúvida mudança intrinsecamente relacionada aos avanços das tecnologias digitais. As transformações são imensuráveis, porém nítidas em todos os campos. No campo da arquitetura, tanto na prática profissional quanto no ensino-aprendizagem, não está sendo diferente. Novos *softwares* para projeção e sua representação aceleram a elaboração do projeto e maximizam sua potencialidade. As máquinas de fabricação digital advindas da revolução digital agilizam o processo de construção de protótipos, testes construtivos e modelos volumétricos, entretanto, poderão ser subutilizadas pelos usuários sem o devido treinamento e sem a compreensão de suas capacidades funcionais.

Os processos de elaboração de projeto de arquitetura tem sido objetos de estudo há décadas. Antes do Renascimento, a arte de construir era passada como uma sabedoria geracional e muito conhecimento permanecia tácito. Após este período, o conhecimento científico introduzido pelas ideias renascentistas transformou a figura do arquiteto construtor em também projetista, principalmente, a partir da criação do desenho técnico em perspectiva por Brunelleschi.

Do período do Renascimento à era Moderna, a elaboração do projeto arquitetônico era desenvolvida de maneira exclusivamente artesanal. Os primeiros sinais de tecnologia digital para desenho de projeto surgiram nas décadas de 1950/60 e proporcionaram uma grande revolução nos métodos de elaboração de projeto. Desde então, as tecnologias digitais seguem evoluindo, novas maneiras de

projetar vão sendo desenvolvidas e as escolas de arquitetura precisam evoluir junto com estas mudanças, a fim de formar profissionais críticos e independentes, inovadores, seguros e atualizados com as ferramentas da tecnologia digital oferecidas.

Sendo assim, pensar sobre as práticas de ensino de projeto de arquitetura e a formação profissional do arquiteto em um mundo cada vez mais digital, é de extrema importância. Daí, a necessidade de se refletir sobre os processos de ensino-aprendizagem de projeto e a relação com as tecnologias digitais. A formação do arquiteto diante dos desafios contemporâneos enfrenta diversas complexidades e é fundamental que as instituições de ensino superior de arquitetura se concentrem na atualização de metodologias relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem em projeto que seja um meio de capacitar os alunos para a prática profissional ou para fomentar pesquisas neste campo.

Neste sentido, este trabalho mobiliza as seguintes **questões**: O processo de projeto analógico e o projeto digital são complementares? Em caso positivo, como se dá esta complementaridade? Como as novas tecnologias digitais podem potencializar o processo de ensino-aprendizagem de projeto de arquitetura? Como as ferramentas digitais podem facilitar a assimilação da dialética entre o projeto (ideação) e o construção (artefato)? Como as escolas de arquitetura podem se preparar metodologicamente e ambientalmente – espaço físico – para o novo paradigma digital?

Para tanto, o **tema** “projeto, modelo e protótipo”, é caracterizado por estes três conceitos que, por desdobramento, representam **três categorias conceituais para discussão e investigação** dentro do contexto de ensino-aprendizagem de projeto de arquitetura, especificamente projeção e construção de artefatos: a primeira: **o projeto** - busca construir uma abordagem de transição do pensamento dialógico entre o fazer analógico e o fazer digital, nas fases iniciais do projeto. Esta “virada de chave”, do pensamento analógico para o digital é um processo de mudança do pensamento cognitivo e forma as bases para a construção das duas outras categorias: a segunda: **o modelo** - é a produção de projeto a partir de modelos 3D digitais para investigação da forma e raciocínio visual; a terceira: **o protótipo** - é fundamentado na experimentação construtiva e de materiais com auxílio da fabricação digital.

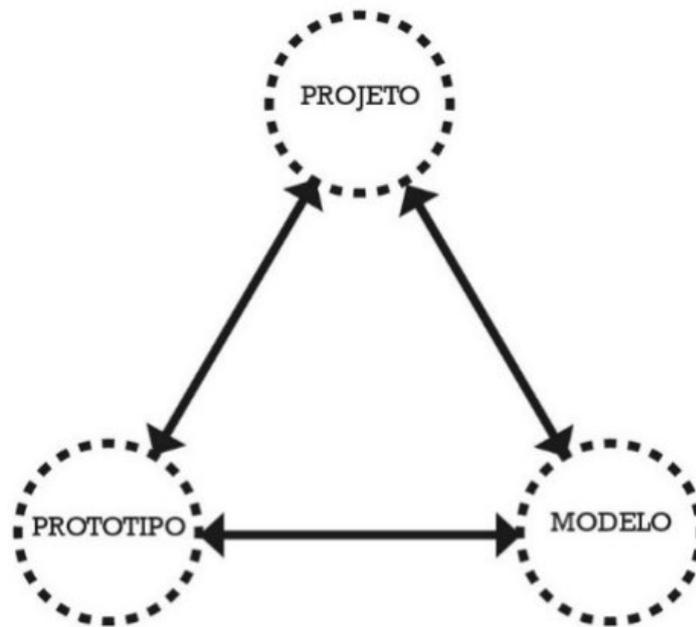


Figura 1 - Diagrama Projeto, Modelo e Protótipo

O projeto digital está impactando diretamente os meios de produção de projeto de arquitetura, apoiado por novos métodos de trabalho e tecnologias, para o qual se faz necessário construir um novo arcabouço teórico, novas bases de conteúdo conceitual, científico e formal. Representa uma ampla mudança cultural no cenário do processo de projeto de arquitetura, especificamente no desenho de projeto e na fabricação de artefatos. Em vista disso, esta pesquisa propõe fazer uma reflexão sobre uma metodologia de ensino-aprendizagem de projeto que utilize a produção analógica e a produção digital como ferramentas complementares e não como substitutas. Para que isso aconteça, é importante se distanciar de uma postura produtivista, incorporando essas novas tecnologias ao ensino de projeto apenas como maneira de acelerar a execução de tarefas. É importante perceber e se preparar para esse novo paradigma digital, mas também é importante preservar o que é essencial para o desenvolvimento das habilidades criativas e cognitivas. O exercício de habilidades manuais potencializa os sentidos cognitivos e o raciocínio dialógico entre a mente e a mão, entre o fazer e o pensar (Moraes Souto; de Couto, 2020). Portanto, esta pesquisa **se justifica** ao trazer à discussão uma possível complementaridade dialógica entre a produção analógica e digital no âmbito do processo de ensino-aprendizagem de projeto de arquitetura.

Para construir as bases da discussão, serão mobilizados os autores Donald Schön (2000) e Paulo Freire (Freire, 2021) para trabalhar a dialogia do fazer e pensar, presente nos conceitos de “ensino prático reflexivo” e “educação problematizadora e libertadora” dos autores mencionados, respectivamente. O **objetivo geral** é demonstrar como a dialogia do fazer e pensar, inserido no contexto do trabalho prático analógico e digital, constituem uma poderosa ferramenta de assimilação de conhecimento no contexto de ensino-aprendizagem de projeto de arquitetura.

Ambos os conceitos são alicerçados na produção de um saber emancipado. Um saber construído com base em raciocínios sobre as decisões e ações tomadas de maneira livre e independente. Para Schön (2000), no campo do projeto de arquitetura, o bom projetista deve saber desenvolver sua habilidade criativa capaz de pensar sobre suas ações e produzir a partir deste raciocínio. A construção do saber emancipado se dá por meio da criação de uma consciência crítica baseada em reflexões sobre as ações diárias. De maneira mais prática, a configuração do ciclo se inicia com uma ação qualquer e uma reflexão sobre a ação, posteriormente. E então cria-se uma consciência crítica sobre aquela determinada ação. Quando esta regra é inserida no contexto de trabalho prático é possível se criar um saber emancipado.

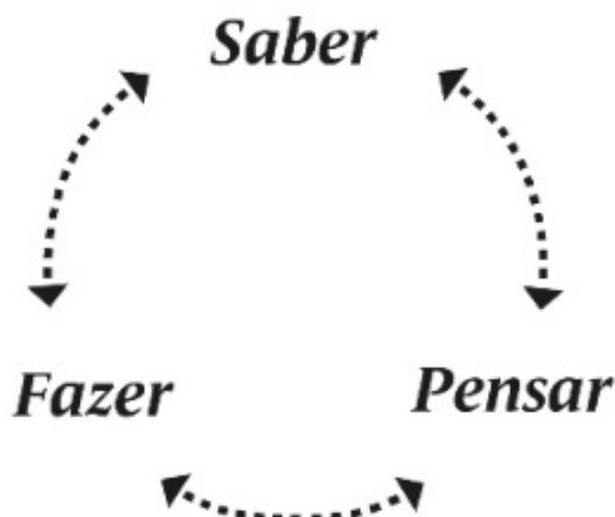


Figura 2 - Ciclo Fazer, Pensar e Saber

Para atingir tal objetivo serão utilizados os conceitos de Richard Sennett (2021) sobre “engajamento artesanal” e Juhani Pallasmaa (2013) sobre “corporificação do saber” para demonstrar como a reflexão nas fases de projeção, entre ideação e execução; artesanal e digital podem provocar um maior engajamento dos estudantes e facilitar a compreensão entre o projeto e construção e suas especificidades, seja na fase analógica ou na digital, ou nas duas simultaneamente. Apoiado nos conceitos de Rivka Oxman (2006) sobre Material Fabrication Design (MFD), Parametric Design Thinking (PDT) e Informed Tectonic¹ será provocada uma discussão sobre a relevância de compreender a conexão entre material, estrutura e forma, aplicando tecnologias digitais de modelagem e fabricação; no âmbito do desenho de arquitetura, neste caso por meio da construção de modelos 3D digitais; ou de fabricação de artefatos com auxílio de fabricação digital, respectivamente.

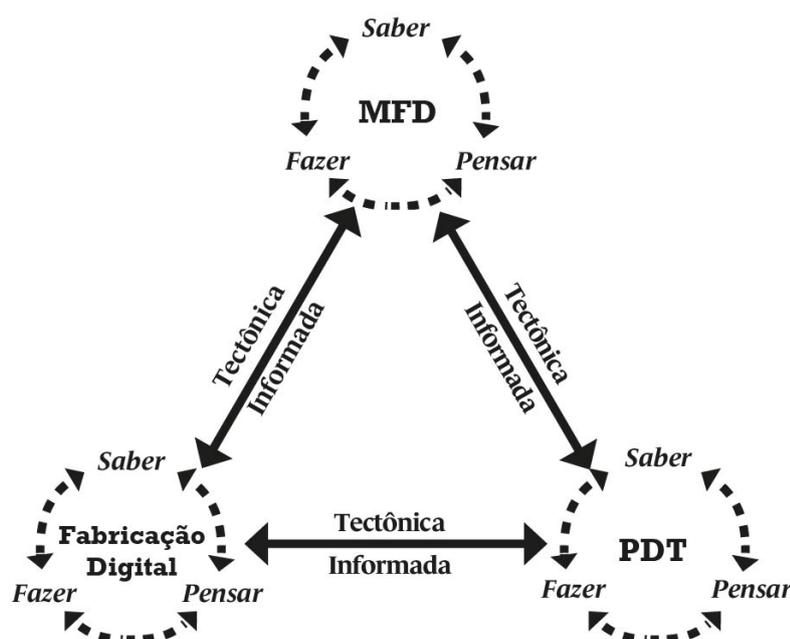


Figura 3 - Categorias conceituais digitais

Para tanto, **esta pesquisa está estruturada em cinco capítulos**: introdução, três capítulos de desenvolvimento e considerações finais.

A introdução apresenta a estrutura da pesquisa e os assuntos que serão abordados e aprofundados nos três capítulos subsequentes. Contém a motivação, o

¹ Projeto baseado em Materiais e Fabricação, Design Thinking Paramétrico, Tectônica Informada – tradução do autor.

tema, questões norteadoras, objetivos, justificativas, conceitos e o referencial teórico.

O segundo capítulo situa o diálogo do fazer e do pensar sob a ótica do trabalho prático reflexivo e abre uma discussão sobre a produção de um saber emancipado no contexto do ensino do projeto de arquitetura. Também será demonstrado como o trabalho prático artesanal, voltado para o ensino de projeto, pode proporcionar um engajamento mais profundo dos estudantes de arquitetura, melhorar a segurança para as “tomadas de decisões” e aumentar a colaboração entre os envolvidos, educandos e educadores.

O terceiro capítulo aborda a relação do fazer analógico e digital, e como as duas esferas se complementam. Neste capítulo será abordado a relação de ideação e percepção imagética na construção de croquis e maquetes de estudo, assim como a transição para o fazer digital, na construção de modelos 3D e prototipagem com fabricação digital, para o qual é preciso construir certo arcabouço mental-cognitivo a fim de utilizar as ferramentas digitais em seu maior potencial.

O quarto capítulo traz um panorama das novas teorias, e ainda em desenvolvimento, sobre o novo paradigma de pensamento em projeto de arquitetura digital. Apresenta os conceitos de projeto baseado em materiais e fabricação, assim como o pensamento em projeto digital paramétrico e a relação com a fabricação digital. Busca traçar um perfil do projetista digital, quais as demandas para esse profissional tanto no mercado quanto para produção científica e como as escolas de arquitetura podem se preparar para esse paradigma, seja no âmbito da formação profissional, quanto da pesquisa científica. Por fim, busca validar a fundamentação teórica desenvolvida nesta pesquisa por meio de observações diárias no Laboratório de Arquitetura e Construção (LAB.ARCO) do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da PUC-Rio², e sobretudo através de um estudo de caso composto por um workshop, denominado Cabine do Bosque, cuja proposta passou por incentivar os alunos a projetarem uma microinfraestrutura no campus da PUC-Rio. O intuito foi de que eles trabalhassem de forma colaborativa, utilizando ferramentas

² Vale ressaltar que sou técnico LAB.ARCO (até 2023 denominado Canteiro Experimental) há mais de 8 anos. Especialista em Fabricação Digital, prototipagem e desenvolvimento CAD/CAM. Apesar de não ter formação técnica na área, também sou marceneiro, carpinteiro, serralheiro e construtor. Portanto, assumo algumas possíveis limitações de análises feitas a partir de tais observações empíricas e/ou subjetivas.

analógicas e digitais, inseridos em contexto de projeto baseado em materiais e fabricação.

O capítulo de considerações finais é caracterizado por uma síntese do que foi abordado na pesquisa. Reafirma a importância de integrar métodos analógicos e digitais no ensino de arquitetura e como a combinação dessas práticas pode potencializar o aprendizado de processos de projeto de arquitetura. Assegura a necessidade de um ensino que valorize tanto as técnicas tradicionais quanto as digitais, criando profissionais idealmente habilitados que compreendam profundamente os aspectos materiais e humanos que envolvem o projetar. Por fim, deixa reflexões para desdobramentos futuros sobre como integrar, pedagogicamente, essas técnicas no currículo dos cursos de arquitetura e como incorporar a fabricação digital sem abdicar das técnicas manuais.

2 A prática reflexiva no ensino de projeto de arquitetura.

Projetar um artefato de arquitetura é uma atividade prática. O desenvolvimento de habilidades práticas requer um tipo de treinamento consciente sobre o processo, assim como se dá no aprendizado de atividades esportivas e musicais, por exemplo. Para tocar bem, um flautista tem que esquecer as técnicas aprendidas no começo do processo, de embocadura e de controle de respiração, e se concentrar na interpretação das notas da partitura e na composição da música em geral (Lawson, 2011). Para que isso ocorra, é preciso muitas horas de treinamento, fazendo com que as técnicas iniciais aprendidas se tornem tão naturais quanto inconscientes, possibilitando que um artista evolua no domínio da habilidade para outras etapas do processo. Toda habilidade prática requer o desenvolvimento de aptidão em alto grau. Talvez a métrica mais usada é a de 10 mil horas de experiência prática para se formar um mestre em determinada atividade (Sennett, 2021). Contudo, no âmbito do projeto de arquitetura, em especial no ensino de projeto de arquitetura, esse treinamento pode se tornar incompleto na medida em que parte do processo de treinamento não é praticado. A arte de projetar um artefato arquitetônico, além de conhecimento de desenho de projeto, envolve também, o conhecimento de técnicas construtivas, bem como certo domínio das outras disciplinas que integram o projeto e a construção (estrutura, instalações prediais, paisagismo etc.). Para um projetista, é fundamental saber como as “coisas” são construídas, pois o desenho de quem projeta deve conter as informações para quem constrói. Seja a construção de um banco, de uma casa, de um carro ou de um computador. Sem a noção de o que e de como construir, a informação dada pelo desenho do projetista poderá conter falhas, que muitas vezes, acarretam erros ou, no mínimo, transtornos na construção do artefato.

Voltando ao processo de projeto de arquitetura, há um que é comum a todos os outros, um espaço produtivo recheado de experiência e aprendizados que se encontra entre a concepção inicial e a materialização final; ou seja, o meio entre o início e o fim. O início é o desejo – de se construir algo –, o fim é a satisfação – de ter algo construído –, mas entre o início e o fim há o processo, o meio; um campo de ir e vir de reflexões sobre ações e decisões. Um campo onde o erro, o redesenho e o refazer é recomendável e as experimentações são a regra. Um espectro de

possibilidades entre fazer e pensar, no qual o processo sugere a expressão das ideias e a compreensão da inteireza da *coisa construída*. É um processo prático reflexivo, cujo resultado é um saber idealmente independente, e sobretudo emancipado, um tipo de aprendizado a partir de acertos e erros.

Neste capítulo será dada atenção à construção do saber emancipado, demonstrado através do exercício de reflexão que, após cada ação, é possível construir um pensamento independente e crítico de suas próprias ações e da ação dos outros, criando assim um sentido consciente do fazer, na vida, em sociedade e, mais especificamente, em projeto de arquitetura.

2.1 O fazer, o pensar e o saber

“Ensinar não é transferir conhecimento”

Paulo Freire

Como estudantes de arquitetura podem sair de um conhecimento espontâneo, não reflexivo, e chegar a um conhecimento mais elaborado; um saber consciente, crítico e emancipado? Os conceitos de Paulo Freire (2021) e Donald Schön (2000) respondem a esta questão.

Para Freire a construção do conhecimento só é possível dentro de uma relação dialógica entre ação e reflexão — fazer e pensar — sobre o mundo e sobre os seus pares. Essa construção do conhecimento que leva em conta a experiência humana, se dá a partir da prática diária de ações no cotidiano e as experiências adquiridas dessas ações durante a vida. Para Freire, é impossível formar um pensamento emancipado apenas com a teoria, pois somente vivenciando uma prática concreta e repensando o processo, que se pode conscientizar e reconhecer possíveis mudanças de direção (Alves, 2018).

O fazer e o pensar, o ensinar e o aprender, segundo Freire são dialogias que orbitam no mesmo campo, pois se o conhecimento é construído, ele não pode ser “dado”, ele deve ser “feito”, e em conjunto. Neste sentido, afirma o autor que “ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção” (Freire, 2007, p. 22). Quando o professor, junto ao aluno, pensa sobre algum tipo de fazer, ele refaz o seu saber através do

saber dos alunos. Ou seja, “o educador refaz a sua cognoscibilidade através da cognoscibilidade dos educandos” (Freire, 2007, p. 31). A epistemologia da educação dialógica – ou libertadora –, de ação e reflexão, entre educador e educando, com respeito à autonomia do saber de quem também aprende, é uma estratégia de educação “de caráter autenticamente reflexivo, implica um constante ato de desvelamento da realidade. [...] busca a emersão das consciências, de que resulte sua inserção crítica na realidade” (Freire, 2021, p. 98).

Educar é uma situação na qual se aprende junto, aluno e professor, com suas diferenças, porém consciente que “devem ser agentes críticos do ato de conhecer” (Freire e Shor, 2021, p. 62), a fim de criar uma *consciência crítica* e emancipar os saberes com participação solidária e comprometida com as mudanças sociais da comunidade em que se inserem. A consciência crítica é criada a partir do empirismo existencial, na análise dos fatos e da casualidade, “quanto mais criticamente se exerça a capacidade de aprender tanto mais se constrói e desenvolve a curiosidade epistemológica” (Freire, 2007, p. 25).

Fica claro, na teoria de Freire, que o saber é adquirido através de um fazer consciente, e que a conscientização, para além de uma ação, se faz por meio de reflexão crítica após a ação. Trazendo para o contexto de projeto de arquitetura, o fazer consciente que se traduz em uma prática de produzir projeto – desenhos e maquetes – e ao mesmo tempo refletir e discutir sobre a produção, consigo, ou com os pares. Todas as mínimas modificações do projeto serão seguidas por um efeito de conscientização se, no caso, essas modificações forem frutos e consequências de uma reflexão crítica. Para o autor, ensinar e/ou aprender uma habilidade prática não se baseia exclusivamente na verbalização do saber (teoria). A transferência do conhecimento também se dá pela experiência corporificada nas fases do aprendizado, que é única em cada indivíduo.

Pode-se assim dizer que o exercício do fazer e do pensar se transformam em um saber emancipado, ou em uma consciência crítica, ou ainda em uma reflexão crítica que se configura como uma ferramenta cíclica de assimilação de conhecimento. É, portanto, mandatário segundo Freire (2007), que a prática de ensinar caracterize-se pela reflexão sobre a prática, tanto para educandos, quanto para educadores, ou seja, um “ensino prático reflexivo”, também presente no conceito de Donald Schön, “um ensino prático voltado

O autor faz uma distinção entre dois processos, que são sequenciais. Primeiro, o “conhecer-na-ação”, que é uma habilidade comparada a um conhecimento tácito corporificado, ou “performances físicas”. São ações pelas quais aprendemos a fazer em algum momento da vida, mas tornam-se tão naturais que não pensamos em como fazer; como o ato de andar de bicicleta ou atirar uma bola. A noção espontânea de “conhecer-na-ação” é de difícil explicação, está enraizada na experiência de vida de cada indivíduo, nos padrões e regras que seguimos, nos procedimentos e operações que aprendemos, valores e princípios que adquirimos. Por isso, é tão difícil descrever como fazer para atirar uma bola ou para andar de bicicleta. Fazemos cálculos imediatos de distância, força e movimentos inconscientemente, mas somos incapazes de descrevê-los. Tudo isso pressupõem a formação das “nossas teorias da ação” (Schön, 2000, p. 31)

O segundo processo é o da “reflexão-na-ação”, que é ato de refletir sobre uma ação. Para Schön (2000), é o ato de pensar a partir de um fazer tácito; a reflexão da ação pode acontecer antes, durante ou depois da ação. Um aluno de arquitetura, por exemplo, no começo do curso de Graduação, aprende a manusear instrumentos de desenho (esquadro, régua, transferidor, etc.), para fazer desenhos técnicos; aprende a desenhar à mão livre com croquis com pontos de fuga, 3Ds isométricos com proporcionalidade ou desenhos visuais a partir de uma forma para retratar um ambiente. Aprende-se também a utilizar *softwares* gráficos para desenhar no computador e *softwares* de representação para criar imagens realistas do projeto. Com o desenvolvimento das habilidades e da obtenção de experiência, o aluno adquire a capacidade de pensar além das ações básicas que aprendeu no início do curso, semelhante ao processo de aprendizado do músico, como foi mencionado anteriormente, ou seja, se num primeiro momento, a reflexão de um estudante que acabou de aprender a desenhar com a régua e com o esquadro está em lembrar sobre um determinado posicionamento dos instrumentos de desenho, sobre hierarquia de traço do lápis, como fazer pontos de fuga para desenhar em perspectiva, para um estudante mais experiente essa “reflexão” se dá de forma automática e quase que inconsciente. O pensamento de um estudante mais avançado está direcionado à qualidade do desenho de uma planta baixa, na espacialidade, na proporção, na ambientação, nos fluxos e em outras questões mais técnicas e não tanto instrumentais. Isto é, se anteriormente o pensamento estava na ação de desenhar, agora o ato de desenhar se torna uma ação tácita e o estudante passa a refletir sobre

questões de projeto a partir do desenho. A assimilação da técnica necessária é adquirida a partir da experiência obtida que propõe uma conexão pensada a após cada ação.

Quando a técnica é de fato assimilada, a comunicação se torna mais fluida. Contudo, depende de uma postura democrática e humilde das partes. No caso de ensino de projeto de arquitetura, Schön (2000) afirma que a comunicação entre aluno e professor estabelece um tipo de processo de enviar e receber mensagens e que cada indivíduo deve interpretar as mensagens à sua maneira. Estas mensagens são transmitidas por ações, que muitas vezes são problemáticas, porque a interpretação das mensagens pelo estudante pode não estar de acordo com a intenção das mensagens transmitidas pelas ações do professor e vice-versa. Nesse caso, é uma via de mão dupla. Essa é uma descrição clara da “educação dialógica” de Freire (2021).

Portanto, assim como Freire, Schön (2000) aponta para a necessidade de uma postura democrática, tanto do educador quanto do educando. Espera-se que o professor abandone uma postura de superioridade e domínio das competências para entender o que o estudante, dentro de sua cognoscibilidade, também tem a dizer e mostrar, e cabe também ao professor pensar em maneiras de transmitir as instruções a partir das peculiaridades do estudante, “aprendendo a ler suas dificuldades e potenciais particulares a partir de seus esforços na execução, bem como descobrir e testar o que este estudante faz a partir das intervenções dele” (Schön, 2000, p. 97).

Ao estudante cabe despir-se de uma postura de desconfiança e afastar-se de atitudes defensivas. Neste sentido, o estudante deve estar disposto a seguir instruções para desenvolver técnicas, cujo significado é incompreensível no início, porém deve estar preparado para aceitar sugestões e praticar imitações, de modo a reproduzir significados que ficarão mais claros com o passar do tempo e com a prática contínua, pois “ao executar tais performances, ele as experimenta, sentindo-as e descobrindo nelas, pela reflexão, significados que não havia percebido anteriormente” (Schön, 2000, p. 97).

Para o estudante de arquitetura, aprender a projetar é como aprender a nadar, o primeiro dia de aula já deve ser dentro da piscina. A partir daí ele aprende a bater a perna e a respirar; e tenta não beber água e se afogar ao mesmo tempo. É um tanto paradoxal, mas o ensino de atividades práticas demanda prática desde o início.

Espera-se que o estudante mergulhe nas atividades de projeto, sem saber o que e como fazer, de modo a ganhar experiência e resolver os problemas que surgem. Ao estudante de arquitetura, não se deve dizer o que fazer, é preciso instruir e direcionar para que ele chegue às soluções à sua maneira (SCHÖN, 2000). Ou seja, cabe ao instrutor de projeto mostrar ao estudante que há algo que ele deve aprender e ajudá-lo a praticar o que for necessário para que ele possa adquirir a competência necessária e entender o que ele ainda não está entendendo. O estudante de arquitetura precisa aprender o porquê das *coisas* e compreender sobre a consequência de suas escolhas ao projetar. Se o professor dita uma “receita de bolo” ou algo parecido como “você deve fazer assim”, o estudante poderá copiar, replicar e jamais entender o que realmente significou. E não há nada tão mecanicista que desenhar por cima do desenho do estudante mostrando-lhe o que deve fazer, enquanto o estudante assiste e, passivo; guarda o desenho, passa a limpo e replica, sem compreender a essência dos porquês. Está aí, portanto, o que Freire (2021, p. 80) chama de educação bancária. Quando o educador faz “depósitos bancários” em forma de “comunicados” e os educandos recebem e arquivam. “Na visão bancária da educação, o saber é uma doação dos que se julgam sábios aos que julgam nada saber” (Freire, 2021, p. 81).

A prática do ensino prático depende, pelo menos em parte, de liberdade para aprender através do fazer, em ambientes que simulem o mundo real, porém, protegidos dos infortúnios, riscos e pressões que ocorrem no cotidiano da prática profissional. Nessa prática libertadora os alunos de arquitetura aprendem “suas ferramentas, seus métodos, seus projetos e suas possibilidades; [...] assimilar, à prática, sua imagem emergente de como ela pode aprender melhor o que quer” (Schön, 2000, p. 40)

O aprendizado pleno em arquitetura só é possível com estratégias de reflexão-na-ação, a fim de educar a si mesmo, com pensamento crítico e criativo, trabalho manual e “mão na massa” desde o início.

2.2 O engajamento no fazer arquitetônico.

“A mão é a janela que dá para mente”

Immanuel Kant

Até aqui a discussão concentrou-se na natureza do comportamento direcionado à construção de uma consciência crítica no ensino de projeto de arquitetura, ora generalizado, ora específico, e na relação dialógica entre ação e reflexão para criação de um saber emancipado. Nesta seção, será abordado como construir tais saberes na prática do fazer arquitetônico, mais especificamente, no processo de projeção de artefatos de arquitetura, além de como provocar um engajamento imersivo no processo de projeto de arquitetura.

Hoje, o processo de projeto de arquitetura está dividido em duas dimensões de trabalho, o analógico e o digital. Essas dimensões não são sequenciais, elas funcionam em paralelo e são complementares entre si. A troca do fazer analógico para o fazer digital e vice-versa, não é natural. É preciso ter uma compreensão cognitiva das duas dimensões para que a conexão seja eficaz. Por sua vez, elas são divididas em outras duas dimensões, o desenho e a maquete, o modelo 3D digital e o protótipo digitalmente fabricado, respectivamente. Nesta sessão será abordada apenas a dimensão analógica e mais adiante será abordada a associação das duas dimensões e suas relações com o processo do fazer e do pensar.



Figura 4 - Analógico e digital

O fazer arquitetônico analógico é um fazer artesanal que utiliza o desenho e a construção de maquetes, como forma de expressão e ideação, sendo um importante aliado na/para a construção de saberes e de ações cognitivas, ou seja, é uma forma natural de expressar o que está na mente (Expressão natural do que se tem em mente). “A intenção, a percepção e o trabalho das mãos não existem como entidades separadas” (Pallasmaa, 2013, p. 86) O desenho é intermediado pela mão,

que é regida pelo cérebro, e nesta conexão é produzida inúmeras sensações que mudam a percepção do objeto. Admite-se em estudos neurocientíficos, que a percepção tátil ativa, aquela do toque intencional, é fundamental para o processamento e organização imagética.

A mão é a região com maior quantidade de sensores cutâneos e o toque com a ponta dos dedos, associado a outros estímulos sensoriais, é capaz de atribuir outros significados às percepções. Talvez por isso sentimos tanta necessidade de tocar ou pegar um objeto para compreendê-lo de forma completa; percepções de textura das superfícies, dureza, rigidez, aspereza; peso do material, poder girá-lo e observar seu contorno em perspectivas diferentes. “Destá forma a percepção tátil ativa supõe o envolvimento da informação cutânea e sinestésica, fundamental no processamento e organização imagética” (Sobral, Everling e Cavalcanti, 2020, p. 183).

Vire uma mente do avesso e derrame seu conteúdo. O que você encontra? Imagens e mais imagens, o tipo de imagens que seres complexos, como nós somos, conseguem gerar e combinar em fluxo progressivo. (Damásio, 2022).

Assim como a visão e a audição, o tato também é responsável pela percepção de objetos e das ações do mundo externo (o paladar e o olfato também, mas não são relevantes aqui). Essas percepções geram imagens que são como um gigantesco álbum de fotos, passando e repassando as fotos em uma fração de tempo incalculável. A mente consciente percebe, memoriza, relembra e manipula as imagens, em forma de pensamento, enquanto descreve o mundo interno e externo do indivíduo. As imagens chegam à mente (cérebro) por uma rede de circuitos bioquímicos e neurais que são interconectados e indissociáveis ao corpo (órgãos). Toda imagem gravada se torna uma memória de objetos e ações, que é acompanhada por algum sentimento e é resgatada quando evocamos uma memória. (Damásio, 2012; Damásio, 2022).

Todo processo criativo é um processo que envolve pensamento, que por si requer percepção, raciocínio e evocação de memórias e, portanto, manipulação de imagens. A imaginação criativa é a combinação e transformação das imagens que estão gravadas na memória, somadas às novas imagens percebidas e captadas pelos órgãos sensoriais – olhos, ouvidos e mãos – e transformadas em novos pensamentos (Damásio, 2022).

O pensamento artístico é corporificado por natureza. As ideias geradas pelo processo criativo artístico são imagens corporificadas, produzidas pelo

conhecimento existencial do artista e construídos pela capacidade de pensar por meio das mãos, olhos e corpo. Sua sabedoria é acumulada pela própria forma de produzir a arte (Pallasmaa, 2013). O arquiteto (ou o estudante) que segura o lápis, projeta para o grafite o fio condutor da mente e, no papel, constrói a imagem projetada das ideias. A mão é a ferramenta sensorial e corporificada do pensamento. Ou será a mão responsável pela imaginação? Será ela executora ativa e fiel de suas intenções, conhecimentos e habilidades? Certamente não. Mas para Pallasmaa (2013) as mãos têm papel fundamental na evolução das habilidades intelectuais, na construção da inteligência, da cognição e da personalidade dos seres humanos.

Consideramos nossas mãos como membros banais e gratuitos do corpo, mas na verdade elas são prodigiosos instrumentos de precisão que parecem ter sua própria inteligência, vontades e desejos. Muitas vezes elas até mesmo parecem ser tanto a origem quanto a expressão de prazeres e emoções. As mãos, seus movimentos e gestos, expressam tão bem o caráter de uma pessoa quanto a sua psique facial e corporal. (Pallasmaa, 2013, p. 27)

Pallasmaa (2013) considera as mãos como produto da evolução humana. Alguns estudos apontam que a evolução da espécie está diretamente ligada à utilização de ferramentas e que o desenvolvimento dos circuitos cerebrais é também fruto do refinamento da pegada das mãos à utilização de ferramentas com precisão. A principal ferramenta do fazer analógico do arquiteto é o lápis (ou a lapiseira), por meio dele expressa e comunica seus desejos. Uma ferramenta que se mistura com o órgão que a segura e se torna um todo. A mente, a mão e a ferramenta; princípio essencial do fazer artesanal. Para o carpinteiro, o serrote; para o pedreiro, a colher; para o pintor, o pincel; para o arquiteto, o lápis, “se tornam extensões inseparáveis”, sempre em perfeita conexão e afinidade (Pallasmaa, 2013, p. 52).

Sennett (2021, p. 19) aborda o campo da habilidade artesanal de forma cultural, que é designada como “um impulso humano básico e permanente” e estimulado pelo “desejo de um trabalho bem-feito por si mesmo”. Para o autor, quando o trabalhador está impregnado pelo labor e inserido no ofício artesanal, este trabalhador submerge em um mundo de pensamentos e ideias, que abrange um espectro de satisfação e inquietação, entre a dialogia do fazer e pensar.

Todo bom artífice sustenta um diálogo entre práticas concretas e ideias; esse diálogo evolui para o estabelecimento de hábitos prolongados, que por sua vez criam um ritmo entre a solução de problemas e a detecção de problemas. (Sennett, 2021, p. 20)

Então, a partir das afirmações de Sennett (2021) e Pallasmaa (2013) podemos dizer que o arquiteto é um artífice? Podemos afirmar que o ofício do arquiteto projetista é um ofício artesanal? Podemos afirmar que hoje, o processo de projeção de artefatos de arquitetura ainda é um fazer artesanal? Vejamos.

Tradicionalmente o ofício do arquiteto era considerado um fazer artesanal. Na Idade Média, era associado ao ofício de construir e o arquiteto era considerado um “mestre construtor” ou “supervisor de obras”. Na Grécia antiga, no Egito e posteriormente no Império Romano o ensino do ofício do arquiteto era passado na prática, de mestre para aprendiz e o canteiro de obras era a “sala de aula”. O aprendizado se dava através da vivência na construção, em trabalhos com carpintaria e serralheria ou em artes, como escultura, pintura e afins. (Favero, 2009; Aprilanti, 2019)

Durante o período renascentista³ iniciou-se um movimento de ruptura do campo artístico com o “mundo dos trabalhos manuais”, para fins de emancipação dos artistas das chamadas guildas medievais – no qual os arquitetos também se enquadravam, as Corporações de Artes e Ofícios que detinham a hegemonia e autonomia da produção e do ensino na construção. A separação consolidou-se com a fundação da *Académie Royale d’Architecture*, em 1671, na qual institucionalizou a arquitetura como campo científico transformando em definitivo a figura do arquiteto artesão para a do artista intelectual (Favero, 2009).

O arquiteto foi alçado do campo das artes manuais para o das “artes liberais” (Pallasmaa, 2013, p. 67) e a essência da arquitetura passou a orbitar, em grande parte, em torno de questões sobre técnicas do conhecimento e na consolidação do campo artístico da arquitetura, como mostra, por exemplo, o tratado *De Re Aedificatória*⁴ de Leon Battista Alberti, que estabeleceu as bases e a fundamentação teórica da arquitetura no período renascentista.

Era, contudo, obrigatório à iniciação em canteiro de obras na formação do arquiteto até a chegada da era moderna. Naquela época, o ofício e a formação do arquiteto eram essencialmente artesanais, mesmo com a consolidação das academias. Muitos praticavam o desenho, a pintura e a escultura como formas de

³Movimento cultural, econômico e político, surgido na Itália no século XIV e se estendeu até o século XVII por toda a Europa. Inspirado nos valores da Antiguidade Clássica e gerado pelas modificações econômicas, o Renascimento reformulou a vida medieval e deu início à Idade Moderna. (www.todamateria.com.br)

aproximação prática com as artes manuais “entre ideia e matéria, a forma e a sua execução” (Pallasmaa, 2013, p. 67).

Algumas décadas após a Segunda Guerra Mundial, o distanciamento do arquiteto com o canteiro de obras continuou se ampliando. A ênfase intelectual dada à formação do profissional e o crescente afastamento da prática construtiva enfraqueceram significativamente a essência artesanal da prática do arquiteto.

Hoje, o advento do computador e o crescente avanço da tecnologia romperam quase que por completo com a “conexão sensorial e tátil entre a imaginação e a construção do artefato” (Pallasmaa, 2013, p. 67). Atualmente, o arquiteto trabalha em seu escritório, semelhante a um advogado, desenhando projetos detalhados, que vão para obra, muitas vezes, sem conexão com a realidade do campo de trabalho.

Neste sentido, podemos dizer que, na atualidade, o processo de projeção, tanto no ensino quanto na produção, ainda é, em parte, artesanal. O desenho é uma forma artesanal de se produzir, mas não é o desenho o produto final do arquiteto projetista. O arquiteto projetista tem como sua obra de arte o artefato construído. Se por alguma razão o arquiteto abre mão do fazer construtivo e pratica apenas o fazer ilustrativo, ele não executa o seu ofício por completo e, conseqüentemente, ele se torna um artífice incompleto.

O profissional da arquitetura que deixa de lado sua habilidade de construtor para executar apenas as atividades de desenhador, abandona parte importante do momento criador e intuitivo. O pensamento se fragmenta e se divide, ficando o profissional à deriva de suas intelecções de ateliê. Quando o arquiteto constrói, ele intui e trabalha outras intelecções e junções. (Minto, 2009, p. 81).

Decerto, não se espera que o arquiteto esteja presente em todas as fases da obra, nem que seja capaz de executar todas as operações no canteiro. Também não se espera que o estudante de arquitetura aprenda sobre todas as ações e procedimentos utilizados nas fases de construção. Mas espera-se que o arquiteto em formação adquira o domínio de aptidões capazes de guiar, quando não com o desenho, com orientações e decisões seguras (Minto, 2009). Espera-se que o profissional de arquitetura tenha a confiança de guiar profissionais técnicos no canteiro de obras, orientando-os quanto as etapas da construção, quanto aos materiais e ferramentas utilizadas em cada etapa, quanto a logística das equipes, quais profissionais começam antes e quais depois. Espera-se que o arquiteto tenha a segurança de avaliar quanto a qualidade do serviço prestado, quando está bem-

feito ou quando deve ser refeito. Espera-se também que o arquiteto tenha autonomia em saber quando decidir por conta própria e quando ouvir os profissionais técnicos. Muitas vezes, esses profissionais trazem significativa bagagem de sabedoria e experiência, e são capazes de achar soluções que aos olhos do arquiteto passariam despercebidas. Porém, se em sua formação, não há proximidade com os materiais e com os processos construtivos, ou se o estudante de arquitetura adquirir apenas noções de desenho e projeto de prancheta, certamente não irá adquirir as capacitações necessárias para ter o controle sobre as ações no campo da construção.

No terreno da construção, ao qual o arquiteto pertence, os esforços para realizar um trabalho satisfatório depende da curiosidade “do como” e “do que” as *coisas* são feitas. Sennett (2021, p. 138) chama de “consciência material engajada: interessamo-nos particularmente pelas coisas que podemos modificar”. Como mencionado anteriormente, parte do processo de construir *coisas*, é saber como elas são construídas. Na arquitetura, e em outros campos do trabalho prático também, o aprendizado efetivo envolve construir para compreender como as coisas são construídas. É inconcebível pensar que é possível aprender uma atividade prática sem praticá-la. As práticas construtivas e o contato com materiais no ensino do processo de projeção oferecem um caminho de aprendizado na prática, simulando problemas reais, propiciando contato com os materiais, testes construtivos, erros e acertos.

A cultura material está presente na forma como os objetos são feitos. Para fabricar um bom machado basta saber de quais materiais é feito e de que forma é fabricado o objeto. Nigel Cross (1982) afirma que os arquitetos estão imersos na cultura material e “baseiam-se nela como fonte primária de pensamento”. Eles têm a capacidade de pensar e se comunicar a partir da materialidade dos objetos, entender a mensagem que o material transmite e transformar em novas mensagens com outros artefatos.

Os arquitetos são hábeis em traduzir as informações não verbais de materialidade e contexto dos objetos e ambientes. São requisitos abstratos que são absorvidos e traduzidos em “pensamento construtivo focado em soluções” (Cross, 1982). Diferente das outras disciplinas de ciências humanas, que tem como

premissa a análise exaustiva de *problemas*, os profissionais ligados ao design⁵ têm a capacidade refletir sobre problemas a partir da busca por solução e isso se dá pela natureza reflexiva da prática de construção de artefatos (Cross, 1982; Schön, 2000).

O contexto prático é diferente do contexto de pesquisa de várias maneiras, todas vinculadas ao relacionamento entre mudar coisa e entendê-las. O profissional (e o estudante) tem um interesse em mudar a situação do que ela é para algo que mais lhe agrade. Ele também tem um interesse em compreender a situação, mas a serviço de seu interesse na mudança (Schön, 2000, p. 65).

Neste sentido, Cross (1982) sugere que há “formas de conhecimento especiais para a consciência e capacidade de designers” inerente à atividade de projetar. Parte dessa capacidade está no conhecimento das informações abstratas, que só o olho treinado do projetista consegue perceber. A capacidade de ler formas, texturas, manuseio, espaço, tempo, sentimento presente nas coisas e reproduzir outros artefatos que transmitem todas essas leituras com outras sensações. Na atividade de projetar o arquiteto reflete sobre todas essas sensações que os materiais transmitem e reflete também sobre o uso de cada material com o propósito de comunicar sua intenção (Cross, 2001).

Para além da aprendizagem, o fazer prático construtivo, proporciona também interações sociais coletivas quando ministradas em grupo. Os alunos se veem forçados a trabalhar em equipe e acharem uma solução em conjunto. São experiências que enfatizam a necessidade de tomar decisões em grupo, ouvir e ser ouvido, aprendem uns com os outros, integram a noção da técnica com a exploração dos materiais, a teoria com a prática.

O fazer arquitetônico passa por um exercício de domínio do fazer construtivo. A relação entre a teoria e a prática possibilita ao estudante a maturidade suficiente para lidar com as adversidades do cotidiano quando profissional de arquitetura. A prática se dá por meio de experimentação construtiva e de materiais a partir do seu fazer. O arquiteto artífice é aquele que consegue operar nas várias instâncias da construção do artefato. É fundamental que o arquiteto tenha recursos para tomar decisões quando pertinente, e essas decisões devem, idealmente, estar embasadas por um arcabouço prático exercitado em sua formação.

⁵ Neste trabalho, os termos “design ou designer” referem-se à desenho, projeto ou design no sentido geral de profissões ligadas ao desenho e não no sentido de disciplina, curso ou faculdade ou profissional formado em Design. Caso contrário, será explicitamente apontado no texto.

Se em sua formação o arquiteto consegue visualizar, na prática, as suas decisões de projeto, ele consegue prever os erros e mudar de direção quando convém, mas sem praticar a “construção propriamente dita, não é possível conhecer a fundo as possíveis surpresas decorrentes da concreção” (Minto, 2009, p. 10). É fundamental a conexão com os processos de execução, que fora do canteiro de obras, se dá de forma artesanal, majoritariamente, no sentido de uma prática que “desenvolve relações específicas entre o pensamento e a elaboração, a ideia e a execução, a ação e a matéria, o aprendizado e o desempenho, a identidade própria e o trabalho, o orgulho e a humildade” (Pallasmaa, 2013, p. 55).

Alguns escritórios no mundo todo ainda mantêm uma relação de identidade com o trabalho artesanal. É o caso do Renzo Piano Building Workshop (RPBW), cujo *ethos* de trabalho é definido por Piano como “uma abordagem muito típica do artesão. Você pensa e faz ao mesmo tempo. Você desenha e faz. O desenho [...] é revisado. Você faz, refaz e faz de novo”. “Você começa fazendo esboços, depois faz um desenho, faz uma maquete, entra na realidade – vai ao terreno – e então retoma o desenho. Você compõe uma espécie de circuito entre o desenho e a execução e volta ao início” (Piano apud Pallasmaa, 2013, p. 68).



Figura 5 - Renzo Piano Building Workshop

Esta abordagem do RPBW (Renzo Piano Building Workshop) é típica de um arquiteto artífice. Pode-se perceber através desse “circuito” de fazer e refazer;

refletir sobre a maquete, sobre o material, sobre testes construtivos, que a práxis se aproxima do fazer do artífice. O arquiteto que utiliza as mãos para compor as especificidades de sua obra; que se engaja de forma prática e não somente instrumental; que articula o pensamento criativo com o fazer construtivo. O arquiteto artífice “em seus patamares mais elevados da técnica [...] é capaz de sentir plenamente e pensar profundamente que está fazendo quando faz bem” (Sennett, 2021, p. 271).

2.2.1 O Canteiro Experimental e o fazer artesanal engajado

É perceptível um engajamento mais profundo dos estudantes quando conseguem visualizar a concreção de seus projetos, mais ainda quando realmente podem construí-los. Na disciplina Canteiro Experimental (CE) do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), ministrada pelos professores Fernando Minto e Luciano Alvares desde 2020⁶, todos os semestres os estudantes se envolvem com atividades de prática artesanal que possam servir à investigação e experimentação construtiva. A disciplina recebeu o mesmo nome de um equipamento⁷ obrigatório aos cursos de Arquitetura e Urbanismo, um espaço chamado de Canteiro Experimental apontado inicialmente na Lei de Diretrizes de Base (LDB) e instituído pela Resolução CNE/CES nº 2, de 17 de junho de 2010 que estabeleceu as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo e revisada por último no parecer de dezembro de 2023. Parte do texto, resultante de audiência pública, está transcrita a seguir:

CAPÍTULO VII – DA INFRAESTRUTURA DE ATELIÊS, LABORATÓRIOS E BIBLIOTECA

Art. 50º Para atingir os objetivos e o desenvolvimento pleno dessas Diretrizes, o Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo deverá ser equipado adequadamente com:

V. Canteiros experimentais de obras (Ministerio da Educação, 2023)

⁷ Utilizo a palavra “equipamento” pois entendo que o Canteiro Experimental é um espaço central que equipa os cursos de arquitetura e urbanismo e dá suporte às atividades dos ateliês e às outras disciplinas, conforme as diretrizes pedagógicas dos cursos.

O Canteiro Experimental, segundo o professor Reginaldo Luiz Ronconi (2005), é uma proposta pedagógica de “emancipação do estudante de arquitetura e urbanismo”. Tem por essência a conexão do trabalho manual e intelectual, com utilização e experimentação de técnicas e materiais de construção, representando um passo seguinte ao desenho de representação para a concreção do objeto projetado (Silvoso, Cordeiro e Albuquerque, 2017). O equipamento é um espaço de experimentação construtiva e tecnológica que possibilita materializar os conceitos do projeto e experimentar materiais em um processo cíclico de pensar e fazer. Os CEs têm como princípio pedagógico a busca do pensamento reflexivo independente do estudante de arquitetura e urbanismo, através de atividades laborais que valorizem a compreensão da técnica, a partir da materialização das ideias e a assimilação do conhecimento empírico.

Apesar de o equipamento ser formalmente instituído pela letra da lei, em muitos casos, é entendido como um equipamento complementar, sendo utilizado como um espaço de apoio, desarticulado das demais disciplinas e não como um instrumento central nos cursos de Arquitetura e Urbanismo, embora fique cada vez mais claro o potencial estrutural e transversal de sua proposta pedagógica (Carvalho e Silvoso, 2021). A presença do equipamento só pode ser concreta quando inserido na estrutura curricular do curso, com propósito de integrar a sua essência de prática experimental às diretrizes pedagógicas curriculares (Ronconi, 2005)

O objetivo do Canteiro Experimental (CE) não deve ser comparado ao de um Canteiro de Obra (CO), cujo funcionamento é estritamente direcionado à produção e à qualidade da obra. Aproximam-se nos meios – materiais e técnicas –, entretanto afastam-se léguas no propósito. No canteiro de obras o trabalho é rigorosamente direcionado à conclusão de tarefas. As etapas são iniciadas e concluídas com prazos, sem margem para erros e atrasos. O trabalho deve ser feito com extrema qualidade e não há espaço para o aprendizado. O profissional que executa a tarefa deve ter todo o conhecimento necessário para que o trabalho seja finalizado com excelência. Este é o ciclo de atividades no canteiro de obras que responde exclusivamente ao mercado da construção, cujas tarefas são executadas para construção da mercadoria artefato de arquitetura (manufatura em escala aumentada) (Ferro, 2006) e “adota uma organização que aliena o trabalhador e atende ao interesse da reprodução do capital empregado na obra” (Ronconi, 2005, p. 143).

Nos CEs os alunos podem experimentar, criar e testar sem juízo de valor quanto à qualidade da tarefa executada, sem a busca da perfeição e excelência que o trabalho do CO exige. O processo é mais importante que o resultado. O que realmente importa é o conhecimento absorvido e não o artefato exposto (Bessa e Librelotto, 2021). É, portanto, um espaço voltado para produção de conhecimento, que contribui para construção do saber emancipado e autônomo, onde a reflexão deve se fazer presente a partir de exercícios práticos de situações que simulem o fazer e o pensar construtivo de uma obra, contudo, sem a pressão e a exigência da obra *manufaturada*. Aqui os esforços devem seguir o caminho da criação pensamento crítico sobre o fazer contínuo que amplia o campo da prática construtiva e auxilia no ensino da arquitetura (Ronconi, 2005; Carvalho e Silvos, 2021).

Antes de Ronconi, em 1994 Sergio Ferro (2006) fez uma importante contribuição, mesmo antes da existência do equipamento, alertando para a necessária reaproximação das escolas de arquitetura ao “autêntico saber fazer”. Posteriormente, pelo fato de ter se dedicado ativamente ao tema, ao longo de sua vida profissional, passou a lecionar em Canteiros Experimentais. No “Programa para polo de ensino, pesquisa e experimentação da construção” Ferro (2006, p. 222) descreveu as bases para um projeto pedagógico que funcionaria como instrumento à serviço das escolas para produção de saberes no campo da construção. Um programa de ensino da arte de construir que serviria como um complemento às escolas que enfatizassem o “ensino prático das culturas construtivas” e da “experimentação crítica” (Ferro, 2006, p. 226).

O programa do Polo de Ensino elaborado por Ferro, vai além de um equipamento. Funcionaria como uma rede, sendo utilizado por outras escolas e que fosse alimentado “pelos diversos ensaios já iniciados dentro das escolas e instituições associadas, nacionais ou internacionais” (Ferro, 2006, p. 230). Era, portanto, necessário construir a ideia de um espaço que abrisse o projeto de arquitetura à compreensão do fazer construtivo. No programa para o polo de ensino o foco era em atividades que permitissem aprender, de forma sensível, as estruturas, os grandes princípios construtivos e as grande etapas de produção. A proposta pedagógica de Ferro permite a experimentação e testes em grandes escalas da construção, dos materiais utilizados, das maneiras de produzir e executar as ideias

com ajuda de equipes multidisciplinares, reunidos em torno de ateliês e espaços de experimentação (Ferro, 2006).

O Canteiro Experimental, nas palavras de Ronconi, é a luz das intenções de Ferro lançada em um espaço que “abre o projeto à compreensão do saber construtivo” (Ferro, 2006, p. 114). Um espaço que permite construir saberes com base na experimentação, aprender as fases da construção, testar materiais para fins diferentes sem a preocupação com o desperdício que só atende aos interesses do capital, contudo ir em busca da inovação, progredir etapa por etapa sem a preocupação com o erro e o refazer, pois não há prazo a ser cumprido. Em cada retrabalho há um aprendizado. Um ambiente rico em saberes populares, que nivela aqueles que praticam e impõe a humanização. O ato de manusear uma colher de pedreiro, carregar um balde e mexer a massa para executar seu próprio trabalho, sozinho ou em grupo, é uma das ações mais humanistas que um estudante de arquitetura pode se envolver durante o curso, assim como o contato com profissionais técnicos da construção, que estimula a sensibilidade de ouvir e aprender em momentos que os nivela em busca de um objetivo comum: a produção de conhecimento. É a educação dialógica em sua essência mais humilde e libertadora pois “a autossuficiência é incompatível com o diálogo” (Freire, 2021, p. 112).

O diálogo é uma exigência existencial. (...) É o encontro em que se solidarizam o refletir e o agir de seus sujeitos endereçados ao mundo a ser transformado e humanizado (Freire, 2021, p. 109).

2.2.2 O Canteiro Experimental da PUC-Rio

No ano de 2008 deu-se início ao projeto pedagógico do novo laboratório de investigação e experimentação construtiva do Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) da PUC-Rio, o Canteiro Experimental (CE). O CE do DAU tinha o objetivo de ser gradativamente integrado às disciplinas de ateliê e ao currículo acadêmico em geral:

Nossa proposta é criar um ambiente de pesquisa prática e teórica da construção, procurando incluir gradativamente nos objetivos das disciplinas de projeto e no currículo do curso, a experimentação concreta com os materiais e sistemas construtivos, sempre com olhos para a invenção (Mendonça, 2008).

O período letivo que antecedeu a inauguração da disciplina destinou-se à construção do projeto Pavilhão Anexo que viria a servir como apoio às atividades do Canteiro. Este Pavilhão foi parte do processo de instrumentalização do espaço e construção da infraestrutura adequada para as atividades. O Pavilhão foi construído, por fases a partir de mutirões, durante um semestre letivo. Contou com a participação dos alunos do curso e teve a ajuda e orientação de técnicos da construção civil durante o processo de construção. A construção foi concluída em junho de 2008 e passou a abrigar a materioteca do curso, na época.



CANTEIRO EXPERIMENTAL

ARQUITETURA E URBANISMO PUC-RIO

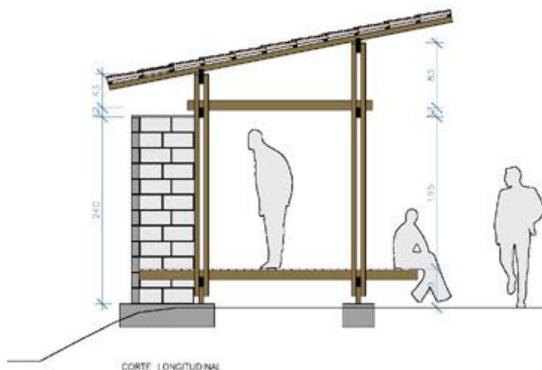
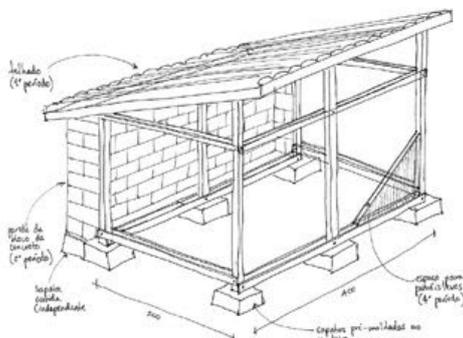
<http://canteiroexperimental.blogspot.com>

PROJETO ANEXO

O Projeto Anexo se apresenta como uma obra inaugural das atividades do Canteiro, a ser desenvolvida e construída ao longo deste semestre, em uma cadeia de mutirões. Uma estrutura simples, em madeira, sobre blocos de concreto, conforma um pequeno pavilhão de 2x4 m, que futuramente servirá de abrigo para a Biblioteca de Materiais e Referência em Construção do laboratório, quando pronto. Ao esqueleto, desenvolvido pelo esforço do grupo de trabalho do Canteiro Experimental, somam-se um telhado, uma parede de alvenaria de blocos de concreto e fechamentos em painéis leves de madeira, agregando ao projeto diversas técnicas, que serão, cada uma, alvo de estudo por três disciplinas de projeto distintas.

Com este objetivo, o Canteiro cumpre a tarefa de investigar as técnicas construtivas através da experimentação prática, unindo diversos períodos em torno de uma única obra e fazendo da construção um ato formador.

A participação nos mutirões é aberta aos alunos de todos os períodos, e é livre, valendo atividade complementar. Fique atento a programação, que será divulgada a cada nova etapa. Participe dessa construção!



ETAPAS DA OBRA

PREPARAÇÃO DO TERRENO

limpeza
nivelamento
locação

FUNDAÇÕES

escavação
execução das armaduras (sapata)
concretagem da sapata
concretagem dos blocos

ESTRUTURA DE MADEIRA

corte e preparação das peças
montagem
aplicação de proteção

TELHADO (integração ARQ1101)

colocação e fixação das telhas

ALVENARIA DE BLOCO DE CONCRETO (integração ARQ1102)

execução da alvenaria

PAINÉIS DE VEDAÇÃO (integração ARQ1104)

projeto e detalhamento dos painéis
execução de protótipos

ABRIL

MAIO
JUNHO

Figura 6 - Projeto Anexo do Canteiro Experimental do DAU
Fonte: (Mendonça, 2008)



Figura 7 - Projeto anexo, alunos na fase de construção da fundação
Fonte: (Mendonça, 2008)



Figura 8 - Projeto anexo, alunos e técnicos executando a estrutura de madeira
Fonte: (Mendonça, 2008)

No segundo semestre letivo de 2008 foi implantada a primeira turma da disciplina eletiva do Canteiro Experimental, cujo objetivo previa a geração de compreensão sobre processos construtivos, consciência de processos de obra, introduzir questões de técnicas construtivas e manuseio de equipamentos e, principalmente, “suscitar, no estudante de arquitetura, autonomia e segurança na resolução dos problemas enfrentados no ato de construir” (Mendonça, 2008).

No primeiro exercício os estudantes praticaram técnicas de construção com tijolo de adobe. A proposta previa promover uma compreensão sobre as técnicas de construção e os processos de produção a partir do material escolhido, no caso o barro. A intenção era investigar as possibilidades construtivas, particularidades físicas e comportamentos mecânicos nos projetos desenvolvidos. No primeiro exercício da disciplina os estudantes experimentaram três tipos de técnicas

construtivas diferentes: uma cúpula afegã, uma cúpula núbia, e arcos. Os modelos foram produzidos em escala reduzida e os tijolos de adobe foram feitos de forma artesanal. No segundo exercício os alunos construíram um forno de pizza em escala 1:1 com o mesmo processo construtivo.⁸



Figura 9 - Exercício de construção com tijolo de adobe
Fonte: (Mendonça, 2008)



Figura 10 - Alunos construindo o forno de pizza
Fonte: (Mendonça, 2008)

⁸ O forno segue exposto no LAB.ARCO e se tornou uma tradição, ao final de cada semestre letivo, fazer uma confraternização com produção de pizzas, no forno construído.



Figura 11 - Professor Luciano Alvares fazendo pizza
Fonte: Autor (2018)

Nos semestres seguintes, a disciplina continuou com a proposta de construir uma consciência crítica quanto a dialética entre projeto e construção, em que, os processos construtivos são fundamentalmente influenciados pelas decisões de projeto. Em todos os períodos letivos os alunos elaboram exercícios de construção de artefatos em escala 1:1, no qual eles podem experimentar materiais, projetar e desenvolver coletivamente.

O objetivo da disciplina, nos períodos letivos subsequentes, até o primeiro semestre de 2023, seguiu na direção de criar uma compreensão sistêmica sobre a construção e sobre os processos construtivos e as atividades se davam, majoritariamente, por meio de trabalho prático experimental, construção coletiva e projeto colaborativo. A seguir, alguns outros exemplos de atividades dos exercícios desenvolvidos na disciplina Canteiro Experimental.



Figura 12 - Construção de muro de superadobe
Fonte: Luciano Alvares (2009)



Figura 13 - Exercício de construção com taipa de pilão
Fonte: Luciano Alvares (2009)



Figura 14 - Exercício de pisos em argamassa armada e formas têxteis
Fonte: Luciano Alvares (2009)



Figura 15 - Instalação dos pisos no térreo do Ed. IMA PUC-Rio.
Fonte: Luciano Alvares (2009)

No segundo período letivo de 2023, a disciplina ganhou um caráter de extensão universitária. A extensão universitária é uma oportunidade de conexão entre a academia e a comunidade, a partir de uma imersão social e de troca de conhecimentos técnicos, culturais e de saberes populares. É uma oportunidade que transcende a ideia de propagação do conhecimento científico e cultural e de transferência de tecnologia, que por muitas vezes coloca a universidade em posição hegemônica, como entidade detentora do único conhecimento verdadeiro (Holliday, 2022).

No caso do Canteiro Experimental, a extensão de interesse social permite trabalhar, dentre outras, a assistência técnica e assessoria para construção, melhoria e ampliação de habitações, infraestruturas, espaços de uso comum em locais de vulnerabilidade social e promover o acesso à moradia digna e a cidadania (Guinancio e Muniz, 2020). A extensão universitária dá a possibilidade de ampliar o campo dos saberes científicos a partir de um modelo acadêmico mais democrático e democratizante, trazendo para o centro das discussões pautas, problemas e dilemas que afligem a comunidade, de forma a produzir profissionais e cidadãos engajados nas demandas da sociedade (Holliday, 2022).

A atividade do mencionado período foi projetar e construir um Viveiro de Mudas na Comunidade do Horto⁹, no bairro do Jardim Botânico - Rio de Janeiro. Na primeira parte da disciplina os alunos foram instruídos a pensar a concepção do projeto a partir de um programa pré-estabelecido. O viveiro projetado foi elaborado

⁹ Comunidade bicentenária localizada no bairro Jardim Botânico, zona sul da cidade do Rio de Janeiro, cujos primeiros moradores eram funcionários escravizados de engenhos e fabricas da região e do Jardim Botânico no Sec. XVI

para os integrantes do Programa Horto Natureza¹⁰ desenvolverem atividades lúdicas com crianças da comunidade e das escolas próximas, reproduzir mudas de plantas e ensinar sobre educação ambiental, tanto para as crianças, quanto para adultos da comunidade. Partindo desse princípio, com o auxílio dos professores, os alunos fizeram o levantamento de campo e medição do sítio de intervenção em uma aula e levaram alguns croquis de intenção de projeto na aula seguinte.

Após discussão de algumas concepções foram definidos dois tipos de proposta de projeto e foram apresentados dois protótipos para os técnicos do Horto Natureza. Das duas propostas apresentadas foi selecionada a melhor opção, com alternativas de solução dos dois projetos. A participação dos técnicos do Horto Natureza foi muito importante no processo decisório. Este envolvimento possibilitou a experiência de troca entre projetista e quem utilizaria o espaço para trabalho, o que só seria possível em ambientes profissionais ou em assessoria técnica. Essa foi uma experiência real e valiosa de interação com a comunidade para desenvolvimento do projeto.



Figura 16 - Viveiro de Mudas, levantamento e discussão do projeto
Fonte: Autor

¹⁰ Projeto fundado em 2020 por Roberto Fonseca que faz trabalhos de preservação e educação ambiental na comunidade do Horto e no bairro do Jardim Botânico, Zona Sul do Rio de Janeiro.



Figura 17 - Viveiro de Mudanças, apresentação das maquetes e dos desenhos
Fonte: Fernando Minto

Depois das fases iniciais de concepção do projeto foi executado um modelo 3D para aproximar as ideias das concepções construtivas. O material disponível para a construção foi o Pinus autoclavado¹¹ em formato de caibro. Foi feito o levantamento de materiais, ferragens, quantitativos e medidas de peças.



Figura 18 - Modelo 3D do projeto do Viveiro de Mudanças
Fonte: Pedro Viana

Em seguida, parte da estrutura foi executada no LAB.ARCO e outra parte montada in loco. Os estudantes participaram de todas as fases do projeto e da construção.

¹¹ Autoclave é um processo de tratamento com impregnantes químicos e secagem em estufa para melhorar a resistência da madeira contra pragas.



Figura 19 - Viveiro de Mudas, Montagem das peças
Fonte: Autor

O contato com o material e a experiência do fazer prático com um projeto que seria realmente construído proporcionou um profundo engajamento. Este é o momento heureka¹², um momento de entusiasmo com a *coisa* construída. Seja ela uma parte, um pequeno pedaço ou o artefato como um todo.



Figura 20 - Viveiro de Mudas, momento heureka finalizando um pórtico.
Fonte: Autor

¹² A palavra “eureka” foi supostamente pronunciada pelo cientista grego Arquimedes (287 a.C. – 212 a.C.), quando descobriu como resolver um complexo dilema apresentado pelo rei Hierão II. (Wikipedia)

Para chegar ao estágio de contemplação é preciso passar por uma fase de construção, que é um estágio intransponível do ensino prático, e enfrentar o erro. No processo de ensino prático o erro se torna um parceiro aliado para contribuir com o aumento da confiança dos estudantes. A confiança na capacidade de superar os erros não é um traço de personalidade. Na verdade, é uma capacidade que se aprende. É uma dialética que se aprende entre a forma correta de executar uma tarefa e a disposição de experimentar várias vezes através do erro (Sennett, 2021).

O erro se torna uma “ferramenta” fundamental para o processo de aprendizagem e deve ser visto como oportunidade para produção do pensamento reflexivo e, conseqüentemente, do aumento da confiança. É uma prática comum e deve ser encarada com naturalidade durante o aprendizado, sobretudo em trabalhos experimentais. O medo de errar cria obstáculos mentais para seguir em frente e muitas vezes impede o desenvolvimento de uma consciência crítica ao refletir sobre o erro e refazer o trabalho (Freire, 2007). O erro é associado às emoções (frustração, arrependimento, raiva, entre outras) que podem influenciar na memória, no processamento de informações e na organização imagética. O pensamento reflexivo associado aos sentimentos negativos do ato de errar podem servir como motivação para correção e conseqüentemente aprendizado (Damásio, 2012). Errando, os alunos aprendem a avaliar suas próprias ações, tornando-se mais autossuficientes e capazes de pensar criticamente sobre si e sobre o mundo ao seu redor (Freire, 2021).

Aliás, o fazer e o pensar, são comumente interpolados por erros. Na maioria das vezes, o processo de refletir sobre uma ação é decorrente de um erro. Então cria-se um tipo de pensamento no estudante: “Onde foi que eu errei?”, ou “Isso aqui está errado!”, para, em seguida: “Vou tentar de uma outra forma”. Quando o acerto acontece, temos um objeto de reflexão: “a prática deixa de ser mera repetição para se transformar numa narrativa” (Sennett, 2021, p. 181).

A montagem da estrutura do Viveiro no Horto Natureza exigiu um bocado de ajustes e correções. Esse percurso de fazer e refazer é fundamental para o entendimento do processo como um todo. A correção de percurso é uma parte intransponível e inevitável no trabalho manual, e até mesmo o retrabalho pode configurar algum ensinamento.



Figura 21 - Montagem e ajustes finais do Viveiro de Mudas no Horto Natureza
Fonte: Autor

Antes de qualquer decisão há a reflexão, a decisão é o prenúncio da ação. Então, entre a ação e a reflexão há também um processo de tomada de decisão. Todos os três estágios, reflexão, decisão e ação, são munidos por um estado corporal intuitivo que auxilia nas decisões futuras. Damásio (2012) caracteriza esse estado corporal de “hipótese do marcador-somático”, uma ferramenta que representa a interconexão entre o corpo e a mente, que auxilia os processos de tomada de decisão. Marcador-somático – soma quer dizer corpo, em grego e marcador, por ser um estado corporal de sensações que marca/grava uma imagem – é um estado corporal automático de alerta que denota *perigo*. Em suma, os marcadores-somáticos são sensações corporais que são acionadas por emoções secundárias que geram sentimentos, os quais auxiliam o pensamento, com base na aprendizagem – imagens da memória – e auxiliam na tomada de decisão e na previsão de cenários futuros.

Esses cenários são apresentados pela mente como imagens justapostas sequenciais de situações chave ou alternativas de acontecimentos após uma ação. Neste momento, a mente cria incontáveis cenas de possibilidades que pressupõe um repertório variado de imagens, portanto, memórias positivas ou negativas com base nas experiências passadas, carregadas de sensações, emoções e sentimentos que foram gerados em situações semelhantes. Esse estado intuitivo de resgate de sensação certamente não é suficiente para todo processo de escolha, que também requer raciocínio e seleção, mas é uma importante ferramenta reguladora nos processos de tomada de decisão (Damásio, 2012).

Esse processo intuitivo é um importante aliado das ações no fazer artesanal. Muitas vezes o trabalho prático artesanal é majoritariamente tácito, para o qual a

intuição tem papel fundamental nas escolhas. O artesão, por vezes, é regido por conhecimentos e intuições que não se sabe de onde vem e nem sabe como explicar. Essa é uma situação prática do estágio do marcador-somático presente na prática artesanal, contudo, muitas vezes, mesmo com a experiência e um *poder intuitivo forte*, o erro é inevitável. Partindo do conceito de Damásio (2012), a intuição não é uma *voz do além que guia a homem* e sim o somatório das experiências, emoções e sentimentos de situações passadas, armazenadas na memória em forma de imagens, que são resgatadas inconscientemente e que guiam a mente e o corpo nas decisões do cotidiano.

Neste sentido, Sennett (2018), assim como Freire (2021), enfatizam a importância de se criar ambientes positivos e inclusivos que promovam a confiança e a segurança para tomadas de decisões. O engajamento emocional e a cooperação se dão por meio da construção de confiança e as emoções têm papel crucial neste sentido, pois decisões eficazes e engajamento profundo dependem de um ambiente positivo e confiável, onde não há julgamento por escolhas erradas, e que o erro não seja motivo de penalidade e sim de crescimento e aprendizado, relacionando-o a emoções positivas.

O engajamento em atividades de prática artesanal não se dá apenas pela prática constante de erros ou de acertos, mas também com a repetição e com aprendizado contínuo. É imprescindível que o estudante crie uma conexão emocional com o que ele está projetando. No sentido de “eu estou produzindo isso”, “eu que fiz isso”, não por questões autorais, mas, para o estudante de arquitetura, por questões de autonomia, de independência, de criar o pensamento emancipado.



Figura 22 - O Viveiro de Mudas montado no Horto Natureza
Fonte: Autor

O Viveiro de Mudas foi concluído no final do período letivo e o trabalho de extensão do Canteiro Experimental no Horto Natureza ainda prevê um banco com uma placa na entrada do espaço e uma estrutura de permanência coberta para atividades lúdicas que serão elaborados nos períodos letivos seguintes.

Neste tipo de atividade os alunos são encorajados a participar ativamente do processo de criação, experimentando diferentes técnicas e materiais. Eles são incentivados a refletir sobre os erros como oportunidades de aprendizado. Através de um ambiente de confiança, onde a contribuição de cada aluno é valorizada, eles desenvolvem suas habilidades artesanais e, ao mesmo tempo, aprendem lições valiosas sobre colaboração, reflexão e aperfeiçoamento contínuo. O contato com os materiais, a contagem e organização de peças em planilhas, a numeração e medição das peças, pensar a logística, o transporte até o local, as concepções de montagem e as ferramentas necessárias. Tudo isso aproxima o estudante da realidade do projeto profissional e são formas naturais de engajamento. Este ambiente simula os conceitos aplicados ao trabalho prático artesanal, promovendo um aprendizado profundo e holístico. Conecta o fazer e o pensar do trabalho prático construtivo, a mão e a mente do arquiteto artífice.

3 Entre o analógico e o digital

O capítulo anterior foi dedicado a demonstrar como se dá a relação do fazer e do pensar - a mão e a mente - no contexto da prática artesanal do fazer arquitetônico, a fim de criar um engajamento espontâneo e autêntico entre os estudantes e como esta prática, quando é reflexiva, pode evoluir para um saber emancipado, crítico e independente.

Neste capítulo serão abordados aspectos mais inconscientes e menos comportamentais. Será promovida uma discussão com base no desenvolvimento cognitivo sobre a transição do pensar e, conseqüentemente, do fazer analógico, para o fazer digital e a relação da produção criativa nas duas esferas e suas interações.

A capacidade de transitar entre o analógico e o digital, ou vice-versa, requer uma mudança na percepção, na leitura e feitura dentro do processo de projeção. Em outras palavras, uma transição cognitiva do fazer analógico para o fazer digital. Esta transição, quando compreendida, é instantânea e não funciona como “via de mão única”. Como já foi dito anteriormente, o analógico e o digital são saber e fazer complementares e, portanto, não há descontinuidade.

Deste modo, é utilizada a palavra transição, simbolizada no título deste capítulo pela palavra “entre” (e não pela palavra “do”), não no sentido de passar de um plano para o outro, “do analógico para o digital”, mas no sentido de orbitar, compor, movimentar-se de um lado para o outro sempre que for pertinente. É verdade que o processo de projeção analógico é essencialmente diferente do processo digital, principalmente no que diz respeito ao desenho de projeto. Entretanto, é importante desapegar-se, até certo ponto, dos métodos de projeto utilizados na era moderna, antes da advinda do *computer-aided design*¹³ (CAD), sobretudo no que diz respeito ao desenho em escala e em perspectiva e maquete representativa, para entender que o desenho e a maquete ainda são instrumentos de projeção, contudo, no âmbito de ideação e resolução de problemas. Aqui está, talvez, a chave para o *entre*, o meio, o processo da construção do artefato, que orbita em torno desses dois mundos – o analógico e o digital.

¹³ Desenho assistido por computador

3.1 O advento do CAD e a tomada de consciência digital

O processo de aprendizagem do ser humano começa logo após seu nascimento. As fases iniciais do desenvolvimento cognitivo são fases em que os estímulos e experiências sensoriais se dão de forma perfeita, esse período é chamado de *período crítico* ou *período sensível* (Ximendes, 2011). Esta fase compreende a formação inicial do indivíduo recém-nascido e é caracterizada por todo desenvolvimento mental da criança até os 12 anos de idade. Após esse período, inicia-se o desenvolvimento cognitivo da fase adulta, na qual concretiza-se o pensamento formal e a capacidade de análise reflexiva. (Moreira, 1999)

Entende-se por cognição todo ato ou processo com base em experiência humana e vivência sensorial que resulta em conhecimento e desenvolvimento mental. Vale pontuar que após o surgimento das tecnologias digitais, ocorreu um aumento significativo de pesquisas relacionadas a cognição e a utilização de tecnologias digitais (Abrão e Del Pino, 2016).

De certo modo, aprender uma tecnologia digital requer uma mudança no padrão de absorção de conhecimento. Em especial, no desenho e no processo de projetar um artefato de arquitetura.

No desenho analógico, cada traço tem um significado e um atributo, o traço fino representa uma peça ou um objeto recuado, em segundo plano, o traço mais forte está em primeiro plano ou em corte. Assim como o traço, a cor também tem significado na linguagem hierárquica. Se a cor está mais forte, representa que o desenho está mais à frente; se está mais fraca, o desenho está mais afastado, mais no fundo. O desenho é feito em escala ou em proporção e cada mudança de escala e/ou tamanho requer um desenho novo. Com o avanço de tecnologias de desenho assistido por computador a alteração de escala e proporção se torna uma simples operação que é realizada com o “*scroll*” do mouse ou acionando o comando de lupa. Com essa ferramenta é possível aproximar, para verificar detalhes e afastar, para ver o projeto em plano maior. Se por um lado, os processos são alterados pela facilidade operacional e pela velocidade do ato de desenhar, por outro, podemos dizer também que o contato com o fazer se torna menos reflexivo e mais mecânico (Vásquez Ramos, 2009). Há aqui uma relação entre o “*ver e o sentir*”, o visual e a percepção, que acaba se perdendo em meio ao processo de desenho digital. Quando o fazer projetual se torna mais operacional e menos reflexivo, o projetista tende a

distanciar-se da concepção do todo e do entendimento de como as coisas são construídas.

A mudança de paradigma projetual começou efetivamente a partir da década de 1960 com a criação do primeiro *software* de edição gráfica. Ivan Sutherland, engenheiro e pesquisador do Massachusetts Institute of Technology (MIT), inventou, em 1963 o *Sketchpad*, *software* precursor do que entendemos hoje por *CAD*. O programa permitia que usuários editassem e/ou criassem imagens e desenhos na tela do computador (Pyfer, 2014). Hoje, o *software* que domina o cenário de desenho de arquitetura é o Autocad, *software* de desenho e modelagem desenvolvido pela empresa Autodesk, muito utilizado por arquitetos para desenvolver projetos. Esta referência é feita ao desenho de arquitetura relativo a projeto executivo e detalhamento, que são em sua maioria, desenhados em 2D. Apesar do programa também ter a função de modelagem em 3D, não é tão utilizado no âmbito do desenho arquitetônico.

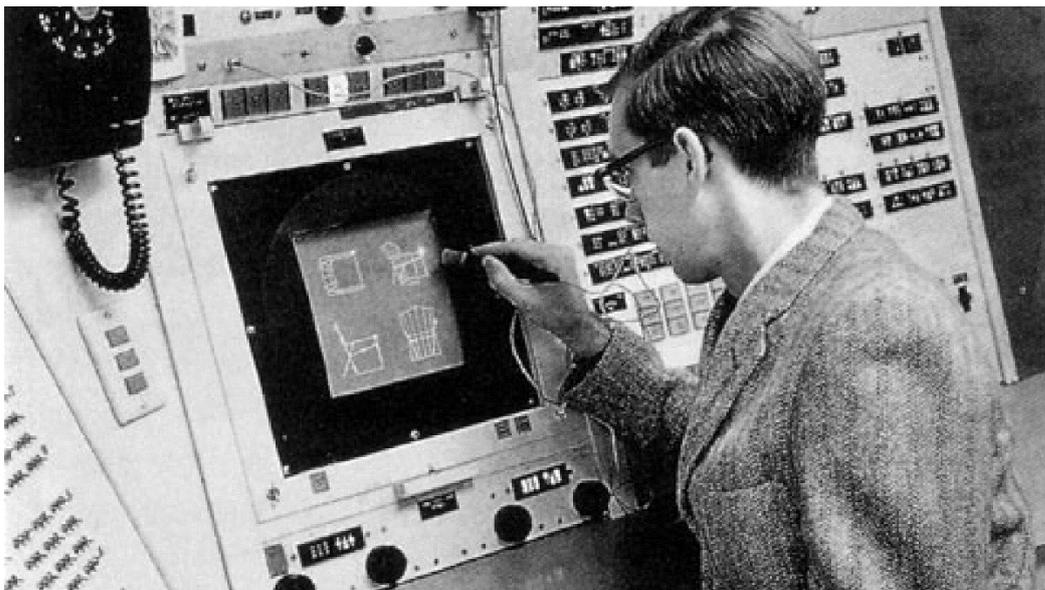


Figura 23 - Sketchpad.

Fonte: <https://bimaplus.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/>

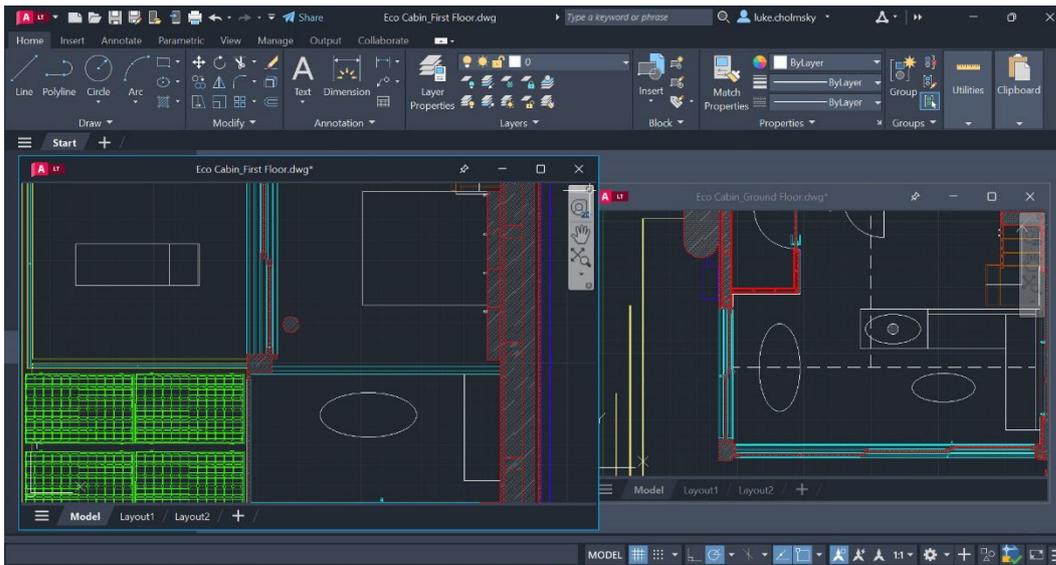


Figura 24 - Tela do Autocad.
Fonte: Autodesk

O projetista que desenha apenas com o Autocad 2D, não desenvolve uma relação reflexiva com os detalhes do projeto, pois não há pensamento analítico de como o objeto é construído. O desenho de arquitetura planejado no Autocad é produzido a partir de linhas, organizadas em camadas e cores que simbolizam algum atributo ou função, de algum objeto ou superfície, sobreposto a um fundo preto. Na faculdade de arquitetura os alunos não chegam ao nível de detalhamento que um projeto de uma edificação real teria, mas utilizam dos padrões e ferramentas de desenho técnico para apresentar seus projetos. O CAD, como é popularmente usado na arquitetura, não promove o raciocínio visual do objeto e não torna claro o processo de concepção.

Richard Sennet (Sennett, 2021) lista três falhas de caráter genérico do CAD em relação à percepção imagética da concretude do objeto. A primeira é a “desconexão entre simulação e materialidade”. Aqui o autor se refere às sensações da experiência tátil no contexto e localidade do projeto. A simulação pode mascarar fatores que são percebidos apenas com experiência e imersão local. A segunda diz respeito a possibilidade de o desenho assistido ocultar facilmente alguns problemas. O fato de o desenho ser mais rápido e operacional, muitas questões de espacialidade e percepções da paisagem podem ser também mascaradas pelas constantes movimentações do projeto na tela e alterações da escala. Por fim, a terceira é o que ele chama de “superdeterminismo”, que é relativo a extrema exatidão do desenho CAD em comparação a natural imperfeição humana. “Uma abrangência positiva do

que é incompleto está necessariamente ausente da planta” (Sennett, 2021, p. 55). A vida fluída e informal não cabe nas linhas rígidas e extremamente precisas do CAD.

O fato é, que o CAD como surgiu na década de 80 e como é, em parte, popularmente usado no Autocad até os dias atuais, segundo Sennet (2021), afasta o projetista das questões sensoriais e imagéticas do projeto, “o tátil, o relacional e o incompleto” (2021, p. 55), que são questões humanísticas exclusivas de cada ambiente, intrínsecas ao ato de projetar, se tornam incompletos perante a simulação do CAD e da “manipulação fácil de objetos completos” (Sennett, 2021, p. 55). Já o desenho à mão (analogico) provoca uma conexão que “impregna” o cérebro de imagens codificadas. Passando e repassando o desenho “no processo de depuração pela mão, o projetista procede exatamente como o jogador de tênis ou o músico, envolve-se profundamente, amadurece suas ideias” (Sennett, 2021, p. 51).

O problema não é a utilização do CAD ou qualquer outra tecnologia que empregamos no ato de projetar, mas a má utilização da ferramenta. Assim como o lápis, a caneta, a régua, o esquadro etc., o CAD também é uma ferramenta, e deve ser usada como tal, como aponta Sennet, a essência do problema não está na relação homem versus máquina, ou “mão versus ferramenta” (Sennett, 2021, p. 55). As tecnologias digitais continuarão evoluindo, como já foi dito anteriormente, é fundamental que a humanidade esteja preparada para recepção desses avanços tecnológicos para não se tornar mera espectadora. Assim como qualquer ferramenta, a ferramenta digital também é passível de manuseio e é importante que saibamos fazer uso dela a nosso favor.

A crítica de Sennet (2021) sobre o mau uso do CAD está inserida em um contexto em que as ferramentas de desenho assistido ainda eram recentes e seu potencial era pouco explorado. Embora o CAD ainda seja majoritariamente empregado por meio do Autocad 2D como uma forma de substituição do desenho de prancheta, há outros meios de produção que serão abordados nos capítulos subsequentes que representam evoluções significativas do uso do CAD.

Todavia, se a relação do raciocínio visual e a percepção do objeto através da produção manual do desenho foi significativamente distanciada a partir da implementação do CAD, especificamente o desenho 2D do Autocad, como reaproximar o projetista criador da relação com o projeto? É possível criar uma relação entre o raciocínio visual e a percepção construtiva do artefato sem abrir mão das tecnologias digitais? É possível manter a relação dialógica do fazer e do pensar

dentro do processo produtivo digital? Como é possível perpetuar tal dialogia dentro do projeto digital?

3.1.1 O arquiteto artífice digital

“Como pensar a vida como artífices fazendo bom uso da tecnologia”? (Sennett, 2021, p. 56)

Em primeiro lugar é preciso aceitar a imperfeição humana e entender que o erro e o incompleto não são, necessariamente, malefícios, o erro é inerente ao ser humano. Em segundo lugar, é necessário nos aceitarmos como seres falhos e entender que jamais será possível superar a perfeição da máquina. Em terceiro lugar, compreender que a máquina, em especial a digital, é uma ferramenta como qualquer outra. As ferramentas digitais não ordenam, elas propõem; não criam, elas executam.

A maneira esclarecida de usar uma máquina consiste em avaliar sua força, adaptar seu uso à luz de nossos próprios limites, e não do potencial da máquina. Não devemos competir com ela. Como qualquer modelo, uma máquina deve propor e não ordenar, e a humanidade certamente deve afastar-se das ordens de imitar a perfeição. Frente às pretensões de perfeição, podemos afirmar nossa individualidade, que confere um caráter próprio ao trabalho que fazemos (Sennett, 2021, p. 122).

Ainda nos dias de hoje, apesar dos recursos tecnológicos possibilitarem o reordenamento cognitivo do processo projetual, a ordem do projeto ainda figura na lógica determinista do projeto contemporâneo, “proveniente do pensamento moderno” fechado e cartesiano. A popularização do Autocad simbolizou uma verdadeira revolução na produção de projeto, entretanto, utilizado inicialmente para fins de representação, como forma de substituição ao desenho de prancheta, sendo empregado apenas como uma ferramenta operacional. O desenho assistido substituiu o desenho à mão, aumentando a velocidade e a precisão da produção. A substituição da operação pela operação para o mesmo fim (Souto, 2021).

Na década de 1990, alguns nomes da arquitetura tentaram subverter a lógica do desenho representativo do CAD para incorporar a ferramenta aos processos de projeto. Progressivamente, a tecnologia digital vem simbolizando uma ruptura de paradigma, auxiliando os arquitetos na tomada de decisão, experimentação de formas, investigação construtiva e não apenas como ferramenta de representação gráfica.

O arquiteto Frank Gehry talvez seja o exemplo mais proeminente de sucesso em relação a apropriação da tecnologia em processos criativos (Vásquez Ramos, 2009). Gehry não se limitou às formas representativas do CAD e se permitiu explorar as potencialidades da tecnologia digital. Primeiro, invertendo o processo criativo, digitalizando maquetes e croquis conceituais e transformando-os em modelos 3D, usando a ferramenta como “agentes de desenho” (Souto, 2021) e segundo, desenvolvendo uma metodologia de trabalho que pode exemplificar uma forma de complementar as duas dimensões de trabalho: a analógica e a digital.

Gehry inicia o processo de projeto pelas formas analógicas conceituais do projeto: o croqui e a maquete volumétrica representam a essência do artefato. Na fase inicial do processo apenas as ferramentas analógicas dominam a produção a partir de croquis conceituais e vários modelos físicos, que são ajustados e redimensionados para melhor solução do projeto. As maquetes são feitas em escala aumentada, a nível dos olhos. O arquiteto “costuma dispor os modelos do nível dos olhos e se mover em torno delas para corrigir os ângulos, as proporções” (Souto, 2021).

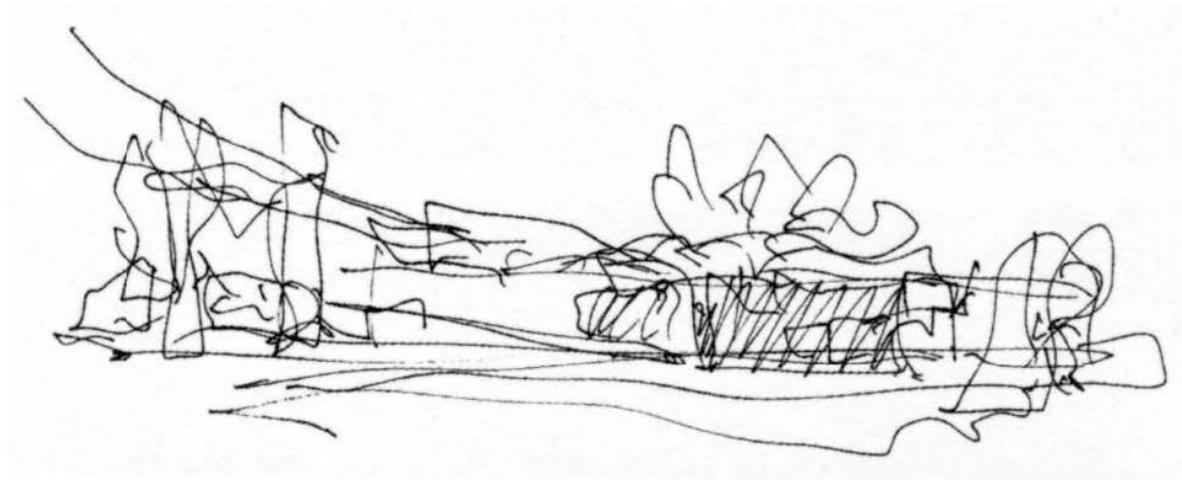


Figura 25 - Croqui de concepção do Museu Guggenheim
Fonte: (Souto, 2021)



Figura 26 - Frank Gehry trabalhando artesanalmente com maquete.
Fonte: filme Sketches of Frank Gehry

O projeto do Museu Guggenheim de Bilbao foi o mais emblemático trabalho desenvolvido por um escritório de arquitetura com novos métodos de projeto digital, na época. Frank Gehry utilizou-se de técnicas de controle e parametrização durante o processo de projeto. O arquiteto capturou a forma do modelo físico artesanal com ajuda de um programa chamado CATIA, um *software* de escaneamento 3D desenvolvido para a indústria aeroespacial francesa e utilizado também pela NASA. O CATIA lê a forma escaneada e traduz em formas geométricas, com parâmetros, coordenadas, atributos e especificações técnicas construtivas. Desta forma, Gehry pôde reproduzir no modelo 3D digital, toda liberdade e criatividade que a produção manual possibilita ao artesão.

O Museu Guggenheim é bastante simbólico por se tratar de um projeto pioneiro, que emergiu de um processo de descoberta de forma, relacionando técnicas de design gerativo com *softwares* de parametrização e modelagem digital. O escritório de Gehry estava profundamente comprometido em experimentar e pesquisar novas tecnologias digitais que pudessem estabelecer uma conexão fluída entre o fazer analógico e digital dentro do processo de projeto (Oxman, 2006).



Figura 27 - Maquete do museu Guggenheim Bilbao.

Fonte: <https://www.dezeen.com/2022/05/18/frank-gehry-guggenheim-museum-bilbao-deconstructivism/>

Porém, repare que a metodologia de trabalho de Gehry subverte o *modus operandi* tecnológico. A forma artesanal com que este arquiteto trabalha é anterior às tecnologias digitais e ele apenas usa a ferramenta a seu favor, dando vida as ideias que talvez não conseguisse sem a utilização das ferramentas digitais. O programa digital não cria a forma, ele traduz a forma abstrata dos desenhos e das maquetes em forma técnica, contudo, a maior parte do processo criativo é feito por meios analógicos.

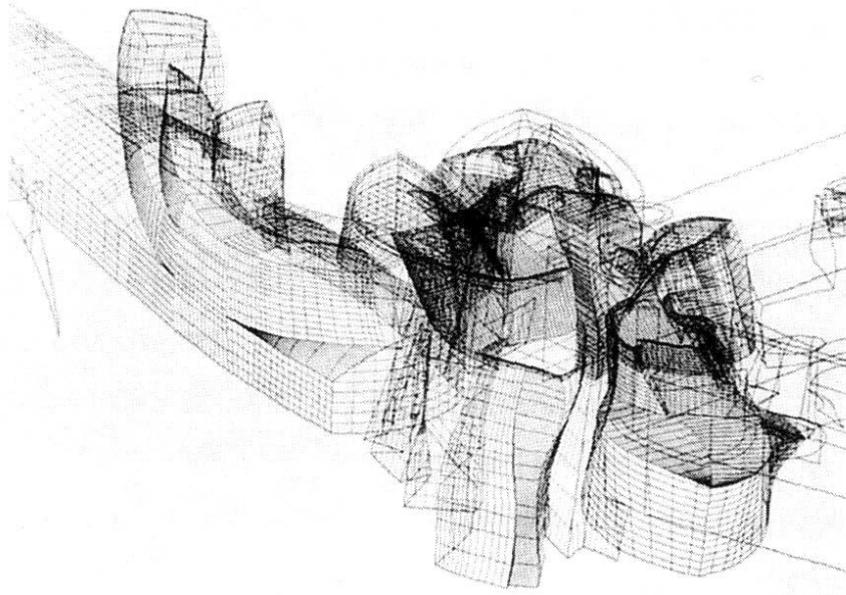


Figura 28 - Museu Guggenheim, versão computadorizada.
Fonte: (Souto, 2021)

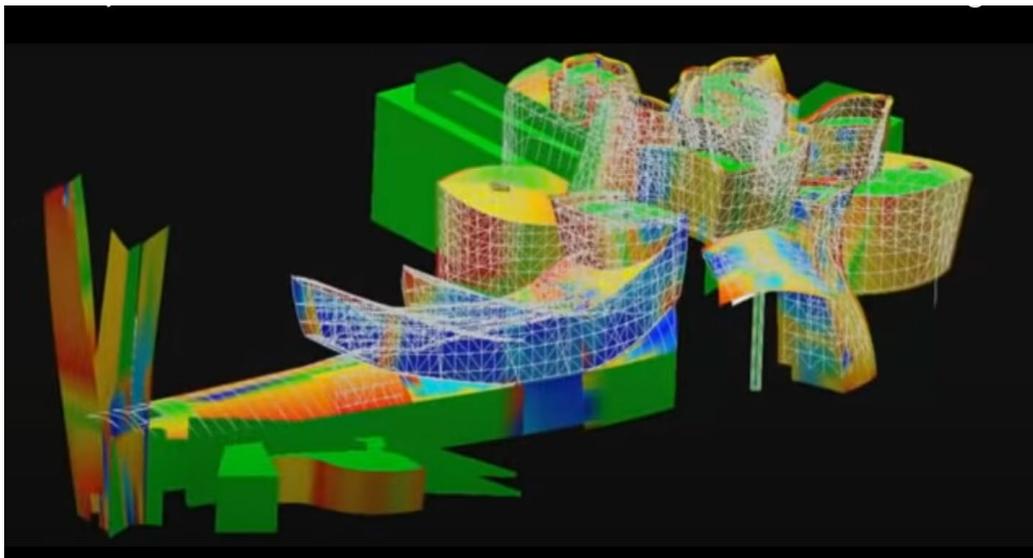


Figura 29 - Museu Guggenheim convertido em modelo digital pelo CATIA.
Fonte: filme Sketches of Frank Gehry



Figura 30 - Museu Guggenheim Bilbao.

Fonte: <https://www.dezeen.com/2022/05/18/frank-gehry-guggenheim-museum-bilbao-deconstructivism/>

O escritório de arquitetura Herzog & de Meuron (H&dM), fundado em 1978 pelos arquitetos Jacques Herzog e Pierre de Meuron, sempre teve a confecção de protótipos como parte fundamental no desenvolvimento de projetos. Desde a concepção de ideias até as incontáveis fases posteriores, a maquete está presente para experimentação de materiais, conceituação volumétrica, testes construtivos ou detalhes mais específicos.

Em 2005, por conta da alta demanda e mudança de abrangência de um escritório local para um cenário de relevância global, o H&dM decidiu criar um departamento interno especializado em tecnologias digitais, responsável por dar suporte tecnológico aos processos criativos dos arquitetos. Assim, o escritório definiu um processo estruturado de produção digital com base em modelagem 3D e fabricação para dar apoio técnico aos projetos, desde a concepção até a construção. O escritório também criou um espaço de oficina, chamado de ateliê, com máquinas CNC¹⁴ para confecção de protótipos com fabricação digital. O ateliê é um espaço de experimentação de materiais e testes de protótipos em diversas

¹⁴ Controle Numérico Computadorizado

escalas, conta com uma CNC Router de 5 eixos “capaz de cortar e moldar materiais com precisão em vários ângulos e orientações, permitindo operações de usinagem complexas” (Herzog e de Meuron, 2024), impressoras 3D e máquina de corte a laser, além de maquinário tradicional de marcenaria e construção. Nesse período, H&dM estabeleceu que o processo de produção digital não seria mais apenas para fins de desenho e sim também voltado para processo do projeto (Castro, 2021).



Figura 31 - Fotos do Ateliê.
Fonte: H&dM

Nomeado Digital Technology Group (DTG), o departamento interno de tecnologia digital permitiu uma abordagem mais fluida aos processos que envolvessem modelagem de geometria mais complexas. Estabeleceu ferramentas paramétricas com scripts¹⁵ específicos para lidar com as especificidades de cada projeto, sobretudo em estruturas e formas complexas (Castro, 2021).

No projeto de expansão do Tate Modern, Museu de Arte Moderna de Londres, o escritório utilizou várias alternativas de tecnologias digitais, desde modelos 3D de composição e forma e de pequenos pedaços do projeto a modelos físicos em escala 1:1 com auxílio da fabricação digital, além de uma interação intensa com o DTG. O uso de scripts em modelagem paramétrica foi um ponto chave na concepção da forma e disposição dos materiais na fachada. Por conta das contínuas e necessárias mudanças da equipe de designers, cada um dos 336.000 tijolos recebeu um ponto ancorado pelo script da modelagem que permitiu melhor visualização da alvenaria e fácil alteração e adequação da forma. Um outro ponto crucial era a disposição de cada tijolo na forma piramidal, em especial as conexões nas quinas e juntas e a sobreposição estrutural, já que cada tijolo se desloca para

¹⁵ Um script é um código de programação que contém uma série de instruções para que o computador realize determinadas tarefas, podendo ser usado para programar uma variedade ilimitada de funções

trás e para os lados, um para se adequar ao ângulo da pirâmide e outro para dar a “translucidez” decidida na concepção do projeto (Castro, 2021).

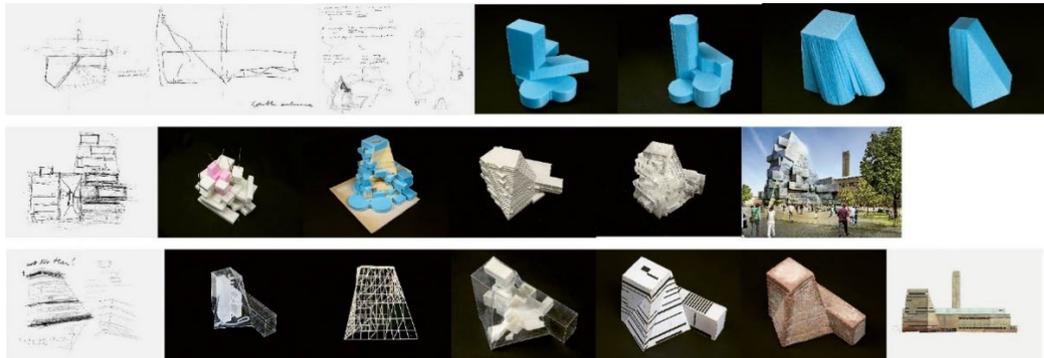


Figura 32 - Modelos de estudo do projeto de expansão do Tate Modern
Fonte: H&dM



Figura 33 - Projeto de expansão do Tate Modern
Fonte: H&dM

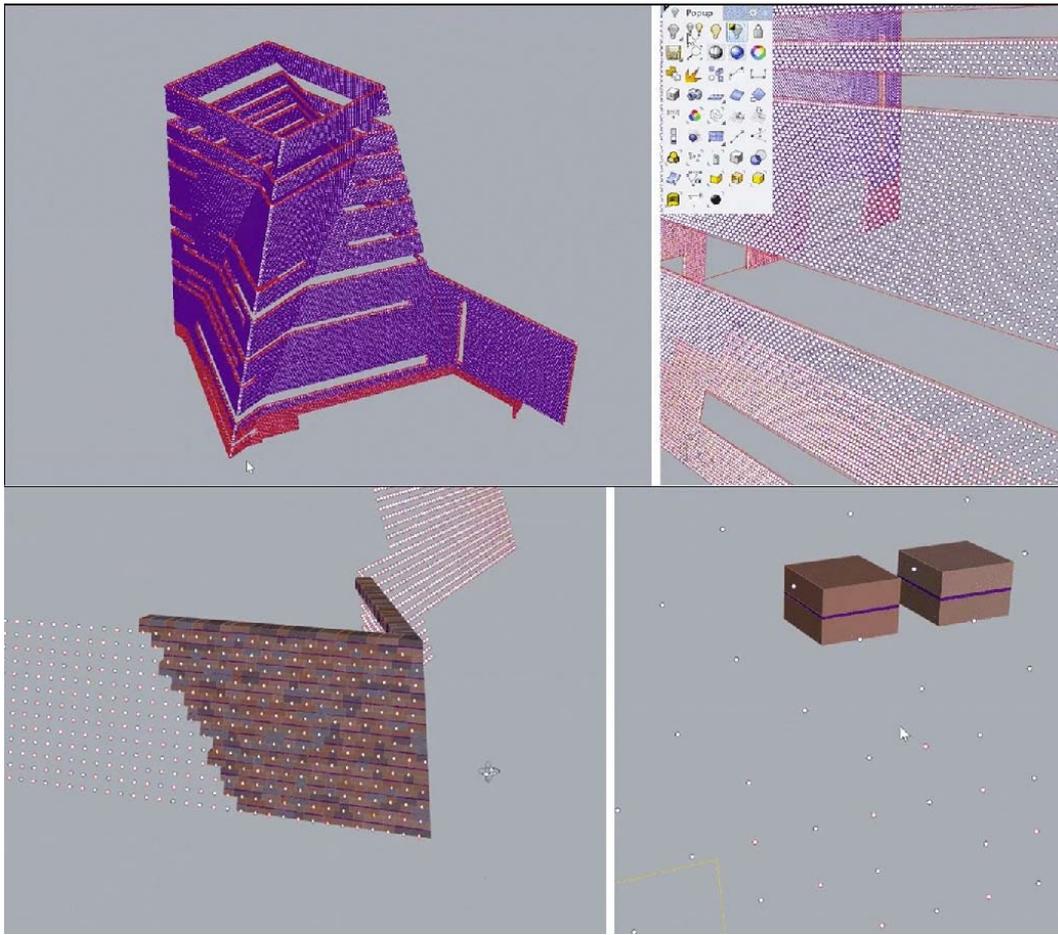


Figura 34 - Parametrização das unidades de tijolo Tate Modern.
Fonte: H&dM

A maneira que o escritório lidou com os problemas que surgiram, decorrentes da disposição dos tijolos, foi marcada por uma enriquecedora interação entre meios de produção analógicos e digitais. Para resolver o problema da interseção da grelha de tijolos com a forma piramidal retorcida, os arquitetos construíram maquetes de 1:1 da disposição dos tijolos em cada ponto crítico da forma. Assim puderam testar incompatibilidades da técnica construtiva com a forma concebida e, conforme trabalhavam a disposição de cada tijolo manualmente, iam mudando as regras paramétricas no modelo 3D até obter as medidas ideais do distanciamento dos tijolos em cada ponto conflituoso do projeto.



Figura 35 - Maquetes em 1:1 de partes detalhadas do Tate Modern.
Fonte: H&dM

A maneira como o escritório fez uso das ferramentas digitais demonstra o grande potencial no processo criativo e no controle de geometrias complexas. O H&dM utilizou a ferramenta de modelagem paramétrica para facilitar as compatibilizações durante o processo de projeto da equipe de projetistas, servindo de apoio técnico às mudanças feitas manualmente por meio do trabalho com as maquetes

É possível perceber uma abordagem metodológica de complementaridade dos meios analógicos e digitais tanto no processo de projeto de Frank Gehry quanto em H&dM. No primeiro, o processo de ideação e concepção é feito majoritariamente analógico. Gehry estuda a forma com croquis e protótipos

cortados e montados à mão, e só quando a forma é bem estabelecida e relativamente adequada ao propósito, que é passado para o modelo 3D digital por meio de escaneamento. Contudo, mesmo quando o modelo virtual está em curso, o modelo físico serve de apoio às mudanças no projeto. Já H&dM trabalha as duas esferas simultaneamente, com o departamento de tecnologia servindo de apoio técnico, dando luz às ideias e compatibilizando formas complexas com códigos parametrizados que por meios convencionais teria certas limitações.

A mudança cognitiva, portanto, está quando se percebe em quais situações as ferramentas digitais podem complementar o processo criativo e como e quando elas devem operar. Delegar o processo criativo à concepção digital pode simbolizar uma perda significativa de ideias e alternativas de operação que os meios analógicos nos permitem. “Quando a cabeça e a mão estão separadas, é a cabeça que sofre” (Sennett, 2021, p. 56).

Neste sentido, os conceitos de Donald Schön (2000) são retomados para esclarecer como a epistemologia da prática reflexiva pode auxiliar na percepção cognitiva, a partir de alternativas que contribuem para o raciocínio visual do artefato, em relação à materialidade, forma, espacialidade, construtibilidade, entre outros, no ambiente de projeto digital. Apesar do desenho 2D caracterizado pela maneira de produção no Autocad, a manipulação da forma cumpre um papel fundamental no processo da prática reflexiva. É na manipulação do objeto digital ou físico que o projetista pode refletir sobre o projeto, numa espécie de “conversa” entre o arquiteto e o artefato. No ambiente digital, com o modelo 3D e no físico, com a fabricação.

A conversação reflexiva com o objeto se dá por meio de uma sequência de escolhas de concepção, seguidas de outras ações. São experimentos e testes imediatamente após situações caóticas que surgem, imediatamente, após as escolhas de concepção; um ciclo infundável de reflexão-na-ação (Schön, 2000). A reflexão a partir do objeto ocorre por meio de contato visual e físico, conseqüentemente, mental. O contato visual advém dos olhos, o físico pelas mãos e o mental é o resultado dos dois primeiros cognitivamente.

Nas palavras de Pallasmaa (2013, p. 86) “a intenção, a percepção e o trabalho com as mãos não existem como entidades separadas”. A intenção é conseqüente à percepção, ao interno e ao externo. A percepção se torna a imagem internalizada do objeto, que tem sua imagem própria no mundo que difere da

anterior. A percepção do objeto é processada e interpretada internamente e convertidas em intenções. Posteriormente, as intenções se tornam ações externalizadas e corporificadas do artista, traduzindo uma fusão entre o material e o mental. (Cunha, 2019).

O trabalho artesanal desempenha um papel significativo na percepção cognitiva, servindo como “interface perceptual” da forma manipulada. No desenho à mão livre, por exemplo, o projetista cria relações funcionais não-visuais, empíricas, que são armazenadas no seu eu cognitivo e que enriquece a percepção do objeto e o transforma em uma imagem única. Pode-se dizer então, que o raciocínio visual de um objeto é o somatório da sua percepção de mundo (interno), somado a imagem do artefato projetado (externo), que resulta numa intenção, que é a interpretação do interno e do externo, que por fim, se transforma em uma ação. (Cunha, 2019).

No ambiente de projeto digital, o modelo 3D pode simbolizar, cognoscitivamente, um passo seguinte ao desenho à mão livre, ao croqui conceitual. No desenho à mão livre, seja de uma forma abstrata do artefato, como os croquis de Frank Gehry na conceituação do Museu Guggenheim ou, seja para pensar um detalhe de fachada como H&dM na expansão do Tate Modern, há uma relação entre a compreensão global do projeto e as diversas partes conflituosas dos detalhes conceptivos e estruturais. No desenho à mão livre, o arquiteto manipula imagens, e raciocina visualmente com os esboços no papel (Kronemberger, 2012). No modelo 3D digital, o ato de modelar cada peça, extrudar, rotacionar, diminuir, alongar; criar formas primitivas e transformá-las em peças específicas do projeto, também faz com que o projetista crie uma relação dialógica de fazer e pensar.

Assim como o modelo 3D digital é o estágio seguinte e complementar ao croqui – conceitual ou técnico – a fabricação digital tem a mesma função à maquete de estudo. No processo de projeto, ainda na fase conceitual, vemos Gehry trabalhar a maquete volumétrica de forma exaustiva. Em seguida, também utiliza a maquete para definições específicas e detalhes do projeto. É um método de processo contínuo, permanente, que dura toda a fase de projeto.

Nós ficamos indo e voltando entre projetos e maquetes. Você planeja várias coisas e experimenta na maquete. E você volta, vê oportunidades e as reagrupa. É um pôe e tira, porque se isso não funciona (o desenho), aquilo não funciona (a maquete) (...). Eu sempre trabalho em duas ou três escalas ao mesmo tempo porque me faz

ficar pensando no prédio real. Eu não me apego ao objeto (a maquete). Pode se tornar um objeto de desejo. Eu não quero isso. (Sketches of Frank Gehry, 2006).



Figura 36 - Maquetes espalhadas pelo estúdio Gehry Partners.
Fonte: <https://www.foga.com/>

Para H&dM os modelos físicos permitem uma aproximação para além da percepção visual e configura um processo de projeto imperativamente tátil. Segundo Jacques Herzog, a manipulação do artefato físico, em contraste com a manipulação de imagens do modelo 3D digital, possibilita uma compreensão íntima entre o corpo (interno) e a realidade (externo). (Castro, 2021).

Nos primeiros pavimentos do projeto do edifício Helsinki Dreispitz¹⁶, na Basileia, H&dM destinou dois andares do acervo exclusivamente às maquetes, o que demonstra o forte envolvimento dos modelos físicos como parte fundamental no processo de trabalho do escritório. O Kabinett¹⁷ de modelos guarda desde os experimentos com materiais à maquetes em escala 1:1. (Herzog e de Meuron, 2024).



Figura 37 - Kabinett de modelos físicos dos projetos H&dM.
Fonte: H&dM

¹⁶ Helsinki Dreispitz é um projeto de um edifício de uso misto, iniciado e desenvolvido por Herzog & de Meuron que compreende um armazém do acervo e um prédio de apartamentos na Helsinki Strasse, Basileia. O armazém contém não apenas os arquivos substanciais acumulados desde a criação da H&dM em 1978, mas também uma coleção de obras de arte adquiridas em grande parte de artistas com quem trabalharam durante os anos.
Ver <https://www.herzogdeuron.com/projects/312-helsinki-dreispitz/>

¹⁷ O Jacques Herzog und Pierre de Meuron Kabinett, é uma fundação sem fins lucrativos, criada em 2015, com o objetivo de manter o acervo do escritório intacto como um bem cultural e trabalhar com eles em sua especificidade.

O grande diferencial da maquete produzida por fabricação digital é a possibilidade de investigação de formas mais complexas e testes construtivos mais precisos. (Pupo, 2009). A precisão de máquinas CNC possibilita fazer testes de detalhes de projeto com precisão milimétrica, como por exemplo, detalhes de encaixes de esquadrias em formas complexas, como em alguns projetos de Gehry, onde quase todas as esquadrias são diferentes e/ou detalhes construtivos complexos de fachada, como os do Tate Modern de H&dM, em que as peças cerâmicas são moldadas exclusivamente para determinado local do projeto. Hoje a produção de maquetes e protótipos com o auxílio do computador, aumenta consideravelmente a desenvoltura na pesquisa de soluções criativas e inovadoras, seja na exploração de novas formas complexas, ou para experimentação construtiva não tradicionais, para investigação de materiais não convencionais e outras opções que são acrescentadas ao processo criativo. Se por um lado há a facilitação por meio da precisão ferramental, por outro há a celeridade da construção do artefato, pois perde-se menos tempo executando as peças e ganha-se mais tempo testando e estudando o produto. Há uma enorme economia de tempo na produção de protótipos com fabricação digital, principalmente, quando é necessário mudar a escala para testes de montagens de dispositivos, testes de iluminação, de materiais, de texturas, de ventilação, entre outros. As maquetes em escalas reduzida diminuem a quantidade de detalhes, porém são mais utilizadas para concepção de formas, já nas maquetes em maior escala alguns detalhes só aparecem no projeto quando é aumentada a escala de trabalho

Diante do presente exposto, retomamos ao diagrama no qual foi sugerida uma perspectiva complementar dos campos de trabalho analógico e digital, para sugerir também uma abordagem metodológica de processo de projeto de arquitetura e conseqüentemente, do ensino de projeto, em que, o modelo 3D digital e a fabricação digital são ferramentas de produção complementares ao desenho e a maquete.

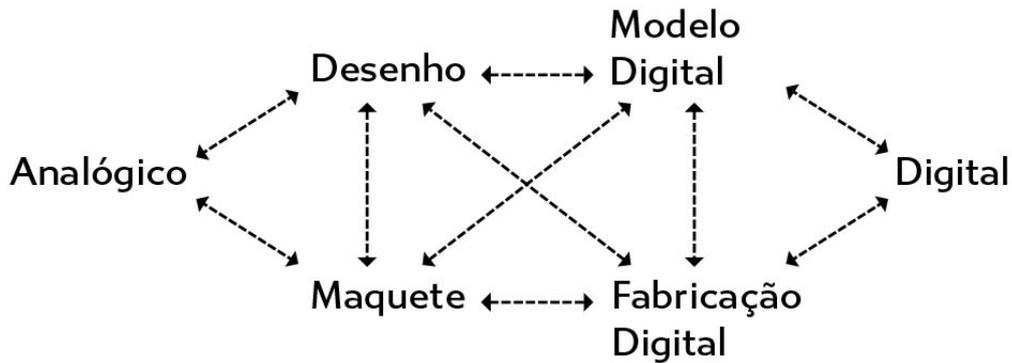


Figura 38 – Diagrama fluxo de trabalho analógico e digital
Fonte: Autor

3.2 A complementaridade entre o projeto analógico e o digital

O desenho e a maquete são as duas formas mais convencionais de se projetar arquitetura. Juntos representam a esfera analógica de projeto e permanecem presentes, por vezes, até o fim da construção. A esfera digital é composta pelo modelo 3D digital e fabricação digital. Certamente, em arquitetura, existem outras tecnologias que podem ser utilizadas em formas de produção digital, tais como: Internet das Coisas (IoT), Realidade Aumentada, Computação em Nuvem, entre outros, porém, no âmbito do processo de projeto, e também do ensino de processo de projeto de arquitetura, as duas tecnologias digitais mais utilizadas são modelagem 3D digital, utilizada como maquete virtual, e a fabricação digital, utilizada como ferramenta integrada ao modelo 3D, facilitadora no processo de construção de protótipos.

O projeto começa, na maioria dos casos, por meio de desenhos conceituais. Sintetizando o conceito ao mínimo, podemos dizer que são desenhos que representam as ideias iniciais do projeto a partir de certa demanda, tendo em vista à solução de um problema. Esses desenhos, que são conhecidos como croquis, revelam as intenções iniciais do projeto, no que diz respeito à morfologia, espacialidade, métodos construtivos e estruturais e materialidade. Porém, são categorias que, dependendo do *modus operandi* próprio de cada projetista, podem ganhar maior ou menor ênfase.

O croqui, pode ser conceitual, explicativo, expositivo, entre outros, ou seja, o desenho à mão livre é uma forma de comunicação. Anterior ao croqui, há informações que o projetista, possuído pela alma do artífice, não consegue explicar e faz uso do desenho para transmitir as informações que não consegue expressar em

palavras. Neste ponto, o desenho e a maquete entram em cena, para lançar luz a essas informações encobertas, são formas de comunicação e expressão do pensamento do projetista

A maquete, é ferramenta parceira ao desenho. É responsável por criar uma conexão visual e tátil com o projeto. Não é tão convencional o projetista iniciar o projeto pela maquete. Normalmente ela anda lado a lado com o desenho, sempre cumprindo um papel de diálogo com proposta do projeto. Quando a maquete é utilizada em parceria com o desenho, ela cumpre papel fundamental durante o processo de projeto e torna o projetista mais envolvido cognitivamente com o artefato arquitetônico em desenvolvimento. A experiência tátil artesanal, de montar e desmontar, recortar, dobrar, pintar, trabalhar a maquete com as mãos cria uma certa ligação mental com o artefato, que em conjunto com o desenho, impregna o subconsciente de informações imagéticas e modelos mentais, nos quais são armazenados, comparados e trocados por outros modelos conforme a evolução do trabalho artesanal e são essenciais para o desenvolvimento do pensamento voltado para detecção e resolução de problemas. (Pallasmaa, 2013).

Desde o começo da inserção das tecnologias digitais no dia a dia da produção do arquiteto, havia o medo de que as máquinas substituíssem o trabalho do projetista e até mesmo o processo criativo¹⁸. Fato é que as tecnologias digitais expandiram significativamente a capacidade de criar soluções para o projeto. Rivka Oxman (2006) argumenta que os modelos digitais amplificam a capacidade de conexão entre projeto e materialização mesmo em estágios mais conceituais de design, favorecendo soluções mais sensíveis às necessidades do projeto. Nas últimas décadas, Oxman (2006) vem se dedicando a construir e fornecer um quadro teórico para a práxis digital na arquitetura. Nesse contexto, uma das questões centrais é definir se o desenho digital é mais uma ferramenta tecnológica para fazer o projeto convencional ou se é uma nova forma única de projetar, e se, por desdobramento, for caracterizado como uma forma única, faz-se necessário definir, de maneira objetiva, “o caráter metodológico e o conteúdo conceptual” deste novo paradigma.

Ao que tudo indica, a partir de Oxman (2006; 2008; 2017) os novos processos digitais estão desafiando a maneira tradicional de se projetar arquitetura.

¹⁸ Felizmente, pela experiência dos últimos anos, tendo a afirmar que a tecnologia digital, com Inteligência Artificial ou não, jamais substituirá a criatividade humana.

O projeto orientado com objetivo representacional foi relativamente abandonado. Figura no cerne da questão os fatores de produção digital destinados à performance e generativos, principalmente ligados a construção de formas complexas, como um malabarismo de múltiplas formas e imagens. Partindo desse princípio, a autora sugere uma nova epistemologia, no qual se atribui uma visão completamente nova de pensar o projeto, o que justificaria um novo termo, “digital design thinking”¹⁹ (Oxman, 2008).

Ainda segundo Oxman (2006) o conceito de Schön (2000), de reflexão-nação como uma maneira de raciocinar visualmente a partir de um diálogo entre o projetista e a materialização do artefato – recepção (percepção), reflexão (interpretação), reação (transformação) – ainda se faz presente no contexto de projeto digital, pois o papel de centralidade ainda se mantém nas mãos do projetista, na medida em que os processos de produção se “baseiam na interação e reflexão” com o objeto digital. A autora pressupõe ainda, que uma nova geração de projetista está emergindo, com conhecimento em “linguagens de scripts e de manipulação e manutenção de modelos de dados complexos”, como é o caso do projetista que desenha modelos 3D com auxílio de ferramentas paramétricas (Oxman, 2008; 2017).

Fica claro, portanto, que o design digital está desempenhando uma verdadeira mudança de paradigma e há a necessidade de se construir um arcabouço teórico que reconheça e forneça um conjunto de conceitos, práticas, processos, entre outras formas de se produzir digitalmente, que dê uma base, um ponto de partida, para pesquisadores, profissionais e estudantes na área.

Oxman segue fazendo uma distinção entre CAD e DAD (Projeto Arquitetônico Digital)²⁰. O CAD, já abordado neste trabalho, é o desenho com auxílio do computador, baseado na imitação da tipologia de produção de projeto baseado em papel²¹, que se distingue do DAD em sua essência. O DAD é o projeto de arquitetura digital na sua concepção, e substitui o projeto baseado em papel, e o CAD, por meio de uma conceituação diferente e modelos de produção. No âmbito do projeto digital a autora faz a relação de três modelos de produção: formativo,

¹⁹ Design Thinking. Termo que surgiu na década de 60 como uma *forma de pensar* em soluções ou *pensar como um projetista*

²⁰ DAD – Digital Architecture Design ou Projeto Arquitetônico Digital.

²¹ Paper-based, termo original utilizado por Oxman (2006). Tradução do autor

generativo e de desempenho. O formativo diz respeito a experimentação a partir da forma, seja forma animada, a produção de forma por volumes a partir do próprio objeto, ou formas parametrizadas, quando a geometria é explorada e criada por meio de atributos do objeto que são configurados por scripts, sem precisar editar o modelo 3D com comandos. O modelo generativo é classificado pelos padrões de geração da forma. A diferença entre o modelo formativo e o modelo generativo é que o primeiro é destinado investigação da forma final, já o modelo generativo é caracterizado pelos processos que levam à construção da forma, a forma é consequência do processo. Por fim, o modelo de desempenho é conduzido por meio de simulações de desempenho da forma. Nessa abordagem, a simulação pode ser um mecanismo de geração da forma, avaliando seu desempenho e modificando o projeto instantaneamente. Este tema será tratado com maior profundidade no próximo capítulo, pois trata-se de uma grande mudança cognitiva no campo do projeto digital. (Oxman, 2008).

Para além das questões metodológicas, o projeto digital vem transformando também a ordem de operação, de materialização e de escolhas de materiais do projeto. A integração entre modelagem digital e fabricação digital proporciona um “fluxo holístico” entre matérias e estrutura, tornando o conteúdo tectônico do projeto determinante dentro dos modelos de produção. As tecnologias de fabricação digital mediada pelo desenho digital têm a capacidade de alterar o fluxo tradicional tectônico de forma-estrutura-material do projeto de arquitetura para material-estrutura-forma, trazendo o material para um nível de prioridade no processo de projeto digital. Isto se dá pela facilidade de desenvolver os princípios arquitetônicos a partir da materialização do artefato construído e de experimentar novos materiais com os equipamentos CNC e de fabricação digital. (Oxman, 2017).

A fabricação digital tem a capacidade de ampliar o aprendizado por meio da fabricação de protótipos complexos no início do processo de projeto e acrescenta a possibilidade de experimentar novas formas e sistemas de construção. Cria uma conexão mental entre projeto e artefato final, no qual o projetista passa a transitar entre projeto e materialização, criando e/ou ampliando a percepção imagética do objeto construído. O contato com os materiais, a investigação por meio da fabricação e a montagem de protótipos possibilita aumentar o engajamento na prática projetual, no intuito de buscar soluções inovadoras.

Então, como se dá integração da fabricação digital com o projeto digital, quais são as possibilidades de produção, de criação e de construção de saberes no âmbito do projeto e do ensino do projeto de arquitetura? De que maneira o projeto digital e a fabricação digital podem complementar o projeto analógico? Ou será que o desenho e a maquete artesanal não são mais tão relevantes no processo de projeto? Por fim, como se dá a prática reflexiva no contexto do projeto digital e no ensino do processo de projeto de digital de arquitetura?

4 O fazer e o pensar digital

A prática reflexiva no âmbito do projeto, seja em desenho industrial – hoje mais comumente conhecido como design de produto, em design de moda, design de joias ou em arquitetura é chamada por Rivka Oxman, no contexto digital, e por outros autores anteriores que dedicaram tempo a compreender e construir uma relação entre os modelos cognitivos e os processos de projeto, como *design thinking*, que em tradução literal quer dizer pensamento em desenho ou em projeto.

Os primeiros estudos sobre design thinking remontam a década de 60/70, quando os primeiros estudos sobre a forma de pensar durante o processo de projeto surgiram como um paradigma de resolução de problemas (Oxman, 2017). Na década seguinte, mais especificamente em 1980, Brian Lawson (2011) lançou o livro “How Designers Think” e dedicou-se a discutir o papel do projetista e suas formas de pensar o processo de projeto. O campo de conhecimento singular do *design thinking* consolidou-se a partir das contribuições de Nigel Cross em “*Designerly ways of knowing*” (1982), onde o autor se dedicou a compreender o comportamento do projetista relacionado ao pensamento introspectivo baseado na construção de desenhos. Cross investiu seus esforços em definir como o projetista trabalha cognitivamente através de processos de conceituação, modificação e refinamento de projeto voltado para solução de problemas.

Outro conceito de fundamental importância em abordagens cognitivas em design thinking é o de “reflexão-na-ação” (Schön, 2000), já abordado nesta pesquisa anteriormente. Tal conceito, refere-se à construção do saber através de um processo interativo de raciocínio visual, seguido por um movimento de ação para refinamento de soluções. “Para Schön o movimento é a resposta da ação à reflexão” (Oxman, 2006). O processo segue em sentido cíclico na busca da melhor solução.

O processo de raciocínio visual continua presente no contexto epistemológico do projeto digital, contudo se mostra como uma evolução do pensamento reflexivo baseado em papel. Segundo Oxman (2006), os processos de projeto no domínio digital continuam centralizados no papel do projetista, mas ampliam o campo significativamente através de novas formas de projetar e reforça que o que está no centro da discussão neste momento é o grau de controle dos

projetistas nos processos digitais, perante a crescente necessidade do estabelecer um perfil de projetistas programadores.

Oxman (2017) defende que o projeto via linguagem de scripts está transformando as formas de projeção, fenômeno que, por consequência, caracteriza um novo modelo de design thinking que ela denomina de “Design Thinking Paramétrico (PDT)”. Para a autora, desenhar via código é uma nova maneira de pensar o projeto, no qual o próprio código atribui regras para criação de formas a partir de parâmetros. Neste contexto, o pensamento do projetista reflexivo “está relacionado à capacidade do designer de compreender e controlar as ferramentas computacionais e de script”. (Oxman, 2017).

O design paramétrico aproveita as linguagens de script, geometrias associativas e processos de reedição, promovendo uma lógica que integra a visualização de códigos e a geração de modelos tridimensionais. O design paramétrico como modelo de design thinking baseia-se em projetar um código de parametrização do objeto para gerar a forma do objeto. Em comparação com o projeto baseado em papel, o código seria o lápis, a tela do *software* seria o papel e a forma gerada pelo código seria o próprio desenho feito pelo lápis.

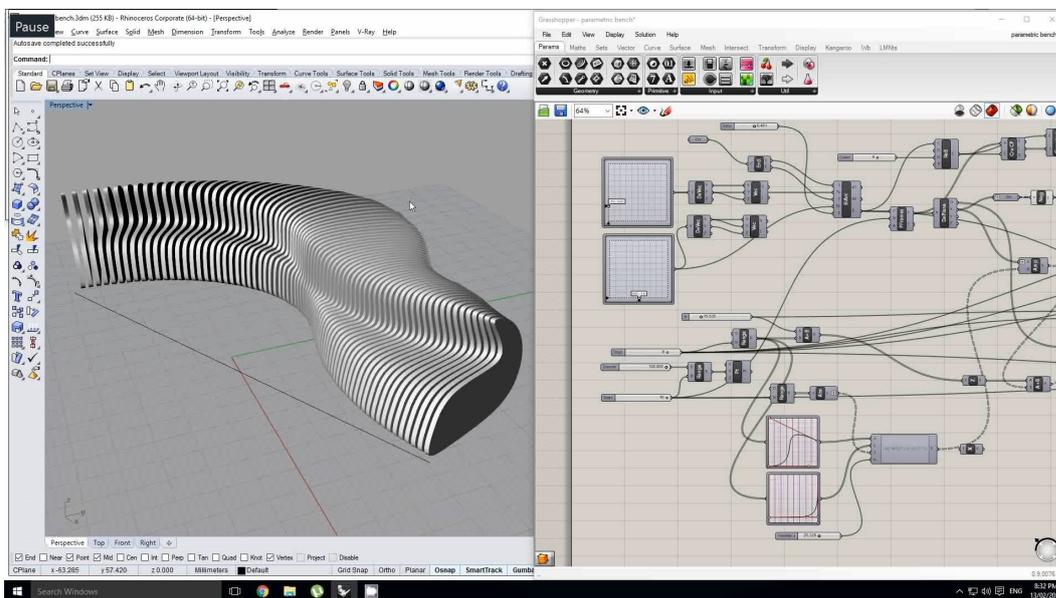


Figura 39 - Modelo 3D no Rhinoceros parametrizado no Grasshopper
Fonte: <https://projetbr.com.br>

Atualmente, o principal *software* para desenvolvimento de desenho paramétrico é o Rhinoceros com o plugin Grasshopper. O projetista desenvolve o

código por uma linguagem de programação visual, que é um tipo de linguagem que permite o programador a manipular o código via elementos gráficos. São caixas, que representam entidades, conectadas por setas. Em cada entidade há um parâmetro atribuído. Esses parâmetros são comandos de geração da forma do objeto.

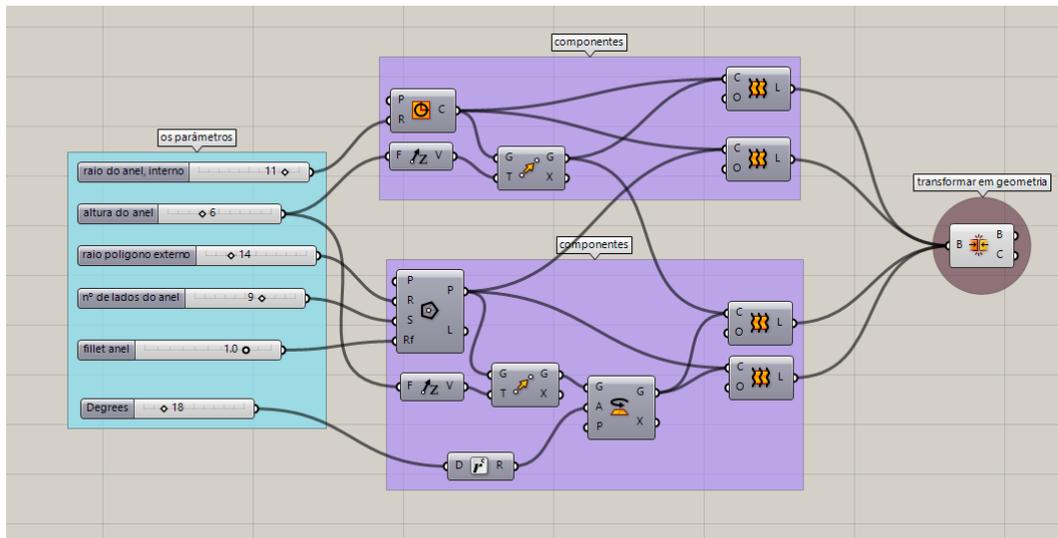


Figura 40 - Linha de código do Grasshopper
Fonte: Wikipédia

Para Oxman (2017), esse processo de construção do código visual e alteração de parâmetros caracteriza um processo típico de raciocínio visual. Neste caso, o raciocínio não está na geração da forma por extrusão ou edição do objeto como no CAD, mas na geração do código que comanda a extrusão ou a edição da forma. Essa evolução reflete uma transição do uso de mídias tradicionais e processos de pensamento baseados em papel para uma integração sofisticada de ferramentas computacionais que redefinem os processos e métodos para além do *design thinking* na era digital. A evolução para “Design Thinking Paramétrico”.

Paralelamente a evolução do design thinking, está o desenvolvimento das tecnologias de fabricação, exercendo forte influência nos processos de projeto e no próprio *design thinking*, e na relação com o conceito de cultura material. Tradicionalmente, antes do advento das tecnologias digitais, as decisões de projeto eram frequentemente limitadas pela capacidade dos materiais e das tecnologias disponíveis. A cultura material tradicional envolvia o uso de materiais disponíveis e conhecidos, como madeira, aço e concreto, e técnicas de construção que

dependiam, essencialmente, da habilidade e da experiência prática artesanal. (Oxman, 2015).

Com a chegada da fabricação digital, houve uma mudança significativa na maneira como os materiais são usados e manipulados. Oxman introduz o conceito MFD - Projeto Baseado em Materiais e Fabricação²² para descrever essa nova abordagem, onde os processos de design são informados computacionalmente e integrados diretamente com tecnologias de fabricação avançadas, como impressão 3D, corte à laser e robótica (Oxman, 2016). O MFD é definido como um processo de informação computacional que aprimora as relações tectônicas entre forma, estrutura e material dentro da lógica das tecnologias de fabricação. Esse conceito não apenas exemplifica a aplicação dessas tecnologias, mas também explora o impacto delas nas teorias, no conhecimento e nos processos de projeto.

A fabricação digital ampliou o campo da tectônica, introduzindo novos materiais, novas maneiras de investigação e experimentação de formas e estruturas. Alterou não só o objeto de trabalho, como também os materiais disponíveis e os meios de trabalhar os objetos com novas máquinas e processos exclusivamente digitais. Uma mudança significativa em todo o ciclo de produção, desde a concepção até a execução. Oxman, traz o conceito de “Informed Tectonics”²³ para essa nova abordagem no contexto digital, onde o conceito de tectônica é a “capacidade de processos computacionais de informar e mediar as relações entre forma, estrutura e material ao longo de todas as etapas do design, desde a concepção até a produção”. (Oxman, 2012).

O conceito de tectônica, conforme Frampton (Frampton *et al.*, 2024), encontra-se centrado na relação entre forma, estrutura e material, enfatizando a integridade e a autenticidade na construção. A tectônica vê a construção como uma prática poética que integra materiais e técnicas de construção de maneira autêntica e expressiva. Ela é centrada na probidade material e na poética do construir, onde a forma arquitetônica é uma manifestação direta da técnica construtiva e dos materiais usados. Portanto, para Frampton (2024), a construção e a expressão arquitetônica são uma forma de arte em si, e não podem ser vistas apenas pelo seu

²² Originalmente Material-Fabrication-Design. Tradução do autor.

²³ A tradução literal é Tectônica Informada

valor técnico ou estrutural, mas também por seu potencial expressivo, destacando que a arte na arquitetura não é necessariamente figurativa ou abstrata, é também construtiva, como diz o autor:

Meu ponto de vista é que a natureza inevitavelmente enraizada da construção tem um caráter tão tectônico e tátil quanto cenográfico e visual, embora nenhum desses atributos negue sua espacialidade. No entanto, podemos afirmar que o construído é, primeiro e primordialmente, uma construção, e somente mais tarde um discurso abstrato baseado em superfície, volume e plano. (Frampton et al., 2024).

A evolução do conceito de tectônica na arquitetura passou por transformações significativas, desde suas origens na carpintaria grega²⁴, até se tornar um conceito central na teoria arquitetônica contemporânea. Essa evolução reflete uma crescente preocupação com a relação entre forma, função e construção, bem como uma apreciação mais profunda das qualidades expressivas e empáticas da arquitetura.

Hoje, com o advento das tecnologias digitais, o conceito ganhou mais uma perspectiva, figurando novamente como conceito seminal na arquitetura no contexto digital. A Tectônica Informada no Projeto baseado em Materiais e Fabricação “é mediada, sendo “informada” computacionalmente pelo conhecimento explícito do seu design (projeto), da sua feitura e fabricação”. (Oxman, 2012)²⁵. Neste sentido, o conceito de Tectônica Informada é responsável por mediar a integração entre os materiais, a técnica de construção e a poética de construir através das novas tecnologias digitais de desenho paramétrico e fabricação digital.

Os conceitos de tectônica e o de cultura material, brevemente abordado nesta pesquisa, nas palavras de Nigel Cross (1982), têm muita proximidade, em especial, na relação com a materialidade. Para Tim Ingold (2007) a verdadeira natureza dos materiais está na relação de engajamento da prática artesanal para utilização e transformação da matéria em diferentes contextos culturais. O autor enfatiza que as qualidades dos materiais são percebidas e valorizadas através da interação sensorial e prática em seus processos de fluxo e transformação, onde o conhecimento dos materiais é adquirido através da interação direta com eles.

²⁴ O conceito de tectônica tem origem na palavra grega *tekon*, que significa carpinteiro ou construtor.

²⁵ Tradução do autor

Assim como Cross (1982), Ingold (2007) ressalta que a cultura material não está necessariamente na materialidade do objeto ou nas propriedades do material e suas especificidades, ou seja, não está na análise do metal do machado, nem na composição das fibras da madeira do cabo que o artesão segura, está na própria construção da ferramenta de trabalho e manuseio de cada material que compõe o artefato. Ingold (2007) argumenta que o foco excessivo na materialidade abstrai os materiais dos processos dinâmicos de transformação e o uso a que estão sujeitos. Ingold (2007) defende uma abordagem que valoriza a interação contínua entre os materiais e o ambiente, destacando que as propriedades dos materiais não são atributos fixos, mas histórias processuais e relacionais.

Pode-se assim afirmar que os conceitos de tectônica e o de cultura material são complementares. O primeiro ressalta a importância do saber construtivo e a probidade material, a poética da construção, que está na autenticidade e na integridade da prática arquitetônica, onde a forma, o material e a construção expressam a sua qualidade da probidade material. Já o segundo destaca a importância de entender os materiais e suas transformações contínuas, que têm uma vida própria e que há, durante o tempo ou por manuseio, mudanças e adaptações contínuas.

Neste sentido, os conceitos de Informed Tectonics e MFD são uma evolução dos conceitos anteriores, porém no contexto digital. Essa evolução se deu pela significativa importância da fabricação digital, a qual produziu uma nova simbiose entre projeto e tecnologia, impulsionando o surgimento de uma nova “práxis material” (Oxman, 2015).

Essa maior integração é tida, em alguns aspectos, a começar pela possibilidade de investigação de formas complexas em materiais diversos, antes impossíveis de utilizar, por exemplo materiais biodegradáveis, como plásticos feitos de amido de milho ou cana-de-açúcar, ou sustentáveis, como plástico ou metal reciclado, e até mesmo com conceitos biomiméticos, que são materiais desenvolvidos para replicar a resistência e a flexibilidade de materiais orgânicos ou de organismos vivos (Oxman, 2016). Como é o caso do projeto do Pavilhão ICD/ITKE (2014-15) de Achim Menges e Jan Knippers, que utilizaram materiais compósitos que imitam as propriedades e as estruturas de teias de aranha. (Menges, 2015). O pavilhão é um resultado de pesquisas do Institute for Computational Design (ICD) e do Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE)

que demonstra o potencial construtivo e arquitetônico de métodos inspirados em biomimética, ciência que utiliza estratégias e soluções inspiradas na natureza para aplicá-las em diferentes campos de conhecimento. No caso do Pavilhão ICD/ITKE foi utilizado um conceito construtivo inspirado em ninhos subaquáticos de aranhas d'água. Essas aranhas vivem a maior parte do tempo debaixo da água usando os pequenos pelos do corpo para aprisionar bolhas de ar que retiram da superfície para formar uma “casinha” de ar. Elas são capazes de construir uma pequena estrutura formada por teias envolta por uma bolha de ar que permite o armazenamento do oxigênio necessário para sobreviverem submersas. (Menges, 2015).



Figura 41 - Aranha d'água
Fonte: <https://diariodebiologia.com/>



Figura 42 - Pavilhão ICD/ITKE
Fonte: <http://www.achimengenes.net/>

O pavilhão foi construído por processos de fabricação digital com dois principais materiais, o ETFE e fibras de carbono. ETFE ou Etileno-TetraFluoroEthylene é um polímero termoplástico à base de flúor de alta resistência à corrosão e às mudanças de temperaturas que foi desenvolvido pela DuPont na década de setenta para a indústria aeroespacial com o propósito de produzir um filme leve e resistente à altas temperaturas. A estrutura do pavilhão foi construída por um braço robótico, que foi inserido dentro de uma bolha de ETFE, que era sustentada por pressão pneumática. A pressão dentro da concha de ETFE mantinha a estrutura do polímero e evitava que ele se deformasse enquanto o robô aplicava a fibra de carbono embebida por um adesivo composto. Este adesivo proporcionava a ligação adequada entre o filamento de fibra de carbono e a membrana inflada de ETFE (Menges, 2015).



Figura 43 - Pavilhão ICD/ITKE, braço robótico aplicando filamento de carbono
 Fonte: <http://www.achimmenges.net/>

Os processos de criação e fabricação são estreitados pela conexão que o desenho assistido e a fabricação digital proporcionam. A concepção, a fabricação e a execução podem acontecer no mesmo momento, possibilitando um redirecionamento e refinamento da execução instantaneamente. Na imagem (Figura 42) a seguir, do canto inferior direito, pode-se perceber uma estudante/técnica programando o braço robótico para aplicação do filamento. Não é necessário enviar desenhos para a fábrica para execução de peças e transportá-las para o canteiro de obras, toda a fabricação de peças, assim como a montagem, é feita in loco.



Figura 44 - Montagem do pavilhão ICD/ITKE
 Fonte: <http://www.achimmenges.net/>

O conceito do projeto é baseado no biomimetismo tomando como material base a fibra de carbono e o ETFE. Resultado de um ano e meio de pesquisa dos dois institutos sobre novos processos computacionais de projeto, simulação e fabricação em arquitetura, o projeto demonstra como o conceito de tectônica está sendo ampliado pelos processos digitais em função dos materiais e da fabricação.

As pesquisas e as experimentações dessa nova ordem tectônica do contexto digital configuram um grande campo de alternativas a ser explorado. A investigação de novos materiais, inclusive materiais compósitos misturando matéria prima vernacular com materiais recém desenvolvidos. No caso do ICD/ITKE o compósito foi a fibra de carbono emplastado em adesivo, que também era um compósito autoadesivo. Mas há pesquisas sendo desenvolvidas também com fibras naturais, como o bambu, sisal, rami, juta, entre outros. A experimentação de materiais compósitos não é tão recente, inclusive com fibras vegetais, já foram utilizados em pesquisas navais para manufatura de barcos e pranchas de surfe. Contudo, nas últimas décadas há uma crescente necessidade de explorar materiais mais sustentáveis e biodegradáveis para a indústria e comércio. Neste contexto, as fibras naturais se tornam uma alternativa promissora em compósitos poliméricos para reforço de materiais. (Galvão Neto, 2023).

Apesar de haver desafios a superar quanto à absorção de umidade e aderência ao compósito, as fibras naturais possuem propriedades únicas, que são naturais de cada material. A juta, por exemplo possui bastante rigidez e alta resistência a tração, já o sisal tem resistência a abrasão e melhor aderência a matrizes poliméricas. As fibras de matriz vegetal se mostram uma alternativa muito promissora na pesquisa de materiais sustentáveis e biodegradáveis para a construção civil e à medida que as tecnologias evoluem, a pesquisa de compósitos com fibras naturais também se expande. (Galvão Neto, 2023).

Além da pesquisa em compósitos para desenvolvimento de novos materiais, há pesquisas para otimização em materiais já consolidados como pode ser observado no projeto Future Tree²⁶ do grupo de pesquisa Gramazio Kohler (GKR) do Instituto Federal de Tecnologia de Zurique, a ETH Zurique. O projeto Future Tree é fruto da pesquisa em estruturas complexas em madeira e concreto digital,

²⁶ Árvore do Futuro

com o que foi desenvolvida uma microarquitetura instalada no pátio do edifício de escritórios da Basler & Hofmann em Esslingen, Suíça. A Future Tree é um projeto atraente que combina elementos tradicionais na construção civil com o máximo que a tecnologia pode extrair das características desses materiais. O projeto contempla resultados de duas pesquisas desenvolvidas pelo Instituto, (I) Fabricação Robótica Aditiva de Estruturas Complexas de Madeira (2012-17) e (II) Eggshell ou Casca de Ovo²⁷.



Figura 45 - Projeto Future Tree
Fonte: <https://gramaziokohler.arch.ethz.ch/>

No âmbito da pesquisa em estruturas complexas em madeira, na cobertura utilizou-se um conceito tradicional de montagem de estruturas recíprocas hexagonais em madeira. As peças foram cortadas e montadas em ângulos específicos com ajuda de um braço robô, a fim de compor uma cobertura em formato de funil. A conexão entre peças foi feita por pares de parafusos com perfurações em “V”. (Apolinarska *et al.*, 2021).

²⁷ Tradução do autor

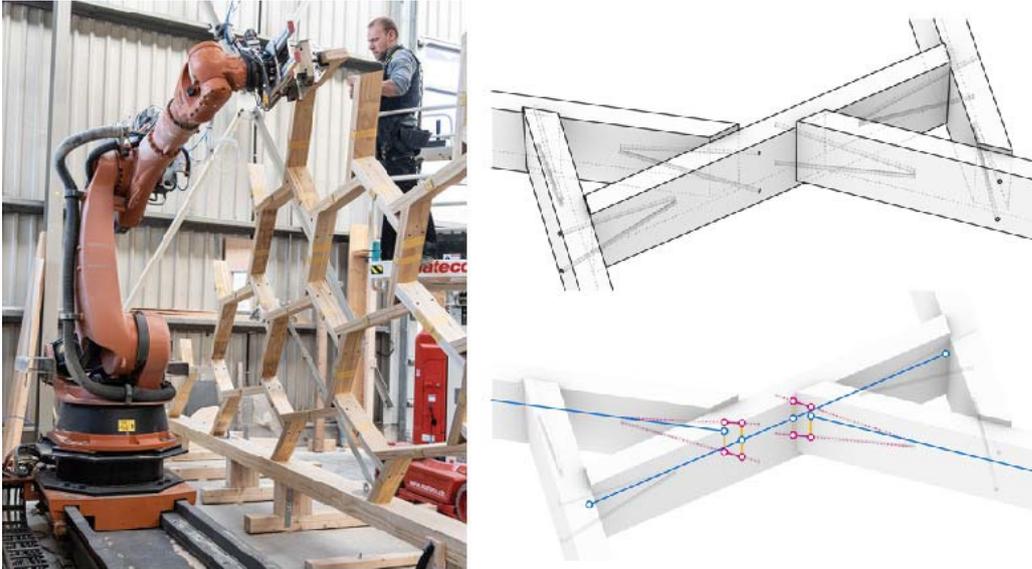


Figura 46 - Estrutura de montagem da Future Tree
 Fonte: <https://gramaziokohler.arch.ethz.ch/>

Todo o processo de design foi controlado por parâmetros a partir de coordenadas que saem do ponto central da coluna até às pontas da árvore. Assim, foi desenvolvido uma forma piramidal invertida e curva, sobreposta a uma malha hexagonal da estrutura em madeira. Para integrar as preocupações geométricas e estruturais foi desenvolvido um modelo computacional personalizado do projeto e toda a angulação da forma e dos cortes das peças foi controlado pelo código estabelecido. (Apolinarska *et al.*, 2021).

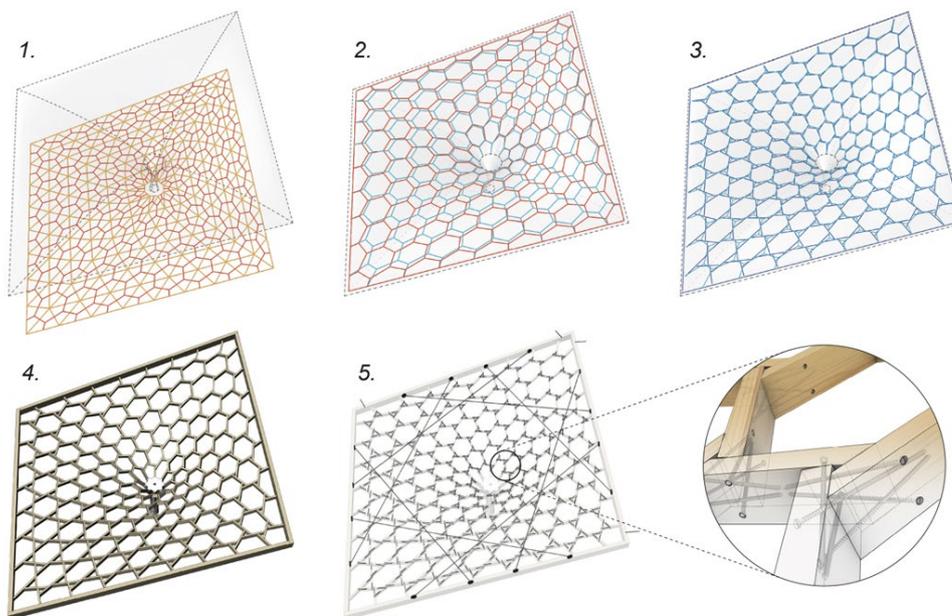


Figura 47 - Composição da forma e da estrutura da Future Tree
 Fonte: <https://gramaziokohler.arch.ethz.ch/>

O caule de concreto da *Árvore do Futuro* é resultado de pesquisas de otimização de cofragens para criação de formas não padronizadas ou complexas com fabricação digital de manufatura aditiva. (Apolinarska *et al.*, 2021). Esse processo, conhecido como Eggshell²⁸, consiste em imprimir uma fôrma de “casca fina” em uma impressora 3D robótica num processo chamado fused deposition modeling (FDM)²⁹, onde o filamento é depositado compondo a fôrma para a concretagem e reciclagem do filamento posteriormente, evitando assim, o desperdício e reutilizando material. A fabricação 3D por FDM oferece à modelagem um maior potencial e liberdade de experimentação de formas geométricas, que neste caso, é utilizado para otimização estrutural da forma. Assim, é possível aperfeiçoar a fôrma em função do desempenho estrutural, utilizando material apenas nos espaços que são realmente necessários. (Burger *et al.*, 2020).

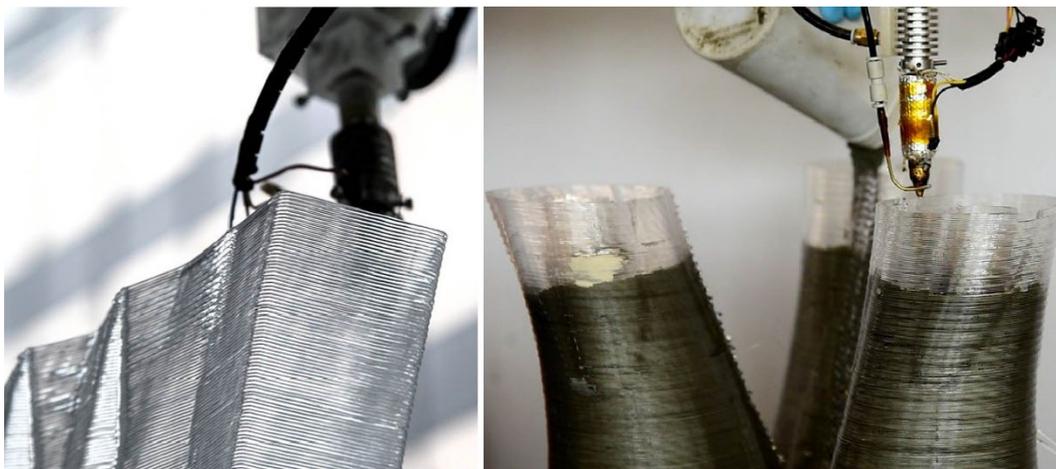


Figura 48 - Processo de cofragem Eggshell

Fonte: <https://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/e/forschung/334.html>

O objetivo do desenvolvimento do processo de fabricação Eggshell é poder fabricar estruturas complexas e otimizadas em concreto combinando processos de fabricação da fôrma enquanto funde o concreto no seu interior. Esse processo é controlado digitalmente, tanto a construção da fôrma por impressão 3D, quanto a fundição do concreto sob demanda. (Burger *et al.*, 2020).

²⁸ Casca de ovo

²⁹ Modelagem por deposição fundida

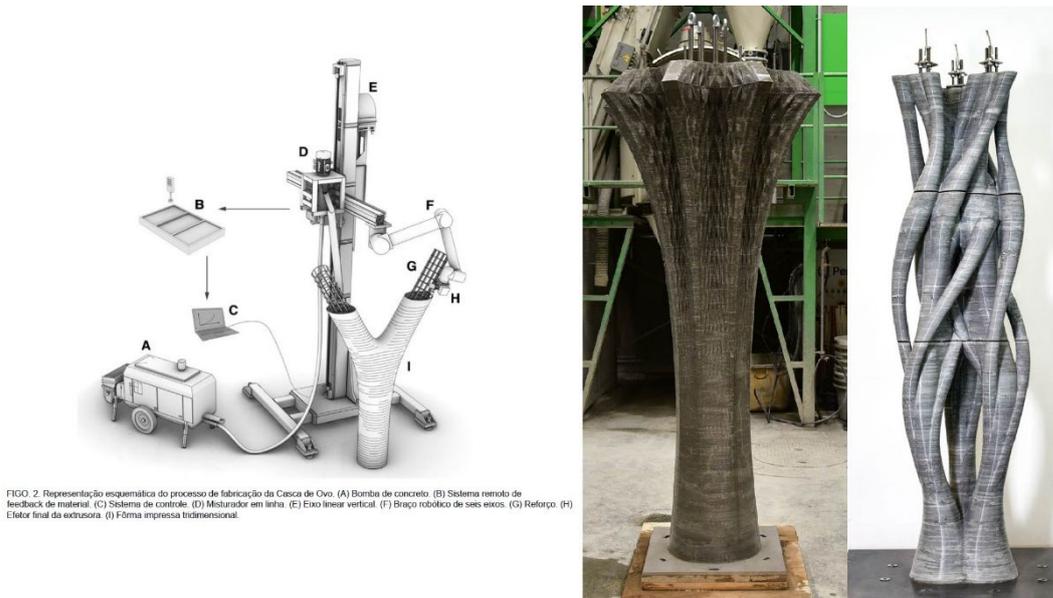


Figura 49 - Estruturas de concreto construídas com fôrmas Eggshel
 Fonte: <https://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/e/forschung/334.html>

Nos dois exemplos apresentados, o pavilhão ICD/ITKE e o FutureTree, é possível observar que a fabricação digital amplia o escopo da tectônica, desde a concepção, a exemplo do conceito de biomimética, a construção, com utilização de novos materiais, ferramentas e processos construtivos; permitindo uma integração mais profunda entre forma, estrutura e material através de técnicas avançadas de modelagem computacional, corte CNC e impressão 3D.

Avanços que possibilitam a criação de novas formas caracterizadas pela complexidade e alta precisão, constituem algo que seria difícil, ou até mesmo impossível, com métodos tradicionais, aumentando, portanto, as possibilidades de projeto, no que diz respeito à materialização: métodos construtivos e estruturais e materiais propriamente ditos, possibilitando a criação de estruturas inovadoras, cuja expressão tectônica possibilita, para além de novos meios de interação entre forma e espaço, entre forma e função, sobretudo outras formas de manifestação entre os sujeitos e determinada obra elaborada, considerando os princípios de MFD, de PDT e da Tectônica Informada mediando e informando os processos.

Neste sentido, materiais avançados, como fibras de carbono e compósitos, podem ser integrados diretamente no processo de materialização e fabricação, melhorando a sustentabilidade e funcionalidade das construções, ao mesmo tempo em que ampliam a expressão tectônica. Tecnologias como a fabricação digital permitem iterar e testar diferentes soluções de projeto rapidamente, facilitando a

experimentação e a inovação, permitindo ajustes finos e refinamento das relações tectônicas.

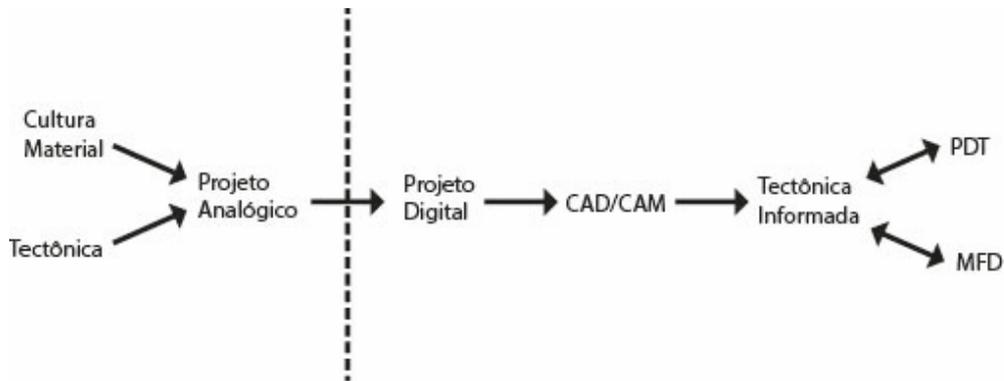


Figura 50 - Diagrama de transição do projeto analógico para o projeto digital

Em suma, Oxman aborda a mudança de paradigma a partir de duas perspectivas complementares. A primeira é o desenho ou projeto baseado em papel, que evoluiu para um contexto exclusivamente digital, no qual o “papel tradicional dos traços visuais do lápis do designer foi agora substituído pelo modo algorítmico de pensar do computador” (Oxman, 2017) e que a capacidade do projetista de pensar nas formas analógicas de projeto, com base em croquis, desenhos e maquetes de estudo está sendo substituído pelo desenho de formas digitais, via visual script, que representa a evolução do pensamento em projeto ou *design thinking* para Design Thinking Paramétrico (PDT). A segunda é relativa à evolução das tecnologias digitais de fabricação, que ressignificaram as “relações tectônicas entre forma, estrutura e material, dentro da lógica das tecnologias de fabricação”. (Oxman, 2017). A popularização da fabricação digital impulsionou o surgimento de uma nova “práxis material”, que é denominada por Oxman como MFD e significa uma abordagem de projeto baseado em materiais através da fabricação digital. Perspectivas complementares cuja conexão é feita pelo conceito de Tectônica Informada. Segundo a autora, as relações tectônicas no contexto digital trazem para o primeiro plano as questões de materiais e de fabricação, para o qual a forma e a estrutura se tornam consequências. Essa inversão de ordem se dá pelos avanços das tecnologias digitais de fabricação, como máquinas CNC de vários tipos, das possibilidades de fabricação e das técnicas utilizadas que essas máquinas oferecem; pela capacidade que a parametrização das formas tem de informar o processo de fabricação com máxima precisão. (Oxman, 2017).

4.1 Projeto baseado em materiais e fabricação digital

O conceito de Projeto baseado em Materiais e Fabricação passa, fundamentalmente, pela evolução das tecnologias de manufatura que o paradigma digital introduziu, a Fabricação Digital. O MFD, reiterando definição conforme Oxman (2016), é “um processo de informação computacional que aprimora as relações tectônicas entre forma, estrutura e material dentro da lógica de fabricação e tecnologias robóticas” que está imprimindo uma nova práxis de projeto baseado em materiais. Esta nova práxis é mediada pelas relações tectônicas, que são diretamente influenciadas pelas novas tecnologias de materialização e fabricação. Esta nova ordem tectônica é informada pelo que a autora chama de Design Thinking Paramétrico (PDT), que é a evolução do pensamento de projeto baseado em papel. Neste caso, PDT significa o pensamento de projeto baseado em códigos e tem a função de mediar, por meio de fluxos holísticos, as relações tectônicas entre concepção e materialização. Neste sentido, Oxman defende que o design computacional criou uma nova configuração de projeto, onde o material se tornou o ponto central de todo o processo e a tectônica passa ser um conceito que intermedeia as relações entre projeto (MFD), Modelo (PDT) e protótipo (fabricação). Mas antes de entrar diretamente no tema, é importante contextualizar alguns precedentes.

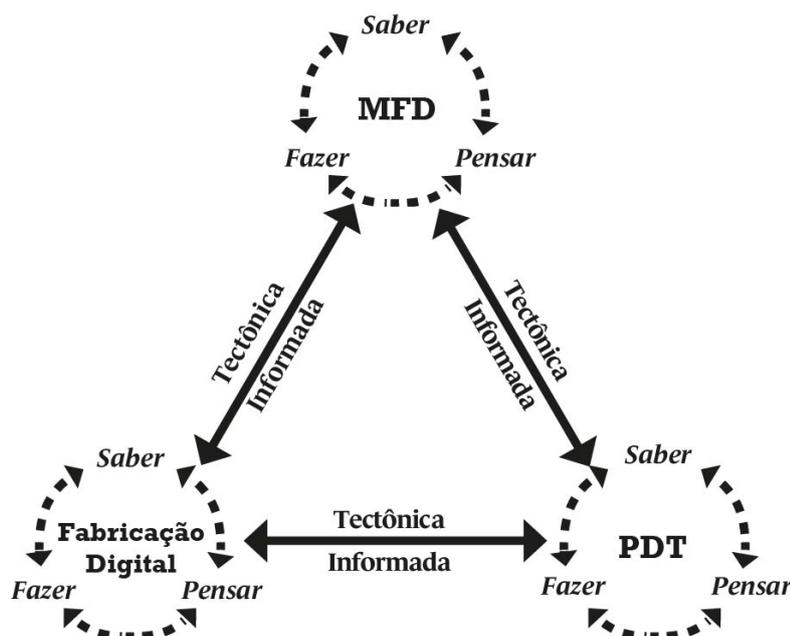


Figura 51 - Categorias conceituais digitais

4.1.1 A evolução do CAM: do chão de fábrica a mesa de trabalho

A Fabricação Digital como é conhecida hoje ficou popular no começo desse novo milênio. Contudo, os primeiros passos foram dados algumas décadas antes, entre 1950 e 1960, por John T. Parsons, engenheiro e inventor, com ajuda do engenheiro de aeronáutica Frank L. Stulen, construíram a primeira máquina controlada por motor de posicionamento, ou seja, a primeira máquina de controle numérico (NC). Em paralelo o Massachusetts Institute of Technology (MIT) desenvolvia pesquisas na área de servomotores, equipamento eletrônico, pneumático ou hidráulico, responsáveis por controlar variáveis de posicionamento e velocidade de equipamentos de controle numérico. De maneira bem simplificada, o servomotor é um equipamento que tem como finalidade ler os números e direcionar a máquina a determinado ponto, que é como se o equipamento traduzisse números em coordenadas e gerasse um mapa para a máquina. As pesquisas de Parsons e Stulen, junto com o MIT, foram responsáveis pela invenção da primeira máquina CNC e do que conhecemos como *computer-aided manufacturing*³⁰ (CAM) (Mohammadi, 2019).

³⁰ Manufatura assistida por computador



Figura 52 - John T. Parsons e a Máquina CNC de 3 eixos do MIT de 1952
Fonte: <https://medium.com/cnc-life/history-of-cnc-machining-part-1-2a4b290d994d>

Nas décadas seguintes, as tecnologias CAM permaneceram exclusivamente a serviço da indústria e de órgãos governamentais e educacionais. A grande *virada de chave* aconteceu em 1998, no laboratório interdisciplinar Center for Bits and Atoms (CBA) do MIT, quando o professor Neil Gershenfeld criou uma disciplina chamada “Como fazer (quase) qualquer coisa” com a intenção de apresentar e disponibilizar aos estudantes da área de tecnologia, as máquinas de fabricação das indústrias para possibilitá-los a inovar, criar e principalmente fabricar suas próprias ideias. O sucesso foi tão grande que atraiu estudantes de outros campos do saber, como artes, design e arquitetura. (Mohammadi, 2019).

Devido à grande aceitação e retorno da disciplina, Gershenfeld decidiu levar o conceito da disciplina para outras unidades fora do campus do MIT e ampliar o acesso ao conhecimento técnico e aos equipamentos oferecidos, deixando disponível ao público geral um ambiente propício à experimentação, à criação e à inovação, com ferramental de ponta e profissionais capacitados para orientar. (Felipe, 2019).

Esses espaços Gershenfeld nomeou de Laboratório de Fabricação Digital (Fab Lab) e se tornou um projeto de extensão de sucesso. Com apoio da National Science Foundation, o CBA, sob gestão de Gershenfeld, montou um kit de equipamentos com computadores, cortadora à laser, fresadoras e impressoras 3D e abriu o primeiro Fab Lab fora do MIT, no South End Technology Center, em

Boston, no ano de 2003. Em 2004 abriu outro Fab Lab em Gana, na cidade de Sekondi-Tokaradi e desde então foram instalados Fab Labs em todos os lugares do mundo.

O propósito do Fab Lab, segundo Gershenfeld, vai além de um espaço para criação e fabricação, necessariamente. O Fab Lab tem como princípio democratizar tais processos e encorajar pessoas a dar luz às suas próprias ideias. Esses laboratórios fazem parte de um movimento muito maior. (Gershenfeld, 2012).

Estes laboratórios fazem parte de um “movimento maker” mais amplo, formado por profissionais do tipo “faça você mesmo” de alta tecnologia, que estão democratizando o acesso aos meios modernos de fazer coisas. (Gershenfeld, 2012, p. 48).

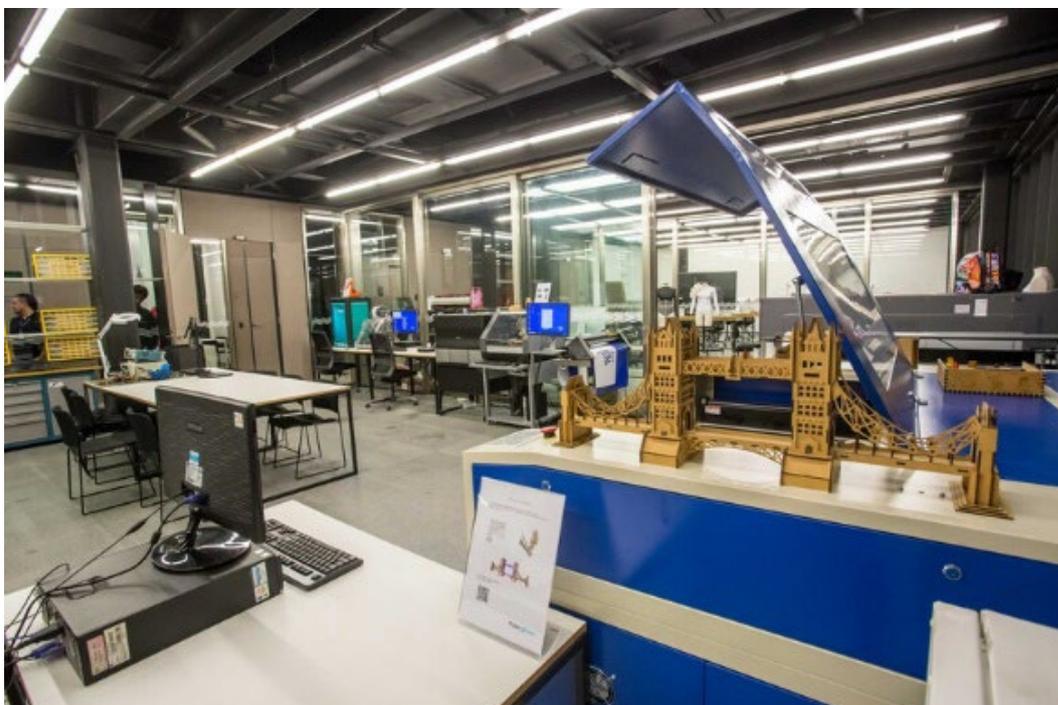


Figura 53 - Fab Lab Casa Firjan
Fonte: <https://www.fablabs.io/>

Os Laboratórios de Fabricação Digital têm profunda relação com o Movimento Maker. Este movimento foi fortemente influenciado por pensadores que questionavam o regime de ensino tradicional com base na memorização (Felipe, 2019). O pensador cujo conceito mais impactou o Movimento Maker foi Jean Piaget, que assim como Paulo Freire e Donald Schön, defendiam uma educação propositiva, dialógica e reflexiva, que preparasse as pessoas para criação de uma consciência crítica a partir de suas experiências na percepção e resolução de problemas concretos. (Ribeiro, 2016)

Piaget é o grande precursor do conceito chamado de construtivismo no ensino-aprendizagem. Defendia que o conhecimento é construído com ações e que todo comportamento parte de uma ação, até mesmo o pensamento é uma ação. Neste caso, o pensamento é a interiorização da ação (Moreira, 1999) e quando a ação passa a ser uma operação coordenada, ou seja uma ação a partir de um pensamento reflexivo, há o aumento do conhecimento, e portanto o desenvolvimento mental cognitivo. (Alves, 2018).

Neste sentido os conceitos de pensamento reflexivo funcionam como uma práxis dentro do Movimento Maker, no sentido de direcionar a prática a ações voltadas para resolução de problemas em contexto dialógico de ensino-apredizagem entre educando e educadores.

No movimento de fazedores (makers), é ainda mais importante o papel do educador, que consiste em ensinar o estudante a buscar as informações, e a ter a capacidade crítica de avaliar as informações e decidir por um caminho para o desenvolvimento de sua ação maker. (Ribeiro, 2016, p. 128).

Os Fab Labs são diretamente responsáveis pela propagação do conceito Maker ao público comum. São espaços de experimentação, que buscam a emancipação do pensamento em sua essência. O ambiente Fab Lab é aberto ao público e permite que qualquer pessoa que queira desenvolver um projeto possa elaborar, experimentar e executar suas ideias, com ou sem formação técnica. O conceito Fab Lab se constrói através de um ambiente interdisciplinar, que integra tecnologias digitais de desenho e modelagem com tecnologias de fabricação e automação.

A fabricação digital, por meio da propagação do conceito Fab Lab, começou a despertar interesse de áreas ligadas a desenho e projeto, como artes, desenho industrial, arquitetura e afins. Na arquitetura, a relação entre projeto, fabricação e construção até então se mantinha distante, motivada pela subutilização do CAD usado apenas como ferramenta de desenho substituto do projeto baseado em papel, porém com o mesmo propósito (Almeida, 2018). O princípio de fabricar digitalmente reaproximou o projetista à necessidade de pensar os meios de produção, fabricação e materialização. A possibilidade de prototipar e fabricar modelos rapidamente e com feedback instantâneo durante o processo de projeto foi uma das principais razões do reconhecimento da fabricação digital como uma

abordagem potencialmente significativa nos processos criativos em arquitetura. (Oxman, 2016).

Na medida que a evolução computacional muda profundamente a percepção da materialidade, uma “nova cultura material” emerge no cenário de projeto. A combinação entre o desenho digital e a fabricação digital permite que designers extraiam novas abordagens de práticas culturalmente estabelecidas (Menges, 2016). Esta “nova materialidade” é impulsionada pelos processos de materialização computacionais. O material deixa de ser “capa” e passa a ser o próprio conteúdo, o que parece ser um desafio significativo como mencionado Achim Menges:

Representa um desafio significativo tanto para as atuais abordagens de design digital desprovidas de lógica material quanto para (...) a banal e modernista “verdade aos materiais” que perdura no pensamento de design de hoje e relaciona a essência assumida de um material a um conjunto de dados – supostamente apropriado – tipologias estruturais e espaciais. (Menges, 2016, p. 12).

O desafio, ao qual Menges (2016) se refere, está no fato de que o projeto voltado para materiais com a utilização de fabricação robótica está se tornando a força motriz dos processos de projeto arquitetônico. Neste sentido, é fundamental a interdisciplinaridade e a colaboração com outras áreas, tais como, engenharia, tecnologia da informação, entre outras, para melhor compreensão da máquina mais adequada para determinada atividade, ou até mesmo uma máquina personalizada.

Nos dois exemplos anteriores, tanto no pavilhão ICD/ITKE quanto no Future Tree, as máquinas CNC foram customizadas. No Pavilhão, houve a personalização do bico para aplicação do filamento de carbono (figura 53 - imagem à direita), foi uma peça feita sob medida, exclusiva para este fim. Já para construção da Future Tree, foi desenvolvido um bico para aplicação do filamento na medida especificada pela pesquisa Eggshell e um corpo vertical com hastes e cremalheira para acoplamento do braço robótico. Era necessário que o braço subisse conforme a forma fosse sendo construída (figura 53- imagem à esquerda).

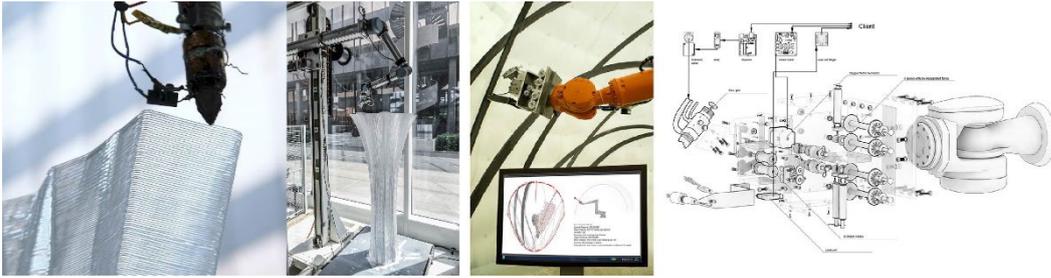


Figura 54 - Adaptação do braço robótico – pavilhão ICD/ITKE e Future Tree

Fonte: <http://www.achimmenges.net/>

<https://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/e/forschung/334.html>

Uma outra questão é compreender a tipologia de cada máquina e saber seus princípios e padrões. Essas noções são importantes no direcionamento do projeto para a fabricação, com especificação e possíveis adaptações. As máquinas CNC se dividem em dois tipos: manufatura aditiva e subtrativa. Alguns teóricos separam fabricação digital de prototipagem rápida, se referindo ao primeiro como aditiva e o segundo como subtrativa. Porém, utilizamos os dois termos no mesmo sentido, pois a prototipagem rápida é precedida pelo desenho digital e, portanto, entendemos que os princípios são os mesmos, FD aditiva e FD subtrativa.

Toda fabricação digital aditiva é impressão 3D. A impressão 3D pode ser utilizada em vários tipos de máquina CNC, mas o mais comum é a impressora de mesa. A primeira versão de impressora 3D é datada de 1984, foi desenvolvida pelo engenheiro Charles Hull, cofundador e diretor da 3D System. Essa impressora usava a tecnologia de impressão estereolitografia (SLA) (figura 54 - imagem à direita) que consiste em projetar um laser ultravioleta em um tanque de resina fotossensível, que faz a cura e transforma a resina líquida em um polímero sólido (3D SYSTEM). O tipo de impressão 3D mais comum atualmente é a Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) (figura 54 - imagem à esquerda), tecnologia inventada pelo casal de engenheiros Scott e Lisa Crump, baseia-se em uma modelagem por extrusão de materiais plásticos (polímeros termoplásticos) aplicado em forma de filamento (3DLAB).



Figura 55 - Impressão 3D FDM e SLA
 Fonte: <https://threedom.com.br/>, <https://www.robotica.pt/>

Depois dos primeiros modelos, a tendência foi a popularização da tecnologia e dos equipamentos. A partir dos anos 2000, junto com a popularização dos Fab Labs, foram criadas algumas iniciativas para desenvolvimento de impressoras 3D *do it yourself*. A primeira iniciativa foi o projeto RepRap, cujo objetivo era desenvolver uma impressora que fosse capaz de fabricar-se a si mesma. A proposta da RepRap era democratizar o acesso as máquinas de impressão, cujo valor era muito alto na época e inacessível financeiramente ao público comum. Através de código aberto as pessoas poderiam montar uma impressora 3D RepRap, com valores até dez vezes menores que os praticados pelos modelos comerciais, replicá-las, imprimir seus próprios componentes e montar outra impressora semelhante. A RepRap simbolizou um divisor de águas. Naquele tempo já podia fabricar cerca de 70% de suas próprias peças e hoje há pelo menos 16 modelos derivados do modelo inicial (RepRap).

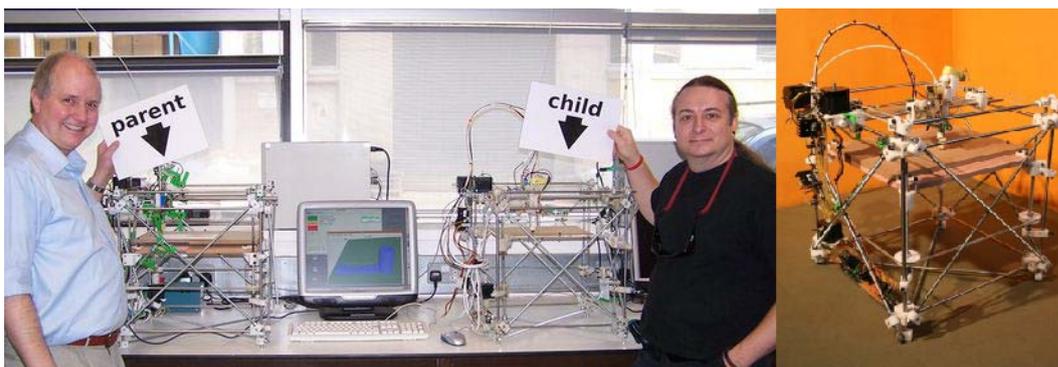


Figura 56 - Modelo original da impressora 3D RepRap
 Fonte: <https://reprap.org/>

Hoje há uma gama de possibilidades de aplicações de impressão 3D, inclusive adaptadas há outras máquinas CNC; em braços robóticos (figura 55 - imagem à esquerda) por exemplo, aumentando os eixos de aplicação de filamento e a área de abrangência, em pórticos rolantes para impressão em escalas maiores

(figura 55 -imagem à direita), ou quem sabe instalar o braço robótico com bico para filamento em um pórtico rolante. Uma gigantesca impressora 3D para impressão em escala 1:1 de barcos, casas e grandes estruturas.



Figura 57 - Impressora 3D robótica e impressora 3D de tamanho industrial
Fonte: <https://www.popsci.com/> , <https://all3dp.com/>

O outro tipo são as máquinas de manufatura subtrativa ou redutiva, que são processos de usinagem que subtraem material de um bloco sólido e tem por objetivo esculpir, cortar ou perfurar peças em diversos materiais. Alguns exemplos de máquinas CNC de subtração são as CNC Router (fresadora), cortadoras laser e jato de água, torno CNC, centros de usinagem, os braços robóticos com mandril para usinagem e mais alguns outros tipos específicos.



Figura 58 - CNC Router, cortadora laser, centro de usinagem, braço robótico.

O desenvolvimento de tecnologias de manufatura subtrativa seguiu a mesma tendência das impressoras 3D. A primeira fresadora pessoal de mesa foi produzida também no MIT, em outro projeto do CBA chamado Machines That Make Machines³¹ (MTM), cujo objetivo era desenvolver máquinas de prototipagem rápida CNC, para serem usadas nos Fab Labs. Em 2011 nasceu a fresadora MTM Snap faça você mesmo, dos estudantes Jonathan Ward, Dadya Peek e David Mellis,

³¹ Máquinas que fazem máquinas, tradução do autor

em polietileno de alta densidade (PEAD) com encaixes de click. No site da MTM Snap há todas as instruções para fabricação, montagem e lista de materiais para construção de uma CNC Router de mesa MTM Snap (MTM Snap).

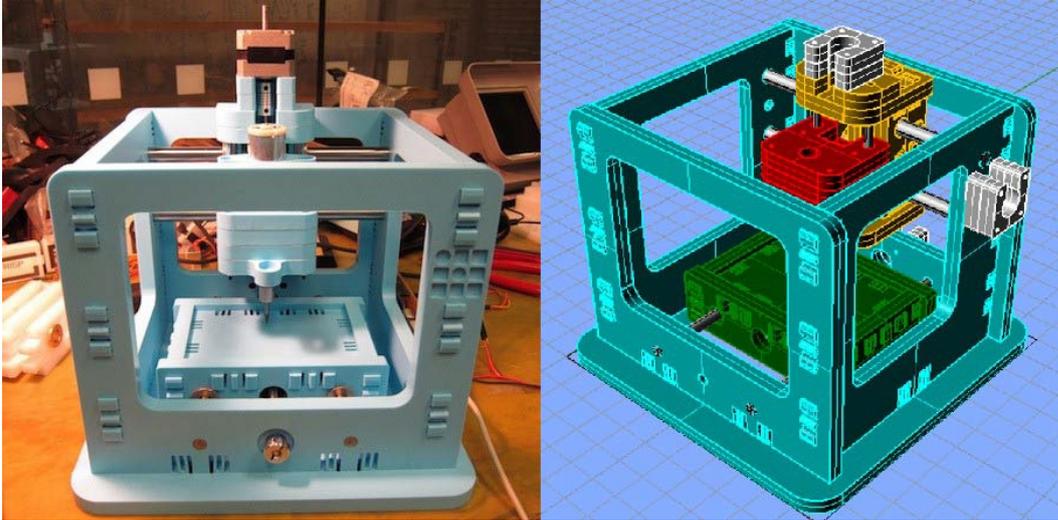


Figura 597 - CNC Router MTM Snap faça você mesmo
Fonte: <https://mtm.cba.mit.edu/>

A popularização revolucionária desencadeada pelo advento dos Fab Labs foi responsável por iniciar um comportamento que era pouco comum na época, as pessoas passaram a fabricar suas próprias ferramentas, seus próprios equipamentos e materializar suas próprias ideias. A democratização dessas ferramentas trouxe consigo um novo paradigma e muitas barreiras foram superadas, porém, ainda há um longo caminho para trilhar, rumo a uma democratização mais ampla e inclusiva.

Na arquitetura a popularização da fabricação digital e das tecnologias CAD/CAM reaproximou o arquiteto dos meios de produção em um processo de materialização reversa, no qual o material e os processos de fabricação foram elevados a um nível de prioridade nas fases iniciais de projeto. As máquinas CNC de manufatura aditiva e subtrativa de mesa democratizaram o acesso a essas tecnologias e ampliaram as alternativas de projeto nos escritórios de arquitetura. Hoje, o projetista pode desenhar e fabricar protótipos em tempo muito reduzido, inclusive para personalização de peças de detalhes arquitetônicos.

No ensino da arquitetura está a possibilidade de se criar um arcabouço cognitivo que desafia a ordem tradicional de projeto e de representação em desenhos técnicos. Se antes era necessário ensinar para o aluno os padrões de fabricação, especificações de detalhes construtivos e várias outras especificidades da construção nas quais o aluno deveria se adequar, hoje o processo pode ser todo

customizado, inclusive prototipado e testado antes de ser enviado para produção fabril ou fabricado por conta própria. Se antes o ensino-aprendizagem era limitado a uma certa ordem de projeto de fora para dentro, ou seja, da fábrica para a prancheta, essa ordem se inverteu, dando ao estudante a autonomia de criar, experimentar, fabricar e testar objetos integralmente personalizados.

4.1.2 Do desenho paramétrico ao projeto de materialização

Esta nova abordagem do projeto de arquitetura assistido por computador e integrado às tecnologias de fabricação faz alusão ao arquiteto construtor pré-renascentista, conforme abordado no segundo capítulo. Motivados pelas inúmeras alternativas que as ferramentas de fabricação digital possibilitam ainda nas fases iniciais de projeto, o arquiteto passou a sentir a necessidade de controlar, se não todos, a maioria dos processos, desde a ideação até construção. Isto acontece porque as máquinas de fabricação também começaram a fazer parte do projeto ainda na fase concepção. (Almeida, 2018).

No exemplo da Expansão do Museu Tate Modern, abordado no capítulo anterior, foi possível perceber o total controle de todas as fases do projeto, inclusive com pontos de controle em cada tijolo da fachada. Cada ponto crítico de junção dos tijolos teve um protótipo em 1:1 para controle da forma e os tijolos foram feitos por encomenda e especificamente numerados. Todo esse controle da torre “retorcida” não seria possível sem a parametrização da forma e das unidades de tijolos, muito menos sem a possibilidade de fabricar digitalmente os tijolos para testes.

O MFD caracteriza, ao que tudo indica, uma nova classe de conhecimento disciplinar, desafiando os padrões de pensamento em projeto e o PDT está se consolidando como um novo modelo de *design thinking*. Projetar parametricamente é desenhar via código e/ou parâmetros. Os códigos e os parâmetros produzem, controlam e editam o desenho. Neste caso, o designer projeta o código para o *software* projetar o modelo. Segundo Oxman (2017), o design paramétrico como pensamento em projeto baseia-se em “processos de exploração e reedição de relações associativas em um espaço de solução geométrica”.

Oxman (2017) defende que o pensamento algorítmico é um novo modelo de *design thinking* e, portanto, uma nova forma de pensar o projeto. “Criar scripts, ou escrever códigos fornece uma nova maneira de pensar em design” que “exige o desenvolvimento de habilidades cognitivas e computacionais”.

O que Oxman (2017) quer dizer com isso é que há a necessidade de se criar um grande arcabouço teórico de projeto digital via linguagem de scripts, que em muitos casos, requerer uma reestruturação conceitual de escolas de arquitetura. Seria necessário ensinar ao estudante a projetar e a desenvolver em códigos, ou a projetar desenvolvendo códigos e isso é uma questão muito mais profunda do que se imagina. Hoje, são poucos professores de arquitetura que desenvolvem em códigos – talvez as escolas derivadas do Desenho Industrial, algumas chamadas apenas como Design atualmente, tenham perfis docentes mais bem preparados neste sentido – ou que tenham interesse em aprender a desenvolver. Contudo, acreditamos que a linguagem de códigos se tornará universal. Na década de 90, muitas escolas instituíram uma disciplina denominada “Informática”, cujo objetivo era ensinar aos estudantes a usar a internet e alguns programas de computadores. Hoje, há a necessidade de ensinar linguagens de programação nas escolas para criar digitalmente e o que era ensinado na década de 90 se tornou banal, exceto em alguns casos de inclusão digital

O Design Thinking Paramétrico elaborado por Oxman (2017) estabelece um novo patamar cognitivo do design. Configura o poder de subjugar o *software*, operá-lo e adaptá-lo ao seu modo estilístico pessoal de pensamento. O que caracteriza um total controle das ações de desenvolvimento pelo designer. Neste caso, o PDT é refletido pelo pensamento de projeto a partir dos conhecimentos necessários em desenvolvimento de linguagens de programação e modelagem generativa para elaboração do projeto.

Em PDT, Oxman direciona seus esforços a traçar um perfil cognitivo de design que, de certa maneira, é direcionado ao pensamento por algoritmo como forma de conhecimento. O princípio do pensamento em design paramétrico só é possível por meio de conhecimento em linguagem de código, que caracteriza o conceito de Design Computacional (DC). Caetano, Santos e Leitão (2020) listaram três tipos de design por meio de códigos que definem DC. São eles: Projeto Paramétrico (PD), Projeto Generativo (GD) e Projeto Algorítmico (AD)³²

Em PD o projeto é a representação computacional de geometrias que são automaticamente atualizadas e visualizadas na tela mediante a mudança de parâmetros. Portanto, em vez de o projetista desenhar linhas, blocos ou elementos,

³² Parametric Design, Generative Design, Algorithmic Design

a geração da forma é feita por meio de parâmetros. Representa uma abordagem típica de ferramentas em metodologia BIM onde os parâmetros de comprimento, alturas, espessuras exatas são atribuídas ao objeto e dão formas as paredes, lajes, pilares e vigas. Também são comumente usados no ambiente de geração de formas no Rhinoceros/Grasshopper onde a forma é controlada por parâmetros dentro dos códigos de geração, como vimos no exemplo do Tate Modern.

Em GD os algoritmos criam a própria forma e têm funções mais autônomas de criação. Neste caso, após a geração da forma, “o sistema executa instruções codificadas até que o critério de parada seja satisfeito” (Caetano, Santos e Leitão, 2020). Ou seja, é uma metodologia exploratória de formas a partir de códigos, em que o código tem a função de gerar a forma e muitas vezes, formas imprevisíveis. Sistemas de geração de formas baseados em desempenho são exemplos de design em GD. O workshop INSITU trabalhou em GD por desempenho visando melhor forma para conforto ambiental.

Em AD o código é usado para solução de problemas, o que caracteriza um método bastante semelhante a GD, e segundo os autores, em muitos casos os métodos são os mesmos e os termos são sinônimos. Neste sentido, AD é também usado para geração de formas por algoritmos, então também é considerado generativo, mas que diferentemente de GD, não é imprevisível e mais fácil de rastrear partes dos modelos no código, alterando parte dos algoritmos para editar a forma. Resumindo, GD é o método de geração de forma por algoritmo, seja por desempenho ou por exploração, muitas vezes essa forma é imprevisível, pois a geração da forma segue um código de geração aberta, atendendo ao requisito do desempenho, por exemplo, entretanto, quando a forma gerada pelo código é rastreável e manipulável em qualquer ou em um determinado ponto, então também é considerado AD. Por fim, se no projeto pode ser atribuído parâmetros para edição da forma sem a necessidade de reescrever o código, então também é PD.

Desenhar via código é uma promessa de se tornar uma nova área de conhecimento e habilidade. O tradicional desenho baseado em papel está sendo substituído pela visualização da forma e de códigos integrados na tela. Esse processo permite aos arquitetos, investigar e testar soluções complexas, controlar o processo com mais eficiência e integrar o processo de design às técnicas avançadas de fabricação. (Caetano, Santos e Leitão, 2020).

Depois do desenho finalizado, é importado em *software* de programação CAM para configuração de rotinas e percursos da ferramenta CNC. Mas antes disso, deve-se ter em mente, qual ferramenta é a mais adequada para o protótipo, visto que, cada máquina tem suas especificidades, tipos de material de manufatura, dimensões, bicos e ferragens. A CNC Router, por exemplo faz a usinagem por meio de fresas de corte lateral. Cada fresa tem uma espessura, que é exatamente a espessura de corte na peça. Já a máquina de corte à laser, corta as peças por um fecho de luz ultravioleta emitido por um tubo, que é direcionado por espelhos e reduzido por uma lente até entrar em contato com a peça, fazendo um corte de até 0,5mm de espessura. Com a potência e velocidade de corte adequadamente configurados é possível cortar diversos tipos de materiais, de várias espessuras.

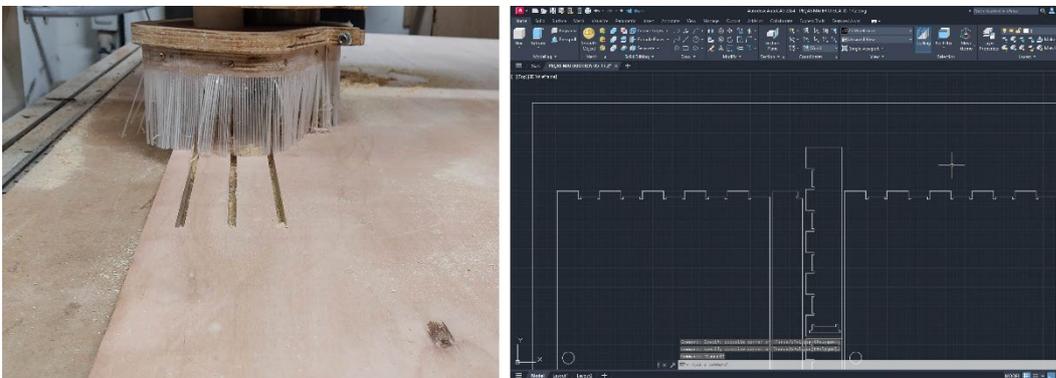


Figura 60 - Espaço das peças igual a espessura da fresa
Fonte: Autor

Essa integração entre desenho e fabricação é feita pelas novas relações tectônicas desse processo. São novas atribuições que anteriormente ficavam a cargo exclusivo do fabricante ou da indústria. Especificidades como, espessura de fresa e distanciamento de peças no desenho, tipos de filamento ou métodos de impressão 3D, espessura de corte à laser e materiais que não derretem ou deformam em contato com o calor. Neste sentido, se torna necessário conhecer as propriedades dos materiais que serão usados nas ferramentas e qual ferramenta é mais adequada para cada material. Por exemplo, não é possível cortar compensado naval em qualquer máquina de corte à laser, as propriedades de densidade e posicionamento das lâminas necessitam de máquinas específicas de corte, ou as peças podem virar carvão e até incendiar a máquina. Já o MDF³³ fica com excelente acabamento e é

³³ Medium Density Fiberboard, é um material amplamente utilizado na indústria moveleira e na construção civil.

muito utilizado, inclusive em máquinas de pequeno porte e pessoais. Em compensação, o compensado é muito utilizado em CNC de usinagem, ficando com bom acabamento. O MDF, por ser fibra/pó de madeira prensada, é muito difícil dar um bom acabamento, pois as fibras descolam no momento do corte. É necessário usar o MDF ultra, que tem maior densidade e é resistente a umidade.

Além de especificidades material-máquina, há, material e montagem, material e exposição à intemperes, material e propósito, durabilidade, resistência e trabalhabilidade são questões específicas do material, quando se trabalha com madeira, por exemplo. Cada espécie de madeira tem propriedades distintas e particulares. Por exemplo, o pinus e o eucalipto brasileiro, que são madeiras de reflorestamento e muito comercializadas, são espécies de madeira macias, de baixa resistência. São fáceis de trabalhar em cortes, torneamento e lixamento, mas tem baixa resistência e durabilidade. Em compensação, a nível de protótipo são materiais de fácil usinagem e corte a laser também. Já madeiras mais duras e resistentes, como as utilizadas em telhados, Maçaranduba, Cumaru, Muiracatiara, por exemplo, são de difícil usinagem e precisa de uma rotina mais lenta, porém com acabamento de muita qualidade.

O conhecimento de cada material, madeira, ferro, plástico, tecido, couro, polímeros, entre outros é parte fundamental do conceito de MFD. No conhecimento de suas propriedades para trabalhabilidade em máquinas de fabricação digital, assim como o entendimento do desempenho do material na construção dos desenhos de projeto. É neste sentido que se dá a integração entre o desenho, a fabricação e o material em Projeto baseado em Fabricação e Materiais.

4.1.3 Ensino de projeto baseado em materiais e fabricação digital

Esse processo de projeto mais livre e personalizado é mediado pelas relações tectônicas a partir da escolha do material, seja como um princípio base de projeto, um partido material por exemplo, ou um material para executar determinada ideia específica. Neste sentido, parte-se da escolha do material, para depois desenvolver uma forma.

Nesta sessão serão apresentados alguns exemplos cujas observações estão descritas nos subitens a seguir. Dois anteriores esta pesquisa, no caso os Workshops Babilônia e INSITU, nos quais participei como profissional técnico do

LAB.ARCO, e o Workshop Cabine do Bosque, que participei ativamente, orientando e auxiliando os estudantes.

4.1.3.1 Workshop Babilônia

A ideia do Workshop Babilônia (BAB), que aconteceu no primeiro período letivo de 2016, no Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU), da PUC-Rio, a partir de uma iniciativa interinstitucional, que contou com a participação de 30 estudantes de graduação e pós-graduação do DAU e da Central Saint Martins (CSM, Londres), sob a orientação dos professores Marcos Favero, Raul Smith, Luciano Alvares (DAU), David Chambers, Shumi Bose, Greg Ross, Melanie Dodd (CSM). O objetivo do workshop, cuja duração foi de duas semanas, era projetar, fabricar e executar uma microinfraestrutura urbana no morro da Babilônia, Rio de Janeiro, que tivesse como propósito ser um dispositivo que contribuísse para interações interpessoais. A abordagem foi experimental caracterizada pela complementariedade de técnicas digitais e manuais a partir de um único material: chapa de compensado naval 2200mm x 1600mm x 18mm para fabricação do artefato em escala 1:1. O processo de projeto se desenvolveu, simultaneamente, entre desenhos analógicos, desenhos digitais e protótipos em diversas escalas.

O workshop começou com uma visita ao local e uma rápida pesquisa etnográfica. Depois, já em ateliê, foi feita uma jornada de *brainstorming*³⁴ seguido de uma apresentação de ideias conceituais, percepções do ambiente e algumas concepções iniciais de projeto.

³⁴ Em português, tempestade de ideias. É uma técnica de debate que tem como objetivo gerar o máximo de ideias possíveis sobre determinado assunto, tema, objetivo etc.



Figura 61 - Workshop Babilônia, fase de concepção
Fonte: Raul Smith

Na etapa seguinte os estudantes se dividiram em grupos para desenvolver os projetos com base nas percepções e decisões iniciais. Os professores seguiram orientando os alunos por meio de uma abordagem que chamaram de “mesas de críticas”. Essas “mesas de críticas” eram os momentos de discussão e avaliação do processo, no qual os estudantes apresentaram o desenvolvimento do projeto, ouviram comentários e observações dos professores e dos próprios colegas. Os modelos em 1:1 foram executados com ajuda de uma CNC Router e os modelos em escala reduzida, em uma máquina de corte à laser.

A partir das mesas de críticas foram elaborados quatro projetos, sendo dois destes levados a escala 1:1 e posicionados em dois espaços públicos no morro da Babilônia, um na Praça da Banca do Livro (figura 61 - imagem à direita), outro junto à ONG Escola Tia Percília (figura 61 - imagem à esquerda).

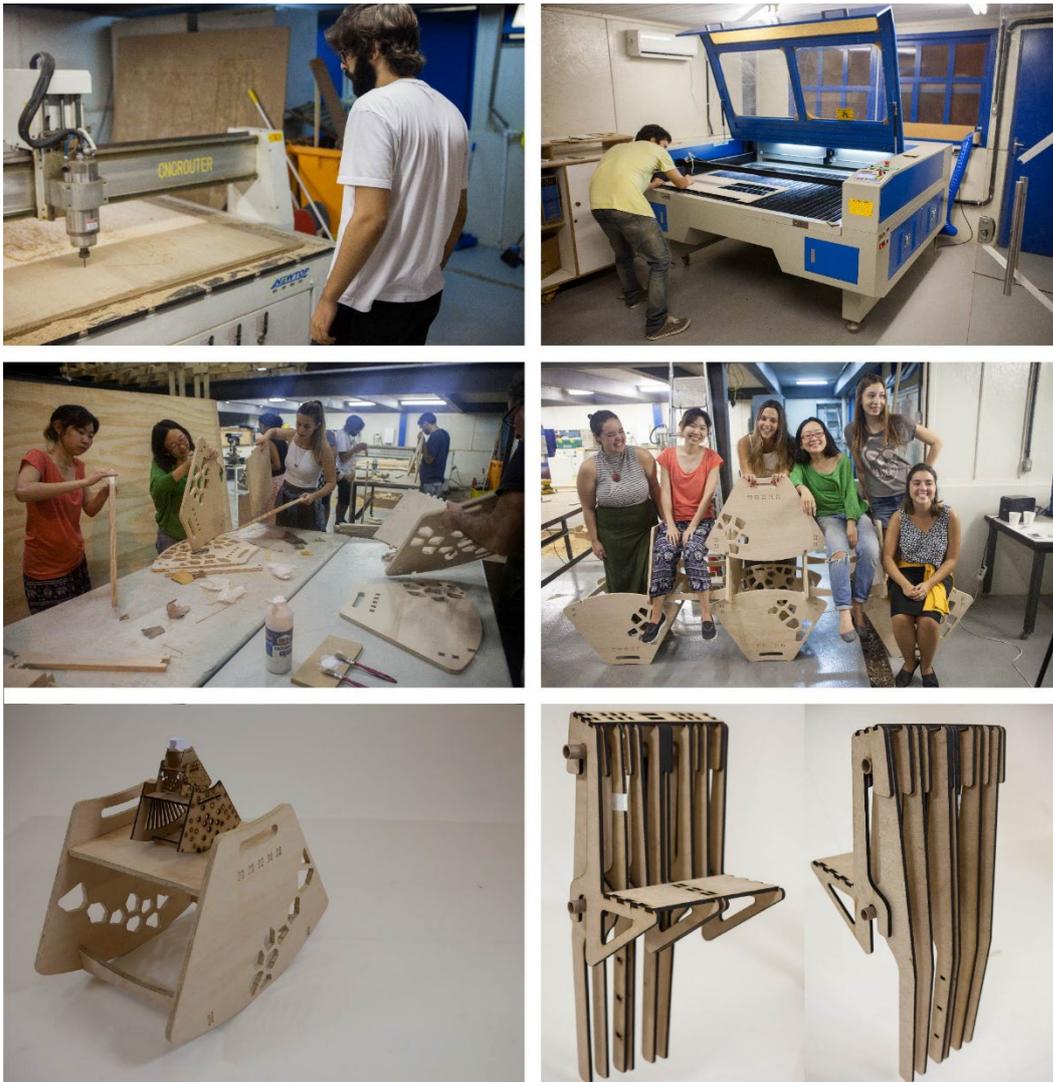


Figura 62 - Workshop Babilônia, fase de execução
Fonte: Raul Smith



Figura 63 - Workshop Babilônia, fase de instalação
Fonte: Raul Smith

Nos meses subsequentes ao workshop, os professores e estudantes vinculados ao Laboratório de Arquitetura, Infraestrutura e Território (LAIT) –

laboratório sob a coordenação do professor Marcos Favero, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PPGARq) da PUC-Rio –, no âmbito da pesquisa Fabricação, Tectônica e Projeto: Microinfraestruturas Urbanas (2015-2019), decidiram trabalhar em uma versão mais elaborada para ser doada à comunidade. Chamado de Banco da Banca (BAB), banco constituído de 16 septos em compensado naval de 18mm, com espaçamento de 24cm entre peças, totalizando 3,86m de comprimento, cujo desenvolvimento foi motivado sobretudo a partir da identificação de carência de mobiliário urbano na comunidade. Trata-se de uma microinfraestrutura que se desenvolve em dois níveis distintos, utilizando o tubo em ferro galvanizado horizontal: na parte superior do guarda-corpo, para apoio e, na parte inferior, para contraventamento. No nível superior, ou seja, no nível da Praça da Banca do Livro, este funciona sobretudo como apoio às atividades de leitura e, no nível inferior, localizado em um trecho “alargado” da calçada junto à rua principal, caracteriza outro espaço de convivência, servindo também como local de descanso e apoio para as pessoas que estão se deslocando pelas ruas e escadas da comunidade. (Favero, 2017).

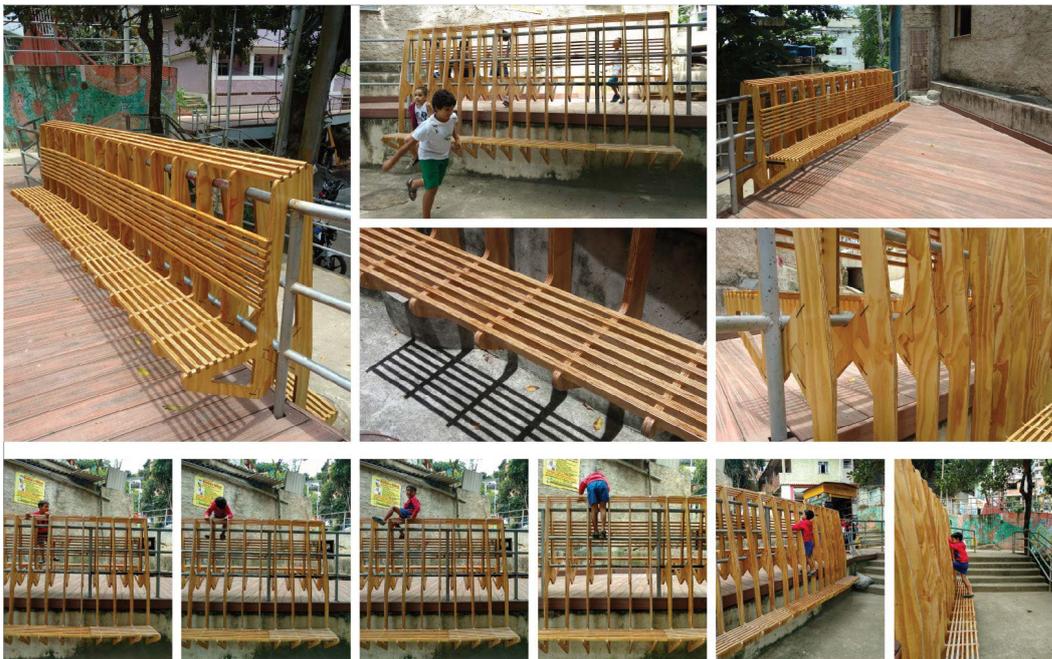


Figura 64 - Banco da Banca, morro da Babilônia
Fonte: Marcos Favero

4.1.3.2 Workshop INSITU

Um outro workshop com abordagem parecida foi o INSITU – parametrização e fabricação digital dos cobogós da fachada do Consulado Português no Rio de Janeiro, que aconteceu no período entre agosto e setembro de 2016, ministrado pela professora Verônica Natividade e o pelo professor Silvio Dias, a convite do arquiteto responsável pelo projeto do consulado, Pedro Campos Costa. O objetivo era ensinar modelagem paramétrica para otimização da forma de um elemento vazado (cobogó) a partir de estudos de luz incidentes para melhor performance do edifício em termos de conforto ambiental. O material para desenvolvimento da peça modelo, previamente escolhido por Pedro Campos Costa, foi o concreto, mesmo material predominantemente utilizado no projeto. No caso, o workshop previa a elaboração de *mock-ups* em escala 1:1 com uso de fabricação digital e moldes para produção das peças finais que seriam instaladas na fachada do consulado (Souza, 2017).



Figura 65 - Fachada de cobogó do Consulado Geral de Portugal no RJ
Fonte: Archdaily Brasil

O INSITU foi oferecido como curso de extensão em formato de workshop, totalizando 60 horas de atividade. O curso foi dividido em dois blocos, correspondentes a duas semanas de aula, cujo programa contemplava, no primeiro bloco: noções de modelagem, avaliação e edição de nurbs³⁵, conceitos básicos de parametrização, fabricação digital e capacitação em confragem e moldagem de

³⁵ Non Uniform Rational Basis Spline (NURBS) é um modelo de geração de formas e curvas complexas parametrizadas em programas 3D.

concreto. No segundo bloco: concepção de projeto, desenvolvimento de modelos e fabricação dos protótipos (CCE PUC-Rio, 2017).

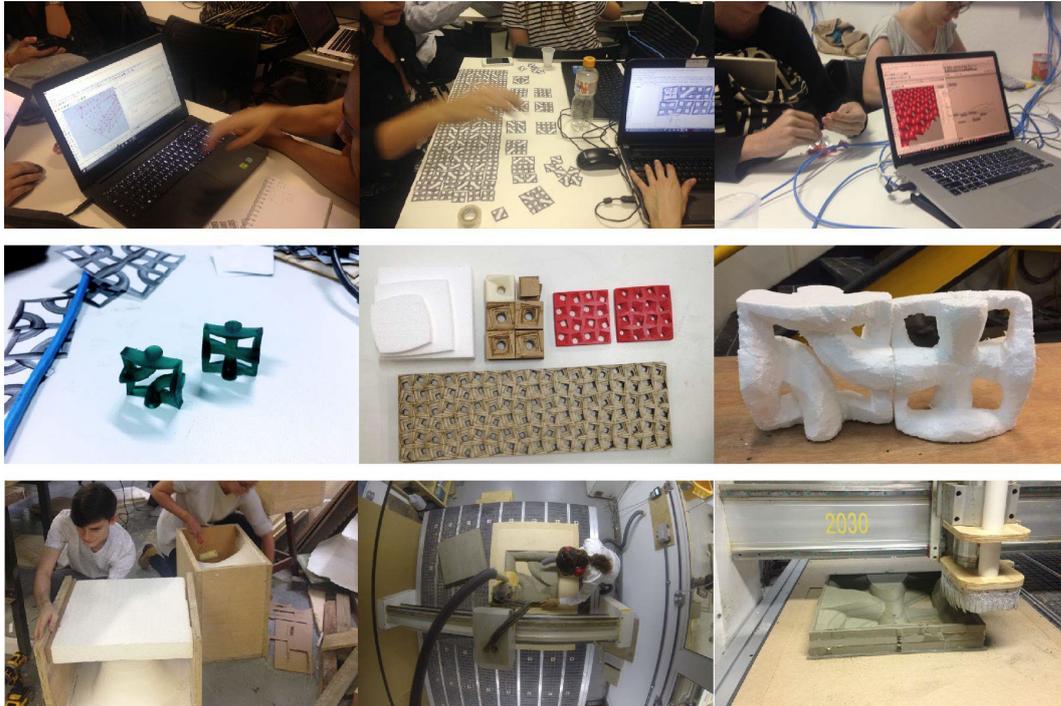


Figura 66 - INSITU, Imagens do processo
Fonte: Verônica Natividade

Toda a parte teórica foi ministrada no primeiro bloco e o segundo bloco foi destinado ao desenvolvimento dos projetos. Os estudantes foram divididos em grupos encorajados a experimentar técnicas analógicas e digitais de desenvolvimento de projeto, tais como escultura e modelagem com massa, dobradura de papel, desenho croqui, bem como design paramétrico, impressão 3D, corte à laser e usinagem CNC. Ao final do workshop os modelos foram produzidos em concreto em escala 1:3 e nos meses subsequentes fabricados em escala 1:1 (Souza, 2017). O modelo utilizado na fachada foi escolhido pelo próprio presidente de Portugal, Marcelo Rebelo de Sousa, que preferiu o cobogó chamado de Trança, inspirado nos tradicionais bordados de Trás-os-Montes e na corda de navegação. (Sé, 2017).

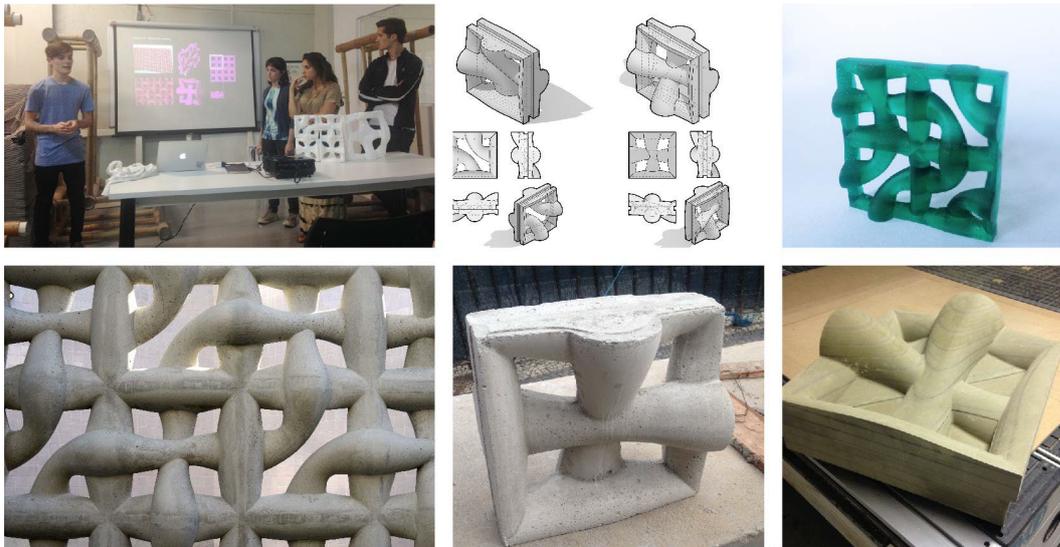


Figura 67 – INSITU, Cobogó Trança
Fonte: Verônica Natividade

A partir desses dois exemplos, é possível perceber que o material se torna parte principal do projeto, e que toda a conceituação e desenvolvimento se consolidam através dele (material - estrutura - forma). No caso do cobogó, o material já era delimitado, por conseguinte, era necessário pensar a estrutura das peças em concreto, proporção, dimensões, estrutura interna em aço, se houvesse necessidade. Em alguns casos, foi possível perceber³⁶ que a forma e a estrutura se misturavam nos objetivos em função do material escolhido. Talvez, neste caso, forma e estrutura fossem indissociáveis, transformando em uma única função tectônica, uma composição de duas funções, ou seja, material - composição forma estrutura.

No caso do BAB, a chapa de compensado era o material a ser trabalhado e foi possível perceber a inversão da ordem entre forma e estrutura. No caso do banco que abraça o parapeito, tanto no workshop, quanto no desenvolvimento subsequente, a forma foi trabalhada de maneira intrínseca à estrutura. Ou seja, o banco é um projeto que “transita” simultaneamente entre forma e estrutura que contorna o guarda corpo da praça com dois assentos, no nível mais alto e no mais baixo, formando um balanço. Para tanto, foi necessária uma peça de travamento entre os dois lados, que foi desenhada em forma de cruz. Portanto, a forma do septo

³⁶ Nesta época já desempenhava as funções de técnico do LAB.ARCO e acompanhei ativamente o desenvolvimento dos modelos.

que abraça o parapeito foi concebida primeiro e a peça estrutural que amarra a composição foi pensada posteriormente (material - forma - estrutura).

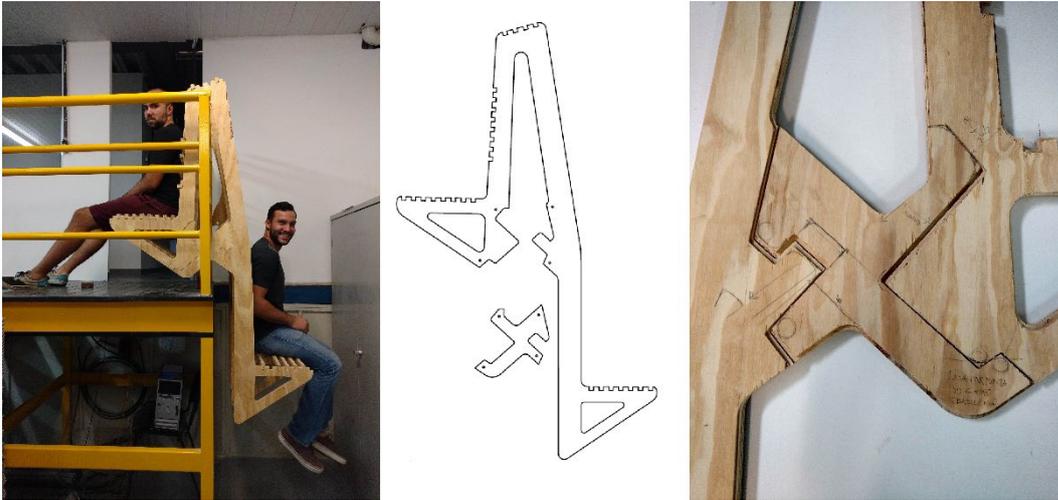


Figura 68 - Bancos da Banca, detalhe construtivo do Septo
Fonte: Marcos Favero

Não é demais repetir que os avanços do design computacional e da fabricação digital está, cada vez mais, colocando o material em um papel fundamental no projeto arquitetônico. Por este motivo, a compreensão sobre o comportamento dos materiais e suas propriedades, assim como sobre as possibilidades e as limitações que as tecnologias de fabricação no processo, são de grande importância. As ferramentas de fabricação são diretamente influenciadas pelo tipo de material. No exemplo do BAB, a ferramenta escolhida foi a CNC Router de 3 eixos com mesa de 2000mm (eixo X) x 3000mm (eixo Y) para caber uma chapa de compensado inteira (figura 67 – imagem à esquerda). Como era uma chapa de compensado de 18mm de espessura, não havia necessidade de muita altura no eixo Z. Já no workshop INSITU, o ideal seria um braço robótico ou uma CNC Router de eixo Z mais alto para “esculpir” as peças de isopor por inteiro que serviriam para a forma e contra forma para a concretagem (figura 67 – imagem à direita). Contudo, foi usada a mesma ferramenta, ocasionando o secionamento das peças em 4 partes para usinagem.



Figura 69 - Usinagem em compensado e em isopor
 Fonte: Marcos Favero e Veronica Natividade

Cada ferramenta tem suas limitações, vantagens e especificidades a partir do material utilizado. Entender esse contexto (material + fabricação) é fundamental para o domínio dessa, que pode ser considerada nova ordem tectônica e, é a partir do controle das relações tectônicas, que é possível fazer a integração entre o desenho computacional paramétrico e a materialização de artefatos.

4.1.3.3 Workshop Cabine do Bosque

O Workshop Cabine do Bosque (WCB) foi desenvolvido com intuito de observar, analisar e comprovar as teorias abordadas neste trabalho. O WCB foi organizado pelo Laboratório de Arquitetura, Infraestrutura, Território (LAIT), cujo coordenador é o professor Marcos Favero em parceria com o Laboratório de Observação do Espaço Habitado (LOBE-HAB), cujo coordenador é o professor Fernando Espósito, o projeto contou também com a participação da aluna de mestrado Giordana Pacini e com minha participação, na orientação dos alunos do workshop.

O Workshop Cabine do Bosque consistiu em projetar e construir em escala reduzida uma nova estrutura para o posto do estacionamento localizado no bosque do campus Gávea, da PUC-Rio, por meio de abordagem prática-reflexiva, utilizando *softwares* de CAD e ferramentas CAM: CNC Router, cortadora laser e impressora 3D.



Figura 70 - Posto de estacionamento no cruzamento
Fonte: Autor

O posto do cruzamento está localizado num dos pontos mais movimentados do campus da PUC-Rio, em uma posição central, próximo à Igreja do Sagrado Coração de Jesus e do Jardins dos Continentes, portanto de grande visibilidade. Atualmente, o posto está instalado em uma plataforma elevada com um pequeno

telhado metálico, onde o inspetor de estacionamento fica sentado em uma cadeira. Embora a estrutura não ofereça condições adequadas em termos de proteção contra sol, vento e chuva, dá ao inspetor uma boa visibilidade da área sob sua responsabilidade.

O objetivo do WCB, em alinhamento direto com os workshops BAB e INSITU, foi de desenvolver aptidões de processo de projeto de arquitetura com base na dialogia do fazer e pensar no âmbito do trabalho prático artesanal e digital. A intenção foi apresentar um arcabouço teórico-prático, que fornecesse autonomia na prática projetual, desde a ideação, por meio de croquis e maquetes de estudo, como também na construção de modelos digitais e prototipagem com fabricação digital, considerando a experimentação construtiva e de materiais no âmbito do projeto digital.

A atividade teve 8 encontros, entre apresentação de conteúdos de fabricação digital e desenvolvimento CAD/CAM, desenvolvimento de projeto, prototipagem e apresentações, e contou com a participação de 9 estudantes de graduação.

28/06/2024	13h às 19h	Apresentação do workshop, contextualização, ferramentas e materiais,
01/07/2024	13h às 19h	Princípios Fabricação Digital, desenvolvimento CAD/CAM e reunião estacionamento
02/07/2024	13h às 19h	Desenvolvimento de projeto
03/07/2024	13h às 19h	Desenvolvimento de projeto
04/07/2024	13h às 19h	Desenvolvimento de projeto + apresentação
05/07/2024	13h às 19h	Desenvolvimento de projeto
08/07/2024	13h às 19h	Desenvolvimento de projeto
09/07/2024	13h às 19h	Apresentação Final e fechamento

O material escolhido foi o Pinus autoclavado, com três tipos de peças: caibros de 90mm x 45mm, vigas de 140mm x 45mm e assoalhos de 100mm x 20mm, todas com 3000mm de comprimento. O autoclave em madeira é um processo em que a madeira é inserida em um tanque a vácuo e impregnada com produtos químicos para aumentar a resistência a fungos, pragas, intemperes e outros. Foi destinado placas de compensado de 15mm e 10mm, e chapas de MDF 3mm, 6mm e 9mm para construção dos protótipos

Os espaços utilizados foram o LAB.ARCO, espaço do DAU destinado à utilização pelos estudantes para trabalhos experimentais e construção de protótipos. O LAB.ARCO é dotado de um espaço de marcenaria experimental, uma máquina de corte à laser, uma CNC Router (a maior da PUC-Rio) e mesas para trabalhos artesanais; a sala de trabalho em grupo do Ed. Metrô e o LabFabDig - Laboratório de Fabricação Digital do DAU/PUC-Rio, equipado com computadores e uma máquina de impressão à laser.

No primeiro dia foram apresentados os objetivos; contextualização e o cronograma do workshop; foram apresentados também, os materiais, ferragens, ferramentas manuais, ferramentas elétricas e CAM disponíveis. Seguiu-se no segundo dia com apresentação sobre princípios de fabricação digital, histórico da evolução das ferramentas CAM, noções de desenvolvimento CAD/CAM e reunião com equipe de parqueamento no local da intervenção. Por fim, a turma foi dividida em 3 grupos e a atividade prosseguiu para desenvolvimento de projeto e apresentação.

Com abordagem teórico-prática sobre processos de projeto em arquitetura, modelagem 3D e fabricação digital, o WCB foi dividido em três momentos, dois dias de contextualização e explanação teórica; três dias de desenvolvimento prático de ideação e conceituação do projeto, seguidos por apresentação preliminar de desenvolvimento, onde os estudantes foram instruídos a pensar e fazer de forma analógica, com croquis e maquetes de estudo. Por último, a partir das considerações dos professores e orientadores sobre o projeto, os alunos seguiram para a fase final de desenvolvimento, tendo em vista a apresentação do projeto no momento de fechamento do WCB. Neste terceiro momento, o foco foi a construção de protótipos em escala 1:5 e detalhes em 1:3 e 1:1, sendo que os estudantes foram orientados utilizar a máquina de corte a laser para o protótipo em 1:5 e a CNC Router para os detalhes em 1:3 e 1:1.



Figura 71 - WCB, apresentação final com exposição dos modelos físicos
Fonte: Autor

Neste caso, diferentemente dos workshops BAB e INSITU, os instrumentos utilizados para análise e interpretação do resultado, foram elaborados a partir de um questionário destinado aos estudantes, ao final do WCB, das observações feitas durante as orientações e do acompanhamento de processos de produção pelos estudantes³⁷.

Foi possível perceber, tanto pelas respostas ao questionário como pelo acompanhamento, que todos os estudantes usaram ferramentas analógicas, sobretudo maquetes de estudo. Desde o início, se dispuseram a utilizar a máquina de corte à laser no sentido de agilizar o processo de estudo dos projetos. A escala da maquete de estudo foi definida, em função do material, pelo estudante Antônio³⁸, que fez uma relação do material escolhido (caibro de pinus 45x90mm), fazendo a transferência de escala para o material do protótipo, no caso o MDF de 3mm, o que resultou na escala 1:15. O estudante se propôs a cortar régua em escala 1:15 na máquina de corte à laser para todos os grupos, assim como centenas de caibros na

³⁷ De 9 alunos que participaram do WCB, 7 responderam ao questionário (ver anexo).

³⁸ Utilizamos nomes fictícios para preservar a identidade de cada aluno.

mesma escala. Em seguida, os alunos trabalharam os caibros manualmente, quebrando e/ou cortando, e colando com cola instantânea. O desenho à mão, na maioria das vezes, foi utilizado como instrumento de comunicação de ideias entre os integrantes de cada grupo, porém, poucas vezes como representação ou conceituação do projeto, diferentemente do que ocorreu no workshop BAB onde houve um *brainstorming* caracterizando um momento de produção de desenhos conceituais, que foram, em seguida, apresentados caracterizando um coletivo de discussão entre os participantes vide figura 59.



Figura 72 - WCB, croquis e apresentação com maquetes em 1:15
Fonte: Autor

Ficou evidente a dificuldade que os alunos enfrentaram em se aproximar da escala de detalhe construtivo. Permaneciam discutindo conceitos de montagem e encaixes, sem se aproximar da realidade. Neste sentido, foi disponibilizado um catálogo de encaixes de madeira para referência, um dos produtos desenvolvido no âmbito da pesquisa Fabricação, Tectônica e Projeto: Microinfraestruturas Urbanas (2015-2019) vinculada ao LAIT, elaborado a partir de tecnologias de modelagem e fabricação digital (Favero, 2020) que, num primeiro momento, gerou mais confusão do que esclarecimento ou que tenha funcionado como base de auxílio aos alunos. Na realidade, os encaixes em madeira são instrumentos de construção de estruturas de madeira que substituem a utilização de ferragens. É uma técnica centenária de construção, que para entender como e quando usar cada encaixe, primeiro é preciso aprender sobre processos construtivos em madeira. Talvez, com uma base teórica e prática, previamente estabelecida, eles conseguissem articular melhor os encaixes com o projeto e para além, articulá-los com as ferramentas de fabricação.



Figura 73 - WCB, alunos utilizando algumas peças do catálogo de encaixes
Fonte: Autor

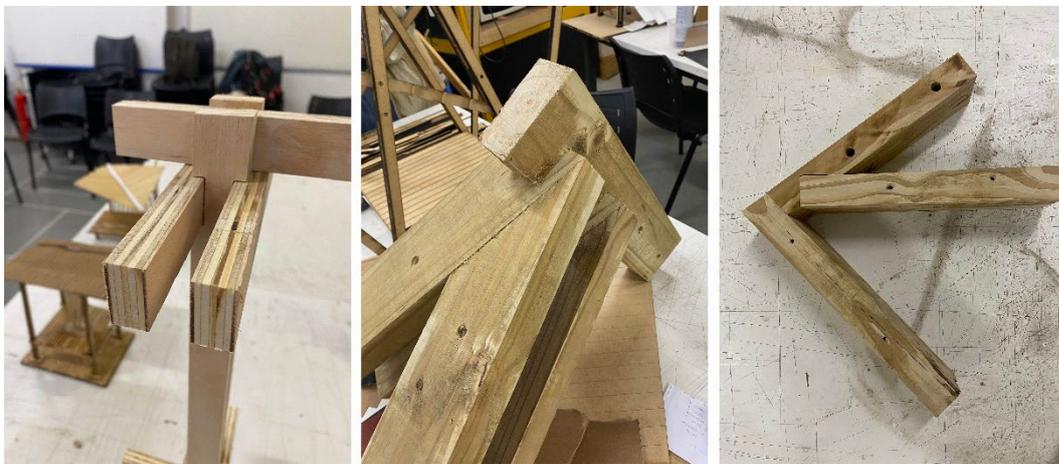


Figura 74 - WCB, detalhes construtivos em escala 1:3 e 1:1.
Fonte: Autor

Apesar de os alunos já terem alguma familiaridade com princípios de desenho para corte à laser, não havia neles nenhuma base de conhecimento para utilização de CNC Router para usinagem, alguns apenas já tinham ouvido falar desta máquina. No WCB foi feita uma explanação sobre alguns princípios, ferragens, rotinas, materiais, porém deveria ter sido prevista a incorporação de um exercício destinado a execução de peças específicas a fim de proporcionar a capacitação básica necessária. Apenas um grupo conseguiu trabalhar bem os encaixes a partir de uma lógica estrutural. O grupo formado pelo Paulo e pela Ana, desenvolveu um encaixe (figura 72 – imagem ao centro) que funcionava com dois propósitos, (I) como travamento transversal da estrutura e travamento da junção das peças dos pórticos em “V” e (II) como espaçador dos pórticos duplos em “V”. Neste sentido, eles conseguiram trabalhar o encaixe junto com o princípio estrutural e não

apenas como junção de peças. Num primeiro momento, o grupo desenvolveu uma solução a partir de uma peça de metal que fizesse a união entre as peças de madeira que compunha o “V” estrutural. Em seguida, evoluíram para uma compreensão de encaixe para soluções estruturais que, do ponto de vista do exercício, considerando a experimentação construtiva em madeira e fabricação digital, foi uma solução bastante satisfatória.



Figura 75 - WCB, evolução de solução estrutural de encaixes em madeira.
Fonte: Autor e Giordana Pacini

A logística e o tempo exíguo para desenvolvimento foram fatores bastante mencionados no questionário, o que realmente procede, no presente caso, atividades para desenvolvimento de projeto necessitam de mais tempo para conceituação e discussão. Contudo, na profissão de arquiteto, os prazos, muitas vezes, são limitados e é necessário saber lidar com estes prazos. Essa questão vai de encontro com observação anterior sobre a dificuldade, por parte dos estudantes, da aproximação do projeto com o detalhe construtivo. O Curso de Arquitetura e urbanismo do DAU tem como característica o conceito de ateliê integrado, que equivale a quase metade da carga horária de um período letivo para os alunos, totalizando 12 horas de aula por semana. Nesses ateliês os estudantes se encontram duas vezes por semana para discutir projeto em ambiente que incluem e articulam os conteúdos necessários para o desenvolvimento do pensamento crítico e para inserção profissional. Nesse processo, os professores desempenham a função de orientadores e muitas vezes as discussões conceituais avançam até a véspera das apresentações, impossibilitando o estudante de aproximar o projeto a questões mais técnicas, testar detalhes construtivos, experimentar materiais e construir protótipos de estudo. Além disso, orientações regulares desfavorecem a tomada de consciência crítica, o pensamento reflexivo independente, visto que, o aluno fica mais

dependente da orientação do professor, como pode-se observar em uma das respostas da aluna Marcela ao questionário:

O workshop foi bastante enriquecedor e acabou com o meu medo de usar o laser. Acho que o curso de arq e urb deveria ter mais mão na massa e menos tela de computador. Acho que seria muito rico ter um workshop como esse por período do curso. Acho que faz a gente soltar a mão e desbloquear alguns medos. (Marcela).

Em muitas das conversas durante o workshop e no dia a dia de trabalho no LAB.ARCO é possível perceber a carência que os estudantes têm de atividades práticas. Possivelmente, com uma base mais “mão na massa” previamente bem consolidada, teriam mais autonomia para decidir questões mais técnicas de execução e conseqüentemente, tomariam decisões conceituais com mais independência.

Quanto à logística, é uma questão estrutural do espaço físico do DAU, pois os laboratórios não são próximos e não são devidamente bem equipados. O LAB.ARCO e o LabFabDig ficam em prédios separados, numa distância de, aproximadamente, 150m um do outro. O LAB.ARCO é um ambiente destinado a experimentação construtiva, experimentação de materiais e prototipagem. É um espaço que orbita entre o conceito de Canteiro Experimental e Fab Lab. O LabFabDig é, como nome sugere, um laboratório de fabricação digital. No espaço há computadores de última geração, uma plotadora grande, uma impressora 3D e um óculos de realidade virtual. Porém, suas atividades se distanciam muito de um Laboratório de Fabricação Digital. Como já mencionado anteriormente, um Laboratório de fabricação digital envolve um conceito de criação que vai além de um espaço com computadores e alguns equipamentos. A possibilidade de integração entre os dois espaços seria substancialmente benéfica, para os alunos de graduação, haja visto as possibilidades que os avanços das tecnologias de fabricação estão sendo implementados no campo da arquitetura e da construção. Além disso, essa distância física atrapalhou a dinâmica entre alunos e os equipamentos dos dois Laboratórios, durante a realização do WCB, pois precisavam usar computadores e como as salas ficavam distantes eles preferiram ficar em um ambiente apenas, tendo que levar os computadores pessoais e ou usarem os desktops de trabalho³⁹ do LAB.ARCO. Neste sentido, o conceito de Canteiro Experimental, integrado ao conceito Fab Lab, inseridos em um espaço

³⁹ São dois computadores para trabalhos dos profissionais técnicos.

como o LAB.ARCO, melhoraria a dinâmica e integraria mais a Graduação e a Pós-Graduação.



Figura 76 - WCB, alunos usando os computadores de trabalho dos técnicos do LAB.ARCO

O WCB foi um workshop para desenvolvimento de projeto com auxílio de ferramentas digitais de desenho e de fabricação, não teve como propósito ensino de *software* de desenho digital, modelagem 3D ou parametrização. Todos os alunos tinham algum conhecimento de alguma ferramenta de desenho digital, porém, ainda com o propósito de desenho para representação semelhante ao desenho baseado em papel. Os *softwares* mais usados foram o Autocad 2D e 3D e o Sketchup. Foi interessante perceber uma mudança cognitiva da produção do desenho para representação de execução para o desenho destinado à fabricação peças. Nas disciplinas de ateliê, os alunos exercitam o desenho técnico próximo ao tipo de desenho para projeto executivo. No workshop não havia necessidade de desenho técnico ou de projeto executivo, pois todas as peças seriam fabricadas no local. Então, o exercício teve sucesso nesse sentido, já que todos os grupos desenharam peças para fabricação tanto para corte à laser quanto para a CNC Router e compreenderam bem os processos e especificidades das máquinas. Em contrapartida, nenhum aluno tinha conhecimento prévio de parametrização, impossibilitando qualquer orientação ou avaliação neste sentido.

Por fim, a abordagem de uso integrado entre desenho e fabricação se mostrou muito valiosa. A possibilidade de os alunos pensarem o desenho para a fabricação das peças e explorarem as questões construtivas a partir do material, altera algumas questões processuais já estabelecidas e padronizadas de projeto, onde o desenho e a conceituação são elaborados de maneira quase que autônoma, sem a presença do pensamento construtivo e os materiais envolvidos. É uma abordagem metodológica que inverte o processo e faz com que o projetista, no

presente caso, o estudante, se aproxime das situações reais do projeto e salte do aspecto mais conceitual para o prático, o que, conforme o depoimento da aluna Marcela, “faz soltar a mão e desbloquear alguns medos”.



Figura 77 - WCB, encerramento do workshop
Fonte: Giordana Pacini

5 Considerações finais

Esta pesquisa buscou investigar uma possível transitividade entre os processos analógicos e digitais no ensino de projeto de arquitetura. Com base nos conceitos desenvolvidos por Donald Schön e Paulo Freire, foi colocada em evidência a importância de integrar o fazer e o pensar, através de práticas reflexivas para a construção de um saber emancipado, a fim de proporcionar maior autonomia aos estudantes, no que diz respeito a tomada de decisões relacionadas ao desenvolvimento de projeto e o fazer artesanal como forma de provocar um engajamento mais profundo durante o processo de ensino de projeto.

Ao longo do trabalho buscou-se demonstrar como esses métodos podem coexistir e potencializar o aprendizado dos estudantes de arquitetura, preparando-os para uma prática profissional cada vez mais mediada pelas tecnologias digitais, sem, contudo, abdicar das técnicas tradicionais. É possível afirmar que a prática artesanal permite que os estudantes desenvolvam um engajamento mais imersivo e corporificado, conforme discutido por Richard Sennett e por Juhani Pallasmaa. Essas práticas podem proporcionar, ao que tudo indica, uma compreensão mais profunda e tangível do projeto, fundamental para a formação de arquitetos capazes de lidar com a complexidade e com a incerteza que são inerentes ao processo de projeto arquitetônico.

O advento das tecnologias digitais trouxe uma revolução no campo do projeto, especialmente no que se refere à modelagem 3D e à fabricação digital. Ferramentas como o CAD (Computer-Aided Design) e as tecnologias de fabricação digital, tais como impressoras 3D e máquinas CNC, transformaram a maneira como os projetos são concebidos e permitiram maior precisão e liberdade criativa. No entanto, conforme foi argumentado aqui, é essencial que os profissionais aprendam a usar essas ferramentas de maneira crítica e reflexiva, não se tornando meros operadores de máquinas, mas sim projetistas que usam a tecnologia para ampliar suas capacidades criativas e resolver problemas complexos.

A discussão sobre a Tectônica Informada e o Design Thinking Paramétrico (Parametric Design Thinking - PDT), a partir do conceito de Projeto baseado em Materiais e Fabricação (Material-Fabrication-Design MFD), proposta por Rivka Oxman, caracteriza uma nova epistemologia no campo da arquitetura digital. Essa

abordagem enfatiza a importância de entender a relação entre material, estrutura e forma desde os estágios iniciais do projeto, utilizando tecnologias digitais de desenho e fabricação. A fabricação digital, nesse contexto, não é apenas uma fase final de produção, mas um componente integrante do processo que informa e molda o projeto desde o início.

Os exemplos apresentados nesta pesquisa ilustram como a prática profissional de projeto de arquitetura pode ser integrada às tecnologias digitais, seja no âmbito do desenho, evoluindo para modelos 3D paramétricos, seja através da construção de maquetes com fabricação digital. Foram apresentados nessa pesquisa exemplos de trabalhos pioneiros na área tais como como o Museu Guggenheim de Frank Gehry, em relação ao qual merece ser destacada a estratégia de escanear a forma complexa de uma maquete de estudo com um *software* e a transformação desta em um produto 3D digital; e a expansão da Tate Modern, projeto de H&dM, onde cada unidade de tijolo na fachada foi controlada a partir de códigos parametrizados no modelo 3D digital.

Foi possível demonstrar com os exemplos dos workshops BAB, INSITU e Cabine do Bosque como a integração de métodos analógicos e digitais pode enriquecer significativamente o processo de ensino-aprendizagem em projeto de arquitetura, destacando, porém, a necessidade de se construir uma base teórica sólida através de uma abordagem pedagógica que promova a reflexão prática, com infraestrutura adequada, preparando os estudantes para os desafios contemporâneos do campo do projeto de arquitetura.

A complementaridade entre esses métodos deve ser vista como uma oportunidade de enriquecer o processo de ensino/aprendizagem, formando profissionais que sejam capazes de transitar entre o fazer artesanal e o fazer digital com fluidez e competência. Essa abordagem holística é fundamental para formar arquitetos que não apenas dominem as ferramentas tecnológicas, mas que também compreendam profundamente os aspectos materiais e humanos do projeto, mais especificamente, do projeto no campo da arquitetura.

Em conclusão, esta pesquisa é uma tentativa de contribuição para a reflexão e a implementação de metodologias de ensino que integre as esferas digital e analógica, promovendo uma educação arquitetônica que prepare os estudantes para os desafios contemporâneos sem perder de vista a importância do engajamento artesanal e da reflexão crítica no processo de projeto.

Há ainda que se caracterizar como se daria essa abordagem em tipologias de trabalho como as desenvolvidas em ateliês de projeto. Nos workshops apresentados aqui foram desenvolvidos projetos de microarquitetura e micro infraestrutura, entretanto, nos ateliês, via de regra, são desenvolvidos projetos em outra escala, como escolas, hospitais, residências multifamiliares, entre outros. Então como essa abordagem, baseada no conceito de MFD, poderia ser implementada dentro dos ateliês? Talvez seja necessário adequar a infraestrutura de ateliê e transformá-lo, em termos de espaço físico, noutra tipologia, como um galpão onde as atividades aconteçam simultaneamente tornando-as mais fluidas, e que os alunos e professores possam transitar entre ambientes, ora de trabalhos artesanais mais conceituais, ora mais tecnológicos de maquinário digital de prototipagem, ora mais dedicados a experimentação construtiva.

Por fim, é colocada aqui algumas questões para reflexão que possam ser exploradas no sentido de avançar na compreensão e na prática do ensino de arquitetura no campo de ação proposto na presente pesquisa.

Especificamente, como as escolas de arquitetura podem integrar, pedagogicamente, as técnicas de desenho e fabricação digital na estrutura curricular dos cursos? De que maneira a fabricação digital pode ser mais amplamente incorporada no processo de ensino/aprendizagem sem abdicar de valorizar as técnicas manuais?

Investigar essas questões talvez possa auxiliar a moldar uma abordagem mais holística e inclusiva para o futuro do ensino de arquitetura, preparando os estudantes para enfrentar os desafios contemporâneos e aproveitar as oportunidades da era digital.

6 Bibliografia

3D SYSTEM. about-us. **Site da 3D SYSTEM**. Disponível em: <<https://br.3dsystems.com/>>. Acesso em: 19 jul. 2024.

3DLAB. A final como funciona uma impressora 3D FDM. **3DLAB soluções em impressões 3D**. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/afinal-como-funciona-uma-impressora-3D-fdm/>>. Acesso em: julho 2024.

ABRÃO, K. R.; DEL PINO, J. C. Cognição e aprendizagem no espaço da tecnologia. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, 11, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21723/riaee.v11.n4.5934>>.

ALMEIDA, C. A. R. **Tectônicas Digitais: A (In) Tangibilidade do processo de projeto em arquitetura**. Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF. Juiz de Fora, p. 139. 2018.

ALVES, S. S. C. **Jean Piaget e Paulo Freire: Respeito Mútuo, Autonomia Moral e Educação**. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista. Marília, p. 139. 2018.

APOLINARSKA, A. A. et al. Performance-Driven Design of a Reciprocal Frame Canopy – Timber structure of the FutureTree. **eCAADe - Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe**, 2021. 497-504. Disponível em: <<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000506420>>.

APRILANTI, M. D. **A experimentação construtiva em madeira como instrumento de ensino nas escolas de arquitetura**. Tese de doutorado - USP. São Carlos, p. 252. 2019.

BESSA, S. A. L.; LIBRELOTTO, L. I. importância das práticas construtivas nos canteiros experimentais em cursos de arquitetura e urbanismo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, 12, 2021. Disponível em: <<http://dx.DOI.org/10.20396/parc.v12n00.8660850>>.

BURGER, J. et al. Eggshell: Ultra-Thin Three-Dimensional Printed Formwork for Concrete Structures. **Journal Article**, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.108p.2019.0197>>.

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, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>>.

CARVALHO, C. G.; SILVOSO, M. M. **O Canteiro Experimental no desenvolvimento de tecnologias construtivas sustentáveis**. IV Encontro

Latino-americano e Europeu sobre edificações e comunidades sustentáveis. [S.l.]: UFBA. 2021. p. 1310-1323.

CASTRO, A. The Modelling Process of the Tate Modern Brick Facade by Herzog & de Meuron. **Nexus Network Journal**, 2021. 1039-1053. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00004-021-00572-x>>.

CCE PUC-RIO. INSITU - Parametrização e fabricação digital dos cobogós da fachada do Consulado Português no Rio de Janeiro. **CCE PUC-Rio**, 2017. Disponível em: <[https://www.cce.puc-rio.br/sitecce/website/website.dll/folder?nCurso=insitu-\(traco\)-parametrizacao-e-fabricacao-digital-dos-cobogos-da-fachada-do-consulado-portugues-no-rio-de-janeiro&nInst=cce](https://www.cce.puc-rio.br/sitecce/website/website.dll/folder?nCurso=insitu-(traco)-parametrizacao-e-fabricacao-digital-dos-cobogos-da-fachada-do-consulado-portugues-no-rio-de-janeiro&nInst=cce)>. Acesso em: julho 2024.

CROSS, N. Designerly ways of knowing. **Design Studies**, v. 3, n. 4, p. 221-227, 1982. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0142-694X\(82\)90040-0](https://doi.org/10.1016/0142-694X(82)90040-0)>.

CROSS, N. Designerly Ways of Knowing: Design Discipline Versus Design Science. **Design Issues**, Massachusetts, v. 17, n. 3, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1162/074793601750357196>>.

CUNHA, A. C. S. **Do digital ao material: uma investigação teórica especulativa sobre o raciocínio visual e as heurísticas da materialidade nos laboratórios de fabricação digital Pronto 3D**. Universidade Federal do Pernambuco. Recife, p. 169. 2019.

DAMÁSIO, A. R. **O erro de Decartes: emoção, razão e o cérebro humano**. 3. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

DAMÁSIO, A. R. **Sentir e saber: as origens da consciência**. 1. ed. São Paulo: Companhia de Letras, 2022.

FAVERO, M. **Dos mestres sem escola à escola sem mestre**. Tese de doutorado - UFRJ/FAU. Rio de Janeiro, p. 335. 2009.

FAVERO, M. Fabricação digital, tectônica e projeto: Catálogo de encaixes em madeira. **Arquitextos**, São Paulo, n. 242.02, jul 2020. Disponível em: <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/21.242/7809>>.

FELIPE, D. F. S. **A investigação do espaço e do uso de Fab Labs e as relações com o processo de ensino e aprendizagem**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2019.

FERRO, S. **Arquitetura e trabalho livre**. São Paulo: Cosac & Naify, 2006.

FONSECA, G. A. **A modelagem tridimensional como agente no ensino/aprendizagem nas disciplinas introdutórias de projeto de arquitetura**. Tese de doutorado - FAU USP. São Paulo, p. 313. 2013.

FRAMPTON, K. Rappel à l'ordre: argumentos em favor da tectônica. In: NESBITT, K. (). **Uma nova agenda para a arquitetura: antologia teórica (1965-1995)**. São Paulo: Naify, 2008. p. 557 - 569.

- FRAMPTON, K. et al. Reflexões sobre o escopo da tectônica. **Revista Thésis**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 17, 2024. Disponível em: <<https://thesis.anparq.org.br/revista-thesis/article/view/521>>.
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia : saberes necessários à prática educativa**. 36. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2007.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 80. ed. Rio de Janeiro: Paz&Terra, 2021. 256 p. ISBN ISNB 978-85-7753-418-0.
- FREIRE, P.; SHOR, I. **Medo e Ousadia: o cotidiano do professor**. 15. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2021.
- GALVÃO NETO, L. S. Utilização de fibras naturais como reforço de materiais compósitos poliméricos. **Brazilian Journal of Development**, 9, n. 12, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv9n12-016>>.
- GERSHENFELD, N. **How to Make Almost Anything The Digital Fabrication**. EUA: Foreign Affairs, 2012.
- GUINANCIO, C.; MUNIZ, A. F. M. **EXTENSÃO UNIVESITÁRIA PARA ASSISTÊNCIA TÉCNICA EM HABITAÇÃO DE INTERESSE: DESAFIOS E POTENCIALIDADES**. VI Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, DF: [s.n.]. 2020.
- HERZOG, J.; DE MEURON, P. H&dM. **Herzog & de Meuron**, 2024. Disponível em: <<https://www.herzogdeuron.com/>>. Acesso em: maio 2024.
- HOLLIDAY, O. J. As novas realidades que enfrentamos na extensão universitária. **Revista de Educação Popular**, 2022. 9-22. DOI 10.14393/REP-2022-67307. Disponível em: <<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.6d54491ce7543c09b2866577c75d1b6&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>>. Acesso em: 11 jan. 2023.
- INGOLD, T. Materials against materiality, v. 14, n. 1, p. 1-16, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S1380203807002127>>.
- KRONEMBERGER, M. L. M. **A importância do croqui como instrumento de criação do projeto arquitetônico e o ensino de projeto**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 144. 2012.
- LAWSON, B. **Como arquitetos e designers pensam**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- MENDONÇA, A. C. canteiroexperimental.blogspot.com. **Canteiro Experimental do Curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC-Rio**, 2008. Disponível em: <<https://canteiroexperimental.blogspot.com/>>. Acesso em: Novembro 2013.
- MENGES, A. achimmenges. **achimmenges.net**, 2015. Disponível em: <<http://www.achimmenges.net/?p=5814>>.

MENGES, A. Computational Material Culture. **Archit. Design**, v. 86, p. 76-83, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/ad.2027>>.

MINISTERIO DA EDUCAÇÃO. Parecer CNE/CES nº952/2023. : **Revisão da Resolução CNE/CES nº 2, de 17 de junho de 2010, que instituiu as Diretrizes Curriculares do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo.**, Brasília, DF, 6 dezembro 2023. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=256931-pces952-23&category_slug=dezembro-2023-pdf&Itemid=30192>.

MINTO, F. C. N. **A experimentação prática construtiva na formação do arquiteto ; The constructive practical experimentation in the formation of the architect.** Dissertação de Mestrado - USP. São Paulo. 2009. (Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.99289022&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>).

MOHAMMADI, G. Medium. **Medium.com**, 2019. Disponível em: <<https://medium.com/cnc-life/history-of-cnc-machining-part-1-2a4b290d994d>>. Acesso em: julho 2024.

MORAES SOUTO, A. E.; DE COUTO, V. ABORDAGEM CONTEMPORÂNEA PARA ENSINO E APRENDIZAGEM DE PROJETO ARQUITETÔNICO: Os meios analógicos, digitais e sua relação na formação e atuação do arquiteto. **Pixo Revista de Arquitetura Cidade e Contemporaneidade**, v. 4, 2020. p. 100–120. DOI:10.15210/pixo.v4i15.19401. Disponível em: <<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=148135479&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>>. Acesso em: 14 nov 2022.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MTM SNAP. Machine Files: Machines That Make Machines. **MTM Snap**. Disponível em: <https://mtm.cba.mit.edu/2011/2011_mtm-snap/mtm_snap-lock/build/>. Acesso em: julho 2024.

OXMAN, R. Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design. **Design Studies**, 27, n. 3, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.009>>.

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 229-265, 2006. ISSN 0142-694X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>>.

OXMAN, R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, 29, n. 2, 2008. 99-120. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.003>>.

OXMAN, R. Informed tectonics in material-based design. **Design Studies**, 33, n. 5, 2012. 427-455. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.destud.2012.05.005>>.

OXMAN, R. **MFD: Material-Fabrication-Design: A Classification of Models from Prototyping to Design.** Proceedings of IASS Annual Symposia. Amsterdã: [s.n.]. 2015. p. 1-11.

OXMAN, R. MFD: Material-based Design Informed by Digital Fabrication, n. 13, p. 105-109, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.56255/ma.v0i13.55>>.

OXMAN, R. Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. **Design Studies**, 52, 2017. 4-39. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001>>.

PALLASMAA, J. **A Imagem Corporificada: imaginação e imaginário na arquitetura.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

PALLASMAA, J. **As mãos inteligentes: a sabedoria existencial e corporificada na arquitetura.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

PUPO, R. T. **A inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino da arquitetura.** Tese de Doutorado - UNICAMP. Campinas, SP. 2009.

PYFER, J. Sketchpad Computer Program. **Britannia**, 2014. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/Sketchpad>>. Acesso em: 23 jun. 2023.

REPRAP. Sobre a RepRap. **RepRap.org**. Disponível em: <<https://reprap.org/wiki/About>>. Acesso em: julho 2024.

RIBEIRO, L. A. M. **Curiouser Lab: uma experiência de letramento informacional e midiático na educação.** Universidade de Brasília. Brasília, p. 412. 2016.

RONCONI, R. L. N. Canteiro experimental: uma proposta pedagógica para a formação do arquiteto e urbanista. **PosFAUUSP**, 2005. 142-159
DOI:10.11606/issn.2317-2762.v0i17p142-159. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/43406>. Acesso em: 3 jan. 2023.>.

SCHÖN, D. A. **Educando o Profissional Reflexivo: um novo design para o ensino e aprendizagem.** Porto Alegre: Artmed, 2000.

SÉ, R. S. Consulado Português ganha fachada projetada por alunos da PUC. **VEJARio**, Rio de Janeiro, outubro 2017.

SEKLER, E. F. Structure, Construction, Tectonics. In: KEPES, G. **Structure in Art and in Science.** New York: George Braziller, 1965. p. 89 - 95.

SENNETT, R. **Juntos: os rituais, os prazeres, e a política da cooperação.** 4. ed. Rio de Janeiro: Record, 2018.

SENNETT, R. **O Artífice.** São Paulo: Editora Record, 2021.

SILVOSO, M. M.; CORDEIRO, P. C.; ALBUQUERQUE, R. T. **O ATO DE CONSTRUIR COMO UMA AÇÃO INTEGRADORA DE CONTEÚDOS NO CANTEIRO EXPERIMENTAL DA FAU/UFRJ**. III Encontro Nacional de Ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura. Ouro Preto: [s.n.]. 2017.

SKETCHES of Frank Gehry. Direção: Sydney Pollack. Produção: Ultan Guilfoyle. [S.l.]: Sony Pictures Classics. 2006.

SOBRAL, J. E. C.; EVERLING, M. T.; CAVALCANTI, A. L. M. S. Ver com as mãos e dar à luz um mundo: a Tecnologia 3D e suas possibilidades cognitivas para pessoas cegas. **Cuad. Cent. Estud. Diseñ. Comun., Ensayos**, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, set 2020. Disponível em: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-35232020000600162&lng=es&nrm=iso>.

SOUTO, A. E. AS MUDANÇAS NA GÊNESE DA FORMA CONTEMPORÂNEA: Análise do processo de projeto na obra de Frank Gehry. **Pixo: Revista de Arquitetura Cidade e Contemporaneidade**, v. 5, 2021. 82-104. Disponível em: <<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=151192477&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>>.

SOUZA, E. Fachada de cobogós do Consulado Geral de Portugal no Rio de Janeiro. **ArchDaily Brasil**, agosto 2017. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/877215/fachada-de-cobogos-do-consuladogeral-de-portugal-no-rio-de-janeiro>>. Acesso em: 28 julho 2024.

VÁSQUEZ RAMOS, F. G. Do Analógico ao Digital? **XIII Congresso da Sociedade ibero-americana de Gráfica Digital, 2009, São Paulo. SIGraDI 2009 sp: Do Moderno ao Digital: Desafios de uma Transição**, São Paulo, 1, 2009. 251-254.

XIMENDES, E. **As bases neurocientíficas da criatividade**. Dissertação de Mestrado - Universidade de Lisboa. Lisboa. 2011.

Anexo

05/08/2024, 17:18

Formulário WS

Formulário WS

Formulário Workshop Cabine do Boque - disciplina eletiva ARQ1321

Questionário relacionado à pesquisa de mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PPGARq), intitulada "Projeto, modelo e protótipo: o ensino e o ofício da arquitetura na era digital" em desenvolvimento por Marcos Vinicius.

Tem por objetivo o levantamento de informações para a referida pesquisa no sentido de caracterizar resultados, cuja interpretação será parte integrante da dissertação.

Este não tem função de avaliação.

Não há necessidade de identificação e todos os nomes serão fictícios.

Desde já, agradeço imensamente a colaboração!

Ok

Qual(is) ferramentas analógicas para desenho/projeto você utilizou? *

Croqui conceitual

Maquete analógica (com estilete, régua e máquinas da marcenaria etc.)

Desenho técnico de planta baixa, vistas, cortes, perspectivas etc (com régua paralela, esquadro etc.)

Outro:

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Qual(is) ferramentas digitais para desenho/projeto você utilizou? *

Autocad 2D

Autocad 3D

Archicad

Revit

Rhinoceros

Grasshopper

Solidworks

Outro: Sketchup

Em uma escala entre analógico e digital em que, 0 é igual a 100% analógico e 10 é 100% digital, como você considera que foi a sua abordagem de trabalho, mais analógica, mais digital ou equilibrado? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Com base na resposta anterior, quais fatores influenciaram na sua abordagem de trabalho? *
Esta é uma pergunta abrangente, os fatores podem ser de dentro e de fora do workshop.

Ser uma estrutura de madeira que é facilmente replicada em qualquer escala

De 0 a 10, o quanto você aprendeu sobre fabricação digital? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Com base na resposta anterior, você teria alguma sugestão, algo que faltou, que poderia melhorar? *

Abordagem metodológica, tempo de trabalho, infraestrutura, logística, entre outros?

Esta pergunta envolve não só o workshop, mas o Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) como um todo.

Mais uma aula expositiva e prática sobre fabricação digital

Qual(is) ferramentas de fabricação digital você utilizou? *

Cortadora laser

CNC router

Impressora 3D

Outro:

Você preparou algum desenho digital para fabricação? *

Sim

Não

Você poderia descrever como foi o processo?

Foram preparados apenas para o corte a laser

05/08/2024, 17:18

Formulário WS

Como você considera o trabalho analógico e digital? *

- Não se misturam, são completamente indedentes
- As vezes se misturam, mas só em determinadas situações
- Se misturam sempre, são totalmente complementares.

Com base na resposta anterior, você conseguiria descrever como foi o seu fluxo de trabalho * e do seu grupo?

Partimos de croquis conceituais, avançamos para um modelo de maquete física para uma melhor compreensão do modelo, e aumentamos a escala conforme a necessidade

Por fim, muito obrigado!
Você teria alguma outra consideração?

Em breve teremos mais pizza *

- Pode contar comigo
- Topo!
- Estou mais certo que a pizza
- É só dizer quando

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Formulário WS

Formulário Workshop Cabine do Boque - disciplina eletiva ARQ1321

Questionário relacionado à pesquisa de mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PPGARq), intitulada "Projeto, modelo e protótipo: o ensino e o ofício da arquitetura na era digital" em desenvolvimento por Marcos Vinicius.

Tem por objetivo o levantamento de informações para a referida pesquisa no sentido de caracterizar resultados, cuja interpretação será parte integrante da dissertação.

Este não tem função de avaliação.

Não há necessidade de identificação e todos os nomes serão fictícios.

Desde já, agradeço imensamente a colaboração!

Ok

Qual(is) ferramentas analógicas para desenho/projeto você utilizou? *

Croqui conceitual

Maquete analógica (com estilete, régua e máquinas da marcenaria etc.)

Desenho técnico de planta baixa, vistas, cortes, perspectivas etc (com régua paralela, esquadro etc.)

Outro: Maquete com peças cortadas no laser

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Qual(is) ferramentas digitais para desenho/projeto você utilizou? *

Autocad 2D

Autocad 3D

Archicad

Revit

Rhinoceros

Grasshopper

Solidworks

Outro: Sketchup

Em uma escala entre analógico e digital em que, 0 é igual a 100% analógico e 10 é 100% digital, como você considera que foi a sua abordagem de trabalho, mais analógica, mais digital ou equilibrado? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Com base na resposta anterior, quais fatores influenciaram na sua abordagem de trabalho? *
Esta é uma pergunta abrangente, os fatores podem ser de dentro e de fora do workshop.

Praticidade e maior possibilidade de formas

De 0 a 10, o quanto você aprendeu sobre fabricação digital? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Com base na resposta anterior, você teria alguma sugestão, algo que faltou, que poderia melhorar? *

Abordagem metodológica, tempo de trabalho, infraestrutura, logística, entre outros?

Esta pergunta envolve não só o workshop, mas o Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) como um todo.

Mais conteúdo aplicado sobre fabricação digital para a projeção da cabine

Qual(is) ferramentas de fabricação digital você utilizou? *

Cortadora laser

CNC router

Impressora 3D

Outro:

Você preparou algum desenho digital para fabricação? *

Sim

Não

Você poderia descrever como foi o processo?

Desenhei peças no autocad para cortar no laser

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Como você considera o trabalho analógico e digital? *

- Não se misturam, são completamente indedentes
- As vezes se misturam, mas só em determinadas situações
- Se misturam sempre, são totalmente complementares.

Com base na resposta anterior, você conseguiria descrever como foi o seu fluxo de trabalho * e do seu grupo?

Alternávamos entre croquis, modelos 3d e desenhos no auto cad. As vezes cortávamos no laser ou na mao. Dependia mt de quem dominava mais as ferramentas digitais e o que era mais viavel no momento

Por fim, muito obrigado!
Você teria alguma outra consideração?

Em breve teremos mais pizza *

- Pode contar comigo
- Topo!
- Estou mais certo que a pizza
- É só dizer quando

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Formulário WS

Formulário Workshop Cabine do Boque - disciplina eletiva ARQ1321

Questionário relacionado à pesquisa de mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PPGARq), intitulada "Projeto, modelo e protótipo: o ensino e o ofício da arquitetura na era digital" em desenvolvimento por Marcos Vinicius.

Tem por objetivo o levantamento de informações para a referida pesquisa no sentido de caracterizar resultados, cuja interpretação será parte integrante da dissertação.

Este não tem função de avaliação.

Não há necessidade de identificação e todos os nomes serão fictícios.

Desde já, agradeço imensamente a colaboração!

Ok

Qual(is) ferramentas analógicas para desenho/projeto você utilizou? *

Croqui conceitual

Maquete analógica (com estilete, régua e máquinas da marcenaria etc.)

Desenho técnico de planta baixa, vistas, cortes, perspectivas etc (com régua paralela, esquadro etc.)

Outro:

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Qual(is) ferramentas digitais para desenho/projeto você utilizou? *

Autocad 2D

Autocad 3D

Archicad

Revit

Rhinoceros

Grasshopper

Solidworks

Outro:

Em uma escala entre analógico e digital em que, 0 é igual a 100% analógico e 10 é 100% digital, como você considera que foi a sua abordagem de trabalho, mais analógica, mais digital ou equilibrado? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Com base na resposta anterior, quais fatores influenciaram na sua abordagem de trabalho? *
Esta é uma pergunta abrangente, os fatores podem ser de dentro e de fora do workshop.

Rigidez estrutural, forma da estrutura e encaixe das peças. Na hora da montagem precisava de ajustes independente da precisão do cad.

De 0 a 10, o quanto você aprendeu sobre fabricação digital? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Com base na resposta anterior, você teria alguma sugestão, algo que faltou, que poderia melhorar? *

Abordagem metodológica, tempo de trabalho, infraestrutura, logística, entre outros?

Esta pergunta envolve não só o workshop, mas o Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) como um todo.

O único fator que faltou pro aperfeiçoamento do projeto foi tempo.

Qual(is) ferramentas de fabricação digital você utilizou? *

Cortadora laser

CNC router

Impressora 3D

Outro:

Você preparou algum desenho digital para fabricação? *

Sim

Não

Você poderia descrever como foi o processo?

Esboço a mão livre, depois corte das peças em escala 1/15, seguindo depois pra 1/5, e a partir daí melhoras estruturais conforme a montagem da estrutura.

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Como você considera o trabalho analógico e digital? *

- Não se misturam, são completamente indedentes
- As vezes se misturam, mas só em determinadas situações
- Se misturam sempre, são totalmente complementares.

Com base na resposta anterior, você conseguiria descrever como foi o seu fluxo de trabalho e do seu grupo? *

Nos primeiros 4 dias (segunda a quinta) foi alto o desempenho, depois teve uma queda.

Por fim, muito obrigado!

Você teria alguma outra consideração?

Em breve teremos mais pizza *

- Pode contar comigo
- Topo!
- Estou mais certo que a pizza
- É só dizer quando

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Formulário WS

Formulário Workshop Cabine do Boque - disciplina eletiva ARQ1321

Questionário relacionado à pesquisa de mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PPGARq), intitulada "Projeto, modelo e protótipo: o ensino e o ofício da arquitetura na era digital" em desenvolvimento por Marcos Vinicius.

Tem por objetivo o levantamento de informações para a referida pesquisa no sentido de caracterizar resultados, cuja interpretação será parte integrante da dissertação.

Este não tem função de avaliação.

Não há necessidade de identificação e todos os nomes serão fictícios.

Desde já, agradeço imensamente a colaboração!

Ok

Qual(is) ferramentas analógicas para desenho/projeto você utilizou? *

Croqui conceitual

Maquete analógica (com estilete, régua e máquinas da marcenaria etc.)

Desenho técnico de planta baixa, vistas, cortes, perspectivas etc (com régua paralela, esquadro etc.)

Outro:

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Qual(is) ferramentas digitais para desenho/projeto você utilizou? *

Autocad 2D

Autocad 3D

Archicad

Revit

Rhinoceros

Grasshopper

Solidworks

Outro:

Em uma escala entre analógico e digital em que, 0 é igual a 100% analógico e 10 é 100% digital, como você considera que foi a sua abordagem de trabalho, mais analógica, mais digital ou equilibrado? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Com base na resposta anterior, quais fatores influenciaram na sua abordagem de trabalho? *
Esta é uma pergunta abrangente, os fatores podem ser de dentro e de fora do workshop.

Como não domino softwares de modelagem fui para a abordagem que domino que é o desenho a mão.

De 0 a 10, o quanto você aprendeu sobre fabricação digital? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Com base na resposta anterior, você teria alguma sugestão, algo que faltou, que poderia melhorar? *

Abordagem metodológica, tempo de trabalho, infraestrutura, logística, entre outros?

Esta pergunta envolve não só o workshop, mas o Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) como um todo.

Zero críticas. Acho que funcionou tudo muito bem.

Qual(is) ferramentas de fabricação digital você utilizou? *

Cortadora laser

CNC router

Impressora 3D

Outro:

Você preparou algum desenho digital para fabricação? *

Sim

Não

Você poderia descrever como foi o processo?

O workshop foi bastante enriquecedor e acabou com o meu medo de usar o laser. Acho que o curso de arq e urb deveria ter mais mão na massa e menos tela de computador. Acho que seria muito rico ter um workshop como esse por período do curso. Acho que faz a gente soltar a mão e desbloquear algumas medos.

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Como você considera o trabalho analógico e digital? *

- Não se misturam, são completamente indedentes
- As vezes se misturam, mas só em determinadas situações
- Se misturam sempre, são totalmente complementares.

Com base na resposta anterior, você conseguiria descrever como foi o seu fluxo de trabalho * e do seu grupo?

Conseguimos produzir bastante coisa pra coisa tempo. fãmos alterando e todos os integrantes fizeram de tudo um pouco. Croqui, desenho técnico e maquete.

Por fim, muito obrigado!
Você teria alguma outra consideração?

Nenhum. Foi ótimo! Só tenho a agradecer a todos envolvidos.

Em breve teremos mais pizza *

- Pode contar comigo
- Topo!
- Estou mais certo que a pizza
- É só dizer quando

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Formulário WS

Formulário Workshop Cabine do Boque - disciplina eletiva ARQ1321

Questionário relacionado à pesquisa de mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PPGARq), intitulada "Projeto, modelo e protótipo: o ensino e o ofício da arquitetura na era digital" em desenvolvimento por Marcos Vinicius.

Tem por objetivo o levantamento de informações para a referida pesquisa no sentido de caracterizar resultados, cuja interpretação será parte integrante da dissertação.

Este não tem função de avaliação.

Não há necessidade de identificação e todos os nomes serão fictícios.

Desde já, agradeço imensamente a colaboração!

Ok

Qual(is) ferramentas analógicas para desenho/projeto você utilizou? *

Croqui conceitual

Maquete analógica (com estilete, régua e máquinas da marcenaria etc.)

Desenho técnico de planta baixa, vistas, cortes, perspectivas etc (com régua paralela, esquadro etc.)

Outro:

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Qual(is) ferramentas digitais para desenho/projeto você utilizou? *

Autocad 2D

Autocad 3D

Archicad

Revit

Rhinoceros

Grasshopper

Solidworks

Outro:

Em uma escala entre analógico e digital em que, 0 é igual a 100% analógico e 10 é 100% digital, como você considera que foi a sua abordagem de trabalho, mais analógica, mais digital ou equilibrado? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Com base na resposta anterior, quais fatores influenciaram na sua abordagem de trabalho? *
Esta é uma pergunta abrangente, os fatores podem ser de dentro e de fora do workshop.

equipamento disponível e costume de trabalhar de maneira artesanal, e não possui tanta expertise em alguns softwares

De 0 a 10, o quanto você aprendeu sobre fabricação digital? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Com base na resposta anterior, você teria alguma sugestão, algo que faltou, que poderia melhorar? *

Abordagem metodológica, tempo de trabalho, infraestrutura, logística, entre outros?

Esta pergunta envolve não só o workshop, mas o Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) como um todo.

mais maquinas de trabalho.

Qual(is) ferramentas de fabricação digital você utilizou? *

Cortadora laser

CNC router

Impressora 3D

Outro:

Você preparou algum desenho digital para fabricação? *

Sim

Não

Você poderia descrever como foi o processo?

desenhos digitais em autocad foram simples, e o trabalho em 3D para a router foi feito com o apoio dos orientadores

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Como você considera o trabalho analógico e digital? *

- Não se misturam, são completamente indedentes
- As vezes se misturam, mas só em determinadas situações
- Se misturam sempre, são totalmente complementares.

Com base na resposta anterior, você conseguiria descrever como foi o seu fluxo de trabalho * e do seu grupo?

comecamos no analogico com croquis à mao, e logo ja desenhamos digitalmente para a impressao 3d, analisando o trabalho e modificando com croquis a mao, voltando para o desenho digital etc

Por fim, muito obrigado!

Você teria alguma outra consideração?

mais dias de pizza

Em breve teremos mais pizza *

- Pode contar comigo
- Topo!
- Estou mais certo que a pizza
- É só dizer quando

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Formulário WS

Formulário Workshop Cabine do Boque - disciplina eletiva ARQ1321

Questionário relacionado à pesquisa de mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PPGARq), intitulada "Projeto, modelo e protótipo: o ensino e o ofício da arquitetura na era digital" em desenvolvimento por Marcos Vinicius.

Tem por objetivo o levantamento de informações para a referida pesquisa no sentido de caracterizar resultados, cuja interpretação será parte integrante da dissertação.

Este não tem função de avaliação.

Não há necessidade de identificação e todos os nomes serão fictícios.

Desde já, agradeço imensamente a colaboração!

Ok

Qual(is) ferramentas analógicas para desenho/projeto você utilizou? *

Croqui conceitual

Maquete analógica (com estilete, régua e máquinas da marcenaria etc.)

Desenho técnico de planta baixa, vistas, cortes, perspectivas etc (com régua paralela, esquadro etc.)

Outro:

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Qual(is) ferramentas digitais para desenho/projeto você utilizou? *

Autocad 2D

Autocad 3D

Archicad

Revit

Rhinoceros

Grasshopper

Solidworks

Outro: SketchUp

Em uma escala entre analógico e digital em que, 0 é igual a 100% analógico e 10 é 100% digital, como você considera que foi a sua abordagem de trabalho, mais analógica, mais digital ou equilibrado? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Com base na resposta anterior, quais fatores influenciaram na sua abordagem de trabalho? *

Esta é uma pergunta abrangente, os fatores podem ser de dentro e de fora do workshop.

tempo, número de integrantes e semana de entregas.

De 0 a 10, o quanto você aprendeu sobre fabricação digital? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Com base na resposta anterior, você teria alguma sugestão, algo que faltou, que poderia melhorar? *

Abordagem metodológica, tempo de trabalho, infraestrutura, logística, entre outros?

Esta pergunta envolve não só o workshop, mas o Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) como um todo.

tempo de trabalho e logística

Qual(is) ferramentas de fabricação digital você utilizou? *

Cortadora laser

CNC router

Impressora 3D

Outro:

Você preparou algum desenho digital para fabricação? *

Sim

Não

Você poderia descrever como foi o processo?

desenhamos pelo autocad um detalhe estrutural que seria importante para a compreensão do nosso projeto na CNC router

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Como você considera o trabalho analógico e digital? *

- Não se misturam, são completamente indedentes
- As vezes se misturam, mas só em determinadas situações
- Se misturam sempre, são totalmente complementares.

Com base na resposta anterior, você conseguiria descrever como foi o seu fluxo de trabalho * e do seu grupo?

Para entender melhor do projeto, saindo dos croquis e verificando quais seriam os reais problemas que a estrutura enfrentaria foram necessários alguns modelos e encaixes em escala maior, que não seria possível realizar no curto espaço de tempo sem a junção do analógico ao digital. Os trabalhos se dividiram entre modelos menores em escalas variadas, detalhes, desenhos técnicos, modelagem 3d e croquis para melhor compreensão e auxílio.

Por fim, muito obrigado!

Você teria alguma outra consideração?

Em breve teremos mais pizza *

- Pode contar comigo
- Topo!
- Estou mais certo que a pizza
- É só dizer quando

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Formulário WS

Formulário Workshop Cabine do Boque - disciplina eletiva ARQ1321

Questionário relacionado à pesquisa de mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PPGARq), intitulada "Projeto, modelo e protótipo: o ensino e o ofício da arquitetura na era digital" em desenvolvimento por Marcos Vinicius.

Tem por objetivo o levantamento de informações para a referida pesquisa no sentido de caracterizar resultados, cuja interpretação será parte integrante da dissertação.

Este não tem função de avaliação.

Não há necessidade de identificação e todos os nomes serão fictícios.

Desde já, agradeço imensamente a colaboração!

Ok

Qual(is) ferramentas analógicas para desenho/projeto você utilizou? *

Croqui conceitual

Maquete analógica (com estilete, régua e máquinas da marcenaria etc.)

Desenho técnico de planta baixa, vistas, cortes, perspectivas etc (com régua paralela, esquadro etc.)

Outro:

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Qual(is) ferramentas digitais para desenho/projeto você utilizou? *

Autocad 2D

Autocad 3D

Archicad

Revit

Rhinoceros

Grasshopper

Solidworks

Outro:

Em uma escala entre analógico e digital em que, 0 é igual a 100% analógico e 10 é 100% digital, como você considera que foi a sua abordagem de trabalho, mais analógica, mais digital ou equilibrado? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Com base na resposta anterior, quais fatores influenciaram na sua abordagem de trabalho? *
Esta é uma pergunta abrangente, os fatores podem ser de dentro e de fora do workshop.

O pouco tempo disponível para projetar e a disponibilidade de ferramentas que agilizaram o trabalho, como o autocad e o corte laser

De 0 a 10, o quanto você aprendeu sobre fabricação digital? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Com base na resposta anterior, você teria alguma sugestão, algo que faltou, que poderia melhorar? *

Abordagem metodológica, tempo de trabalho, infraestrutura, logística, entre outros?

Esta pergunta envolve não só o workshop, mas o Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) como um todo.

A infraestrutura foi ótima e as ferramentas disponíveis ajudaram muito

Qual(is) ferramentas de fabricação digital você utilizou? *

Cortadora laser

CNC router

Impressora 3D

Outro:

Você preparou algum desenho digital para fabricação? *

Sim

Não

Você poderia descrever como foi o processo?

Usamos desenhos do autocad para poder usar o corte a laser e a cnc router

05/08/2024, 17:16

Formulário WS

Como você considera o trabalho analógico e digital? *

- Não se misturam, são completamente indedentes
- As vezes se misturam, mas só em determinadas situações
- Se misturam sempre, são totalmente complementares.

Com base na resposta anterior, você conseguiria descrever como foi o seu fluxo de trabalho * e do seu grupo?

As ferramentas digitais e analógicas ajudaram o nosso grupo a desenvolver diversas iterações até chegarmos a final, mesmo com pouco tempo.

Por fim, muito obrigado!
Você teria alguma outra consideração?

A atividade foi muito valiosa para o conhecimento e a pratica da fabricação digital

Em breve teremos mais pizza *

- Pode contar comigo
- Topo!
- Estou mais certo que a pizza
- É só dizer quando

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários