



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
PROARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura

**RECURSOS DIGITAIS PARA EXPERIMENTAÇÃO DA FORMA NO PROCESSO  
PROJETUAL E O ENSINO DA INFORMÁTICA APLICADA À ARQUITETURA E  
URBANISMO**

CRISTINA CERQUEIRA BUERY



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
PROARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura

**RECURSOS DIGITAIS PARA EXPERIMENTAÇÃO DA FORMA NO PROCESSO  
PROJETUAL E O ENSINO DA INFORMÁTICA APLICADA À ARQUITETURA E  
URBANISMO**

CRISTINA CERQUEIRA BUERY

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura – PROARQ, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à qualificação para obtenção do título de Doutora em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa Teoria e Ensino de Arquitetura.

Orientadora: Maria Angela Dias

Rio de Janeiro  
27 de março 2019

**Ficha catalográfica**

Buery, Cristina Cerqueira.

Recursos digitais para experimentação da forma no processo projetual e o ensino da informática aplicada à arquitetura e urbanismo / Cristina Cerqueira Buery. Rio de Janeiro: UFRJ/ FAU, 2019.

viii, 133f.: il.; 31 cm.

Orientadora: Maria Angela Dias

Tese (doutorado) – UFRJ/ Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/ Programa de Pós-graduação em Arquitetura, 2019.

Referências Bibliográficas: f. 119-133.

1. Ensino de Arquitetura. 2. Informática Aplicada. 3. Modelagem virtual e Prototipagem digital. I. Dias, Maria Angela. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura. III. Título.

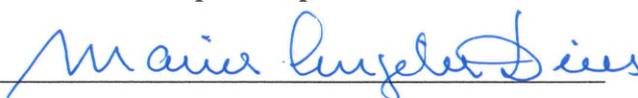
**RECURSOS DIGITAIS PARA EXPERIMENTAÇÃO DA FORMA NO  
PROCESSO PROJETUAL E O ENSINO DA INFORMÁTICA APLICADA À  
ARQUITETURA E URBANISMO**

Cristina Cerqueira Buery

Orientadora: Maria Angela Dias

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa Teoria e Ensino de Projeto.

Aprovada por:



Presidente, Prof. Maria Angela Dias



Prof. Andrea Queiroz Rego



Prof. Danusa Chini Gani



Prof. Andrés Passaro



Prof. Regiane Pupo

Rio de Janeiro

Março de 2019

Dedico esse trabalho ao meu esposo Jorge, companheiro de vida.

À Julyana e Maria Cecília, filhas amadas.

À Selma e Geraldo, pais amados e eternos anjos da guarda.

À Léa e Jorge (*in memoriam*), sogros queridos.

## AGRADECIMENTOS

À Professora Maria Angela Dias, pela orientação do trabalho, pelo acolhimento, atenção e compreensão.

Aos Professores do PROARQ, pelos conhecimentos compartilhados.

Às funcionárias Maria da Guia, Rita e Vanda, pela competência, atenção e carinho com que sempre me atenderam.

Aos professores Andrea Queiroz Rego, Danusa Chini Gani, Andrés Passaro e Regiane Pupo pela disponibilidade em participar da banca de defesa e pelas contribuições muito enriquecedoras.

Às amigas Patrícia Stelzer, Tania Crivilin e Viviane Pimentel pela força e incentivo ao Doutorado.

Ao Grupo de Pesquisa Educação do Olhar: apreensão dos atributos da forma dos lugares, pela oportunidade de aprender mais sobre educação gráfica.

Ao meu marido Jorge, pelo amor, carinho e incentivo no cumprimento de mais essa etapa da minha vida e às minhas filhas, Julyana e Maria Cecília, por compreenderem a minha ausência e respeitarem o meu trabalho.

Aos meus pais, Selma e Geraldo, pelas orações, palavras de carinho e força, que muito me ajudaram nas inúmeras horas de voos entre Vitória e Rio de Janeiro.

## RESUMO

### RECURSOS DIGITAIS PARA EXPERIMENTAÇÃO DA FORMA NO PROCESSO PROJETUAL E O ENSINO DA INFORMÁTICA APLICADA À ARQUITETURA E URBANISMO

Cristina Cerqueira Buery

Orientadora: Maria Angela Dias

Resumo da Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Ciências em Arquitetura.

O trabalho teve por objetivo compreender os recursos de experimentação da forma no processo projetual, com enfoque na modelagem virtual e na prototipagem digital, para aplicações no ensino da Informática Aplicada, no contexto da formação acadêmica de arquitetos e urbanistas. O manejo operacional de ferramentas digitais permite ao projetista o uso de *software* com eficiência e agilidade, nas demandas projetuais. A modelagem virtual e a prototipagem digital permitem análises e reflexões a respeito das propostas de projetos, no ambiente acadêmico e profissional. Deste modo, tomou-se por hipótese que a instrumentalização digital fundamentada no aspecto conceitual de métodos digitais de projeção, incorporando a modelagem virtual e prototipagem digital, como recursos de experimentação da forma, dá suporte à atividade de projeto, auxilia o exercício da capacidade criativa e aplicação da linguagem de representação arquitetônica em meio digital. Para a constatação dessas afirmativas, buscou-se em referencial bibliográfico, o aporte teórico que apontasse diretrizes a respeito das indagações da tese, assim como em pesquisa de campo, as observações a respeito do ensino da Informática Aplicada. Essas ações permitiram concluir que os avanços tecnológicos ampliam os recursos da atividade projetiva e, atualmente, o ambiente virtual se consolida como espaço de experimentação e criação para arquitetos e urbanistas. Entretanto, no Brasil, o ensino das ferramentas digitais ainda carece de avanços para uma formação mais arrojada tecnologicamente. Novos conteúdos programáticos e estratégias de ensino precisam ser adotadas para promover instrumentalização digital, que incluem parametria e programação, metodologias baseadas em organizações e sistemas naturais, prototipagem virtual e fabricação digital.

Palavras Chave: Ensino de Arquitetura; Informática Aplicada; Modelagem virtual e Prototipagem digital.

Rio de Janeiro

Março de 2019

**ABSTRACT****DIGITAL RESOURCES FOR EXPERIMENTATION OF THE FORM IN THE  
PROJECTUAL PROCESS AND THE TEACHING OF INFORMATICS APPLIED TO  
ARCHITECTURE AND URBANISM**

Cristina Cerqueira Buery

Orientadora: Maria Angela Dias

*Abstract* da Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Ciências em Arquitetura.

The objective of this work was to understand the experimental resources of the form in the design process, focusing on virtual modeling and digital prototyping, for applications in the teaching of Applied Informatics, in the context of the academic training of architects and urban planners. The operational management of digital tools allows the designer to use software with efficiency and agility, in the design demands. Virtual modeling and digital prototyping allow analysis and reflection on project proposals in the academic and professional environment. Thus, it was hypothesized that digital instrumentation, based on the conceptual aspect of digital projection methods, which incorporate virtual modeling and digital prototyping as form experimentation resources, supports the project activity, helps the exercise of creative ability and application of the language of architectural representation in digital media. In order to verify these affirmations, a bibliographical reference was made to the theoretical contribution that pointed out guidelines regarding the thesis inquiries, as well as in field research, observations regarding the teaching of Applied Informatics. These actions allowed to conclude that the technological advances amplify the resources of the projective activity and, presently, the virtual environment consolidates like space of experimentation and creation for architects and town planners. However, in Brazil, the teaching of digital tools still lacks advances for a more technologically advanced training. New syllabus and teaching strategies need to be adopted to promote digital instrumentation, which include parametry and programming, methodologies based on organizations and natural systems, virtual prototyping and digital manufacturing.

Key-words: Architecture Teaching; Applied Informatics; Modeling and Prototyping.

Rio de Janeiro

Março de 2019

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DIGITAL NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>A educação arquitetônica no século XXI</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>O campo disciplinar da Informática Aplicada</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Desafios do ensino de ferramentas digitais nos cursos de arquitetura e urbanismo</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Instrumentalização digital no ensino da Informática Aplicada</b> .....	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>A TECNOLOGIA DIGITAL NA CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DO OBJETO ARQUITETÔNICO</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Epistemologia do digital em arquitetura e urbanismo</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Evolução tecnológica do processo de projeto de arquitetura e urbanismo</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3</b>	<b>Os sistemas computacionais no setor de AEC</b> .....	<b>39</b>
<b>3.4</b>	<b>Parametria e Programação</b> .....	<b>43</b>
<b>3.5</b>	<b>Meios digitais na produção arquitetônica</b> .....	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>MODELAGEM VIRTUAL E FÍSICA COMO RECURSOS DE EXPERIMENTAÇÃO DA FORMA</b> .....	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Forma e Arquitetura</b> .....	<b>60</b>
<b>4.2</b>	<b>Geometria na modelagem de sólidos e superfícies</b> .....	<b>65</b>
<b>4.3</b>	<b>Transformações e deformações do modelo virtual</b> .....	<b>74</b>
<b>4.4</b>	<b>Visualização e avaliação do modelo virtual</b> .....	<b>77</b>
<b>4.5</b>	<b>Modelagem Física da forma</b> .....	<b>81</b>
<b>5</b>	<b>INSTRUMENTALIZAÇÃO DIGITAL COM MODELAGEM VIRTUAL E PROTOTIPAGEM DIGITAL NO ENSINO DA INFORMÁTICA APLICADA</b> .....	<b>87</b>
<b>5.1</b>	<b>Participação em <i>Workshops</i> e Congressos</b> .....	<b>87</b>
<b>5.2</b>	<b>Treinamento e aperfeiçoamento em software CAD/BIM/CAM</b> .....	<b>91</b>
<b>5.3</b>	<b>Experiências docentes vivenciadas em disciplinas de Informática Aplicada</b> .....	<b>92</b>
<b>5.4</b>	<b>Reflexões sobre as vivências de ensino</b> .....	<b>113</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>116</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>119</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Refletir sobre a formação acadêmica do arquiteto é mergulhar em um campo de múltiplas e amplas abordagens. Diante da evolução tecnológica atual, o campo da arquitetura e urbanismo passa por modificações no processo de desenvolvimento de projetos. Do manual ao digital, do *CAD (Computer-Aided Design)* ao *BIM (Building Information Modelling)*, muitos temas permeiam as reflexões a respeito da concepção e da representação do projeto, principalmente a partir da última década do século XX, quando tornou-se definitiva a informatização dos escritórios de arquitetura e urbanismo. As decisões de planejamento se baseiam, cada vez mais, nas simulações virtuais de toda natureza, gerando mudanças nos modos operativos de realizar e conceber a arquitetura, fazendo do computador uma ferramenta essencial para o universo das representações visuais, incluindo os modelos virtuais e reais.

Pôde-se observar, no início do século XXI, um cenário híbrido que marcou o processo de materializar, com todo o tipo de recursos disponíveis, a narrativa gráfica. Croquis manuais, modelos físicos e digitais, fotomontagens, plotagens para estudos e discussões, passaram a fazer parte do registro e evolução das etapas de projeção dos arquitetos urbanistas. Após a fase inicial, em que os computadores foram considerados como prancheta eletrônica, a modelagem virtual e os recursos de tratamento de imagem formaram o conjunto de ferramentas de criação, além dos programas computacionais (*software*) já utilizados. Paralelamente, o sistema *CAD* associado ao sistema *CAM (Computer-Aided Manufacturing)* na prototipagem e fabricação digital foram incorporadas à produção arquitetônica, tendo como marcos referenciais as obras *The Fish* (1992- Barcelona- Espanha) e o *Museu Guggenheim* (1993-Bilbao-Espanha), ambas do arquiteto Frank Gehry.

Conceitos de arquitetura surgiram, principalmente, pela complexidade das formas, em detrimento às formas puras. Essa condição, denominada por Picon (2010, p.51-52, tradução nossa) como “[...] sedução por formas impossíveis de se obter usando ferramentas primárias de desenho”, expandiu de maneira significativa o vocabulário formal de arquitetos, com a possibilidade de obter maior precisão, utilizando a modelagem virtual (PICON, 2010), para tomada de decisões projetuais e das técnicas construtivas a serem empregadas.

Em termos conceituais, as concepções apoiadas pelos recursos digitais, admitem aplicações da geometria não euclidiana, sistemas cinéticos e dinâmicos, algoritmos gerativos de formas e a incorporação dos avanços já ocorridos na indústria automobilística, aeroespacial e navegação.

Em termos práticos, a possibilidade de integração dos sistemas *CAD/CAM* permitiu a realização de uma arquitetura que protagoniza pela complexidade das formas, antes praticamente inviáveis, pelo custo e produção (NARDELLI, 2007).

A denominação ‘arquitetura digital’ vem simbolizando o produto arquitetônico gerado nas últimas três décadas. Picon (2010) alerta para a legitimidade da aplicação do termo, se para o projeto assistido por computador apenas como ferramenta de desenho ou se produzido com a real capacidade de uso da máquina. Para Nardelli (2007, p. 3), a ‘arquitetura digital’ está baseada em uma metodologia, que provoca um “[...] salto paradigmático, produzido a partir de uma alteração epistemológica, que impõe uma revisão conceitual, mais do que adestramento em novas técnicas de representação”. Oxman e Oxman (2014) consideram os primeiros anos do novo milênio fundamentais para a consolidação teórica do digital em arquitetura. A última década do novo século foi um período de expansão teórica e prática, estritamente influenciada pela tecnologia emergente, que integra processos de geração, materialização e fabricação, e definem a epistemologia do digital em arquitetura.

Esse contexto tecnológico, suscita reflexões no campo da formação e na prática profissional, com a influência dos meios digitais na produção da arquitetura contemporânea. A complexidade dos programas demandam uma postura menos passiva do projetista em relação aos *hardware* e *software*, incluindo o conhecimento da linguagem da programação.

Nas escolas de arquitetura e urbanismo brasileiras é possível observar que o projeto auxiliado por computador tem sido incorporado com diferentes abordagens dos conteúdos programáticos. Desde que tornou obrigatório nas grades curriculares, em 1994, as ferramentas digitais foram introduzidas por meio de disciplinas do campo de saber Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo, segundo Diretrizes Curriculares Nacionais - DCN (BRASIL, 2010).

O ensino de projeto possui uma base metodológica há mais tempo instituída, assim como o ensino da representação e expressão tradicionais. Porém, o uso de *software* é mais recente e tem evoluído na direção do desenvolvimento das habilidades cognitivas, no campo digital, acarretando impactos tanto nos meios de expressar e representar, como na metodologia projetual. No princípio, era notório que a prática mais evidente nas disciplinas de Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo, se limitava a ensinar o aluno a transpor as rotinas tradicionais para a computador com os comandos específicos do programa adotado (ROMANO; SCARABOTTO, 2009, p. 56). As ferramentas *CAD*, como afirmou Rêgo (2009,

p.1053), não eram “[...] exploradas no auxílio à projeção e nem como aliadas na difícil e fundamental tarefa de desenvolvimento da percepção visio-espacial, do aprendizado da linguagem e da representação gráfica projetual pela educação gráfica”.

Publicações mais recentes em congressos Internacionais, como o SIGRADI (*Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital*) e GRAPHICA (*International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design*), e nacionais, como Seminário PROJETAR, indicam que há iniciativas da efetivação dos conceitos digitais de processo generativo da arquitetura em conteúdos disciplinares nas grades curriculares nacionais. Em artigo publicado no SIGRADI 2014, por exemplo, Rocha e Cordeiro (2014, p. 250), mostraram experiência interdisciplinar de ensino-aprendizagem com “[...] modelagem geométrica tridimensional digital da arquitetura a partir de seu caráter tectônico, no que diz respeito às interações entre a estrutura formal arquitetônica e sua estrutura resistente”, na Universidade Federal da Paraíba. Em outro artigo, Tramontano (2015) faz uma reflexão sobre uso de programas computacionais paramétricos, focado no ensino de planejamento de edificações com formas complexas, mostrando a aplicação de exercícios “[...] didáticos de projeto cuja formulação proponha um treinamento de novas maneiras de conceber o projeto e de produzir os componentes para a execução da edificação projetada” (TRAMONTANO, 2015, p. 544), no Instituto de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo.

Nos dias de hoje, as ferramentas digitais ampliaram o aspecto da experimentação que o registro gráfico possui. Segundo Medeiros (2004, p. 44), “[...] as representações visuais, de modo geral, e as gráficas em particular, têm função mais ampla: são auxílios ao raciocínio e alças de realimentação para as atividades mentais”. Entretanto, Cocchiarella (2006, p. 191, tradução nossa) ressalta que a forma virtual parece “[...] estabelecer uma supremacia geral de todos os sentidos, visando recuperar o prazer de manipular o espaço, pelo menos, em um modo ‘escultural’ [...]”, e promove a “[...] reconexão entre as habilidades de ‘visualização’ e ‘modelagem’, histórica e estritamente conectadas entre si, mas por muito tempo divididas nos últimos séculos” (COCCHIARELLA, 2006, p. 191, tradução nossa).

Assim, observa-se que o emprego de modelos para representar e manipular a forma arquitetônica, que é uma prática tradicional, ganha novos atributos diante do avanço da modelagem tridimensional dos programas computacionais e das técnicas de prototipagem digital. Esses recursos aliados ao método de projeção, permitem interação com a peça e simulação de etapas, algumas vezes impossíveis no mundo real.

Nesse processo, entende-se que um dos fundamentos da projeção digital é o uso efetivo de *software* para a concepção de formas, em diferentes níveis de complexidade geométrica, associado a maior conhecimento e compreensão da geometria, que o tradicionalmente aplicado. Pode-se caracterizar, assim, as ferramentas digitais como instrumentos que viabilizam de maneira ampla o exercício da criatividade, à medida que permitem elaborar todo tipo de dados em uma espécie de síntese dinâmica e multilíngue, durante todas as fases do projeto, sem abandonar o arquivo original, como argumenta Cocchiarella (2006).

Não obstante já se faça necessário que os parâmetros curriculares, que regem os projetos pedagógicos dos cursos de arquitetura e urbanismo no Brasil, sejam revistos em relação à inclusão do digital, levanta-se a discussão sobre conteúdos programáticos das disciplinas de Informática Aplicada, considerando a relevância da modelagem virtual e prototipagem digital para a efetiva aplicação no processo projetual.

Em estudo anterior realizado por Buery (2013), concluiu-se que a instrumentalização é importante para que o conhecimento operativo dos programas computacionais (*software*) não se torne um impedimento na ação projetual. Entende-se que o manejo de ferramentas digitais por si só não garante qualidade ao resultado do trabalho, entretanto o conhecimento operativo de *software* de projeto de arquitetura e urbanismo requer treinamento e aplicação prática, para não dificultar a ação do projetista e portanto, a instrumentalização deve estar associada ao processo de projeto. Kara (2015) argumenta que o aprendizado das ferramentas digitais se realiza efetivamente nos estúdios de projeto, quando a mobilização dos recursos é aplicada no raciocínio e apresentação para problemas do projeto arquitetônico. Deste modo, pode-se delimitar a problemática do tema em alguns fatores, destacados a seguir.

A lei de Diretrizes Curriculares Nacionais – DCN para os cursos de Arquitetura e Urbanismo, em vigor, orienta para “[...] o conhecimento dos instrumentais de informática para tratamento de informações e representação aplicada à arquitetura, ao urbanismo, ao paisagismo e ao planejamento urbano e regional” (BRASIL, 2010, p. 3). Na prática, observa-se que o ensino da Informática Aplicada, não raro, é tratado como um assunto independente, dissociado das disciplinas de projeto. Deste modo, os avanços tecnológicos que as ferramentas digitais trazem ao processo de projeto, o aprendizado da linguagem computacional e dos recursos de geração de formas, entre outras aplicações pertinentes à concepção projetual, ainda não são incorporados plenamente como meios que podem promover a construção de repertório formal,

no exercício de projeção, causando uma formação não condizente com um mercado cada vez mais amparado pela tecnologia, do conceber ao construir.

Comumente precedido da educação gráfica, feita de modo tradicional (à mão), o ensino da Informática Aplicada situa-se, em geral, nos dois semestres do segundo ano nos cursos de arquitetura e urbanismo do Brasil (CARREIRO, 2007; NATUMI, 2013), quando também se inicia o ensino de projeto e outras disciplinas do campo das tecnologias de construção. Entende-se que esse fato limita, de certo modo, a seleção de conteúdos mais avançados em relação ao campo de aplicação das ferramentas digitais para a arquitetura e urbanismo. No entanto, não restringe o uso de *software* aplicado à fase de concepção de projetos, especialmente na modelagem virtual e prototipagem digital com fins de exploração formal e simulação de soluções projetuais.

Em um cenário estendido a países desenvolvidos, as pesquisas que envolvem teoria e prática do digital na arquitetura e urbanismo avançam em estágios mais adiantados, em relação ao Brasil. No que tange às mudanças conceituais e metodológicas no modo de projetar ensinado nas escolas brasileiras, pode-se caracterizar pela adoção de ferramentas digitais ainda no aspecto representacional. Outros fatores, como dificuldade do corpo docente estar atualizado em relação ao processo de projeto digital, a falta de integração vertical e horizontal das disciplinas da educação gráfica, da Informática Aplicada e de projetos, além da falta de investimento em ateliês de projetos, que se efetivem como espaços de experimentação virtual e física, se somam ao quadro de dificuldades quanto ao tema abordado.

Diante do exposto, se de maneira efetiva o currículo acadêmico brasileiro é constituído de disciplinas específicas para o ensino de ferramentas digitais, questiona-se então, quais aplicações devem ser contempladas nos conteúdos programáticos nas disciplinas de Informática Aplicada? Quais estratégias de ensino devem ser adotadas para promover aprendizagem operativa (instrumentalização) de recursos do meio digital, de modo a dar suporte aos processos projetuais informatizados?

Tomou-se por hipótese que a instrumentalização digital fundamentada em métodos digitais de projeção, que incorporam a modelagem virtual e prototipagem digital como recursos de experimentação da forma, dá suporte à atividade de projeto, auxilia o exercício da capacidade criativa e aplicação da linguagem de representação arquitetônica em meio digital.

Tem-se por objetivo geral compreender os recursos digitais para experimentação da forma, sob o enfoque da modelagem virtual e prototipagem digital, para aplicações no ensino da Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo.

Para tal, estabeleceu-se como objetivos específicos:

1. Identificar o ensino da informática aplicada nos cursos de arquitetura e urbanismo;
2. Caracterizar o uso das ferramentas digitais no processo de projeto arquitetônico;
3. Levantar aplicações de modelagem virtual e prototipagem digital como recursos de experimentação da forma
4. Verificar em experiências docentes aplicações da modelagem virtual e a prototipagem digital como recursos de experimentação da forma

O estudo pode ser considerado como exploratório por levantar questões a respeito do ensino da Informática Aplicada na educação arquitetônica, buscando compreender os recursos digitais de experimentação da forma, para a viabilidade da hipótese (MARCONI; LAKATOS, 2003). Assim, a definição de materiais e métodos de pesquisa para desenvolvimento do trabalho, constou de levantamento de dados em dois tipos de fonte: documentação indireta (pesquisa documental) e direta (pesquisa de campo).

A pesquisa documental teve por finalidade buscar referencial teórico para a investigação do tema. Foram utilizados documentos do tipo secundário, pesquisa bibliográfica, que se constituiu de livros, jornais e revistas (OLIVEIRA, 2002), aos quais se acrescentam monografias e teses (MARCONI e LAKATOS, 2003). A contemporaneidade do tema também indicou a inclusão de referenciais em Anais de congressos de áreas pertinentes ao propósito do trabalho, para elaborar uma revisão teórica dos conceitos que caracterizam o digital na produção da arquitetura e urbanismo contemporânea, compreender a modelagem virtual e a prototipagem digital no processo de projeto e na formação acadêmica do arquiteto urbanista, no século XXI.

Foram priorizados os trabalhos publicados a partir de 2004, quando se completou dez anos de obrigatoriedade do ensino da informática nos cursos brasileiros de arquitetura e urbanismo, e as discussões sobre representação manual x digital, pelo menos no Brasil, se amenizavam na compreensão da complementariedade.

A pesquisa de campo se caracterizou pela pesquisa empírica para desenvolver a hipótese lançada, esclarecer conceitos e verificar instrumentalização digital com a modelagem virtual e

prototipagem digital em disciplinas da Informática Aplicada. Combinando estudos exploratórios e descritivos, utilizou-se para coleta de dados a observação empírica de atividades de ensino realizada em *workshops*, em treinamentos e aperfeiçoamento em *software CAD/BIM/CAM* e experiências docentes vivenciadas em disciplinas de Informática Aplicada do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário, FAESA, em Vitória, Espírito Santo.

O trabalho foi organizado em cinco capítulos. Depois da introdução, o segundo capítulo, identifica o ensino das ferramentas digitais na educação arquitetônica do século XXI, delineando o campo disciplinar da Informática Aplicada, com os desafios e as práticas de ensino da instrumentalização digital. O terceiro capítulo discorre sobre a inserção da tecnologia digital na área de Arquitetura e Urbanismo, principalmente, a partir do final de século XX, quando os meios informatizados se efetivaram como ferramentas que agilizam e tornam a ação projetual mais eficiente e precisa. Apresenta a revisão bibliográfica relativa aos conceitos gerais e a epistemologia que caracterizam o digital na arquitetura, mostra a evolução tecnológica do processo de projeto de arquitetura e urbanismo, os sistemas computacionais no setor de AEC, parametria e programação, e fabricação digital. O quarto capítulo mostra aplicações da modelagem virtual e prototipagem digital no processo de projeto e o quinto capítulo relata vivências em atividades de ensino que abordam experimentação e prática docentes com a inserção de recursos digitais de experimentação da forma no ensino da Informática Aplicada.

As transformações do processo projetual com o auxílio de ferramentas computacionais justificam a realização desse trabalho, pois provocam a necessidade de alinhamentos nas disciplinas das grades curriculares vigentes, de modo geral e em particular aquelas específicas da Informática Aplicada, capacitando o aluno egresso para acompanhar a evolução das especificidades atuais no campo das tecnologias digitais aplicadas ao planejamento arquitetônico e urbanístico.

O tema proposto adequa-se à área de concentração Patrimônio, Teoria e Crítica da Arquitetura, na linha de pesquisa Teoria e Ensino de Projeto do PROARQ-UFRJ, pela investigação do ensino do recurso computacional como ferramenta de experimentação na concepção arquitetônica e urbanística, para expressão e representação nas várias fases do processo de projeto. Vincula-se ao Projeto de Pesquisa A Educação do Olhar: apreensão dos atributos geométricos da forma dos lugares, do programa de Pós-Graduação em Arquitetura – PROARQ-UFRJ, que busca levantar referenciais teóricos e metodológicos aplicados ao ensino de graduação da FAU-UFRJ.

Por fim, o estudo evidenciou que a instrumentalização fundamentada em conceitos do digital aplicado à arquitetura e urbanismo, podem efetivar o uso das ferramentas digitais como recursos de experimentação da forma no processo projetual, com a modelagem virtual e a prototipagem digital, inseridas no ensino das Informática Aplicada.

## 2 O DIGITAL NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO SÉCULO XXI

Neste capítulo foi abordado o tema da formação acadêmica do arquiteto urbanista no contexto da tecnologia digital, delineando o campo disciplinar da Informática Aplicada, com os desafios e das práticas de ensino da instrumentalização digital.

### 2.1 A educação arquitetônica no contexto digital

As transformações pautadas pelo paradigma do digital no campo da arquitetura e urbanismo geraram argumentos para a reorientação didática e conceitual no ensino de graduação. Pode-se entender esse processo na pesquisa da arquiteta e professora Rivka Oxman. Em artigo publicado pela revista *Design Studies*, em 2008, denominado ‘*Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium*, Oxman argumenta que “[...] No caso de uma mudança cultural tão ampla, há uma necessidade, em primeiro lugar, de reconsiderar a base teórica, seu conhecimento relacionado e seus métodos de projeto em relação às tecnologias digitais emergentes”<sup>1</sup> (OXMAN, 2008, p. 100, tradução nossa).

As relações entre forma e processos digitais, que surgiram a partir da concepção mediada por computador, fizeram surgir novo vocabulário conceitual e campo de conhecimento, que são argumentos para reorientar a estrutura teórica e os princípios didáticos na construção de um currículo mínimo no século XXI. No paradigma digital cabem conceitos como continuidade versus não-linearidade, complexo versus hierárquico, topológico versus tipológico, material versus espaço, estrutura versus forma, processos de formação versus representação, etc (OXMAN, 2008), da concepção à materialização no processo de projeto.

Em linhas gerais, Oxman (2008) argumenta que o projeto digital se tornou mais complexo, pois demanda maior conhecimento em tipos diferentes de *software*, linguagem de *scripts*, manipulação e manutenção de dados complexos, e assim exige a formação de uma nova geração de especialistas em projeto digital. Ressaltando o caráter experimental do projeto intermediado pelo computador, sugere que o estúdio de projeto, deve incentivar a pesquisa, explorando modelos virtuais e técnicas que envolvam teorias e conceitos digitais, como modelos de

---

<sup>1</sup> “In the case of such a broad cultural shift there is a need, first of all, to re-consider the theoretical basis, its related knowledge and its design methods in relation to emergent digital technologies” (OXMAN, 2008, p. 100).

animação e parametria, explorando a criatividade. Recomenda que a sequência tradicional das etapas de trabalho seja modificada e sugere que:

O processo educacional não precisa necessariamente ser ‘orientado para o projeto’ na compreensão convencional do termo. Nenhum programa ou terreno específico precisa ser apresentado no início do projeto, supondo que o *design* seja uma atividade exploratória e baseada em pesquisa. O ensino pode, por sua vez, ser ‘orientado pelo modelo’. A investigação, juntamente com uma orientação para ‘exploração material em primeiro lugar’, é significativamente diferente de muitas das tradições pedagógicas existentes no estúdio de projeto<sup>2</sup> (OXMAN, 2008, p.111, tradução nossa).

Nesse sentido, Oxman (2008) defende que conceitos digitais podem ser explorados em diferentes estágios se o aluno for ‘libertado’ das expectativas relacionadas à abordagem convencional do estúdio de projeto e transcender a sequência metodológica tradicional de análise de um determinado terreno, a definição de programas funcionais, seguido de projeto conceitual, a geração de espaço arquitetônico, a representação visual, etc. O processo de concepção baseada na definição de parâmetros, que regem a manipulação das relações geométricas, o método paramétrico, fundamenta a formação de modelos, que se afasta radicalmente da manipulação gráfica de representações formais e semiológicas, que vão além das questões dimensionais e estão ligadas à topologia.

Em outra abordagem, as pesquisas de Pottmann *et al* (2007) destacam que o advento de formas livres na arquitetura contemporânea tem transformado o campo de pesquisa da geometria, base do conhecimento do processo de projeto de arquitetura, especialmente como linguagem gráfica, fazendo surgir uma nova área de investigação denominada *Architeturial Geometry* (Geometria Arquitetônica). Esse campo de investigação têm por objetivo o desenvolvimento de novas ferramentas para a criação de modelos arquitetônicos digitais, que incorporem desde o início da geração da forma, aspectos básicos de construção, incluindo material, tecnologia de fabricação e propriedades estruturais.

Pottman (2007) argumenta que esse campo de estudos é importante pelo fato de arquitetos se apropriarem de tecnologia digital utilizada pelas indústrias aeroespacial e automotiva, que se difere em estética, estática e tecnologia de produção, fazendo com que haja uma apropriação de representações matemáticas e soluções algorítmicas. De acordo com Sedrez (2016, p. 132) “O

---

<sup>2</sup> *The educational process need not necessarily be ‘project-oriented’ in the conventional understanding of the term. No program or specific site need be presented at the inception of design, assuming that design is an exploratory and research-based activity. Teaching may in turn be ‘model oriented’. The investigation of digital models and processes along with an orientation to ‘material exploration first’ are significantly different from many of the existing pedagogical traditions of the design studio* (OXMAN, 2008, p. 111).

projeto contemporâneo enfatiza a capacidade lógica do arquiteto de trabalhar os diferentes elementos geométricos necessários para a construção do raciocínio projetual com o auxílio da computação”.

Em um panorama sobre o ensino de projeto de arquitetura em ambiente digital na América Latina, Vasconcelos e Sperling (2016) classificaram os processos digitais de projeto desenvolvidos nas práticas de ensino na América Latina em: representacional, paramétrico e algorítmico utilizando a terminologia criada por Kotnik (2010) para denominar aos níveis de computabilidade entre as interações do projetista e representação no ato projetual, sistematizadas por Oxman (2006). Assim, Vasconcelos e Sperling (2016, p.94) explicam que:

A interação representacional, é aquela realizada a partir de um esboço, desenho ou modelo digital, cujo processo de projeto transpõe uma abordagem de design/projeto convencional em papel para o espaço digital. A interação paramétrica é uma representação digital gerada por regras pré-definidas, onde as possibilidades podem ser diferenciadas dentro de um espectro de variações dos parâmetros. A algorítmica é caracterizada pela descrição formal gerada como uma estratégia de projeto/design, sendo desenvolvida por meio de operações algébricas, analíticas e geométricas que resultam em uma forma arquitetônica.

A pesquisa de Vasconcelos e Sperling (2016) selecionou no repositório de artigos Cumincad, estudos latino americanos realizados a partir de 2010, relatados em fóruns específicos sobre gráfica digital e sua aplicação na prática projetual, nos quais conceitos como *Parametric Design* e *Digital Architectural Design* permeavam as pesquisas sobre a atividade e o processo de projeto de arquitetura. Os resultados obtidos sugerem um contexto de coexistência e transição da interação representacional para a interação paramétrica e, “[...] permitem afirmar que existe um aumento gradual de práticas propriamente digitais”, além da “[...] existência de estratégias didáticas que utilizam mais de uma interação no mesmo contexto” (VASCONSELOS; SPERLING, 2016, p. 99).

Na conjuntura contemporânea, a Tecnologia da Informação (TI), especialmente a Internet das coisas (*Internet of Things –IoT*) e computação em nuvens (*Clouds Computing – CC*), criam o campo da cibernética, que converge tecnologias digitais, físicas e biológicas, marcando o que os economistas chamam de ‘quarta revolução industrial’. Impressão 3D, materiais inspirados na biologia sintética, robótica são alguns dos temas que pautam novas perspectivas para o campo da arquitetura e urbanismo. Contudo, para Celani (2018, p.18) “O Brasil tem estado à margem dessa discussão, que só pode acontecer como resultado de um processo de desenvolvimento tecnológico e industrial intrínseco, o que, infelizmente demora a acontecer”.

Neste sentido, Kós (2016) acrescenta que, diferentemente das etapas de concepção, comunicação e interação entre os participantes, o predomínio dos métodos tradicionais e o baixo índice de industrialização, distanciam o processo integralmente digital das etapas de construção.

## **2.2 O campo disciplinar da Informática Aplicada no Brasil**

No Brasil, a inserção do ensino das ferramentas digitais nos cursos de graduação de arquitetura e urbanismo foi feita pela Portaria nº 1.770, de 21 de dezembro de 1994, que fixou em seu artigo 1º as diretrizes curriculares e o conteúdo mínimo do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo (BRASIL, 1994). Também, no artigo 2º, definiu três partes interdependentes para o currículo mínimo:

- I - Matérias de Fundamentação, constituindo-se em conhecimentos fundamentais e integrativos de áreas correlatas;
- II - Matérias Profissionais, constituindo-se em conhecimentos que caracterizam as atribuições e responsabilidades profissionais;
- III - Trabalho Final de Graduação.

O item II, Matérias Profissionais, inclui o estudo da Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo que “[...] abrange os sistemas de tratamento da informação e representação do objeto aplicados à arquitetura e urbanismo, implementando a utilização do instrumental da informática no cotidiano do aprendiz”. A inserção da Informática Aplicada, nos cursos produziram reflexões sobre a formação do arquiteto urbanista no contexto do projeto computadorizado. Muitas dessas reflexões foram relatadas e debatidas nos Encontros e Congressos promovidos pela Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura – ABEA<sup>3</sup>, entidade sem fins lucrativos que atua pela melhoria na qualidade de ensino de arquitetura e urbanismo no Brasil. Desde 1991, publica cadernos que relatam temas debatidos nos eventos.

O CADERNO ABEA 15 relata o XII Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo, realizado em Belém, de 29 de outubro a 2 de novembro de 1994, que deliberou, entre outros assuntos, sobre Inserções Curriculares, para as quais destacam-se as seguintes recomendações:

- 1) Acompanhar melhor e intercambiar experiências das diversas formas de introdução da informática nos cursos de Arquitetura e Urbanismo com a

---

<sup>3</sup> “A ABEA foi fundada inicialmente em novembro de 1973 como Associação de Escolas de Arquitetura e totalmente reformulada em 1985 transformando-se em uma entidade de ensino, com novas características, muito mais democráticas permitindo a ampla participação de todos os envolvidos no processo de ensino e aprendizagem da área de arquitetura e urbanismo e não somente seus dirigentes” (ABEA, s.d.).

implantação de órgãos de apoio e/ou laboratórios, criação de disciplina(s) específica(s) e alteração (inserção) em disciplina(s) existente(s);

2) Aprofundar a discussão sobre o uso da computação nos cursos de arquitetura e urbanismo; principalmente no que se refere a ambiguidade ou contraposição das concepções da informática como instrumental no trabalho de arquitetos e urbanistas, limitações e interfaces do projeto elaborado pelos "métodos convencionais" com o uso de computação e a superestimação (ou subestimação) dos efeitos do emprego de linguagens computadorizadas no ensino e na profissão.

3) Estar alerta quanto à introdução do novo instrumental de informática no sentido de não considerá-lo como substituto da concepção; nesse enfoque, é importante incentivar e desenvolver, no início do curso as questões da plástica e da expressão gráfica, notadamente como elementos de representação e auxiliares no processo projetual, pois o desenho a mão livre ou croquis e a memória gráfica são instrumentos poderosos para o processo projetivo, devendo ser mantidos e valorizados no processo de ensino (CADERNOS ABEA 15, 1995, p. 70)

Pode-se observar a preocupação de aspectos do ensino quanto a estruturação física (laboratórios), a criação e inserção curricular de disciplinas específicas para o ensino de Informática Aplicada e os cuidados quanto aos impactos que esse ferramental poderia causar na metodologia projetual, baseada em pontos que foram enfatizados nas reflexões e experiências sobre currículo de graduação, tendo como fundamentação:

- O partido arquitetônico é fruto da visão política do arquiteto como cidadão, do conhecimento profundo do tema em suas relações sócio-econômicas e das questões relacionadas ao ofício de arquitetura e urbanismo; é o partido que organiza, articula, seleciona e direciona as ideias;
- O arquiteto em seu ofício, como um dos agentes da produção da arquitetura e do urbanismo, trabalha condicionado por questões basicamente de natureza compositiva, programáticas, técnico-construtivas, plástico-figurativas e estritamente formais dadas pela intuição, questões essas articuladas entre si;
- O sítio transformado em lugar contextualiza a ação projetiva, bem como o ato voluntário e educado pelo processo cultural;
- Qualquer modificação curricular deve levar em conta as questões relativas ao partido nas diferentes formas de projeção arquitetura, urbanismo, *design*, etc (CADERNOS ABEA 15, 1995, p. 71).

Entende-se, então, a preocupação em preservar os fundamentos que preconizavam o projeto arquitetônico baseado no partido, orientado por aspectos tipológicos, na última década do século XX. Chama à atenção os condicionamentos de natureza "[...] estritamente formais dadas pela intuição[...]" pelo que se pode entender de aspectos ligados à criatividade como característica inata do arquiteto urbanista.

Em outros eventos da ABEA, a evolução do processo de inserção das disciplinas de Informática Aplicada no currículo foi sendo discutida e as experiências foram sendo compartilhadas. Em artigo apresentado no XV Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo –

Ensea/ XXI Reunião do Conselho Superior da ABEA-COSU, publicado no CADERNO ABEA 20, Magalhães (1998) relata algumas reclamações do novo currículo de 1996 que estava sendo implantado na FAU-UFRJ e que frequentemente surgiam nas reuniões, das quais se destacam:

[...] redução de cargas horárias em algumas disciplinas, especialmente as que se destinam à instrumentalização do aluno. As disciplinas de representação gráfica - especialmente no que tange ao desenho arquitetônico - tiveram a carga horária reduzida, o que tem sido considerado responsável pelo fraco desempenho dos alunos nas disciplinas de Projeto, tanto de Arquitetura quanto de Paisagismo e de Urbanismo.

Pela introdução da Informática no curso, o uso da Computação Gráfica na representação dos projetos substitui o desenho tradicional mas revela em muitos casos o desconhecimento dos alunos da parte conceitual da representação gráfica. Isto tem levado alguns professores a não aceitar a representação de trabalhos pelo computador, como uma forma de fazer os alunos perceberem a necessidade de serem capazes de usar bem o lápis e a caneta de nanquim antes do computador (MAGALHÃES, 1998, p.178-183).

A questão da dicotomia manual x digital foi um ponto de discussão na adoção dos recursos digitais para a projeção arquitetônica e teve sua ênfase até meados da primeira década do início do século XXI. No entanto, BUERY (2013) pôde verificar que, no currículo vigente desde 2006 da FAU-UFRJ, professores das disciplinas de Ateliê Integrado I e II, 4º e 8º períodos respectivamente, relataram:

[...] que muitos alunos chegam no 8o. período com **dificuldade de se expressar e representar satisfatoriamente o projeto**. Este aspecto não encontra-se dissociado da própria dificuldade do aluno de projetar. No Ateliê Integrado-I os alunos aprendem e trabalham muito com o SketchUp. Percebe-se claramente que as outras representações são negligenciadas, principalmente croquis. Um dos aspectos mais grave é o fato de cortes se tornarem, na maior parte das vezes, um resultado do *software* ao invés de uma "ferramenta" para a concepção do projeto. Os alunos modelam com grande facilidade a "casca", mas não pensam construtivamente em 3D, talvez por ainda desconhecerem os processos...faltam lajes, vigas, rebaixos etc, que resultam em fachadas fictícias. Tanto ou mais que o ensino específico de determinados programas, penso que isso se traduz na integração dessas técnicas às disciplinas já existentes (sem que isso implique em trocar uma coisa pela outra, técnicas digitais pelas manuais, mas entendendo que são complementares e que trabalham em conjunto), estimulando desde cedo a curiosidade e a exploração essenciais para o domínio de *software* em geral (BUERY, 2013, p.87- grifo da autora).

Quase duas décadas depois da inserção de disciplinas no currículo acadêmico observa-se que algumas dificuldades, na visão de professores, ainda persistiam quanto aos ajustes do ensino e da aplicação dos recursos digitais no processo de projeto desenvolvido nas disciplinas do Ateliê Integrado.

No Caderno ABEA 20 (1998), Olivieri (p. 11) evidencia que o domínio da ferramenta computacional não qualifica, por si só, o desenvolvimento de projeto e, que as técnicas de projeção, especialmente da Geometria Descritiva, são auxílios à imaginação, apesar das vantagens dos recursos digitais na representação tridimensional:

[...] observamos que alunos que dominam os computadores na representação da arquitetura, possuem um método mais abrangente pois têm ao alcance a possibilidade da tridimensionalidade sem a interferência da projeção mental e imaginária do observador, possuem a possibilidade de movimentação dos pontos de fuga, da localização múltipla do observador e da movimentação do objeto. Muitos alunos usam o computador mas não são bons criadores quando não possuem também o domínio do exercício do método descritivo. Esse último por ser menos completo necessita em suas etapas a interveniência da projeção mental para o seu prosseguimento. A cada imaginação transpõe-se para a etapa seguinte do processo da linguagem, como se estivesse a construir uma frase e finalmente em poema.

Ao longo dos últimos trinta anos, a tecnologia digital vem transformando o processo de projeto e a inserção cada vez mais diversificada das ferramentas digitais nas atividades projetuais, provoca novas abordagens de ensino. Entretanto, observa-se que essas mudanças na prática projetual ainda não se refletem na legislação vigente. A Portaria 1770 atualizada pela resolução nº 2, de 17 de junho de 2010, das Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo – DCN (BRASIL, 2010), em vigor, institui que a identidade profissional do egresso é caracterizada pelos conteúdos disciplinares do Núcleo de Conhecimentos Profissionais, que inclui o campo de saber da Informática aplicada à Arquitetura e Urbanismo, doravante identificada por Informática Aplicada. No ano de 2013, o XVII CONABEA - Congresso Nacional da ABEA e o XXXII ENSEA-Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo discutiram proposta de revisão das Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de arquitetura e urbanismo. Dentre as propostas, há mudanças nos itens XI e XII de habilidades e competências esperadas para os profissionais apresentadas no Quadro 1.

As palavras em **negrito** se referem as alterações sugeridas, que buscam “[...] incorporar o conceito de novas tecnologias aplicadas ao projeto, modelagem geométrica, readequação do conhecimento profissionalizante e incorporação de novas tecnologias” (ABEA, 2013, p. 10), retratam a evolução da metodologia projetual baseada nos recursos digitais e evocam novas abordagens no ensino da representação, da Informática Aplicada e de projeto na formação do arquiteto urbanista.

Os termos grifados na DCN em vigor ressaltam uma proximidade maior dos meios digitais com a área de representação e expressão, que integra o campo de saber ‘Desenho e Meios de Representação e Expressão’, do Núcleo de Conhecimentos de Fundamentação (BRASIL, 2010). Para cumprimento desse decreto, que praticamente se mantém inalterado, desde 1994 até 2010, quanto à Informática Aplicada, disciplinas foram sendo implementadas com formulação de ementas e objetivos, segundo a interpretação de cada Instituição para o decreto lei.

Quadro 1 – Competências e habilidades da DCN 2010 em vigor e a proposta de alteração de 2013.

DCN 2010- em vigor	Alterações propostas para DCN em 2013
XI - as habilidades de desenho e o domínio da geometria, de suas aplicações e <u>de outros meios de expressão e representação</u> , tais como perspectiva, modelagem, maquetes, <u>modelos e imagens virtuais</u> ;	XIII- as habilidades de desenho e o domínio da geometria, de suas aplicações e de outros meios de expressão e representação, <b>pelos vários tipos de projeções</b> tais como perspectiva, modelagem <b>geométrica</b> , maquetes, modelos e imagens virtuais e <b>de suas aplicações na concepção de projeto</b> ;
XII - o conhecimento dos instrumentais de informática para <u>tratamento de informações e representação</u> aplicada à arquitetura, ao urbanismo, ao paisagismo e ao planejamento urbano e regional;  (BRASIL, 2010, p. 3 - grifo nosso).	XIV - o conhecimento dos instrumentais de informática para tratamento de informações, <b>de concepção, expressão</b> e representação aplicada à arquitetura, ao urbanismo, ao paisagismo e ao planejamento urbano e regional  (CADERNOS ABEA 38, 2013, p. 30-31).

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

As ementas são estabelecidas no Projeto Pedagógico do Curso – PPC de cada Instituição, mas objetivos e conteúdos têm certo grau de flexibilidade e podem ter direcionamentos de acordo com a linha de trabalho do docente que a conduzirá, desde que contemplem o perfil desejado para o egresso. De tal modo, há variações no ensino de cada curso. Pode-se observar diferenças como quantidade de disciplinas, abordagens de conteúdos, carga horária, periodização, tipos de programas, entre outras.

A atualização tecnológica dos cursos de arquitetura e urbanismo se estende à estruturação física para a efetivação do digital no processo de projeto. Ancorados em grupos de pesquisa de instituições de ensino, pesquisadores têm sido fundamentais na promoção e compartilhamento de conhecimentos adquiridos nos trabalhos realizados em laboratórios de práticas digitais, como modelagem virtual e prototipagem digital. A existência de laboratórios para o estudo de processos e aplicações digitais vêm se tornando essenciais, para que seja viabilizada a implementação desses recursos no ensino de arquitetura e urbanismo, além de impulsionar o trabalho de pesquisadores, docentes e discentes, na construção de currículos acadêmicos ajustados às atuais demandas tecnológicas da atividade profissional.

Pupo e Celani (2008) argumentam sobre a importância da inserção da prototipagem rápida no ensino arquitetônico pela retomada das maquetes, desde os primeiros estágios do processo de projeto, prática que quase desapareceu com o avanço da computação gráfica, e principalmente, pelos avanços e impactos da tecnologia digital na arquitetura, engenharia e indústria de construção.

Para a implantação de laboratórios de prototipagem e fabricação digital, Pupo e Celani (2008) destacaram a importância da integração com outras disciplinas da grade curricular, especialmente projeto, e definiram como principais objetivos os seguintes itens:

- (1) o desenvolvimento de novas soluções para o processo de projeto;
- (2) a discussão da importância do uso de maquetes para a melhor compreensão projetual;
- (3) o estímulo à pesquisa em tecnologia da informação aplicada à arquitetura;
- (4) a expansão da interdisciplinaridade dentro da grade curricular do curso de arquitetura;
- (5) a construção de um ambiente de pesquisa e colaboração entre laboratórios de diversas instituições de ensino;
- (6) o oferecimento de serviços de extensão à comunidade profissional, incluindo consultorias e treinamentos e
- (7) a utilização de novas técnicas de fabricação digital na produção de elementos construtivos (PUPO; CELANI, 2008, p. 4).

Contudo, de acordo com Celani (2012), a abordagem científica do trabalho experimental, é a essência de um laboratório, o que inclui sistematização, uso de variáveis de controle, elaboração de proposições e a registro protocolar de todos os processos. Pelo impacto que as técnicas de prototipagem, aditiva, subtrativa e formativa, provocam no desenvolvimento do projeto, Celani (2012) orienta que inicialmente, sejam ofertados cursos específicos sobre fabricação digital, e progressivamente integrar esse conteúdo em estúdios de projeto arquitetônico mais avançados.

O custo dos equipamentos pode limitar o tamanho e a quantidade de peças na implementação dos laboratórios. Em um mapeamento de 31 Laboratórios de Fabricação Digital na América do Sul, realizado por Sperling, *et al* (2015), foi apurado que os critérios de implementação se pautam principalmente pelos aspectos econômicos, acadêmicos e culturais. A partir dos anos 2000, três estágios caracterizam a evolução desses espaços, que podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2– Estágios de implementação de laboratórios de fabricação digital na América do Sul.

	Aspecto Econômico	Aspecto Acadêmico	Aspecto Cultural
<b>1º Estágio</b>	-Alto custo de máquinas concentradas na indústria e em instituições de ensino e pesquisa	- Pesquisa e intercâmbios no exterior.	- Conexões local-global
<b>2º Estágio</b>	- Redução de custo de máquinas de médio porte. - Quebra de patentes.	- Referenciais regionais e internacionais - Contatos (inter) nacionais de pesquisa	- Ampliação de interesse pelas especificidades locais.
<b>3º Estágio</b>	- Redução geral de custo de máquinas. - Máquinas produzidas na região - Acesso doméstico	- Nucleação interna - “Nativos (fabricantes) digitais”	- Conexões em rede entre <i>makers</i> e máquinas

Fonte: Adaptado de SPERLING, HERRERA, CELANI E SCHEEREN, 2015.

No atual âmbito acadêmico da América do Sul, pode-se verificar na pesquisa de Sperling *et al* (2015), que a formação de pesquisadores, professores e arquitetos ‘nativos (fabricantes) digitais’ contribui para a constituição de novos laboratórios nas instituições as quais estão nucleados, para ensino e pesquisa, ou escritórios direcionados às tecnologias digitais de fabricação. “[...] Ao longo da última década, o número de iniciativas de implementação de laboratórios, contratação de serviços, organização de *workshops* e proposição de disciplinas acadêmicas têm aumentado exponencialmente na área de arquitetura e urbanismo na região” (SPERLING, HERRERA, CELANI E SCHEEREN, 2015, p. 120).

### 2.3 Desafios do ensino de ferramentas digitais nos cursos de arquitetura e urbanismo

De fato, desde que o ensino das ferramentas digitais foi incorporado, de modo obrigatório, aos cursos de Arquitetura e Urbanismo brasileiros, pouco avançou na direção de uma formação ajustada às novas competências do mundo tecnologicamente digital. De acordo com Celani (2018, p. 17) “[...] acabamos chegando ao final do século como um país de arquitetura nostálgica e de métodos de ensino tradicionais, exatamente o contrário da imagem que tínhamos há 50 anos atrás”, se referindo aos momentos de destaque vivido pela arquitetura brasileira em meados do século XX, quando o Brasil era visto como o país do futuro, com a construção de Brasília.

De maneira geral, pode-se apresentar alguns fatores que ainda dificultam essas mudanças no contexto acadêmico brasileiro. A estrutura curricular da maioria dos cursos de arquitetura nacionais está fundamentada na fragmentação de conteúdos e saberes, em modelo de ensino

ancorado em métodos convencionais. Há dificuldades de um corpo docente atualizado quanto aos recursos digitais, principalmente em relação ao uso sistemas paramétricos. Falta de estrutura física com laboratórios, equipamentos e *software* que deem apoio as atividades projetuais em ambiente informatizado. Associação do computador com a prancheta, pois, comumente, os recursos são utilizados em práticas estruturadas no desenho manual ou somente para gerar ilustração do projeto (imagens renderizadas).

A periodização organizada para que a fundamentação da educação gráfica com disciplinas de desenho e meios de representação e expressão, seja feita no primeiro ano de curso, de modo tradicional (desenho manual) e, subsequentemente, no segundo ano, a informática é introduzida. Nos currículos brasileiros, o ensino da Informática Aplicada, não raro, é tratado como um assunto independente, dissociado das disciplinas de projeto. Por outro lado, o ensino de projeto se apropria pouco do potencial das ferramentas digitais para estudos arquitetônicos e urbanísticos. Celani (2018) argumenta que é necessário incentivar a interdisciplinaridade, buscando na multidisciplinaridade os fundamentos complementares ao desenvolvimento projetual, em favor de uma formação mais arrojada.

Desde o início da obrigatoriedade, os ajustes feitos para a inserção da Informática Aplicada às grades curriculares, trouxe também a redução e integração de conteúdos, e em alguns casos até a eliminação de disciplinas, principalmente da educação gráfica de base. Percebe-se que isso acarretou uma perda de domínio do desenho expressional (croquis à mão) e, os conteúdos de registro gráfico, especialmente os técnicos, ainda são ensinados com instrumentos de desenho manuais e na prancheta, que praticamente se tornaram obsoletos pela adoção plena dos computadores no trabalho de profissionais de arquitetura e urbanismo. Deste modo, não faz sentido, na atualidade, que os conceitos sobre a linguagem gráfica do projeto de arquitetura e urbanismo já não serem contemplados em meio digital.

Por outro lado, a carga horária total das disciplinas de Informática Aplicada, quando distribuídas em duas disciplinas, é em média 120horas (NATUMI, 2013). Se considerado somente a aprendizagem das ferramentas 2D, que em média é de 40 horas, o tempo fica reduzido para atingir um conhecimento mais avançado das possibilidades do meio digital no processo de projeto. Em geral, quando o aluno é apresentado ao programa gráfico, algumas dificuldades devem ser superadas, começando pela interface gráfica com inúmeros ícones, para o entendimento da linguagem computacional ligada ao processo projetual.

Mesmo assim, nota-se que no ambiente acadêmico, os alunos rapidamente passam a executar as tarefas projetuais em computadores, abandonando ou pouco usando as ferramentas de desenho tradicionais. Muitos alunos se antecipam e fazem cursos extracurriculares de treinamento em *software* para arquitetura. A modelagem virtual em 3D é ressaltada entre os alunos, “[...] provavelmente por suporem que a construção de modelos virtuais seja por si só, capaz de gerar automática e descomplicadamente todos os demais desenhos planos necessários à fabricação do objeto” (SOARES, 2005, p. 106). Além disso, parece haver um ‘encantamento’ pelos recursos visuais realísticos das imagens geradas, para as apresentações de projetos.

Cada vez mais, o ensino da Informática Aplicada tem reflexos nos ateliês de projeto e de um lado, os alunos enfrentam a dificuldade no desenvolvimento das atividades pelas limitações em relação à complexidade no uso eficiente de *software* gráfico, por outro lado, professores de projeto, em geral, se apropriam pouco das possibilidades do meio digital para o desenvolvimento da atividade projetual. Esse fato pode ter relação com duas possibilidades: professores de projeto são de uma geração anterior à introdução da informática na formação do arquiteto, e não se atualizaram, ou de uma geração que teve uma formação com o ferramental da computação gráfica apenas como ferramenta de desenho.

Carvalho e Savignon (2011, p. 9) consideram que muitos docentes experientes também “[...] ficam distantes destas novas formas de trabalho [...]”, talvez pelo fato “[...] de muitos deles atuarem apenas como educadores e acabarem deixando em segundo plano o desenvolvimento de projetos de arquitetura [...]” e, portanto, não se atualizando. De qualquer modo, a percepção é que, tanto a não atualização dos professores em *software* para arquitetura ou em processo de projeto digital, quanto ajustes para uma metodologia de projeto em meio digital, trazem dificuldades para avanços no ensino de projeto auxiliado por computador.

Além das questões relativas à postura do professor de projeto, Carvalho e Savignon (2011, p.9) indicam que os ateliês devem ser configurados como laboratórios de experimentação da forma e que, além das pranchetas tradicionais, devem contar com o apoio de computadores individuais, mesa digitalizadora e equipamentos como cortadoras a laser, fresadoras e impressoras 3D.

Recentemente, no Brasil, o surgimento desses laboratórios estão vinculados à Programas de Pós Graduação, para pesquisa teórica e prática da Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo, nos quais a fabricação digital representa inovação para o campo da arquitetura e urbanismo.

Para Celani (2007, p. 6), a partir do século XXI “[...] surgirá uma nova demanda por projetos específicos, que atendam de maneira otimizada a cada situação, ao invés de um único projeto padronizado, capaz de atender de maneira razoável a todas as situações”. Portanto, é importante a disseminação desses conhecimentos entre docentes, “[...] para que eles possam incorporar o uso das novas técnicas em suas disciplinas de projeto, o que pode ser feito por meio de *workshops*, encontros e reuniões científicas, além de cursos de extensão” (CELANI, 2007, p. 6).

Pesquisas sobre o tema da arquitetura concebida digitalmente, no âmbito da pós-graduação de algumas das principais universidades nacionais, em centros como São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia, Pernambuco, têm avançado, principalmente na formação de mestres e doutores, que buscam contribuir, mesmo que pontualmente, para uma renovação de conceitos e reformulação no ensino da graduação. No Brasil os estudos são mais recentes em comparação com países como Estados Unidos da América, Inglaterra, Espanha, Portugal, Austrália, Israel. Contudo, Veloso, Scheeren e Vasconcelos, (2017, p. 93) acreditam que a inclusão das tecnologias computacionais nos ambientes e currículos de arquitetura está progredindo, pois “[...] os *software CAD* e de modelagem estão mais difundidos, avançando na implementação de plataformas BIM e ainda escassos na implementação de *software* paramétricos/algorítmicos”.

Celani (2016) reconhece três gerações de pesquisadores à frente dos avanços sobre o ensino e a prática de arquitetura no Brasil. A primeira geração, formada por pioneiros do uso de *Computer-Aided Design*, obtiveram formação no exterior, seja em nível de graduação ou pós graduação, e finalizaram doutorado até 1999. A segunda geração, também com pós graduação no exterior, obtiveram titulação de doutorado entre 2000 e 2007, e marcaram pela abordagem que propunha “[...] relações sociológicas e culturais e uma discussão sobre novos processos de projeto que iriam muito além da representação” (CELANI, 2016, p. 12). A terceira geração é composta, na maioria, por pesquisadores que se formaram no Brasil, com participação em intercâmbios internacionais, com doutorado a partir de 2008, orientados pelos pesquisadores das gerações anteriores. Acrescentaram novas práticas como a prototipagem rápida, os ambientes virtuais, os sistemas generativos/performativos e as relações entre tecnologias e espaço urbano.

Eventos que congregam pesquisadores da área de tecnologia aplicada ao projeto, como o CAAD FUTURES (*Computer-Aided Architectural Design Futures*), eCAADe (*Education and*

*research in Computer Aided Architectural Design in Europe*), SIGRADI (*Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital*), GRAPHICA entre outros, contribuem para aprofundar debates sobre onde, quando e como as ferramentas digitais devem ser pensadas e usadas na educação arquitetônica. Para Carvalho e Savignon (2011, p. 9) é preciso entender “[...] até que ponto as escolas de arquitetura devem assumir o compromisso com o ensino das ferramentas digitais”. Enquanto avançam essas discussões, torna-se desafiadora, na atualidade, a escolha de conteúdos e metodologias para cumprir objetivos das disciplinas que tratam da Informática Aplicada, na atual estrutura curricular da maioria dos cursos nacionais, de modo a qualificar o ensino das ferramentas digitais para além do caráter operativo, nas atividades de expressão e representação das soluções arquitetônicas.

Na dimensão tecnológica recente, há uma disseminação de *software*, com variadas aplicações, que inegavelmente, para o ensino de arquitetura e urbanismo, trazem uma última argumentação aqui abordada, sobre como definir o tipo e em que fase do aprendizado serão aplicados. Apesar dos esforços entre instituições de ensino e fabricantes de equipamentos e *software* em prol da redução de custos para a montagem de laboratórios informatizados, ainda é difícil ampliar muito a oferta de opções de programas para as aulas. O mesmo se pode dizer em relação aos Laboratórios que desenvolvem trabalhos com prototipagem e fabricação digital. Em relação ao BIM, Ruschel (2014) acrescenta ainda dificuldades quanto à necessidade de equipes de projeto multidisciplinares para os processos de concepção digital - formativo, generativo e baseado em desempenho.

#### **2.4 A instrumentalização digital no ensino da Informática Aplicada**

Nas diversas fases de trabalho, o meio digital se apresenta como instrumento que agiliza e torna eficiente o método de desenvolvimento de projetos. Para tal, o projetista deve conhecer qual *software* adotar, ter o domínio dos comandos nas operações de desenho e edição para controlar o processo de trabalho, gerir e interpretar dados durante etapas de criação e de execução das atividades projetivas. Essas habilidades começam a ser desenvolvidas nas disciplinas de Informática Aplicada, que na maioria dos cursos nacionais oferece duas disciplinas obrigatórias, comumente, nos terceiro e quarto períodos, com uma carga horária de 60 horas cada uma (CARREIRO, 2007; NATUMI, 2013).

Até a década de noventa, o desenho manual ensinado nas faculdades se desenvolvia em disciplinas que fundamentavam a linguagem gráfica do projeto arquitetônico. O manejo dos

instrumentos de desenho, como esquadros, régua paralela, compasso, gabaritos, normógrafos, etc. eram ministrados em aulas de geometria descritiva, perspectiva, desenho técnico arquitetônico, principalmente. À medida que o curso avançava, o uso dessas ferramentas e das técnicas de representação iam sendo aperfeiçoadas, nas diversas aulas de projetos e tecnologia das construções. Como o meio de expressão e representação era baseado no desenho manual durante todo o curso, ao final esperava-se que o aluno o tivesse dominado plenamente para exercer suas atribuições projetivas.

Atualmente, o meio digital prevalece no campo da representação de projetos, o ensino do registro manual foi reduzido nas grades curriculares, e espera-se do egresso a capacidade de mobilizar recursos manuais e digitais, de acordo com as demandas do projeto. Diante da dimensão tecnológica recente, a definição de conteúdo programáticos e estratégias de ensino que promovam aprendizagem operativa (instrumentalização) de recursos do meio digital, é importante para dar suporte aos processos projetuais informatizados, incorporando recursos que são coadjuvantes no desenvolvimento dos trabalhos e ampliam a atividades para o desenvolvimento de conteúdos de Informática Aplicada que sejam relevantes para a ação projetual é bastante desafiadora.

No modelo de ensino geralmente adotado em escolas de arquitetura e urbanismo nacionais, na primeira etapa de aprendizagem, as disciplinas de Informática Aplicada tem foco na representação bidimensional de projetos, que faz o uso de comandos de desenho e edição de programas vetoriais, como o AutoCad, da Autodesk. Na segunda fase, pode-se encontrar a modelagem virtual, visando à elaboração maquetes virtuais e renderizações, como recursos de manipulação de imagens e apresentação de projetos. O sistema *CAD* ainda é predominante, apesar de já se observar a inserção do programas paramétricos, especialmente do sistema BIM. Entende-se que essa estrutura de ensino cria um hiato na grade curricular, pois trata os conteúdos do digital de modo isolado da ação projetual, uma vez que as disciplinas de Informática Aplicada não se caracteriza como disciplina de projeto em meio digital. Além disso, nos ateliês de ensino de projeto de arquitetura e urbanismo, a ferramenta digital ainda é utilizada somente como instrumento de desenho para representação e apresentação do projeto.

Esse fato reflete a subutilização do *CAD* aplicado à arquitetura que, segundo Celani, Giacaglia e Kowaltowski (2003, p. 67), “[...] virou sinônimo de programas de desenho vetorial em computador, vendidos em larga escala, e seu uso é praticamente restrito à representação técnica do edifício, com pouquíssima ênfase no processo de projeto”.

Como na maior parte das grades curriculares, a instrumentalização digital se inicia após a introdução do desenho manual, o aluno tende a construir o desenho na área gráfica do mesmo modo que é feito na prancheta, dispensando, inicialmente, os recursos que efetivam a agilidade no processo. Outro item de dificuldade é a gestão dos elementos gráficos de projeto, como camadas, espessuras de linhas, escala, cotas, textos, que, no ambiente digital, ganham estilos próprios. A compreensão do sistema cartesiano é importante para o entendimento da construção de objetos gráficos na área de trabalho dos programas do sistema *CAD*, essencialmente vetoriais. Direção e sentido norteiam a execução dos comandos de desenho e edição.

No ambiente 3D, os comandos de modelagem virtual apresentam possibilidades desde a construção de sólidos e superfícies primitivas até modelos com formas complexas. Operações booleanas - subtração, união e interseção, são feitas por comandos de edição que auxiliam a definição da forma geométrica. Os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de fundamentação, como geometria descritiva e perspectiva, são o aporte básico para que o aluno entenda o ambiente de modelagem virtual. No entanto, Kara (2015) defende que o estudo da forma em meio digital requer conhecimentos prévios, e deve ser realizados após o desenvolvimento de um conjunto de habilidades de confecção física individual, onde um senso de resolução tectônica, escala e experiência espacial é cultivado como base do pensamento arquitetônico com ferramentas digitais.

Atualmente, a inspiração arquitetônica através de formas naturais, com imitação dos atributos, tais como padrões e propriedades comportamentais e generativas são estratégias de projeto que buscam integrar várias disciplinas, de maneira holística, viabilizada pela tecnologia digital. De acordo com Florio (2014, p.45), a modelagem paramétrica e os sistemas generativos no processo de projeto em arquitetura têm aumentado de importância e “[...] a intensificação do uso de protótipos rápidos e da fabricação digital de elementos construtivos, no âmbito acadêmico, tem renovado o interesse pelo processo construtivo e sua materialização em ambiente físico”. Para Kaufmann, Schubert e Petzold (2010, p. 31- tradução nossa),

[...] os alunos devem aprender como fazer escolhas materiais apropriadas para o processo de manufatura digital. Eles precisam adquirir uma visão geral dos detalhes da construção e estar em condições de desenvolver uma solução ideal em relação à fabricação, logística e montagem assistida por computador. Para tanto, os estudantes precisam de um amplo conhecimento das ferramentas industriais e de suas áreas de aplicação, bem como de um entendimento fundamental da sistemática e cinemática das máquinas operatrizes controladas por computador.

No processo de modelagem virtual, materialidade e a gravidade desaparecem, e o protótipo físico resgata esses elementos tão importantes para a produção arquitetônica. Além de filtrar a complexidade dentro do processo digital, o modelo físico auxilia no julgamento das qualidades espaciais, estéticas ou programáticas para um projeto. No caso de geometrias arquitetônicas complexas, a prototipagem rápida se torna mais do que apropriada para esse fim (AGKATHIDIS, 2015).

A variedade de programas e sistemas computacionais que têm sido adotados no processo de projetos traz outro ponto a ser considerado. Na área de representação, *software* para desenho, modelagem, renderização, edição de imagens e prototipagem digital, além de equipamentos como computadores, impressoras multifuncionais, impressoras 3D, corte a laser, fresadoras, entre outros, formam um conjunto de recursos minimamente necessários para o desenvolvimento do ensino em meio digital. Programas como o AutoCad®(Autodesk) e SketchUp®(Trimble)+V-Ray® (Chaos Group) são comumente os mais utilizados. O Revit® (Autodesk) e Rhinoceros® (MacNeel) + Grasshopper® (Rutten&McNeel) estão sendo incorporados aos cursos, à medida que avança a inserção da metodologia BIM.

Sem dúvida a evolução dos programas e equipamentos traz, cada vez mais, ferramentas apropriadas a determinadas aplicações, agilidade e eficácia nas ações de comandos, interfaces com elementos visuais mais dinâmicos e maior qualidade das imagens produzidas. Entretanto, o ensino dos recursos existentes nos pacotes de *software* no nível básico, pode restringir aplicações mais avançadas na experimentação projetual. Além disso, a crescente adoção do processo paramétrico para realização de projetos tem destacado a importância do conhecimento em programação computacional, para tornar possível a participação dos projetistas na customização e desenvolvimento de programas, permitindo gerenciar as própria ferramentas, integrando procedimentos intuitivos e racionais, com maior liberdade.

Apesar do ensino das ferramentas digitais estar institucionalizado há quase três décadas, nota-se a carência, ou inexistência de livros didáticos que possam servir de bibliografia básica, especialmente em português, para fundamentar o ensino dos meios digitais nos cursos brasileiros de graduação em arquitetura e urbanismo. Na maioria das vezes, trata-se de material com foco no sistema operativo de programas e comandos. Em paralelo, vídeos tutoriais, que mostram como utilizar ferramentas de programas gráficos, e *plug-ins*, que agilizam o cálculo e a representação de elementos arquitetônicos, como escadas, rampas, telhados, etc. se multiplicam na *internet*.

O aspecto multidisciplinar que envolve a arquitetura e o urbanismo caracteriza a necessidade de que o meio digital esteja incorporado aos saberes que constituem o currículo acadêmico. Funções e versões de programas que se atualizam a cada ano, requerem qualificação e especialização do corpo docente, para uso da tecnologia nas áreas de conhecimento específico de cada campo do saber, pois a Informática Aplicada não se restringe apenas à área de representação, na base de formação. Ao que se percebe, a evolução dos recursos tecnológicos digitais, para a área de arquitetura e urbanismo, acontece mais rapidamente do que a capacidade de se desenvolver metodologias e didáticas capazes de transformar o tradicionalismo, e trazer novos percursos ao ensino da arquitetura e urbanismo.

Entende-se que ferramentas digitais requerem certo tempo de instrumentalização para que sejam utilizados com maior apropriação no desenvolvimento de projetos. Assim, acredita-se que as ações interdisciplinares podem ampliar a prática orientada do projeto em meio digital, associando o ensino das ferramentas digitais ao ateliê de projeto.

### **3 A TECNOLOGIA DIGITAL NA CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DO OBJETO ARQUITETÔNICO**

Nesse capítulo delinea-se a inserção da tecnologia digital na área de Arquitetura e Urbanismo, principalmente, a partir do final de século XX, quando os meios informatizados se efetivaram como ferramentas que agilizam e tornam a ação projetual mais eficiente e precisa. Apresenta a revisão bibliográfica relativa aos conceitos gerais sobre o tema.

#### **3.1 Epistemologia do digital em arquitetura e urbanismo**

No início do século XXI, pôde-se observar que construções de formas arquitetônicas complexas, na Europa e América do Norte, mas especialmente nos países árabes e asiáticos, se destacaram. Arquitetos e urbanistas fizeram das ferramentas digitais grandes aliadas, para a criação de formas inusitadas no planejamento de edificações e espaços urbanos, e, principalmente, com apoio da tecnologia foi possível fazer experimentações e simulações, compartilhando com equipes multidisciplinares a concepção e detalhamento dos projetos.

Assim, nos últimos vinte anos, o impacto dos avanços tecnológicos foi percebido no produto arquitetônico e urbanístico, sobretudo em obras icônicas mundiais, dando origem a um contexto de especulações e certezas no campo teórico. A influência do meio digital em projetos de arquitetura e urbanismo gera inquietação na formação e prática de profissionais contemporâneos. Martínez (2000, p. 47), ao ressaltar que cada arquitetura é marcada pelos meios utilizados para projetá-la, também atenta para o fato de saber utilizá-los sem se deixar levar “[...] a fazer apenas o ótimo para eles”. Tendo-se consciência dos condicionamentos, o autor alerta que é importante não perder as relações específicas da arquitetura real em prol daquelas que pertençam mais à representação (Martínez, 2000, p. 47). Em artigo publicado para o SIGRADI 2004, Martínez *et al* (2004, p. 121, tradução nossa) afirmam que o “[...] uso habitual dos *software* acentuam o problema de crer que arquitetura é sua representação [...]”, retomando o assunto em relação ao domínio dos meios de representação.

Apoiando-se em trabalhos publicados por pesquisadores como Oxman (2006, 2008, 2014) e Kolarevic (2000 e 2001) é possível conhecer conceitos que surgiram e definem o paradigma do digital em arquitetura e urbanismo, principalmente no que tange ao processo de concepção da forma.

Segundo Oxman (2006), a influência dos meios digitais que dão suporte à criação de formas de geometria complexa e topológicas observadas na produção da arquitetura e urbanismo do novo século, se alia ao ímpeto de rejeição dos padrões que se estabeleceram na década de 80, em que prevaleciam estratégias de hibridação, combinação e transformação. Na última década do século XX, o interesse pela investigação material e performativa favoreceu a geração de geometrias topologicamente complexas e diferenciadas. A atenção no *design* performático, na tectônica, na geometria topológica e na expressão material, refletiu a crítica implícita à geração anterior, desconstrutivista.

Para discutir questões relativas à associação da tecnologia ao processo projetual, conferências mundiais e regionais foram realizadas ao longo das três últimas décadas, por setores da fomentam pesquisas para a indústria AEC. Além de contribuições de universidades norte americanas, europeias e asiáticas, nota-se o apoio de fundações e associações que se dedicam a promover a interação e colaboração entre pesquisadores, disseminando os avanços da comunidade científica à prática arquitetônica na área de *Computer-Aided Architectural Design* - CAAD. A fundação CAAD FUTURES, sediada na Universidade de Tecnologia Eindhoven, Holanda, por exemplo, se dedica a promover conferências e publicações na área de qualidade do espaço construído, a cada dois anos, desde 1985. Também se destacam, eventos anuais, da *Association for Computer-Aided Design in Architecture* - ACADIA (América do Norte), da *Computer-Aided Architectural Design Research in Asia* – CAADRRIA (Ásia), da *Education and Research in Computer-Aided Architectural Design in Europe* – (Europa) e *Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital* – SIGRADI.

Na Conferência ACADIA 2000, Kolarevic (p. 251) definiu a taxonomia da arquitetura digital, baseada nos conceitos computacionais como: espaço topológico (arquitetura topológica), superfícies isomórficas (arquitetura isomórfica), movimento cinemático e dinâmico (arquitetura animada), animação *keyshape* (arquitetura metamórfica), *design* paramétrico (arquitetura paramétrica) e algoritmos genéricos (arquitetura evolutiva). Em 2001, Kolarevic (p. 118) acrescentou à lista novas categorias e métodos, baseados em performance (estrutura, acústica, ambiental, etc.), geração e transformação formal. Algumas obras icônicas se destacam como exemplos dessa categorização.

O Museu Guggenheim de Bilbao-Espanha, projetado em pelo arquiteto Franky Gehry em 1997, se tornou um marco da arquitetura digital, e se insere na categoria de arquitetura topológica (KOLAREVIC, 2001), pela conectividade e fluidez da forma, a ‘dobra’, que se afasta da

geometria Euclidiana e do espaço Cartesiano, e emprega o conceito matemático de curvas e superfícies contínuas - *Non-Uniform Rational B-Splines – NURBS*. O controle de pontos, pesos e nós, facilita a manipulação da forma, além de atender à fabricação e construção por equipamentos de controle numérico – CNC (Figura 1).

Figura 1 - Museu Guggenheim de Bilbao.



Fonte: HEALD, 2017.

O Museu Kunsthaus Graz inaugurado em 2003, em Graz- Áustria, foi projetado por Peter Cook e Colin Fournier, e se caracteriza pelas superfícies isomórficas denominadas *Blobs* ou *Metaballs* (Figura 2).

Figura 2 - Museu Kunsthaus Graz, Peter Cook e Colin Fournier.



Fonte: MUSEUM-JOANNEUM, 2017

Oxman (2008) mostrou que a evolução do processo digital transforma princípios, teorias e métodos do *Computer-Aided Design – CAD* em *Digital Architectural Design – DAD*, na medida que introduzem uma nova abordagem de concepção. Assim, classifica os conceitos emergentes da relação entre a forma e o processo digital em: Modelos de *CAD*, Modelos de Formação (*Formation Models*), Modelos de Geração (*Generation Models*), Modelos performáticos (*Performance Models*) e Modelos compostos integrados.

- Modelos *CAD* – representação da forma em desenhos e modelos geométricos, considerados descritivos, por meio de *software* de modelagem geométrica e renderização. A manipulação de representações gráficas de objetos digitais marca o uso

comum do CAD, porém a evolução de técnicas digitais possibilitam um processo bidirecional, no qual um modelo físico pode ser capturado digitalmente e traduzido em modelos digitais e vice-versa. Com isso, a função de modelagem descritiva é cada vez mais integrada com a lógica de materiais e processos de fabricação, permitindo a automação de análise e síntese, integradas por meio de a operação de processos analíticos em modelos geométricos, preditivos, em oposição aos modelos descritivos (OXMN, 2008).

Esse processo utilizado por Frank Gehry em projetos como o *The Fish Sculpture* - Barcelona (1992) (Figura 3) e o *Museum of Furniture, Culture and fine Arts* - Herford (2004) (Figura 4), permite a integração de modelagens avançadas e avaliação de nível de construção, nas diferentes fases do projeto, desde a concepção (OXMAN, 2008).

Figura 3 - The Fish Sculpture – Barcelona



Fonte: BARCELONATURISME, s.d.

Figura 4 - Museum of Furniture, Culture and fine Arts – Herford – Alemanha.



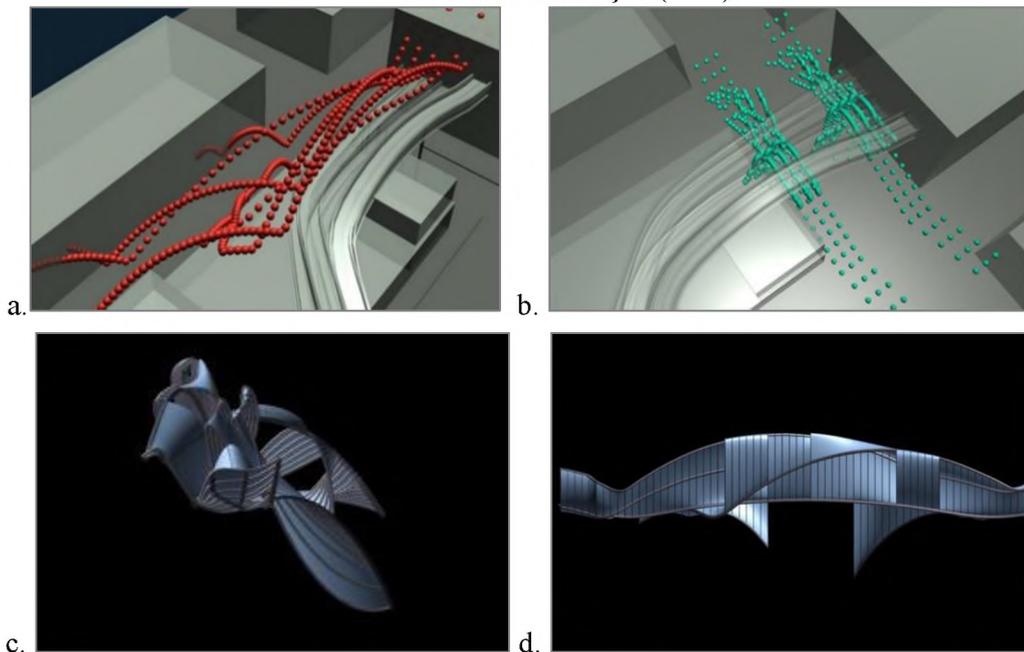
Fonte: WITTEKIND, 2005.

- Modelos de Formação (*Formation Models*) - concepção da forma baseada no conceito de construção ou formação de modelos, relacionada com dinâmica e variedade de versões topológicas que vão além da variação dimensional. Oxman (2008) identifica

três subclasses nessa categoria: topológica, que se baseia na topologia e na geometria não euclidiana; associativa, baseada nos princípios do projeto paramétrico e componentes generativos; e projeto dinâmico, que é baseado em animação, *morphing*, e outras técnicas de modelagem de movimento e tempo. Assim, associa-se a duas técnicas digitais, animação (*Animation*) e *design* paramétrico (*Parametric design*).

A concepção baseada em simulações, que utilizam programas de efeitos cinematográficos de animação, produz um *design* dinâmico, flexível e mutável. Um dos primeiros projetos utilizando um *software* de animação, para gerar a forma, foi apresentado na competição para o Terminal Rodoviário de Nova Iorque (*New York Bus Terminal*), em 1994 (Figura 5 a-d). O projeto desenvolvido por Greg Lynn se baseou na simulação do tráfego e fluxo de pessoas, representados como esferas modeladas no *software* o *Wavefront* (VMware, Inc.), que indicava a velocidade e a direção de caminhos, utilizados como índices de ‘forças’ no local, resultando na forma da edificação proposta (LYNN, 1994).

Figura 5 - Simulação do tráfego e fluxo de pessoas no *software* *Wavefront* (a e b), que geraram a forma da edificação (c e d).

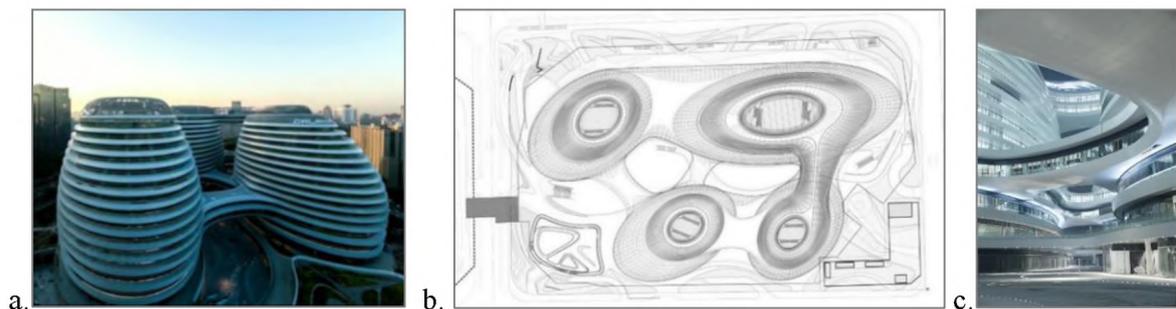


Fonte: LYNN, 1994.

O modelo paramétrico introduz o conceito de variação, já que configurações variadas podem ser produzidas, definindo-se parâmetros formadores do modelo. De acordo com Schumacher (2016), as primitivas do parametrismo são topológicas em vez de geométricas, e inerentemente maleáveis, como *splines*, *nurbs*, etc., dando características

de curvilinearidade e gradação às formas, favorecendo a articulação necessária às conectividades das cenas urbanas, como é possível observar no projeto do escritório Zaha Hadid Architects para Galaxy Soho Ltd, um complexo de escritórios e entretenimento, em Beijing, China (Figura 6 a-c). Oxman (2008) ressalta que o modelo paramétrico permite criação e manipulação de formas geométricas complexas, altamente interativas.

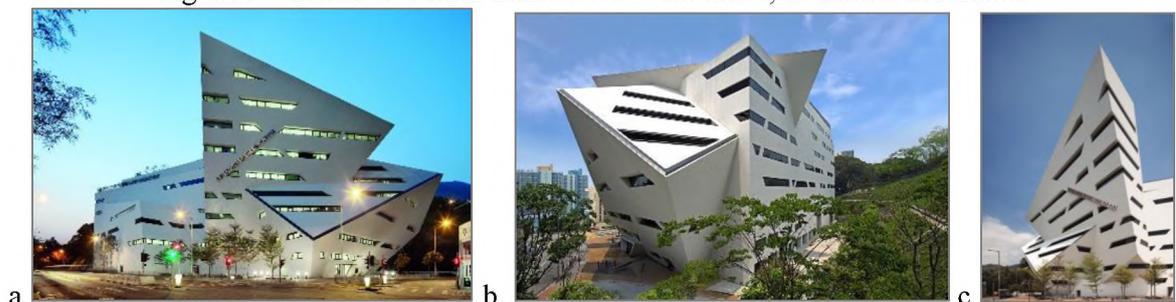
Figura 6 – Galaxi Soho Ltda por Zaha Hadid Architects.



Fonte: HADID, s.d.

- Modelos de Geração (*Generative Models*) - a forma é concebida a partir de processos pré- formulados, como por exemplo modelos evolucionários, que usam a imitação de processos naturais como mutação e reprodução, e a Gramática da Forma (*Shape-Grammar*), que utiliza regras recursivas aplicadas a formas iniciais para gerar novas formas. A geometria fractal é um exemplo de sistema generativo “[...] que permite gerar formas complexas por meio de regras simples facilitando a compreensão de conceitos fundamentais como recursão, iteração e escalas” (SEDREZ, 2016, p. 22). A similaridade e fragmentação características dos fractais forma explorados no projeto de Daniel Libeskind para o Centro de Mídia Criativa Run Run Shaw (Figura 7 a-c), em Hong Kong, na China. O projeto foi completado em 2010 (LIBESKIND, s.d.).

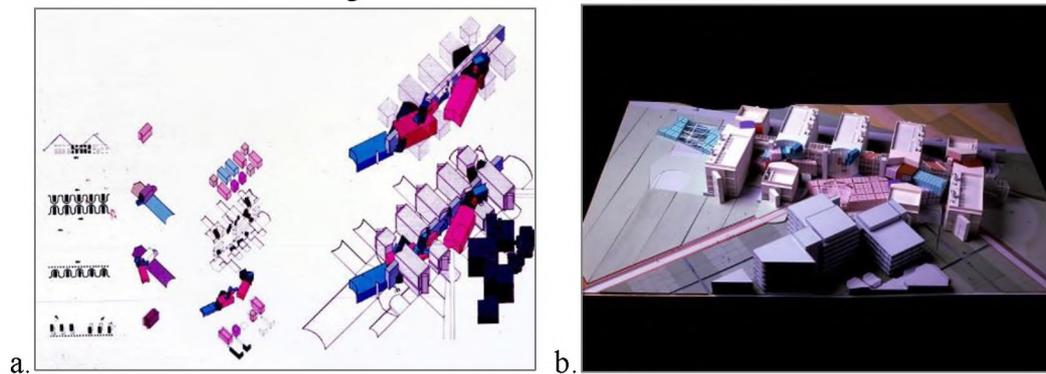
Figura 7 – Centro de Mídia Criativa Run Run Shaw, de Daniel Libeskind.



Fonte: LIBESKIND, s.d.

No campo da gramática da forma, um dos projetos mais conhecidos é o BioCentrum, do arquiteto Peter Eisenman. Em 1987, Eisenman se inspirou nas formas geométricas e cores, que os biólogos utilizam para representar a construção de proteínas que simbolizam o código do DNA, para construir regras de composição formal e desenvolver o projeto do BioCentrum (Figura 8 a e b), em Frankfurt, criando uma analogia entre construção biológica e construção arquitetônica (ROCHA, 2011).

Figura 8 – *BioCentrum* – Frankfurt.



Fonte: EISENMAN, 1987.

- Modelos performáticos (*Performance Models*) – são gerados com base na aplicação simultânea do processo de simulação, análise e evolução de performance do modelo. Um exemplo desse conceito é a City Hall em Londres, projetada no escritório Foster+Partners, no qual a geração da forma foi resultante do estudo integrado de solução de energia (Figura 9).

Figura 9 – The City Hall, Londres, Foster+Partners



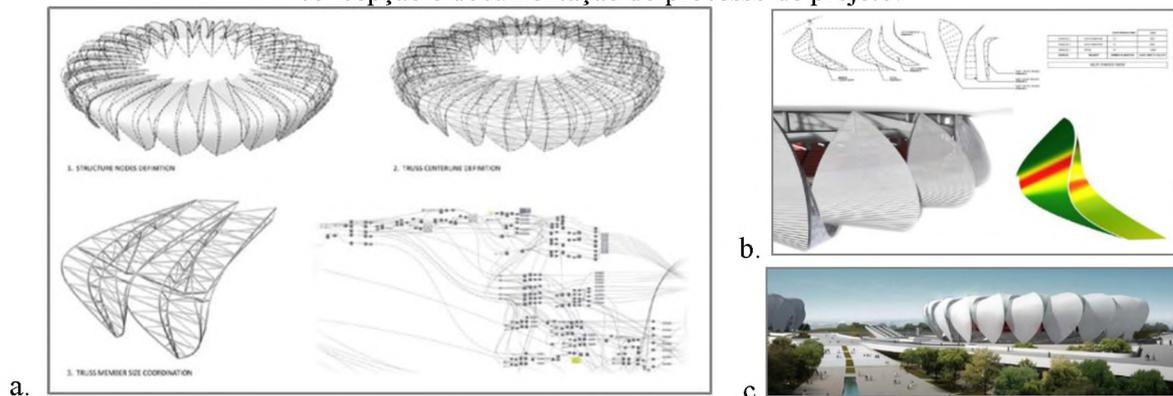
Fonte: FOSTER+PARTNERS, 2017.

- Modelos compostos integrados - são baseados em processos integrados, incluindo formação, geração, avaliação e desempenho. A simulação de desempenho, processos gerativos e formativos podem ser integrados em meio digital (Oxman, 2008). Um

exemplo de projeto é o Hangzhou Tennis Center (Figura 10 a-c), na China, realizado pela empresa NBBJ com a colaboração da CCDI, com obra entregue em 2018.

De acordo com Miller (2011), o projeto do estádio foi baseado em sistema modular de treliças de aço escultural que fornecem sombra e abrigam os sistemas técnicos da arena. Um sistema paramétrico integrado foi criado para conceituar, simular e documentar a geometria do edifício, que se remete à pétalas de uma flor, com o controle das variações formais do estudo. Ferramentas de simulação foram usadas para testar e analisar o comportamento da estrutura física, e *scripts* foram utilizados para automatizar as informações para a equipe de engenharia estrutural. Sistemas de fluxo de trabalho foram criados para reunir os diversos tipos de documentação em plataformas que permitiram uma colaboração internacional mais clara.

Figura 10 – Projeto do Hangzhou Tennis Center com integração da modelagem paramétrica para concepção e documentação do processo de projeto.



Fonte: ACADIA, 2011.

Para Kloft (2004), a condição básica de formas não convencionais na arquitetura é a conexão entre processo de projeto e manufatura. A complexidade de tais formas arquitetônicas provocam um distanciamento dos princípios tradicionais de geração da forma, provocando também, novos aportes para estruturas construtivas e engenharia. Deste modo, o projeto baseado em performance e fluxo de trabalho digital permitem o entrelace do tradicional e de novas interdisciplinaridades a partir da experimentação (OXMAN; OXMAN, 2014).

A natureza da disciplina digital e sua epistemologia, estão em nova periodização, de acordo com Oxman e Oxman (2014). Nesse início do novo milênio, o discurso teórico do digital em arquitetura está novamente em transformação. Com base em estudos realizados por pesquisadores de referência como Frédéric Mígayrou, Antoine Picon, Greg Lyn, Patrick Schumacher, Helmut Pottmann, Hug Whitehead, Robert Woodburry, Neri Oxman, entre outros,

afirmam que a estrutura emergente da ontologia do projeto digital em arquitetura, que se desenvolveu na última década, continua em processo de desenvolvimento.

As transformações materiais e de fabricação ocorridas na primeira década do século XXI, foram as principais contribuições para a evolução do digital em arquitetura. A influência do campo da biologia foi talvez o maior impulso inventivo na segunda década. Nos próximos anos, Oxman e Oxman (2014 p. 8) acreditam que o conhecimento dos princípios que regem as formas naturais irá provocar a geração de formas que respondam as condições ambientais e possivelmente, gerar uma segunda natureza. Deste modo, ao longo dessas três últimas décadas, os modelos digitais ou virtuais que auxiliam a concepção de projetos cresceram em importância para a evolução das etapas de trabalho.

### **3.2 Evolução tecnológica do processo de projeto de arquitetura e urbanismo**

A representação gráfica, especialmente do projeto arquitetônico, encontra registros desde o antigo Egito, mas foi a partir do Renascimento que a produção arquitetônica ganhou uma extensa lista de tratados que buscavam codificá-la em uma linguagem própria, no âmbito da ciência. O conhecimento passou a ser domínio do autor, diferentemente do saber compartilhado nas guildas medievais. Foi necessário criar códigos padronizados que permitissem a transmissão das intenções de quem concebe aos que produziram o objeto idealizado. Embora a precisão dos desenhos técnicos tenha evoluído lentamente, ao fim do século XIX, o projeto já estava instituído como a forma de pensar e construir a arquitetura e o urbanismo, e o desenho prevalecia como modo de representá-lo.

No século XX, a partir dos anos sessenta, o processo de projeto começa a ser avaliado no sentido de melhor compreendê-lo em relação a métodos. Estudos realizados por pesquisadores e projetistas definiram o campo disciplinar do projeto de arquitetura como ciência, na busca de metodologias, principalmente após a primeira guerra. Conferências sobre o tema (*Conference on Design Methods*, 1962; *Second Design Methods Conference*, 1965; *Design Methods in Architecture*, 1967) deram surgimento a grupos de estudos, principalmente na Inglaterra e nos Estados Unidos, gerando publicações para divulgação dos trabalhos, como é o caso do periódico *Design Studies*, criado pelo grupo *Design Research Society*, publicado até hoje. Destacam-se as contribuições dos principais teóricos, em quatro períodos: J. Christopher Jones e Christopher Alexander (1960-1965), Henry Sanoff (1966-1970), Christopher Alexander, Geoffrey Broadbent, Herbert Simon, Donald Schön e Nigel Cross (1975-1990) e William J. Mitchell,

Donald Schön e Bryan Lawson (1990 até nossos dias) (BAYAZIT, 2004). Esse momento histórico, em que se deu início a busca por uma sistematização para desenvolvimento de projetos, aliando-se a inovações nas áreas de comunicação, computação e controle dos sistemas, no esforço para lidar com o processamento de grande volume de dados e prováveis soluções para o projeto de arquitetura e urbanismo.

A partir dessa aproximação com o meio informatizado, pesquisadores começaram a produzir sistemas gráficos interativos, desenvolvendo esquemas para modelagem em *Wireframe* (arame) e *Polygonal* (BAYAZIT, 2004, p. 25). O projeto assistido por computador (*Computer-Aided Design - CAD*) estava bem evoluído, ao final da década de 60. Cabe ressaltar a contribuição de Ivan Sutherland que em 1963, desenvolveu o programa Sketchpad, pelo qual é possível criar imagens gráficas diretamente na tela do computador, usando uma caneta luminosa. Segundo Celani (2003, p.III), esse foi o primeiro passo para o desenvolvimento dos programas *CAD* ou *CAD* interativo. Devido ao surgimento, em 1984, do primeiro computador com recursos gráficos da história, um Macintosh, o registro da arquitetura, engenharia e *design* associado à tecnologia digital, passa a ser realidade.

A adoção de computadores se tornou indispensável à formalização dos métodos de projetos, para que se pudesse automatizar, total ou parcialmente, o processo. No entanto, de acordo com Celani, Ciacaglia e Kowaltowski (2003, p. 67), na década de 80, para atender à popularização dos computadores pessoais, com preços acessíveis a grandes mercados, os programas *CAD* foram simplificados, já que originalmente eram destinados a minicomputadores ou *workstations*. Deste modo, a automatização das tarefas repetitivas e “[...] Acima de tudo a possibilidade de geração de formas inovadoras com o auxílio de operações matemáticas complexas, impossíveis de imaginar quando se trabalha da maneira tradicional”, foram desperdiçadas (CELANI, CIACAGLIA E KOWALTOWSKI, 2003, p. 67).

A utilização dos programas computacionais no desenvolvimento de projetos pode ser classificada em três fases, de acordo com Soares (2005, p. 82):

1ª fase: desenhos bidimensionais com ênfase na supressão de tarefas mecânicas, maior precisão e padronização gráfica. O processo de representar através de projeções não sofre alteração. Todo o conhecimento teórico do desenho projetivo permanece indispensável.

2ª fase: modelagem tridimensional com melhoria da comunicação visual e da percepção espacial. O foco se desloca da representação da forma para a construção geométrica do objeto tridimensional. A geometria espacial assume toda a importância atribuída ao desenho projetivo na fase anterior.

3ª fase: simulações comportamentais com geração de informações gráficas complementares, analíticas e comportamentais. Aumenta a responsabilidade da geometria espacial, que transcendendo o visual transforma-se em base para a geração de informações não gráficas do objeto.

É possível compreender, então, que as ferramentas *CAD* se efetivaram na representação bidimensional de projetos na 1ª fase, e ganharam destaque na produção de maquetes virtuais, com imagens realísticas para apresentação dos projetos e divulgação dos trabalhos, na 2ª fase. Deste modo, a partir da década de 90, a tradicional representação gráfica feita manualmente com instrumentos de desenho nos escritórios de projetos, foi quase que totalmente substituída por aquela feita por meio computacional, utilizando-se programas gráficos, que podem agilizar o processo e facilitar a troca de informações e reprodução. O estudo visual dos fenômenos é viabilizado por simulações em ambientes informatizados, especialmente quanto aos aspectos da síntese e coerência formais, dentre outros fatores.

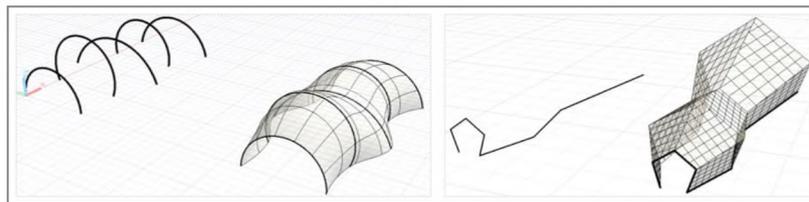
A modelagem virtual, comumente chamada 3D, vem alcançando papel fundamental na atividade projetual. Se até a primeira década deste século, frequentemente se associava o 3D às maquetes eletrônicas com acabamento realístico, hoje, os recursos de modelagem se ampliaram e permitem estudos mais avançados em relação à geometria da forma, animações, análises e diagnósticos quanto aos fatores construtivos e ambientais do objeto arquitetônico em estudo. No entanto, Pottmann *et al* (2007) destaca que o nível de conhecimento em fundamentos da geometria determina o uso eficiente de *software* gráfico para gerar formas tridimensionais, sem o qual, somente o domínio da ferramenta computacional não é suficiente para comunicar ideias e pensamentos.

O sistema Modelagem da Informação da Construção, BIM- *Building Information Modeling*, tem sido considerado como o avanço da categoria de programas *CAD* e se ajusta à 3ª fase a que se refere Soares (2005). De acordo com Eastman *et al* (2014, p. vi), o termo *Building Modeling* surgiu pela primeira vez no sentido de *Building Information Modeling*, no título do artigo de Robert Aish, para o *5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering related to Building*, em 1986.

Alguns aspectos podem ser considerados favoráveis a amplitude de aplicações digitais. Primeiramente, houve uma evolução tecnológica dos programas computacionais, com interfaces mais ‘amigáveis’, processos de renderização e animação, e equipamentos com maior capacidade de tratamento e processamento de dados. Outro aspecto relevante são as ferramentas de modelagem específicas para gerar formas de maior complexidade, como o

modelamento de sólidos e superfícies pela geometria das seções (*Loft*) e pela ‘varredura’ da seção por um ‘caminho’ (*Sweep*) (Figura 13), encontradas em programas do sistema *CAD* (*Computer-Aided Design*) e do sistema *BIM* (*Building Information Modelling*). A modelagem de objetos por malha (*Mesh*), que utilizam a representação poligonal (incluindo triângulos e quadrados) para definir a forma, assim como a modelagem de superfícies *NURBS* (*Non-Uniform Rational B-Spline*), que têm base em curvas Bézier ou *B-splines*, são opções de comandos para gerar propostas mais avançadas em termos de geometria da forma.

Figura 11 - Superfícies geradas pelos comandos *Loft* (esquerda) e *Sweep* (direita) no programa AutoCad.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

A partir dos modelos virtuais, a extração de desenhos bidimensionais (*Drawing Model*), organizados em pranchas de impressão por meio de janelas de visualização (*Viewports*), em escala, eliminam o trabalho de traçar, plantas, seções e vistas, como na representação tradicional do projeto, desde que os modelos estejam corretamente construídos. Há também os recursos que possibilitam refletir sobre resultados obtidos no processo de estudo volumétrico. Seções (*Section*) geradas em vários pontos do objeto modelado, câmeras que produzem perspectivas paralelas e cônicas, além de cenas para animação, auxiliam na visualização da geometria interna e externa do objeto. Quando inseridos dados sobre a localização geográfica, data e horário, pode-se analisar também aspectos de sombreamento e iluminação natural.

Os programas paramétricos, cada vez mais utilizados, dinamizam a concepção formal, pois a “[...] alteração de valores em um parâmetro engendra automaticamente alterações no objeto projetado como um todo, o processo de projeto passa a constituir um diálogo entre o arquiteto e o programa [...]” (TRAMONTANO, 2015, p. 546).

Amparado pela tecnologia digital, o elo entre a concepção e a construção vem sendo reformulada, fazendo-se necessário conhecer os tipos de sistemas computacionais para deles usufruir, de modo eficiente e criativo. A intermediação do computador no desenvolvimento das atividades projetuais encontra muitos recursos ultimamente, e considerando a finalidade a que se destina, pode-se utilizar *software* dos sistemas *CAD*, *CAE*, *CAAD*, *CAM*, *BIM*, *CIM*, entre os mais conhecidos.

### 3.3 Os sistemas computacionais no setor de AEC

O uso do *CAD*, passou a ser regra nos escritórios de arquitetura, ao final da década de oitenta. A partir dos anos noventa, a popularização dos microcomputadores e periféricos, inclusive impressoras, consolidou a informatização do processo de projeto, embora ainda atrelado à metodologia tradicional. O desenvolvimento da tecnologia de informação, com o aparecimento da *Internet* entre outros recursos, ampliou os meios de comunicação e transformou as relações de trabalho, com envio de arquivos digitais, comunicação virtual entre equipes, trabalhos colaborativos, etc. A evolução dos processadores e de *software* trouxe novas alternativas para o desenvolvimento de projetos (BATISTA, 2010).

Sem dúvida, a tecnologia de *software CAD* trouxe maior precisão e eficiência ao processo de trabalho de profissionais da área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Porém, os desenhos de planos de uma edificação realizado manualmente, um a um, causa conflitos interdisciplinares quase inevitáveis. O uso do sistema *CAD* tornou o processo de compatibilização mais fácil, no entanto, demorado e nem sempre bem sucedido. Quando há a necessidade de alteração, não são apenas as plantas, mas também seções ou elevações, que devem ser alteradas individualmente, tanto no projeto arquitetônico quanto estrutural, por exemplo (CZMOCH e PEKALA, 2014, p. 212).

O CAD, considerado o primeiro sistema Computacional de Auxílio ao Projeto, inicialmente se destacou para a geração e manipulação de desenhos bidimensionais, porém hoje, os programas desse sistema se tornaram ferramenta indispensável para vários segmentos industriais e permitem:

- Modelar produtos tridimensionais com formas complexas;
- Realizar análise de forma geométrica para auxiliar a manufatura;
- Realizar análise de interferências entre peças e conjuntos-montado;
- Definir volume e centro de massa do produto;
- Comunicação com outros *softwares*, através de interfaces padronizadas (SOUZA; COELHO, 2003, p.2).

Os programas de sistema *CAD* existentes no mercado, atualmente, geram objetos tridimensionais dos quais é possível a extração de desenhos em projeções bi e tridimensionais, descrições de montagens, cálculo de elementos finitos (LIMA; SOARES; BORGES, 2011). A geração de modelos tridimensionais trouxe uma nova relação entre as etapas de projeto e produção, pois as informações geométricas provenientes do *CAD* são utilizadas como base de

cálculo, pelo sistema Computacional de Auxílio à Engenharia sob a sigla *CAE – Computer-Aided Engineering* (SOUZA; COELHO, 2003).

O dimensionamento de estruturas e componentes mecânicos, cálculo de tensões, deslocamentos, vibração, transferência de calor, escoamento de fluidos, instalações industriais entre outras, são aplicações do *CAE* (LIMA; SOARES; BORGES, 2011). A possibilidade de corrigir e testar inúmeras vezes um protótipo virtual em um *software* do sistema *CAE*, permite redução de tempo na concepção e produção de objetos e na quantidade de protótipos a serem elaborados (LIMA, 2016).

O sistema de Projeto Arquitetônico Auxiliado por Computador designado pelo termo *Computer-Aided Architectural Design – CAAD* “[...] refere-se ao uso do computador com o objetivo de obter a excelência em arquitetura, em geral por meio de aplicações exploratórias, e não somente com o objetivo de tornar o processo de projeto mais eficiente” (CELANI, 2016, p. 40). Envolve o conceito inicial do *CAD*, de auxílio à geração de projetos, no aspecto mais experimental, que vem sendo resgatado, segundo Celani (2016, p.41), “[...] pelo interesse dos arquitetos pela programação e com a maior disponibilidade de técnicas de automação e da fabricação digital”. Nesse sentido,

[...] a utilização de sistemas generativos no processo de projeto permite a criação automatizada de uma gama de alternativas para a geração de famílias de elementos por meio da utilização destas novas ferramentas de produção personalizada. Hoje, a elaboração de projetos segundo um processo tradicional torna-se incoerente quando associada às novas formas de produção por meio da fabricação digital (CELANI; VAZ; PUPO, 2011, p.36).

Desde a introdução dos primeiros sistemas Computacionais de Auxílio à Fabricação, *CAM – Computer-Aided Manufacturing*, o setor produtivo da indústria de construção vem sendo marcada pela aproximação do objeto arquitetônico com a manufatura. A partir dos anos 1940, a evolução das máquinas de controle numérico faz surgir a linguagem *NC (Numeric Control)*, que associada aos avanços da computação permite a operação de máquinas por meio da linguagem *CNC (Computer Numeric Control)*, controlada por computador. O trabalho com equipamentos de *CNC* é facilitado com a vinculação do arquivo de desenho ao arquivo de produção, no qual a edição da geometria está condicionada às estratégias de usinagem, em *software* denominados *CAD-CAM* (ORCIUOLI, 2016).

As instruções de comando para equipamentos *CNC* são *scripts* simples designados pela letra “G” conhecidos por códigos do tipo “*G-code*”. Controlam as máquinas em comandos para

movimentos rápidos, movimentos controlados para linhas finas e curvas, movimentos sequenciais de corte, furação e perfilagem, ou para definir informações das ferramentas (DUNN, 2012).

A admissão dos sistemas *CAD-CAM-CAE* e equipamentos de *CNC* busca unificar no processo de fabricação somente os materiais, equipamentos e pessoas necessários a cada tarefa, conhecido como sistema *Just in Time – JIT*. Baseado na integração e otimização das etapas do processo de manufatura, produto de qualidade, redução dos custos de produção, produção em função da demanda, flexibilidade de produção e manutenção dos compromissos com clientes, o *JIT* gera a necessidade de integração das informações nas tarefas técnicas e operacionais no processo de produção, que se refere ao sistema de Produção Integrada por Computador sob a sigla *CIM Computer Integrated Manufacturing* (ALVES, 2018; HIGUERA; GARCIA, 2007).

No âmbito projetual, a complexidade dos sistemas construtivos e exigências de desempenho visando à redução de custos e dos impactos ao meio ambiente, provocam o uso de novos sistemas e abordagens para o processamento dos dados, para a Modelagem de Informação da Construção – *BIM*.

Nesse sistema, segundo Nardelli (2016, p. 35), os objetos e seus componentes “[...] não são meramente representados, mas construídos virtualmente em três dimensões (3D) com todos os atributos que definem o seu desempenho estrutural, acústico, térmico, estético, enfim tudo aquilo que o caracteriza [...]”. Gerar e gerenciar informações da edificação projetada, de maneira integrada, automatizada e reutilizável (LIMA; SOARES; BORGES, 2011), se estendendo nas várias instâncias do projeto, segundo Münch (2017, s.p.):

- BIM 3D: Modelo virtual (protótipo);
- BIM 4D: Modelo virtual + planejamento físico da obra (tempo);
- BIM 5D: Modelo Virtual + orçamento / Modelo Virtual + orçamento + planejamento físico da obra;
- BIM 6D: Sustentabilidade;
- BIM 7D: *Facilities Management* (COBie).

Nardelli (2016) ressalta que a partir do modelo virtual (*BIM 3D*) a simulação das etapas de construção (*BIM 4D*), pode ser feita por aplicativos específicos, correspondendo ao cronograma de obra, de maneira estática ou dinâmica (animação), contribuindo para a logística da obra, evitando possíveis conflitos entre as atividades de construção. Além disso, o custo de cada etapa pode ser visualizado, contribuindo para o controle financeiro do empreendimento (*BIM 5D*).

Lima, Souza e Romcy (2015, p. 603), explicam que o *BIM* trabalha com modelagem inteligente, ou seja, “[...] se propõe a arquivar uma grande quantidade de informações e dados através de processos e utiliza parâmetros que, quando modificados, refletem diretamente nas características e propriedades do objeto sejam elas geométricas, espaciais, ambientais ou energéticas”, além da função representativa. No entanto, ressaltam que “Grande parte dos seus usuários tira partido dessa plataforma de modo simplificado, desenvolvendo os projetos através de uma modelagem 3D que deixa de lado as vantagens da modelagem inteligente” (LIMA; SOUZA; ROMCY, 2015, p.603).

O sistema de Modelagem da Informações da Cidade, *City Information Modeling-CIM*, tem sido considerado como a extensão do *BIM* para o espaço urbano, com ênfase no planejamento, na gestão e no monitoramento da cidade, podendo ser entendido como “[...] uma plataforma tecnológica (*software*, equipamentos e processos), apoiada por recursos humanos e conceitos das várias áreas de aplicação, perfeitamente integrados para suportar a infraestrutura da cidade [...]” (AMORIM, 2016, p.486). A adoção do *CIM* é uma estratégia para trazer eficiência aos serviços prestados aos habitantes, aumentando a qualidade de vida, exercício da cidadania e uso racional dos recursos e meios de produção, que formam o conceito *Smart City* (Cidade Inteligente) (AMORIM, 2016).

Os sistemas computacionais de auxílio ao projeto e à manufatura contam com variedade de *software* que são adotados pelos profissionais do setor AEC para a realização das tarefas profissionais. Assim, o Quadro 3 apresenta uma relação de *software* dos sistemas computacionais mais conhecidos.

Quadro 3 – Relação *software* e sistema computacional mais conhecidos.

CAD	AutoCad (Autodesk), SketchUp (Trimble), SolidWorks CAD 3D (SolidWorks), TurboCAD (IMSI/Design, LLC), DraftSight (SolidWorks).
CAE	Navisworks (Autodesk), MATLAB (MathWorks), AutoCAD Civil 3D (Autodesk)
CAAD	Rhinoceros (MacNeel), Grasshopper (Rutten&McNeel), Dynamo (Autodesk),
CAM	Fusion 360 (Autodesk), SolidWorks CAM (SolidWorks), Catia (Dassault Systèmes).
BIM	ArchiCad (Graphisoft), AECOSim (Bentley Systems), Revit (Autodesk), Vectorworks (Nemetschek), MicroStation (Bentley Systems).
CIM	ArcGIS (ESRI), Google Maps (Google)

Fonte: elaborado pela autora, 2019

A abrangência dos recursos digitais existente no mercado é extensa. Além disso, o custo de instalação de postos de trabalho, a necessidade de treinamentos específicos e a constante atualização de versões tornam o investimento em tecnologia e a adoção de programas, uma

decisão complexa. Acredita-se, no entanto, que cabe ao profissional a busca por soluções tecnológicas que ampliem a capacidade criativa, à medida que os processadores digitais se ocupam das tarefas operacionais inerentes ao processo de projeto. Com o recente movimento de migração do sistema *CAD* para os programas da plataforma *BIM*, está ocorrendo uma mudança na prática de projeção, por meio de recursos de parametrização projetiva e construtiva do objeto arquitetônico.

### 3.4 Parametria e programação

A estrutura do desenho no computador está intrinsicamente associado à estrutura geométrica e topológica programada na memória do computador. Assim, o tipo de recurso utilizado para o desenho mobiliza processos que dependem dos dados inseridos (*inputs*) para gerar informações (*outputs*). Isso acontece pois, o comportamento dos computadores está ligado ao conceito de algoritmo, no qual “[...] o processamento de dados é feito por meio de sequência de instruções descritas por símbolos que podem ser convertidos em sinais eletrônicos” (CELANI, 2016, p. 22). No caso da modelagem para simulação da forma arquitetônica, por exemplo, os níveis de extração de dados variam de acordo com o processo utilizado, mesmo que, visualmente, o modelo gerado seja o mesmo.

Criar um modelo virtual com ferramentas convencionais do sistema *CAD* é de certo modo fácil – juntar partes e criar ajustes entre elas. Porém, fazer mudanças no modelo se torna trabalhoso, em maior ou menor grau, dependendo da complexidade do objeto. No entanto, como as partes que compõem o modelo são independentes, o uso dos comandos *Copy* (copiar), *Cut* (cortar) e *Paste* (colar) atendem rapidamente às modificações de acréscimos ou substituições para reestruturar o projeto final (WOODBURY, 2010). Contudo, essas ferramentas podem limitar a exploração no processo de concepção do projeto.

Fases com várias modificações e revisões, são características do projeto de arquitetura, passando de um nível de generalidade para, progressivamente, alcançar a precisão técnico-construtiva do projeto. Na era digital, o desenho paramétrico permite que esses ajustes sejam feitos por meio dos parâmetros pré-estabelecidos, possibilitando a verificação de soluções para um mesmo estudo, minimizando tarefas repetitivas. Czmoach e Pekala (2014, p. 212) ressaltam que a modelagem paramétrica é a essência da aplicação do *BIM*, devido a possibilidade de implementar mudanças no modelo 3D, quando necessário, durante o processo de gerenciamento do projeto. Baseada em algoritmos, a compatibilização de disciplinas é mais rápida e precisa.

No projeto arquitetônico, Bueno (2016, p. 150) explica que ‘parametria’ ou ‘parametrismo’ pode ser definido como “[...] o conjunto de conceitos metodológicos referidos à modelagem ou controle de um modelo arquitetônico por meio da associação explícita de parâmetros de projeto utilizando *software* de desenho paramétrico”, o qual está ligado ao dinamismo, para gerar formas condicionadas à regras ou dados pré-estabelecidos (LARA, 2016). O processo de parametria ligado ao projeto de arquitetura, tem quatro tipos de aplicações:

(1) Gramática da forma: Em 1975, William Michel pensava a geração de um grande número de soluções possíveis, com auxílio da programação, onde o projetista opta pela melhor forma através de uma “gramática” possível de análise e síntese, para posteriormente detalhar e construir; (2) Modelagem paramétrica: voltada à lógica e a concepção do modelo digital dinâmico e flexível de um algoritmo simulando formas plausíveis às regras pré-estabelecidas. Na modelagem paramétrica são os parâmetros de um objeto particular que são declarados, não sua forma (SILVA, AMORIM, 2010); (3) Algoritmos genéticos: gerar a melhor solução utilizando métodos computacionais evolutivos em busca da melhor solução (a sobrevivente); (4) Simulação de fluxo: visa a simulação das forças físicas ligadas às lógicas nebulosas: movimento, vento, som, iluminação, ventilação, evacuação, fogo e fumaça em função do tempo (LARA, 2016, p. 79).

Porém, nas abordagens paramétricas é importante que “[...] o projetista estabeleça as relações pelas quais as peças se conectam, construa um projeto usando essas relações e modifique as relações observando e selecionando os resultados produzidos” (WOODBURY, 2010, p. 153, tradução nossa). Deste modo, pode explorar ideias e reduzir o retrabalho. Woodbury (2010) estabelece seis habilidades necessárias ao projetista para a o domínio paramétrico, resumidos nos seguintes tópicos:

- Conceber fluxo de dados (criar, arranjar e editar dependências – parâmetros);
- Dividir para conquistar (organizar o desenho paramétrico em partes de modo que hajam *links* limitados e compreensíveis de parte à parte);
- Nomear as partes para facilitar a comunicação;
- Pensar de modo abstrato (criar modelos paramétricos aplicáveis a novas situações);
- Pensar de modo matemático (usar teoremas e gráficos codificados);
- Pensar de modo algorítmico (escrever algorítmicos para produzir projetos).

Na construção de tais habilidades, o interesse pelo estudo de algoritmos como parte do processo de projeto, vem sendo ampliado, pois é preciso entender as regras implícitas na programação de cada *software*, para poder ajustá-las à estratégia projetual, quando necessário (ROCHA; STRALEN, 2017).

A linguagem de *scripts* textuais (ex.: *Autolisp*; *Visual Basic for Applications* - VBA) é um conjunto de instruções escritas utilizado em programação computacional para automatizar a execução de tarefas repetitivas, descritas através de um algoritmo. Incorporada ao processo de projeto, torna possível a participação dos projetistas na customização e desenvolvimento de programas, sem a necessidade de conhecimento prévio em programação. No entanto, para Tramontano (2015, p.546),

[...] Raros são os arquitetos que concebem ou participam da concepção dos *scripts* que utilizam, costumeiramente produzidos por profissionais com formação em ciência da computação ou informática. Como é o *script* que interpreta, por assim dizer, as intenções do arquiteto e as traduz graficamente em proposições formais, pode-se dizer que o autor do *script* é, em alguma medida, co-autor do projeto de arquitetura.

Deste modo, alguns *software* como o *Grasshopper* para o *Rhinoceros*<sup>®</sup> (*MCNeel*), *Dynamo* para o *Revit*<sup>®</sup> (*AutoDesk*) e o *Marionette* para o *Vectorworks*<sup>®</sup> (*Vectorworks*) têm permitido aos projetistas gerenciar as próprias ferramentas, integrando processos intuitivos e racionais, com maior liberdade, por meio da programação visual e da modelagem paramétrica.

De acordo com Henriques (2016), o uso de *scripts* rompe o paradigma da utilização do computador apenas como ferramenta que alimenta, processa e guarda informações (computadorização) para estender a capacidade humana na racionalização, exploração e simulação de soluções de problemas (computação). A adoção de regras de geração e composição descritas nos tratados de Vitruvius e Alberti podem ser considerados aplicações de *scripts* na arquitetura e “[...] têm servido de base a abordagens das chamadas gramáticas da forma, [...] e tanto podem ser resolvidas com lápis e papel, como digitalmente num *script*” (HENRIQUES, 2016, p. 180).

O uso de programas paramétricos exige que as características de cada elemento, sejam definidas de maneira mais específica, “[...] pressupondo uma importância grande do saber técnico-construtivo desde o início do processo de concepção” (TRAMONTANO, 2015, p. 546). Nesse sentido, mesmo que o uso de ferramentas de modelagem facilitem a concepção de formas simples ou complexas, Rocha e Cordeiro (2014, p. 250) ressaltam que a concepção formal da arquitetura não pode prescindir “[...] dos saberes construtivos, uma vez que a tensão entre estrutura física e estrutura visual constitui um dos problemas centrais da criação arquitetônica”.

### 3.5 Meios digitais na produção arquitetônica

Whitehead (2014) compara, por analogia, o uso dos meios digitais com a roda do oleiro, que molda a argila em formas geometricamente definidas pelo mecanismo que a impulsiona. As técnicas digitais têm efeito similar e contribuem para a investigação de diferentes materiais e métodos na relação forma e geometria.

Tomando por definição conceitos adotados por Celani e Pupo (2009, p. 3), tem-se por fabricação digital “[...] técnicas destinadas à produção de edifícios ou partes deles (*file-to-factory, metal e tube bending*). Estas, por sua vez, destinadas à produção de fôrmas ou peças finais de edifícios, com equipamentos de CNC”. E a prototipagem digital é definida por “[...] todas as técnicas de prototipagem rápida (sobreposição de camadas), corte a laser, fresas e corte com vinil, para a produção de maquetes em escalas reduzidas e protótipos em escala 1:1” (CELANI; PUPPO, 2009, p. 3),

Desde o início do século XXI, pesquisas de grupos multidisciplinares envolvidos com o cenário digital permitiram o desenvolvimento de métodos computacionais para dar precisão à geometria das formas, que expandiram o vocabulário da estética arquitetônica contemporânea, ao mesmo tempo que impulsionaram a fabricação digital (BOSIA, 2018).

Nesse contexto, a fase projetual da arquitetura e urbanismo passa por modificações que encontram na tecnologia digital o apoio para concepção auxiliada pelos recursos computacionais, que permitem simulações virtuais, e podem se estender ao campo físico de maquetes e protótipos, produzidos em equipamentos de prototipagem digital. Celani, Vaz e Pupo (2013, p. 35) afirmam que, “Com a utilização dos processos de fabricação digital, a diferenciação entre a maquete e o elemento construtivo é cada vez menor, em consequência do uso da mesma informação para a construção do modelo e da peça final”.

Saindo do ambiente virtual, os meios de prototipagem digital e digitalização 3D estão sendo incorporados ao processo de projeto. No uso dos programas de modelagem, um modelo é gerado e pode ser visualizado e testado, primeiramente, no computador e, depois enviado para uma impressora 3D ou equipamento de Controle Numérico Computadorizado (CNC) (Figura 12) ou corte a laser (Figura 13), entre outros, para ser ‘fabricado’ ou ‘prototipado’. O projetista é levado a sair do virtual para o real, intermediado pelos recursos digitais de prototipagem digital, dando novos contornos à prática tradicional do emprego de modelos para estudo do

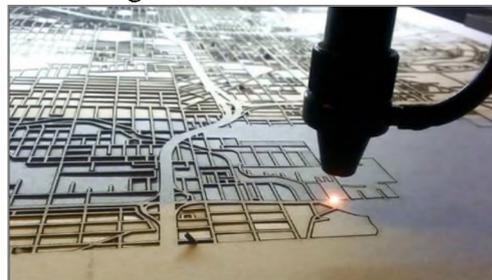
objeto arquitetônico. Assim, pode-se explorar e compreender o projeto informatizado, aplicando conceitos e conteúdos de outras naturezas.

Figura 12 - Corte em fresadora CNC.



Fonte: BRASILIA FAB LAB, 2017.

Figura 13 - Corte a laser.



Fonte: IMPRESSORA3D.NET, 2019.

Para Pottmann *et al* (2007), com formas de geometria livre, a fabricação digital e a prototipagem digital se tornaram especialmente importantes quanto à produção de modelos físicos precisos, que se originam no meio computacional.

A fabricação de protótipos e maquetes para estudos utiliza de técnicas digitais de prototipagem digital, que incluem a prototipagem rápida, corte a laser, e fresagem e roteamento com CNC, como visto em Pupo e Celani (2009)

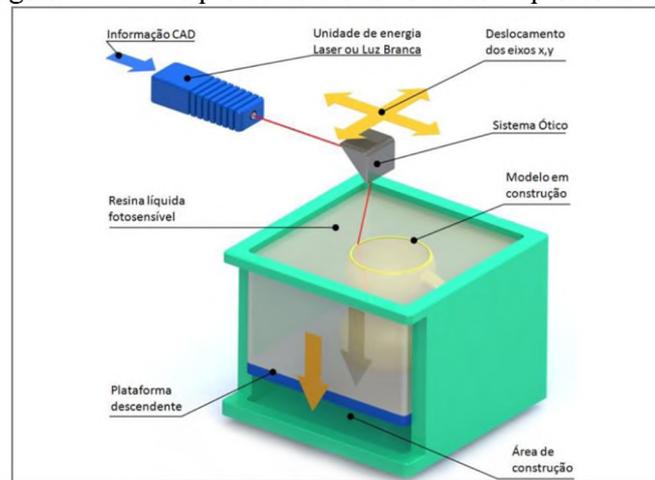
- **Prototipagem rápida**

Em arquitetura, a prototipagem rápida pode ser utilizada nas diversas etapas de projeto para validar ideias e testar componentes por meio da materialização da forma. Permite maior nível de precisão, detalhes, custo e tempo reduzidos, se comparado ao processo analógico (ANDRADE, 2016). Para Kowaltowski *et al* (2006, p. 16), “[...] A técnica de prototipagem rápida cria novas possibilidades de projeto em arquitetura e influencia o processo criativo e a atividade profissional. Adicionam-se velocidade, versatilidade e precisão à manufatura de modelos físicos [...]”. Contudo, Pupo (2009, p. 49) ressalta que por intermédio desse processo

os protótipos “[...] podem levar de 2 a 72 horas, para serem construídos, dependendo do tipo de geometria e equipamento utilizado”. Mesmo assim, se comparado aos métodos tradicionais de produção, “[...] garantem seu sucesso em termos de tempo de produção, precisão e ainda com a possibilidade de serem utilizados como protótipos” (PUPO, 2009, p. 49).

Os processos de prototipagem rápida mais comumente utilizados são aqueles que adotam o processo aditivo ou depósito de material em camadas para gerar o modelo tridimensional. De acordo com o material utilizado podem ser divididos em 4 técnicas, segundo PUPO (2009): baseados em Líquidos, Sólidos, Pó e Lâminas. No processo baseado em líquidos têm-se a Estereolitografia (Figura 14) ou SLA (*Sterolithography*) e a *PolyJet*. De acordo com Dunn (2012) a primeira técnica de prototipagem rápida disponível comercialmente, que surgiu por volta dos anos oitenta, foi a Estereolitografia, que utiliza resina de foto polímero que se solidifica com feixe de raio laser, camada por camada, a partir do modelo virtual. A técnica *Polyjet* ou impressão à jato de foto polímero é um processo que se aproxima da impressão por jato de tinta, pois é realizada por meio de cabeça de impressão que deposita o foto polímero em uma plataforma e imediatamente recebe luz ultravioleta para solidificação das camadas (PUPO, 2009).

Figura 14 – Princípio de funcionamento de Impressora SLA

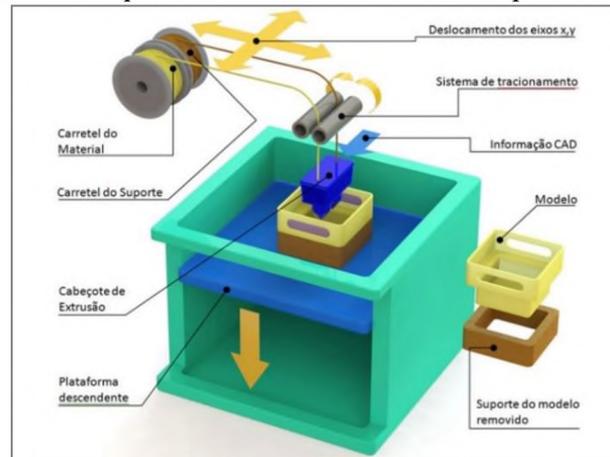


Fonte: ALDESIG, 2019.

As técnicas que utilizam materiais em estado sólido, que são derretidos no processo de prototipagem rápida, estão divididas em: modelagem por fusão e deposição ou FDM (*Fused Deposition Modeling*) e modelagem por jato de tinta ou MJM (*Multi Jet Modeling*). No FDM o protótipo é feito pelo derretimento de filamento de plástico do tipo ABS e PLA, que se resfria e solidifica imediatamente, expelido por cabeçote extrusor que se movimenta nos eixos X,Y,

enquanto a plataforma onde é depositado o material se movimenta no eixo Z (Figura 15). O MJM utiliza um processo similar, porém utiliza material termo-plástico – epóxi ou silicone, que ao ser aquecido e derretido é expelido por cabeçote que se movimenta no eixo X, e no impacto com a plataforma, que se movimenta nos eixos Y e Z, refria e endurece para formar o objeto (PUPO, 2009).

Figura 15 – Princípio de funcionamento de uma impressora 3D FDM



Fonte: ALDESIG, 2019

Materiais que podem ser transformados em pó, como por exemplo, náilon, poliamida, poliamida com micro esferas de vidro, elastômeros, cerâmica e metal (VOLPATO, 2007) são utilizados nas técnicas de Sinterização Seletiva a Laser ou SLS (*Selective Laser Sintering*), Impressão 3D ou 3DP (3D Printer), Manufatura computadorizada de materiais laminados por alta temperatura para engenharia ou CAM-LEM (*Computer Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials*) e Derretimento por feixe de elétrons ou EBM (*Electron Beam Melting*), segundo PUPO (2009).

No processo SLS o material em pó depositado numa plataforma, que se movimenta no eixo Z, é espalhado e nivelado por um cilindro e, depois, “[...] um feixe de laser, deslocado por um sistema de varredura, é então direcionado à superfície onde está o pó espalhado, cujas partículas são sinterizadas de acordo com a geometria da camada 2D da peça” (PUPO, 2009, p.74). Na prototipagem rápida o material que não foi fundido serve de estrutura para as partes em balanço ou separadas e é removido na retirada do produto.

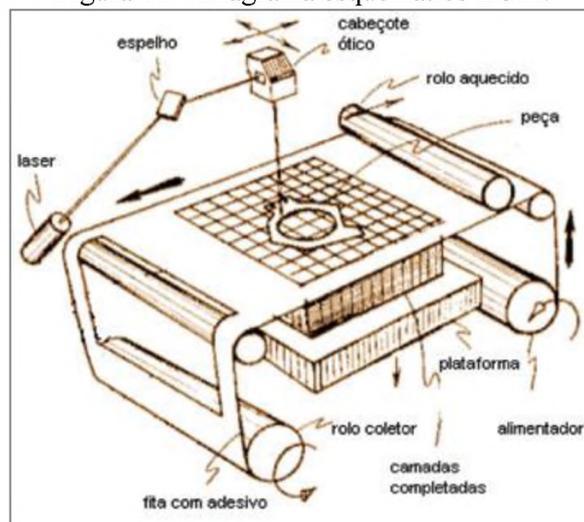
Para Dunn (2012) a impressão 3D é a técnica mais conhecida de prototipagem rápida, a qual é realizada em equipamentos com tecnologia 3DP que utiliza “[...] um cabeçote de impressão para depositar um líquido adesivo catalisador (*binder*), [...] de acordo com a geometria 2D do objeto a ser construído (PUPO, 2009, p. 77). Ao final, o protótipo permanece dentro da máquina

aquecida, por aproximadamente 60 minutos, para que a cura entre o pó e o aglutinante seja estabilizada (PUPO, 2009).

No processo CAM-LEM o pó é submetido previamente a vários tipos de aglutinadores e formar lâminas ultrafinas que são cortadas por meio de sistema laser à base de CO<sub>2</sub>. As lâminas cortadas são correspondentes ao fatiamento do modelo digital, depois de empilhadas passam pelo processo de laminação “[...] por pressão isostática a quente visando a total junção para a subsequente operação de sinterização e fusão das camadas e partículas numa estrutura monolítica [...]” (PUPO, 2009, p. 82) que é fiel à forma geométrica do modelo digital e possui comportamento estrutural. O EBM utiliza principalmente o titânio e o aço em pó, derretidos por feixe de elétrons, para gerar protótipos funcionais, de acordo com a geometria do modelo digital (PUPO, 2009).

As técnicas baseadas em lâminas utilizam papel como matéria prima e podem ser do tipo Manufatura por Objeto Laminado ou LOM (*Laminated Object Manufacturing*), Tecnologia por laminação de papel ou PLT (*Paper Lamination Technology*). O processo LOM o papel, com adesivo na face inferior, é cortado por laser infravermelho, passa por um cilindro que o aquece, para que as lâminas com a geometria da peça sejam coladas umas às outras, numa sequência contínua (Figura 16).

Figura 16 – Diagrama esquemático LOM.



Fonte: HOTZA, 2009.

No PLT o papel pode ser em rolo, que a máquina corta em folhas do tamanho adequado, ou em folhas já cortadas. Na máquina, em processo contínuo, cada folha recebe “[...] uma deposição de um pó de resina na geometria 2D equivalente àquela camada; logo depois, pela elevação da plataforma de construção, uma placa plana com sistema de aquecimento prensa o papel ativando

o adesivo na parte inferior deste” (PUPO, 2009, p.88). Depois, um sistema de facas corta o perfil da peça.

No processo de prototipagem rápida é preciso o planejamento adequado com preparação prévia do arquivo digital, posterior ao processo de modelagem virtual, que será enviado ao equipamento, de modo a atender os requisitos do tipo de técnica que melhor atenderá a produção do protótipo. De acordo com Milioli (2012, p.151):

A reprodução idêntica dos modelos CAD original, em modelos prototipados, não depende somente da interoperabilidade entre os sistemas. Nos diferentes sistemas CAD, além da configuração de resolução das superfícies curvas e complexas, depende também das características dos equipamentos de prototipagem, como a resolução de camadas, resistência do material e escala empregada.

Deste modo, observa-se no Quadro 4 algumas recomendações gerais para antes do início do processo de projeto e no Quadro 5 recomendações específicas para cada item de todo o processo de modelagem e prototipagem rápida, feitas por Milioli (2012, p.152-153).

As recomendações mostram que é necessária a geração de arquivos de exportação, em formatos que ao serem exportados para o equipamento de prototipagem rápida, devem ser interpretados pelo *software* do sistema escolhido. Existem os formatos de exportação chamados neutros, para permitir a comunicação entre os diferentes sistemas de modelagem virtual e prototipagem digital da peça (interoperabilidade). Para cortes bidimensionais o formato DXF (*Drawing Interchange Format*), da Autodesk é o mais comum e “[...] pode suportar entidades de desenho (linhas, arcos, sólidos, etc.), mas não as *NURBS* e mesmo assim é muito utilizado no intercâmbio entre diversas plataformas vetoriais” (PUPO, 2009, p. 91).

O formato STL (*Standard Triangulation Language*) é o mais utilizado e considerado arquivo padrão pela indústria de equipamentos de prototipagem rápida. Alguns problemas podem comprometer a praticidade de sua utilização. Primeiramente, por não conterem informações topológicas, podem ocorrer alguns erros de concordância entre os pontos da malha, durante a sua geração, causando defeitos e distorções na peça final. Em segundo lugar, o tamanho do arquivo modelado em CAD é bem menor que o arquivo STL gerado, dependendo do algoritmo utilizado para geração da malha (PUPO, 2009). Essas técnicas de fabricação se tornam grandes aliadas aos desafios projetuais, pois “[...] têm a visualização como grande colaboradora da compreensão espacial, bem como complemento e caminho para a confecção de modelos rapidamente prototipados” (PUPO, 2008, p. 2). Entretanto, o protótipo tem função mais ampla,

quando se objetiva a testar, avaliar processos e verificar o desempenho do objeto projetado. Quando fabricado em escala natural e submetido a vários testes permite assegurar diferentes aspectos do projeto.

Quadro 4 – Recomendações gerais para modelagem em CAD e prototipagem rápida por adição.

RECOMENDAÇÕES GERAIS	ITENS	DESCRIÇÃO
Escolha do Sistema CAD	• Geometrias Complexas	O <i>software</i> escolhido de sistema CAD deve oferecer ferramentas para modelagem de geometrias complexas, de maneira a não limitar a proposta de projeto.
	• Parametrização	Deve disponibilizar ferramentas de parametrização de elementos geométricos, pois reduzem o tempo de remodelagem manual.
	• Arquivo STL ou padrão 3DP	Deve disponibilizar o comando ou <i>plug in</i> para exportação no formato padrão STL ou compatível com impressora tridimensional escolhida.
Escolha do Sistema de Prototipagem Rápida	• Arquivo STL ou padrão CAD	O <i>software</i> de prototipagem rápida deve oferecer o comando para importação no formato padrão STL ou compatível com o <i>software</i> CAD escolhido
	• Especificações do Equipamento	Verificar o tamanho máximo em comprimento, largura e altura da base de construção do protótipo e o limite de espessura, para calcular a relação entre a escala e o menor tamanho permitido para modelar um elemento geométrico.
	• Protótipo Inteiro ou por Montagem	Prever a produção do protótipo por inteiro ou em partes separadas, o que requer cuidados específicos no encaixe e montagem (assunto não abordado neste trabalho).
Divisão de Todo o Processo em Fases	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase 1 (modelagem no sistema CAD)</li> <li>• Fase 2 (Planejamento)</li> <li>• Fase 3 (Fabricação no sistema de prototipagem rápida)</li> <li>• Fase 4 (Acabamento)</li> </ul>	Dividir e organizar o processo de prototipagem desde a modelagem para possibilitar a economia de tempo e custos.

Fonte: MILIOLI, 2012

Quadro 5– Recomendações gerais para modelagem em CAD e prototipagem rápida por adição.

RECOMENDAÇÕES ESPECÍFICAS	ITENS	DESCRIÇÃO
Fase 1 (modelagem no sistema CAD)	• Elementos Fechados ou Unidos	Construir o modelo virtual com elementos geométricos fechados ou unidos.
	• Quadrante + x, y, z	Construir o modelo virtual nos quadrantes positivos em x, y, z, do ambiente gráfico.
	• Resolução da Geometria Curva ou Complexa	Aumentar a resolução da geometria curva ou complexa, conforme a intenção de representação do modelo físico.
	• Elementos Transparentes	Optar em não representar os elementos transparentes no protótipo; caso haja intenção do protótipo todo fechado, verificar necessidade de orifício para retirada do material interno (pó).
	• Exportar STL ou padrão 3DP	Exportar o arquivo no formato STL ou compatível entre os sistemas CAD/CAM escolhidos.
Fase 2 (Planejamento)	• Importar STL ou padrão 3DP	Importar o arquivo no formato STL ou compatível entre os sistemas CAD/CAM escolhidos.
	• Interoperabilidade	Verificar se todos os elementos que formam o modelo são representados dentro do <i>software</i> da impressora tridimensional.
	• Inversão de Normais	Caso algum ou vários elementos da geometria do modelo não sejam representados, utilizar o comando para inversão de normais do sistema de prototipagem.
	• Resolução	Conferir o grau de resolução das curvas e superfícies complexas, que devem ser representadas conforme intenção proposta.
	• Correção do Modelo Virtual	Retornar à Fase 1 (modelagem no sistema CAD) para efetuar a correção da geometria e resolução do modelo.
	• Modelo Correto	O modelo deve ser representado corretamente, para poder ser configurado para prototipagem.
	• Escala	Definir a escala do modelo, conforme a unidade de desenho definida no sistema CAD.
	• Suporte	Verificar a necessidade de suporte para construção estável do protótipo.
	• Rotação e Origem	Verificar a melhor posição, rotação, ponto de origem e os afastamentos conforme necessidade no momento de retirada do protótipo do equipamento.
• Estimativa do Tempo de Fabricação	Verificar o tempo estimado para fabricação, geralmente disponibilizado pelo comando <i>print preview</i> do sistema de prototipagem rápida.	
Fase 3 (Fabricação no sistema de prototipagem rápida)	• Manual de Instruções	Seguir o manual de instrução do equipamento escolhido para produzir o protótipo rápido.
Fase 4 (Acabamento)	• Acabamento	Efetuar o acabamento do protótipo conforme recomendações do fabricante.
	• Tempo Total de Fabricação	Considerar o somatório do tempo de fabricação, com o tempo de pós-fabricação e a estimativa do tempo para acabamento final do protótipo.

Fonte: MILIOLI, 2012.

- **Corte a laser**

Muito utilizada na produção de maquetes para estudos preliminares, o uso de equipamentos de corte a laser, em alta velocidade (*High Speed Cutting*), para corte automatizado das peças em materiais como madeira, acrílico, papelão e cortiça, se inicia com desenhos bidimensionais, o que é considerado uma das facilidades do sistema. Modelos virtuais podem ser planejados e os arquivos exportados com extensões como o DXF (*AutoCAD, Rhino, CorelDraw e 3D Studio Max*), podem ser usados para o corte (PUPO; CELANI, 2009). Após o corte, as peças são montadas de acordo com o planejamento pré-estabelecido, para obter o objeto na forma tridimensional. Neste processo, Pupo e Celani (2009, p. 9) afirmam que as diretrizes básicas do projeto são:

“[...] os limites máximos do equipamento, o ajuste das potências do feixe de laser associadas ao material a ser cortado. Em outras palavras, a densidade de cada material (e sua espessura) requer uma potência de intensidade específica do feixe de laser para que ele corte ou vinque o material”.

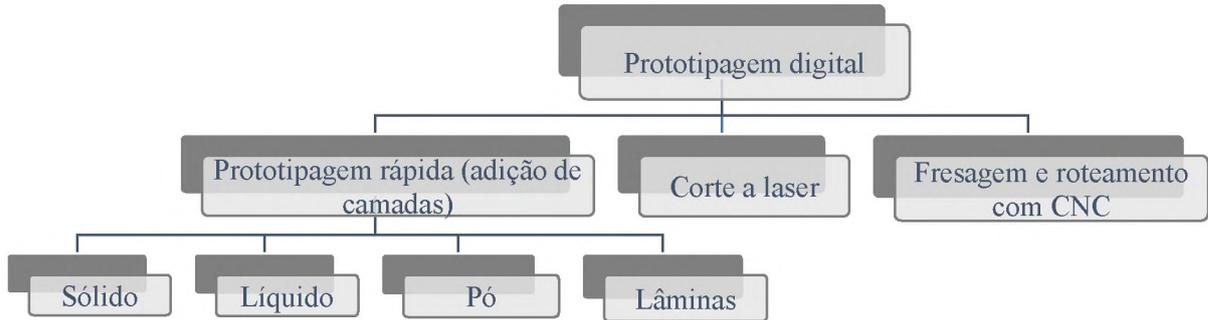
Dunn (2012) acrescenta outro ponto positivo do corte a laser, que é a alta qualidade das peças para a montagem dos modelos, como por exemplo componentes de fachadas. Geralmente, os equipamentos de corte a laser são de pequeno porte, o que limita o tamanho das peças a serem fabricadas, embora existam equipamentos utilizados para produção em escala industrial (DUNN, 2012).

- **Fresagem e roteamento com CNC**

Métodos de subtração com uso de equipamento de fresagem com máquinas CNC, equipamentos de produção automatizada, que utilizam fresas para desbastar blocos ou chapas de material na produção de protótipos para avaliação de projetos (PUPO; CELANI, 2009). De acordo com DUNN (2012) a fresagem (*milling*) e o roteamento (*routing*) são as técnicas de fabricação digital há mais tempo estabelecidas, com 40 anos de história em relação a arquitetura. São aplicadas para remover material de um volume e fabricar componentes em processo similar a esculpir, ou seja, a forma desejada surge da remoção do material. Pela alta precisão e a possibilidade de fabricação de superfícies de geometria complexa, essas técnicas podem ser utilizadas na fabricação de moldes para outros processos de fabricação (DUNN, 2012).

A Figura 17 apresenta o resumo das técnicas utilizadas na prototipagem digital.

Figura 17 – Resumo das técnicas de prototipagem digital



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

- **Prototipagem virtual**

O uso da tecnologia digital tem ampliado cada vez mais a simulação dos aspectos visuais e construtivos do produto arquitetônico. De acordo com Florio (2016, p. 166), a prototipagem virtual (PV) em AEC é “[...] uma técnica de simulação computacional que permite testar, avaliar e modificar protótipos [...] do edifício virtual que está sendo concebido”. A prototipagem virtual permite o trabalho colaborativo entre os profissionais, compartilhando e integrando em um único banco de dados as informações sobre o projeto.

Esforços estruturais, desempenho térmico, acústico e ventilação, planejamento das etapas de construção, são algumas das simulações que contribuem para uma avaliação do resultado pretendido. Flório (2016) ressalta que o protótipo virtual não substitui a necessidade de uma verificação com protótipos físicos.

- **Fabricação digital**

Nos dias atuais, os projetos também são construídos por processos digitais de fabricação, que utilizam técnicas para produtos finais, produzidos em equipamentos CNC (Figura 18), por processos denominados *file-to-factory* (do arquivo para a fábrica), quando o modelo digital 3D é enviado diretamente para o equipamento de fabricação (KOLAREVIC, 2003). De acordo com Dunn (2012), as técnicas de fabricação digital são organizadas em quatro categorias: corte, subtração, formação e adição. Essas categorias envolvem a maneira como são produzidas as peças e o número de eixos que são utilizados.

Figura 18 – Equipamento CNC



Fonte: EXAPRO, 2019.

A categoria Corte, também denominada de subtrativa bidimensional por Pupo (2016), permite a fabricação de componentes planos por meio de fresas que cortam o material a partir de uma codificação digital do tipo *G-code*. O movimento da fresa e do material é feito em dois eixos. Pode ser somente o movimento da fresa ou da base, onde o material é colocado, ou a combinação dos dois. O resultado pode ser limitado pela espessura do material que o equipamento pode cortar. Por isso existem várias tecnologias para materiais diferentes. O processo de fresagem (*milling*) pode ser usado em vários materiais inclusive metal, no entanto o processo de roteamento (*routing*) é aplicado apenas em madeira e plástico. Os equipamentos para fresagem e roteamento são: Cortadora a laser, Cortadora jato de água e Cortadora do tipo *plasma-arc* (DUNN, 2012).

As técnicas subtrativas utilizam métodos “[...] caracterizados pelo desbaste ou subtração de material até que a peça desejada seja produzida [...]” (PUPO, 2016, p. 199). Têm a vantagem do uso de vários materiais, como é o caso da madeira, MDF, acrílico e poliuretano, que podem ser utilizados na forma natural. São utilizados equipamentos que produzem peças de acordo com o movimento da cabeça de corte ou fresa. Podem gerar objetos pelos processos de perfuração, ranhuras e modelagem de materiais. A quantidade (até cinco eixos) e movimento dos eixos definem o tipo de produto final. De acordo com DUNN (2012) esse método tem alto grau de precisão pode gerar superfícies e formas de alta complexidade geométrica, além de ser capaz de fazer moldes geometricamente sofisticados e muito detalhados, elementos chave para serem usados na moldagem de outros materiais pela fabricação formativa.

A técnica formativa utiliza força mecânica para remodelar ou deformar materiais. A fabricação de peças pode ser por dobragem ou moldagem de materiais. Entre as técnicas de dobragem está a flexão de chapas metálicas (*Metal bending*), que é um processo pelo qual o metal pode ser deformado ao aplicar força ao objeto, o que faz com que se curve em ângulo, o que geralmente

resulta em uma forma em "V" ou "U" (SALAMANDER FABRICATIONS LTDA, s.d.). Há também o processo *Tube Bending*, para dobragem de tubos metálicos. O processo de moldagem (*forming*) gera peças por meio do aquecimento do material por calor e vapor, que depois do resfriamento vão gerar a forma desejada, a partir dos moldes utilizados, ou por meio da prensagem do material contra o molde, para a gerar a forma pretendida.

O processo de fabricação por adição é caracterizado pelo depósito de material orientado pela transferência de dados do modelo digital ‘fatiado’ em camadas bidimensionais. Ampliando o campo de fabricação aditiva para a construção de edifícios ou partes dele, existe o processo de *Contour crafting* (Figura 19), que utiliza a deposição por camadas de materiais como concreto ou cerâmica (SOUZA, 2016).

Figura 19 – *Contour Crafting* para construção de uma edificação.



Fonte: 3DPRINT.COM, 2019.

Na contramão dos processos que utilizam o modelo digital como instrução de operação das máquinas de fabricação, o método de escaneamento 3D ou 3-D *scanning*, se apropria da engenharia reversa para “[...] converter objetos físicos em informação digital, ou seja, replicá-los tridimensionalmente em meio virtual” (BRAIDA, 2016, p.90). Essa tecnologia permite “[...] levantamentos topográficos e de edifícios, modelagem 3D ou construção de cenários virtuais a partir de informações reais de edifícios, documentação e produção de componentes arquitetônicos para conservação de patrimônio histórico e cultural” (BRAIDA, 2016, p. 90).

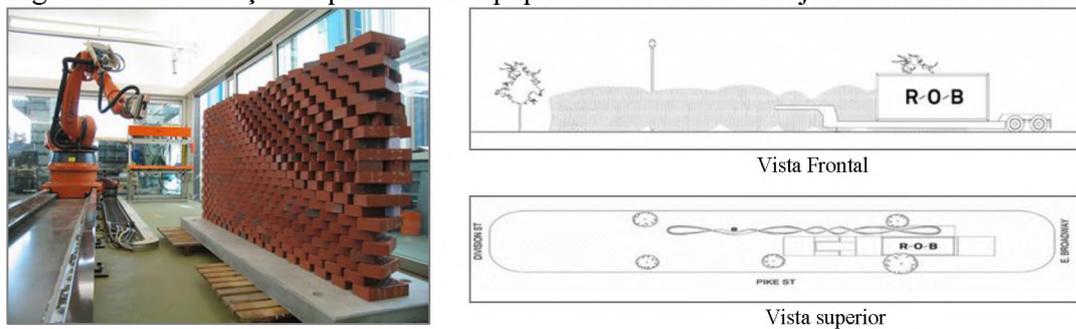
Em outra instância, a fabricação digital para objetos de grande escala, como edifícios inteiros tem sido impulsionado pela robótica. No campo disciplinar da arquitetura, a robótica tem despertado interesse “[...] pela possibilidade de exploração de outras lógicas de produção, como a personalização em série, [...] por ser uma tecnologia avançada, rigorosa, flexível e diversificada no que diz respeito às suas aplicações” (CAMPOS, 2016, p. 41). A robótica permite a implementação do processo de trabalho individualizado em substituição as

construções uniformes e repetitivas, em escala arquitetônica. “Conecta o (antigo) mundo da lógica industrial com o (novo) mundo da era da informação, tornando possível - com eficiência e precisão - conceder tecnologicamente a primazia geral da individualização” (WILLMANN; GRAMAZIO; KOHLER, 2014, p. 305 – tradução nossa).

Atualmente, a materialidade digital (*Digital Materiality*) se constitui do conjunto de tecnologias utilizadas tanto para a prototipagem rápida como para a produção final das peças na indústria, ou ainda tecnologias 3D, como os sistemas de digitalização 3D (BRAIDA, 2016). É caracterizada pela precisão e clareza do material, deslocando as diretrizes formais para as construtivas, ou seja, é um processo de projeto e construção interligados, controlado em todos os seus detalhes pelo arquiteto (WILLMANN; GRAMAZIO; KOHLER, 2014, p. 305).

Na Figura 20, pode-se observar o equipamento robótico na construção de uma parede, para a qual não foi definida a geometria da parede, mas a lógica construtiva, segundo a qual o material (tijolo) foi organizado em uma ordem temporal particular. O projeto foi desenvolvido por alunos em *workshop* de quatro semanas, realizado na ETH Zurich, em 2006, sob a orientação dos pesquisadores Gramazio e Kohler (GRAMAZIO KOHLER RESEARCH, 2006).

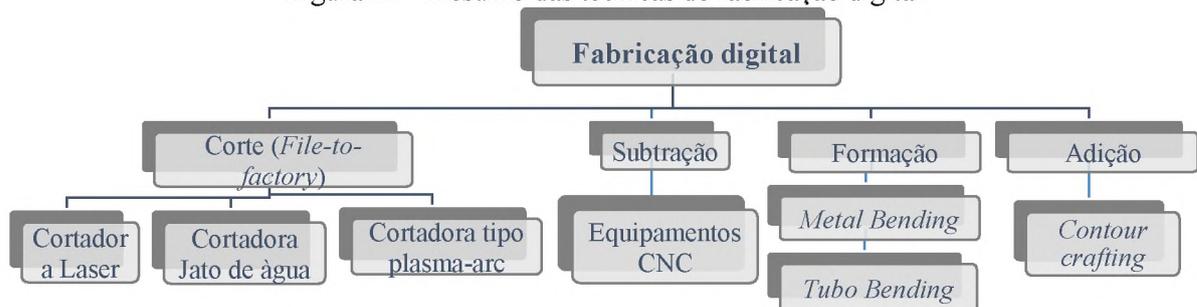
Figura 20 – Construção de parede com equipamento robótico – Projeto Gramazio Kohler Research



Fonte: DESIGNBOOM, 2009.

Na figura 21, pode-se observar o resumo das técnicas de fabricação digital.

Figura 21 – Resumo das técnicas de fabricação digital



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

A formação dos profissionais que irão atuar no mercado de arquitetura, urbanismo e afins deve estar em compasso com o desenvolvimento dos recursos tecnológicos que permitem novas abordagens conceituais e construtivas, porém sem perder a reflexão crítica do processo projetual. Entende-se, deste modo, que a integração das técnicas de modelagem virtual e de prototipagem digital ao ensino da Informática Aplicada, pode ampliar a compreensão do processo digital no desenvolvimento das etapas de projetos.

#### **4 MODELAGEM VIRTUAL E PROTOTIPAGEM DIGITAL COMO RECURSOS DE EXPERIMENTAÇÃO DA FORMA**

Considera-se que a instrumentalização é um fator que contribui para o uso efetivo dos recursos digitais no desenvolvimento de projetos. Por conseguinte, propõe-se que o aprendizado operacional das ferramentas digitais, para dar suporte à atividade de projeto, auxilia o exercício da capacidade criativa e aplicação da linguagem de representação arquitetônica em meio digital, esteja fundamentada no aspecto conceitual de métodos digitais de projeção, que incorporam a modelagem virtual e prototipagem digital como recursos de experimentação da forma, nos estágios iniciais do projeto.

A seleção de fundamentos e práticas didáticas para a estruturar os conteúdos do ensino de ferramentas digitais com a abordagem pretendida, é apresentada a partir dos conceitos que envolvem a concepção da forma arquitetônica, da relação do modelo virtual e físico no processo de projeto, e os meios de geração, manipulação da forma virtual e a materialização pelo processo de prototipagem digital.

##### **4.1 Forma e Arquitetura**

No trabalho de arquitetos e urbanistas, observa-se que formas, volumes e cores das edificações, marcam, delimitam em primeira instância, o espaço construído. Na conceituação de forma projetada e/ou materializada, no contexto da arquitetura e urbanismo, encontram-se definições a partir dos campos da geometria, da percepção, da representação, da interação homem-espaço-objeto, entre outros. Zevi (2009, p. 17) faz a colocação de que “[...] a arquitetura é como uma escultura escavada, em cujo interior o homem penetra e caminha”, delineando assim a necessidade de se observar o vazio definido pelos elementos construtivos, no qual se pode percorrer, interna e externamente, o espaço gerado pela arquitetura.

Para Mitchell (2008, p. 61), “Em arquitetura, as formas volumétricas são usadas de duas maneiras diferentes: como volumes cheios (sólidos), como elementos construtivos (colunas, vigas, etc.), ou como volumes vazios (por exemplo, cômodos ou ambientes internos)”. Considera-se, deste modo, que ao transitar por entre os espaços da edificação, a compreensão da arquitetura se dá pela experiência direta do observador, pela espacialidade vivenciada com pontos de vista peculiares e únicos do sujeito imerso a ela.

Ao criar um espaço, o arquiteto define características físicas e formais da edificação. Inevitavelmente, pode-se entender que a arquitetura é mais bem produzida, quando seu autor é

sensível aos aspectos subjetivos de sua obra. Para Munari (1998, p. 374) “[...] quando projetamos algo, precisamos nos recordar que os seres humanos têm ainda todos os sentidos, mesmo que alguns estejam já em parte atrofiados [...]”.

Wong (2001) destaca que as pessoas estão imersas no mundo tridimensional, pelo qual se pode olhar para várias direções e observar objetos de vários pontos de vista, ângulos e distâncias. Ressalta, então, que as formas construídas pelo homem devem ser analisadas sob quatro aspectos: a) o método construtivo, se manual ou com ferramentas; b) a natureza dos materiais; c) a reunião de suas partes e d) e os diferentes pontos de vista (plantas, elevações e perspectivas).

“O primeiro contato que temos com os espaços arquitetônicos é por meio de suas qualidades visuais, que podem ser traduzidas pela forma arquitetônica. Talvez isto explique porque nós arquitetos temos tanto cuidado com a forma, seja exterior ou interior da arquitetura” (MALARD; KÖLLR, 2010, p. 302). Obviamente, não somente os aspectos visuais são necessários para medir a qualidade espacial da obra arquitetônica, que pode ser determinada pela análise do conjunto de elementos que a compõe, incluindo o contexto social e cultural. Malard (2006) descreve a existência de dois tipos de espaço: o espaço vivido e o espaço geométrico. O primeiro está relacionado à vivência do espaço construído, onde as atividades acontecem, e o segundo, às relações geométricas e as propriedades físico-construtivas.

A identidade formal presente na obra de arquitetura, pode se tornar importante para ser percebida e entendida pelo usuário. Para Mahfuz (2016, p. 16), a configuração espacial “[...] é a ordem específica de cada projeto, aquela estrutura constitutiva que lhe permite ‘ser algo’, sem necessidade de ‘parecer-se a algo’”.

A intrínseca relação entre forma e arquitetura, estabelece características que devem pautar as decisões projetuais, nos aspectos sensoriais, físicos e funcionais, na intenção de proporcionar aos usuários experiências espaciais e cognitivas. Assim, ao arquiteto urbanista é exigida uma série de competências, que incluem a capacidade de idealizar o objeto arquitetônico, criando os limites e interações entre espaço interior e exterior, configurados pela forma, ou configuração volumétrica da edificação, adotando propósitos estéticos e construtivos.

O estudo da forma, de acordo com Wong (2001), tem duas abordagens complementares que se destacam entre outras: compositiva e matemática. Sob o aspecto compositivo, a definição da forma bi e tridimensional está baseada em um conjunto de elementos conceituais (ponto, linha, plano, volume), visuais (formato, tamanho, cor, textura), relacionais (direção, posição, espaço,

gravidade) e práticos (representação, significado, função). Esses conjuntos são categorizados por Wong (2001) como princípios de forma e desenho. A abordagem matemática prioriza a regularidade, numa descrição considerada mais precisa, dos princípios das relações estruturais (arranjos de formas), formatos (áreas definidas por contornos) e formas (apresentam alguma profundidade e volume). Entretanto, Cocchiarella (2006) ressalta que a abstração cognitiva torna-se ferramenta importante no arranjo de pontos, retas e planos, na concepção da forma arquitetônica.

Para Ching (2012), a composição da estrutura formal está em dispor e coordenar as partes e elementos de modo a conferir unidade ao todo. Tomando-se por base os fundamentos da Gestalt, é importante considerar que a percepção da forma resulta da interação sujeito-objeto e que é preciso haver variações no campo visual, provocadas por contrastes dos elementos que constituem os objetos (GOMES FILHO, 2009). De modo geral, o significado mais amplo do termo Gestalt refere-se a “[...] uma integração de partes em oposição à soma do ‘todo’” (GOMES FILHO, 2009, p. 18).

Considerando-se apenas os quesitos formais e representativos na gênese da criação arquitetônica, o conhecimento da geometria espacial permeia a construção da forma dos objetos, assim como o domínio das técnicas e meios de representação do pensamento, para expressão das ideias. Espera-se, então, que além de atender às solicitações programáticas e materiais, os atributos formais sejam projetados para que a experiência espacial torne-se a melhor possível, para a construção positiva do espaço vivido.

O uso da tecnologia vem transformando o modo como o arquiteto urbanista gera e faz experimentações, ao conceber a forma arquitetônica e o espaço urbano. A questão de regras compositivas já não é o foco central do processo de criação, e novos métodos de concepção e investigação estão contribuindo para a construção de metodologias que se baseiam em campos como biologia, biofísica, biomecânica, neurociências, as matemáticas complexas e cibernéticas, computação, mecatrônica, engenharia de produção, entre outros, além das abordagens filosóficas que buscam soluções holísticas para a relação homem-arquitetura-entorno, com sustentabilidade (CELANI, 2018; COUCEIRO, 2016).

Biomimética e morfogênese, por exemplo, são metodologias de concepção que estão baseadas na observação e replicação de morfologias, assim como mecanismos, processos e comportamentos provenientes de campos de estudos da biologia, a biofísica, geologia,

cristalografia. De acordo com Couceiro (2016, p. 36), a arquitetura biomimética está relacionada à “[...] investigação de materiais e dos respectivos processos de produção, manufatura ou aplicações. [...] cujos processos de produção e aplicação pretendem mimetizar algum processo biológico especialmente eficaz”. Também está relacionada à aplicação de algoritmos evolutivos ou genéticos no processo de modelagem tridimensional, com intenção de “[...] otimizar diversos aspectos compositivos do comportamento mecânico, energético, ou mesmo do tipo e quantidades de materiais de um determinado edifício ou tecido urbano” (COUCEIRO, 2016, p. 36).

Em biologia, morfogênese significa origem e desenvolvimento das formas e das estruturas de um organismo (MICHAELIS, s.d.). O entendimento dos organismos vivos como sistemas, com interações entre seus componentes, que muitas vezes envolvem formas complexas e padrões comportamentais, significa que a dinâmica, o desenvolvimento biológico e as transformações, podem ser simulados (DUNN, 2012). Deste modo, Paio (2016) explica que a morfogênese está relacionada à arquitetura no conjunto de métodos que utiliza ferramentas digitais para potencializar a geração de forma e das suas transformações. Para Dunn (2012), a chave para o princípio da morfogênese é o conceito de “emergência”. Este pode ser explicado pelas características do sistema que não podem ser identificadas, a partir dos componentes individuais, ou seja, o comportamento emergente é um tipo de auto-organização dos componentes, cuja multiplicidade de interações individuais, gera transformações na forma durante o processo.

Braida (2016) explica que a emergência está ligada ao conceito de projeto paramétrico, generativo e algorítmico, na arquitetura contemporânea. Sistemas biológicos são atrativos à arquitetura pela aplicabilidade em diferentes escalas, desde ferramentas descritivas à sistemas de construções holísticas, com fachadas integradas ou componentes feitos com nano-materiais. (DUNN, 2012).

Outra vertente desse tipo de concepção, a geometria fractal, observada na complexidade e irregularidade da natureza, pode definir formas arquitetônicas e urbanísticas. O termo fractal é oriundo no latim e significa fragmento, quebra, fração. Denominada por Mandelbrot em 1975, a geometria fractal é uma parte da ciência matemática conhecida como geometria da natureza, que não é como os geômetras clássicos construíram, ou seja, não é regular, nem tão pouco imperfeições das formas clássicas, porém há na irregularidade um padrão. Assim, acima de tudo o fractal é auto semelhante, ou seja, cada parte é semelhante ao todo (SPILKI; NAIME, 2012)

e disso decorre a característica da complexidade infinita na repetição dos padrões geométricos em escalas cada vez mais reduzidas, e a característica de dimensionalidade fracionária, na qual o grau de ocupação no espaço não é um número inteiro (POLONINI, 2014)

Sedrez (2012) esclarece que os fractais são formados por um iniciador e um gerador que sofrem aplicação sucessiva de uma mesma rotina (operações recursivas), em um processo de realimentação, ou iteração, em um número infinitos de vezes. Porém, “[...] a aplicação da geometria fractal em arquitetura não poderá ser um processo simplesmente matemático, pois existe a limitação da escala na arquitetura” (SEDREZ, 2012, p. 47). No contexto contemporâneo da arquitetura e do urbanismo, o potencial dos fractais como sistema generativo de formas é viabilizado por computadores.

Em outro sistema, o *Shape Grammar* (Gramática da Forma) “[...] consiste em um sistema de geração de formas baseado em regras, desenvolvido a partir das teorias da gramática generativa do lingüista Noam Chomsky (1956) e do sistema de produção do matemático Emil Post (1943), segundo Mendes (2018, p. 43). É um sistema que se baseia no vocabulário dos elementos (ponto, reta, plano e sólidos) e transformações (translação, divisão, rotação, reflexão e escala) Euclidianos (PAIO, 2016). Para desenvolver formas baseadas na *Shape Grammar* é necessária a definição de 4 elementos: conjunto finito de formas primitivas, bi ou tridimensionais; relações espaciais entre as formas primitivas; regras de transformação do tipo aditiva ou subtrativa; e forma inicial para dar início à aplicação das regras. Depois de definidos, “[...] tem início uma iteração, ou seja, a aplicação sucessiva de regras sobre a forma inicial selecionada, até que se obtenha a composição desejada” (CELANI et al, 2006, p. 185).

A correlação que comumente é feita entre formas fluídas e curvas com a arquitetura da era digital, na qual a precisão do processo computacional tem grande contribuição, pode ser entendida pela aplicação da topologia, que de acordo com Sperling (2008) se insere no campo da geometria não euclidiana, e entra no campo das geometria esférica (ou elíptica) e hiperbólica, e caracteriza-se “[...] pelo estudo de propriedades de figuras geométricas invariantes sob transformações topológicas (que podem ser exemplificadas por ações de encolher, esticar, deformar, etc., chamados de ‘homeomorfismos’)” (SPERLING, 2008, p.28).

O emprego da parametrização e o uso de algoritmos vem caracterizando a exploração formal por altos níveis de complexidade geométrica e concepção exclusivamente digitais. De acordo com Natividade (2012, p. 585), “[...] estes princípios parecem rejeitar qualquer noção de estilo

histórico, estruturação tipológica e morfológica. São dinâmicas, não-lineares, não-tipológicas, descontínuas, amorfas, a-históricas, de organização não-hierárquica, complexa e contínua”.

#### **4.2 Geometria na modelagem virtual de sólidos e superfícies**

A geometria está no centro do processo projetivo da arquitetura (POTTMANN *et al*, 2007) e, considerando que os métodos geométricos tradicionais tem sido limitados para a geração da complexidade formal da arquitetura contemporânea, a tecnologia computacional trouxe uma verdadeira revolução no campo da geometria arquitetônica (*Architctural Geometry*). Atualmente, *software* possuem ferramentas variadas para dar suporte às demandas projetuais. Porém, para explorá-las plenamente, Pottmann *et al* (2007) enfatizam a importância de fundamentos matemáticos da geometria para definir a forma arquitetônica.

Cocchiarella (2006) argumenta que a geometria, de modo geral, é usada como ferramenta de análise dedutiva de espaços existentes, e também possibilita a criação de modelos fortemente relacionados com a representação visual, baseada em sinapses lógicas (geometria) e imagens semióticas (desenhos).

O conhecimento geométrico usado para representar as formas dos objetos por meio de descrições matemáticas é adequado a ser codificado em uma dada linguagem de programação e, conseqüentemente, executada em ambiente computacional. De acordo com Polonini (2014, p. 98), “Isso é uma das razões que possibilitaram o surgimento da modelagem geométrica e demonstra o quão fundamental é a sua dependência em relação aos conhecimentos da Geometria”. Contudo, os recursos de modelagem geométrica disponíveis nos sistema CAD, especialmente as formas livres, podem ser utilizados de modo mais intuitivo, deixando os conceitos matemáticos implícitos à geração de formas por conta dos algoritmos do programa utilizado.

Na modelagem paramétrica, o modelo virtual é definido pelo projetista por meio de *scripts* com “[...] funções matemáticas que estabelecem relações entre diferentes geometrias e entre diferentes componentes que constituem o modelo paramétrico” (FLORIO, 2016, p. 139). No entanto, *software* como o Revit® e o Rhinoceros®, apresentam recursos de modelagem para estudos de massas, que podem ser executados sem os *plug-ins* de programação visual, como o Dynamo® e o Grasshopper®, respectivamente. Para Rocha (2011, p. 153), “O Sistema BIM pressupõe Modelo Paramétrico em sua funcionalidade, porém nem todo Modelo Paramétrico pressupõe a tecnologia BIM”.

Deste modo, o estudo virtual da forma envolve a construção de estruturas geométricas para criar modelos exploratórios, que podem ser constituídos de superfícies ou sólidos, gerados por modelagem de superfície (semelhante a uma pele) ou modelagem de sólido (volumétrico). Cardoso (2005) explica que as superfícies geométricas são geradas por linhas e, no conceito Mongeano os elementos principais são:

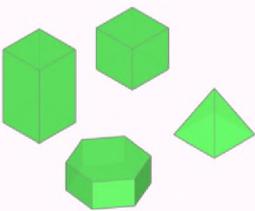
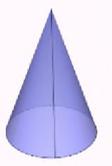
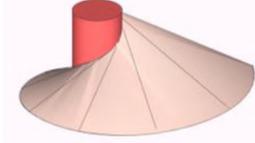
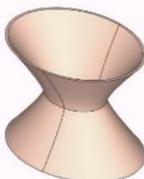
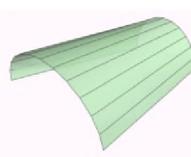
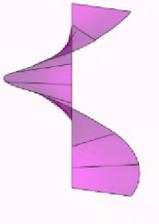
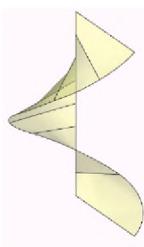
- a geratriz: linha móvel que descreve a superfície;
- lei de geração: determinação do movimento de cada forma linear, sem nada deixar de arbitrário, quanto à posição e grandeza da geratriz;
- as diretrizes: linhas ou superfícies fixas que determinam, em relação à geratriz, em cada posição, as condições peculiares da lei de geração de uma superfície. (CARDOSO, 2005, p. 44)

Com base nos conceitos Mongeanos, Cardoso (2005) resumiu as classificações de superfícies, de acordo com o processo de geração. Quando a geratriz é uma linha reta, classifica-se a superfície sendo do tipo Desenvolvível (planificável) e do tipo Reversa (não planificável). Quando a geratriz é curva, classifica-se a superfície como Curva, e pode ser do tipo Circulares em geral e Quadrática em geral. As superfícies do tipo Circulares em geral são subdivididas em Circulares de Revolução e Circulares de Circunvolução. As Quadráticas em geral são do tipo Superfícies de 1ª espécie e de 2ª espécie (POLONINI, 2014; CARDOSO, 2005). Uma mesma superfície pode ser gerada por diferentes processos e, por isso, se enquadra em mais de uma classificação, como é o caso do cone circular. Entretanto, algumas superfícies não admitem a lei de geração, como as superfícies topográfica (CARDOSO, 2005).

A classificação Mongeana de superfícies é apresentada no Quadro 6, com ilustrações de algumas superfícies. Nas superfícies curvas se destacam as geratrizes por meio de linhas cinzas.

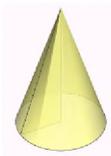
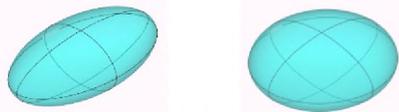
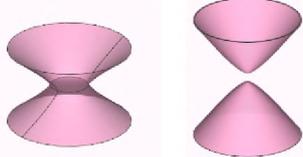
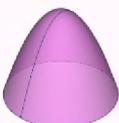
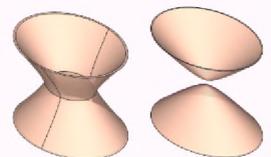
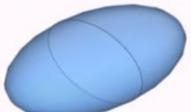
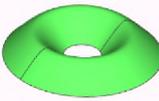
No grupo das superfícies topológicas, pode-se encontrar as superfícies *Meshes*, formadas por um grupo de pontos (vértices) organizados em faces de formato poligonal (triangular, quadrangular ou hexagonal), que se alinham pelas arestas em comum e geram uma transição suave e contínua (*Smooth*), gerando objetos de formas atenuadas ou orgânicas (POTTMANN, 2007). Na Figura 22 pode-se observar um estudo arquitetônico, que propõe uma cobertura topológica do tipo *Meshe*, modelada no SketchUp®. *Metaballs* ou *Blobs* (Figura 24) estão no grupo das polisuperfícies isomórficas, e possuem características definidas por “[...] um conjunto de forças que interagem entre si [...] que evocam um processo contínuo de transformação; [...] expressando a ação exercida pela força física, quando duas bolhas d’água se aproximam” (ROCHA, 2011, p. 146).

Quadro 6 – Classificação Mongeana de superfícies. (Continua)

<b>CLASSE DAS SUPERFÍCIES GERADAS POR RETAS</b>	
<b>Grupo das superfícies desenvolvíveis</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Superfícies poliédricas</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cônica em geral</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cilíndrica em geral</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Helicóide desenvolvível</p> </div> </div>
<b>Grupo das superfícies reversas</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Hiperbolóide escaleno de uma folha</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Parabolódes hiperbólicos</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Cilindróide</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Conoide</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Helicóide axial de plano diretor</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Helicóide axial de cone diotor</p> </div> </div>

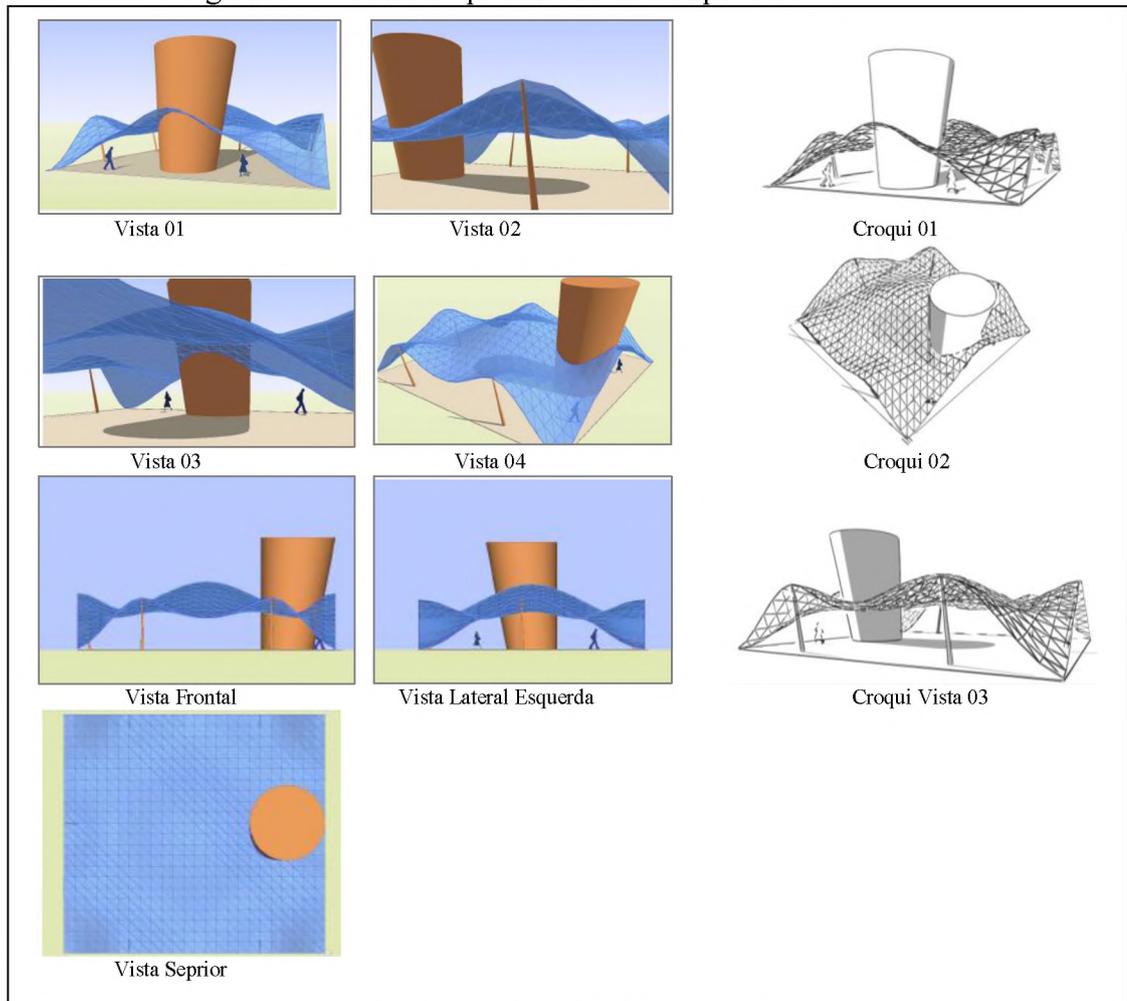
Fonte: CARDOSO, 2005; adaptado por BUERY, 2019.

Quadro 6– Classificação Mongeana de superfícies. (Término)

CLASSE DAS SUPERFÍCIES GERADAS POR CURVAS		
<b>Grupo das circulares em geral</b>	Circulares de revolução	   Cone de revolução    Cilindro de revolução    Esfera   Elipsóides de revolução Alongado e achatado    Hiperbolóides de revolução de uma e duas folhas    Parabolóide de revolução
	Circulares de Circunvolução	  Toro circular    Serpentina
	<b>Grupo das quadráticas em geral</b>	   Cone de 2ª Ordem    Parabolóide elíptico    Parabolóide elíptico    Hiperbolóides escaleno de uma folha e duas folhas    Elipsóide escaleno
	Sub-grupos de 2ª espécie	   Toro Elíptico    Toro parabólico    Toro hiperbólico

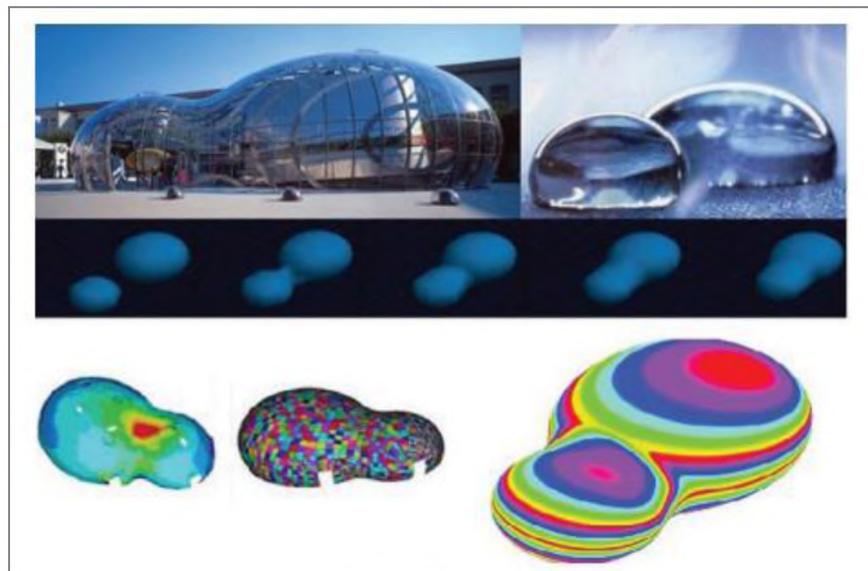
Fonte: CARDOSO, 2005; adaptado por BUERY, 2019.

Figura 22 – Estudo arquitetônico com superfície *Meshe*.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

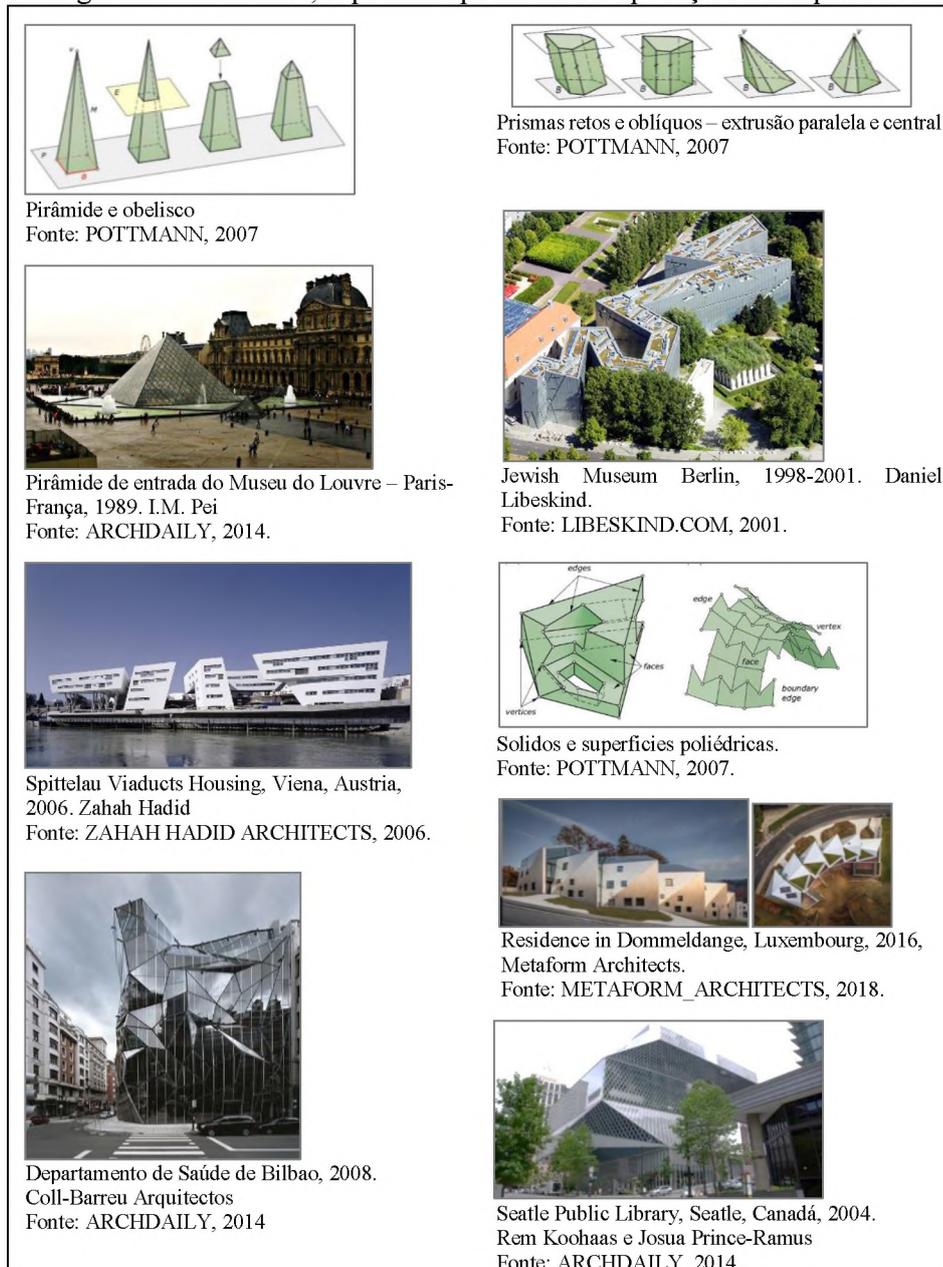
Figura 23 – *Blobs* ou *Metaballs* em projeto de Bernard Franken para o Bubble Pavilion, Frankfurt-1999.



Fonte: ROCHA, 2011.

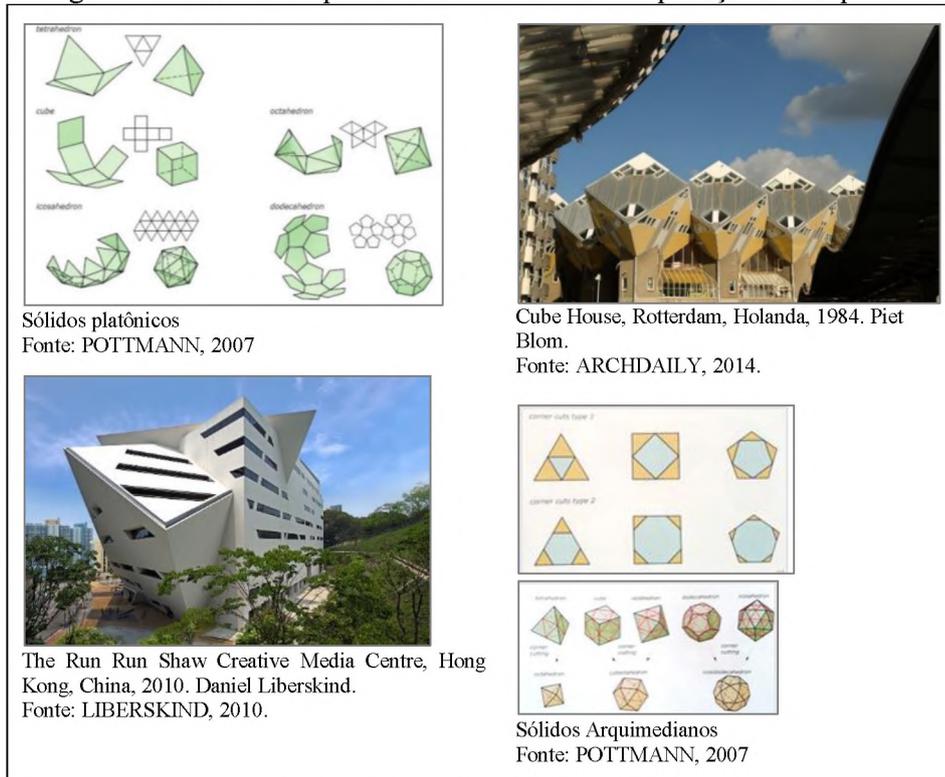
Sólidos e superfícies formados por faces poliédricas, despertam o interesse dos profissionais para geração de formas arquitetônicas, utilizando desde prismas e pirâmides (Figura 24), que são gerados por meio de extrusão (translação) paralela ou central de polígonos, sólidos Platônicos e Arquimedianos (Figura 25), com faces poligonais regulares que se unem em arestas e vértices, como também, para a construção de formas livres (POTTMANN, 2007). A esfera geodésica é uma caso particular de aplicação de superfícies planares triangulares que podem ser geradas a partir do poliedro de 20 faces ou Icosaedro (Figura 26).

Figura 24 - Poliedros, superfícies poliédricas e aplicações na arquitetura



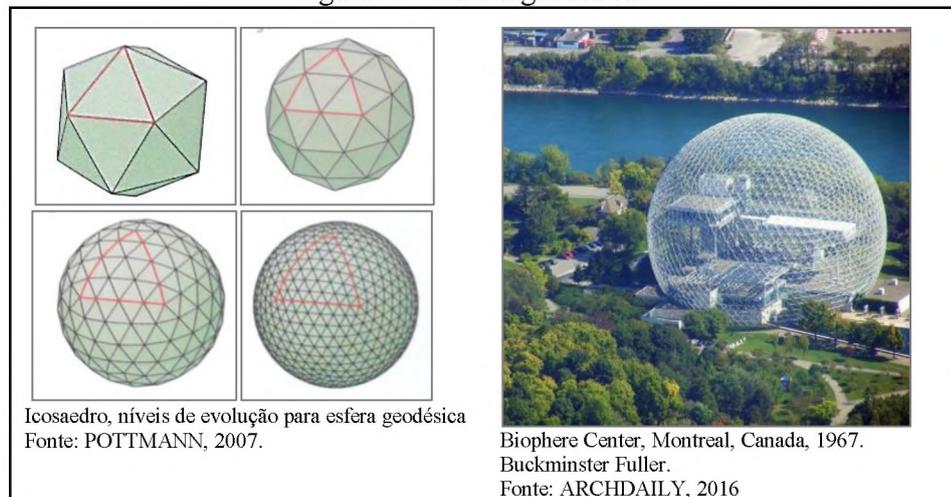
Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 25 – Sólidos Arquimedianos e Platônicos e aplicações na arquitetura



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

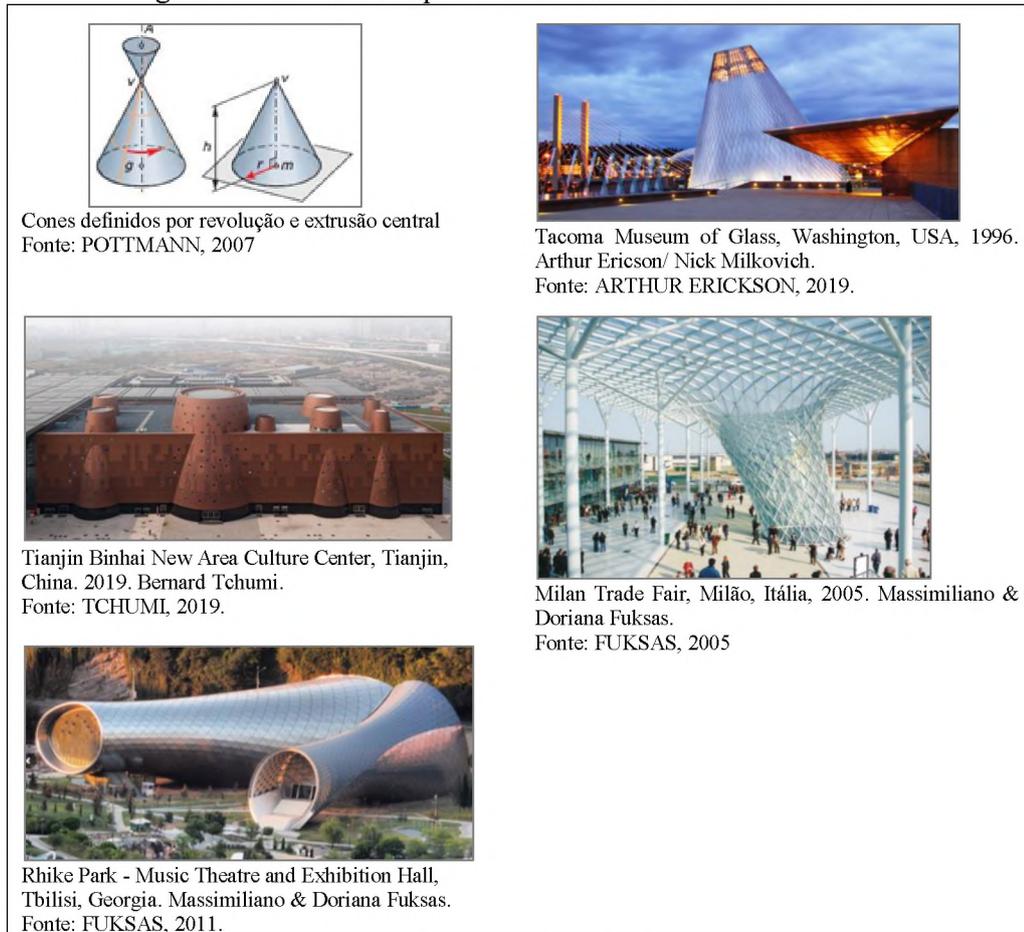
Figura 26 – Esfera geodésica



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

As formas curvilíneas que marcam os atributos geométricos da arquitetura contemporânea, se originam nas formas geradas por extrusão ou revolução de curvas, e que podem ter geometria convencional (cilindros, cones, esferas, toros, por exemplo) ou não convencional (formas livres, topológicas) (Figura 27).

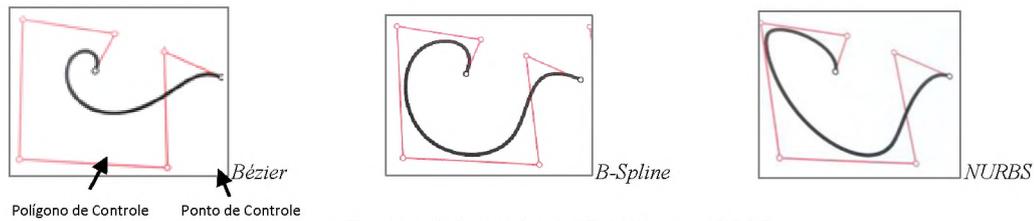
Figura 27 – Sólidos e Superfícies Curvilíneas e de forma livre.



Para Flório (2014, p. 2945), “A concepção de formas curvilíneas depende da clara adoção de princípios geométricos. Neste sentido, as superfícies regradas, com diretriz e geratriz, geradas e manipuladas parametricamente, podem ser de extrema importância para a criação de edifícios com geometria topológica”.

Curvas podem ser do tipo planares (círculos, elipses, hipérbolas, parábolas) e espaciais (hélices). Algumas curvas têm especial destaque nesse contexto, pela condição específica de possuírem um número pequeno de pontos de controle conectados a um polígono de controle (POTTMANN, 2007). São denominadas Curvas de forma livre ou orgânicas (*Freeforms*). Nesta categoria estão as curvas Bézier, as curvas *B-spline* e as curvas Nonuniform rational *B-spline* (*NURBs*) (Figura 28), as quais são utilizadas para construir curvas livres complexas, planares e espaciais, inclusive todos os tipos de seções cônicas (POTTMANN, 2007).

Figura 28 – Curvas Bézier, *B-spline* e *Nonuniform rational B-spline (NURBS)*



Fonte: Adaptado de Pottmann, 2007.

Em *software* CAD, algoritmos geométricos permitem que curvas suaves derivem automaticamente dos pontos de controle. O polígono de controle é utilizado para modificar a forma da curva a ele associada.

As curvas Bézier se mantêm internas ao polígono formado por seus pontos de controle. O polígono tem a função de estabelecer a forma inicial da curva e fornecer a estrutura para alterá-la. Não admitem muitos pontos de controle, e por isso podem ser compostas em uma sequência de trechos. Como o controle dos pontos é global, “[...] a mudança de posição de qualquer ponto de controle produz mudança de forma ao longo da curva. Esse tipo de controle pode ser uma característica negativa para um usuário que deseja fazer ajustes finos na forma final do modelo” (POLONINI, 2014, p. 107). Quando os pontos de extremidade da curva são coincidentes a curva é fechada.

As curvas *B-spline* e *NURBS* são versões da curva *spline*, que de acordo com Cardoso (2005, p. 72):

[...] é uma curva representada por equações, sendo precisa e compacta no seu armazenamento. Possui uma função bem definida que permite o cálculo (exato) de pontos intermediários e de propriedades da curva como inclinação (tangente) e curvatura. Para construir uma *spline* escolhe-se um ponto inicial [P1] e outro final [P2] que definem uma reta. Em seguida são definidos pontos fora da reta, e são definidos os pesos, também chamados de pontos de controle, que transformam a reta em curva. A expressão matemática que descreve essa curvatura impõe condições, onde alterações de posição em qualquer um dos pontos de controle provoca mudanças apenas nos pontos vizinhos mais próximos.

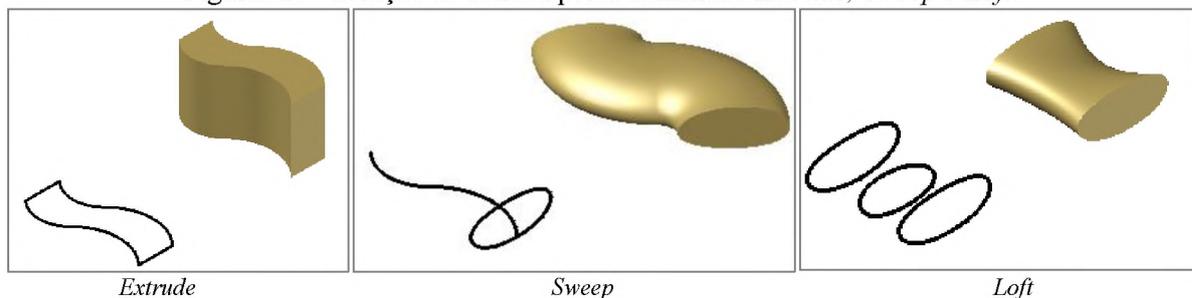
As *B-spline*, cujo nome é a abreviação de *Basis spline*, são compostas “[...] de curvas Bézier, que funcionam como seus segmentos. Sendo que o ponto final de um segmento é o ponto inicial para segmento subsequente, e seu encontro é chamado de nó” (POLONINI, 2014, p. 110). A *B-spline* supera as curvas Bézier, quanto aos tipos de elementos de manipulação da sua forma: o conjunto de pontos de controle, o conjunto de nós e o grau de curva, pois apresenta controle de manipulação local, sem alterar a curva de maneira global.

As *NURBS* são generalizações das curvas *B-spline*, com vetores de nós não-uniformes, mas que podem também ser uniformes, e além dos pontos de controle e nó da *B-spline*, acrescenta um elemento, o peso (*weight*), na manipulação da sua forma. De acordo com Polonini (2014, p. 112) “Esse elemento é um valor atribuído a cada ponto de controle que atua como uma espécie de força magnética que atrai ou repele uma determinada porção da curva em relação a esse ponto de controle”. A forma racional das *NURBS* permite utilizar das características da geometria projetiva, como as projeções ortogonais e perspectivas diretamente, “[...] propriedade de vital importância para as visualizações dos modelos pelo monitor de vídeo, que são projeções (PALONINI, 2014, p.112).

### 4.3 Transformações e deformações do modelo virtual

Modelos virtuais, tanto para fins de estudos volumétricos, quanto para construção de elementos arquitetônicos, com formas convencionais ou não-convencionais, são gerados a partir do uso de ferramentas que auxiliam na modelagem e manipulação de sólidos e superfícies. Em geral, nos sistemas CAD, a modelagem das primitivas geométricas (prismas, pirâmides, cilindros, cones, esferas, cunha e toros) podem ser obtidas por “[...] uma coleção de formas pré-construídas (meta-modelos), que possuem poucos parâmetros de configuração formal, como altura, largura e comprimento” (POLONNI, 2014, p.115). Há também ferramentas que geram formas por meio de extrusão paralela (*Extrude*), por varredura (*Sweep*) ou por seções transversais (*Loft*) (Figura 29), a partir de formatos poligonais (regulares ou irregulares) e curvos, planares ou espaciais. Quando geradas por bases poligonais abertas, geram superfícies, quando fechadas geram sólidos. Existem ferramentas de transformação de sólidos em superfícies ou vice-versa, superfícies em sólidos.

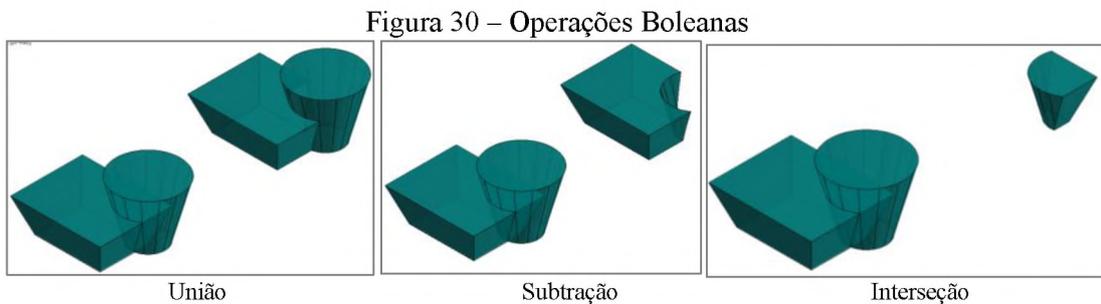
Figuras 29- Geração de sólidos pelos comandos *Extrude*, *Sweep* e *Loft*.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Na busca por soluções formais para o projeto, a manipulação de elementos geométricos faz emergir opções para observação e análise do projetista. Utilizando a modelagem geométrica,

os sólidos podem ser modificados por operações Booleanas de União (*Union*), Subtração (*Subtract*), e Interseção (*Intersect*). A união de dois ou mais sólidos resulta em uma única entidade. Na subtração, o segundo sólido a ser selecionado é eliminado juntamente com a parte de interseção entre os sólidos. Na interseção, o resultado é a parte que pertence aos dois sólidos (Figura 30). Nos *software* AutoCad, SketchUp e Revit, por exemplo, existem comandos específicos para as operações Booleanas. Porém, no *software* Revit, as subtrações são realizadas pela geração de volumes vazios nos volumes modelados previamente. É necessário o desenho da geometria do vazio na face do volume existente para aplicar o comando ‘Criar Forma Vazia’. No AutoCad, a subtração de massa interna de um sólido, pode ser realizada pelo comando *Shell* (concha), especificando-se uma dimensão para as ‘paredes’ do novo objeto.

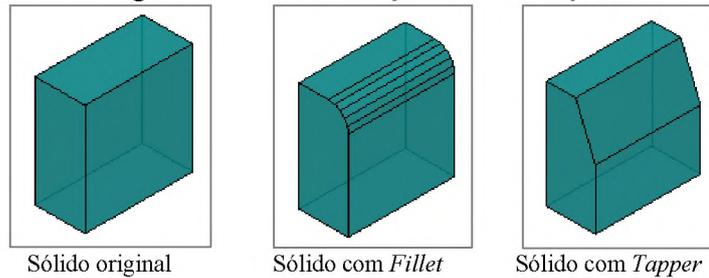


Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Superfícies são manipuladas pelos processos de aparar (*Trim*) e dividir (*Split*). Duas ou mais superfícies que se interceptam podem ser aparadas (cortadas) nas partes que excedem a forma desejada ou serem divididas pelas interseções. A divisão também pode gerar vazios correspondentes às áreas de interseção, na superfície que permanecer no processo de divisão. Dependendo do programa utilizado, esses procedimentos podem ter alterações ou acréscimos de funções.

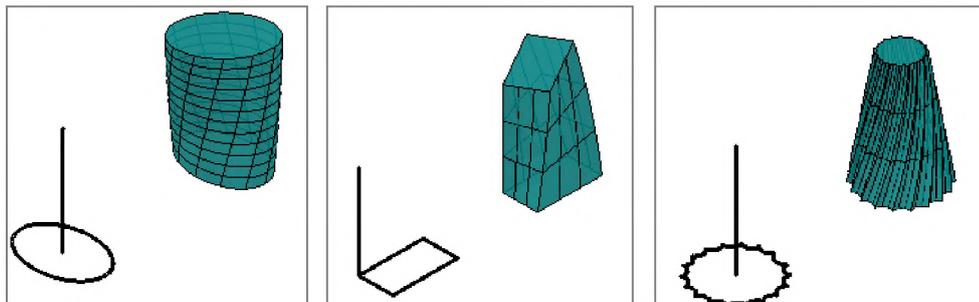
Outras transformações não-lineares (deformações) geram alterações com acréscimo ou redução volumétrica. Um exemplo desse tipo de transformação é o *Taper* (afunilar/escalar), que a partir de uma face ou mais faces de referência e um ângulo, inclinam a(s) face(s) selecionada(s), aumentando ou reduzindo o volume do objeto. Outros recursos são o *Fillet* (arredondar) e o *Chamfer* (chanfrar), que são aplicados em sólidos ou superfícies, selecionando-se a aresta entre as faces que se quer produzir um arredondamento ou um chanfro (Figura 31).

Figura 31 – Transformações e deformações



Fonte: elaborado pela autora, 2019

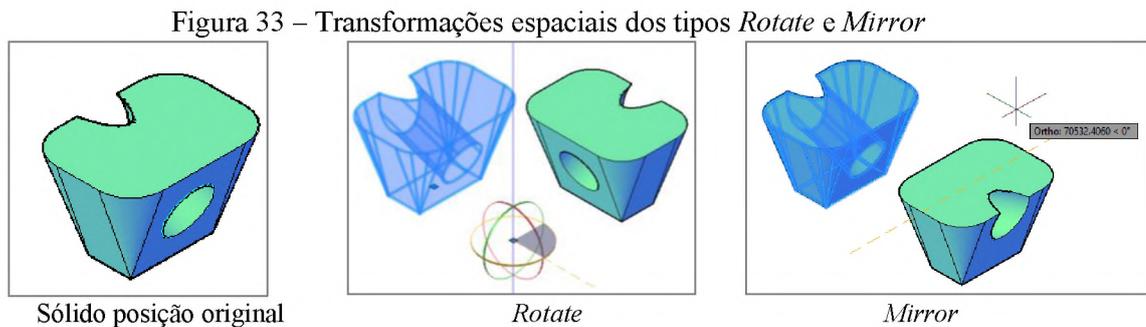
Há deformações que alteram a geometria da forma, porém mantêm a massa do volume constante. Um exemplo desse tipo de deformação é o *Twist* (torcer). A base do objeto se mantém em posição fixa, enquanto todo o volume sofre uma rotação ao redor do eixo central, perpendicular à base (Figura 32). Na modelagem geométrica, essa deformação pode ser criada no momento de geração da forma ou ser aplicada depois. No AutoCad, a modelagem de sólidos ou superfícies com uso do comando *Sweep* (varredura), apresenta as opções *Twist e Scale*, que produzem objetos ‘torcidos’ ou ‘afunilados’. No *software* Sketchup, o *Twist* é realizado depois da geração do volume, aplicando-se o comando *Rotate* (Rotacionar) em uma face de referência. Do mesmo modo, no Revit aplica-se o comando *Rotate* em uma das faces do volume gerado para estudo de massa.

Figura 32– Deformação por *Twist e Twist com Scale*.

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Em alguns tipos de *software*, a modelagem geométrica gera formas que apresentam pontos (vértices) de manipulação na própria geometria original, quando selecionados. No AutoCad, por exemplo, são os *Grips* de edição que possibilitam ações como esticar ou reduzir (*Stretch*), mover (*Move*), inclinar uma face, sem acionar os comandos próprios dessas ações. No entanto, os *Grips* desaparecem dos objetos, depois de editados por outros processos, como as operações Booleanas. No *software* Revit®, a seleção de arestas ativa dimensões dinâmicas que podem ser alteradas, modificando o volume existente.

Transformações podem ser também do tipo espaciais, que auxiliam na manobra de sólidos e superfícies, para reposicioná-los no espaço. São movimentos gerados por translação (*Move*), rotação (*Rotate*) e espelhamento (*Mirror*) (Figura 33). Podem ser realizadas em movimentos bidimensionais e tridimensionais, e “[...] todas as propriedades métricas do elemento, como dimensões, ângulo, área, volume, e assim por diante, são invariantes (POLONINI, 2011, p.120).



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

As deformações geométricas têm dinâmicas próprias, quando aplicadas em sólidos e superfícies de formas livres, pois são manipulados pelos pontos de controle das curvas que lhe dão origem, de modo interativo, acrescentando ou reduzindo aspectos dimensionais e volumétricos.

urante a experimentação virtual da forma, com transformações e deformações, é necessário analisar os resultados obtidos, e verificar a validade das ações para a qualidade do futuro espaço edificado. Os programas computacionais possuem ferramentas que ampliam a capacidade de análise do projetista nos aspectos visuais, dimensionais, materiais, relacionais, entre outros.

#### 4.4 Visualização e avaliação do modelo virtual

Para arquitetos e urbanistas, a antecipação do objeto arquitetônico a ser construído sempre foi um desafio que implica em representar fielmente o que se pretende para o espaço projetado. Mallard e Köllr (2010, p. 302) acreditam que a imersão no espaço virtual pode trazer “uma percepção mais abrangente do objeto projetado, comparativamente ao contato com desenhos e modelos tradicionais”. A visualização do objeto virtual pode ser feita de vários pontos de vista. As tradicionais vistas ortogonais, assim como perspectivas isométricas e cônicas, ampliam a capacidade de observação do modelo virtual. As modelagens virtuais podem ser realizadas a partir de um ponto de vista isométrico, e ao longo do trabalho, pode-se definir outras visadas, tanto para observar, como para gerar outras partes do objeto.

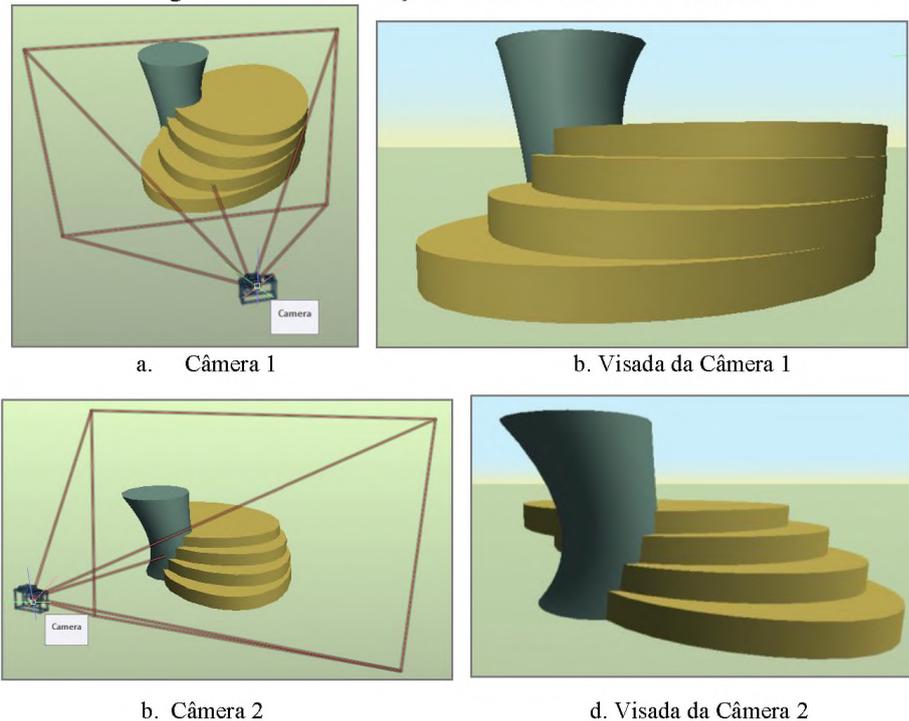
Quando o projetista é capaz de definir ponto de vista e distância do observador, em relação aos objeto, amparado pelos fundamentos da perspectiva, visando ao posicionamento real do observador no futuro espaço edificado, seja interno ou externo, pode-se fazer análises visuais que auxiliam nas soluções de projeto. De acordo com Fernandes (2014), o ponto de vista é a essencial para a análise do objeto, assim “É fundamental que o autor da perspectiva saiba avaliar, e que decisões tomar quanto ao posicionamento do ponto de vista, aquele olhar que melhor represente o objeto arquitetônico, de modo a atingir as metas preestabelecidas para aquele trabalho” (FERNANDES, 2014, p. 149).

Essas visualizações podem ser estáticas ou dinâmicas, com simulação do usuário percorrendo o espaço. Para Florio e Tagliari (2016, p. 66), o registro do espaço projetado em animação computadorizada “[...] permite simular o deslocamento de um observador virtual em uma trajetória preestabelecida, de modo que a sequência de imagens apresentada ofereça noções sobre algumas características e propriedades físicas aproximadas do espaço simulado”.

*Software* como o AutoCad, o Revit e o SketchUp, possuem ferramentas geram vistas ortogonais ou em perspectivas, automaticamente, ativando comandos específicos com o posicionamento pré-estabelecido do observador para essas visualizações. No caso da perspectiva cônica, o projetista posiciona o observador por meio de comandos que funcionam como ‘cameras’ para definição de pontos de vistas (posição do observador = posição da câmera = distância do objeto e altura da linha de horizonte), ângulo de abertura do cone visual e o eixo principal de visão (Figura 34 a-d). Do mesmo modo, as animações são produzidas por ‘câmeras’ que percorrem ‘caminhos’ definidos por linhas. No entanto, a movimentação do ‘observador’ em torno do objeto, pode também ser controlada pelo *scroll* do *mouse* mais a tecla *Control*.

As opções de estilos visuais para a exploração do modelo são variadas e mostram desde a estrutura geométrica do modelo (*Wireframe*), até texturas realísticas aplicadas ao objeto (*Realistic*). As simulações quanto à forma volumétrica da edificação, acrescidas de registro da incidência da luz natural (solar/dia) ou artificial (luminárias/noite), favorecem o entendimento dos efeitos visuais da geometria do espaço edificado, assim como possíveis resultados em relação aos conforto lumínico. Recursos de localização geográfica, data e horário, e produção de sombras, se ativados, produzem efeitos realísticos, que durante os estudos da forma provocam reflexões a respeito das soluções propostas para a edificação e seu entorno.

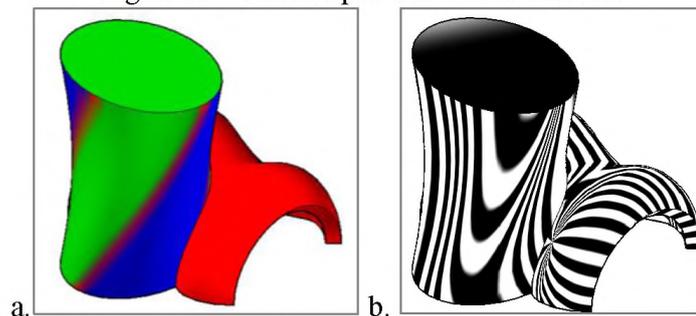
Figura 34 – Visualizações com câmeras no AutoCad®



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Em programas do sistema BIM, além dos aspectos visuais, das simulações podem ser extraídos dados quantitativos quanto aos fatores de performance do edifício. Em geral, os programas CAD apresentam também ferramentas de análise, que verificam a continuidade (*Analysis Zebra*), a curvatura (*Analysis Curvature*) e os ângulos de inclinação (*Analysis Draft*) das superfícies (Figura 35 a e b)

Figura 35 – Análise por Curvaturas e Zebra.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Programas CAD possuem recursos básicos para essas simulações, que atendem aos estudos preliminares e, até mesmo na produção de modelos virtuais de apresentação, com níveis médios de qualidade da imagem/animação. No entanto, existem *software* específicos para renderização e produção de imagens realistas e animações. Como esse tipo de produto é obtido por um

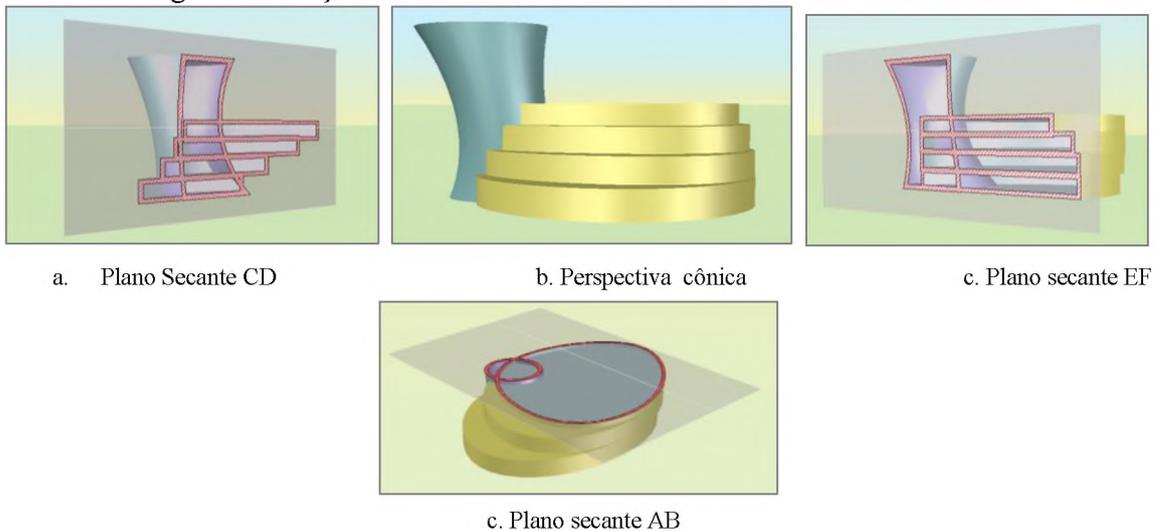
processo demorado, que envolve uma série de operações, independentemente do *software* utilizado, deve-se utilizá-lo na parte final do processo de projeto.

A atividade de exploração da forma se completa com os estudo de seções, horizontais, verticais, auxiliares. Para Lewis, Tsurumaki e Lewis (2016), as seções de uma edificação revelam simultaneamente “[...] o espaço interior, o material, membrana, ou parede que separa o interior do exterior, mostrando objetos que não são usualmente vistos. [...] combinando - exame e exploração de estrutura e ornamento, invólucro e interior” (LEWIS; TSURUMAKI; LEWIS, 2016, p.6-7).

Seções ortogonais e auxiliares são obtidas por ferramenta específica para a investigação dos objetos – no AutoCad® *Section Plane* (plano secantes), que geram planos de corte dinâmicos, e podem gerar desenhos bidimensionais que representam as seções do modelo virtual (Figura 36 a-d).

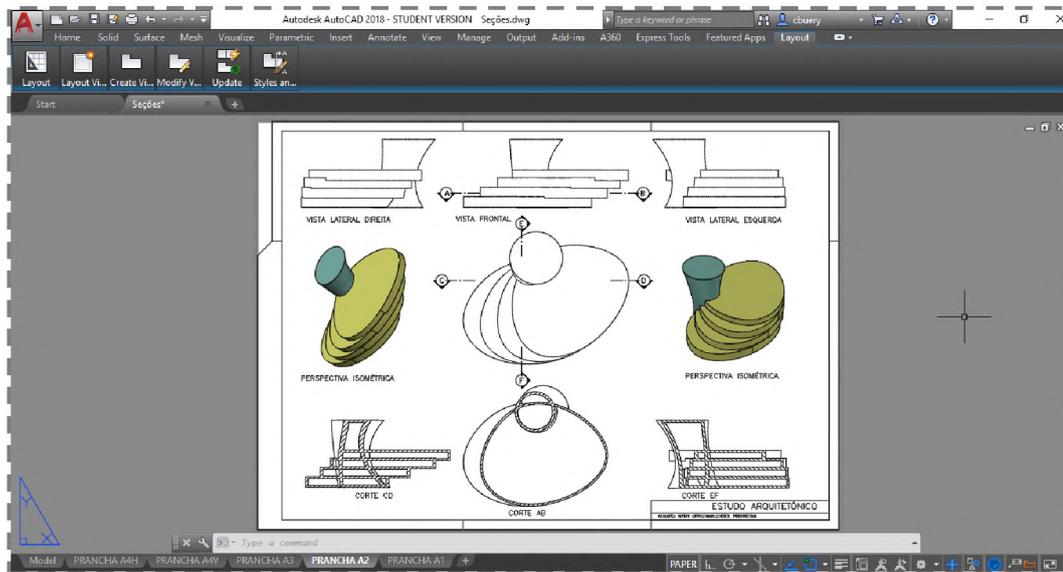
Na modelagem virtual de formas com geometria convencional e, principalmente, aquelas de geometria não-convencional, o estudo das seções são imprescindíveis para que o projetista analise os espaços internos e externos, volumes cheios e vazios, aos quais se refere Mitchel (2008). As seções mostram as interações espaciais da forma, a interseção entre proporção e escala, da estrutura e materialidade, que compreendem a lógica tectônica da arquitetura (LEWIS; TSURUMAKI; LEWIS, 2016). Em programas como o AutoCad® e o Revit®, vistas ortogonais, perspectivas isométricas e seções podem ser geradas automaticamente, também em *Viewports* (Figura 37),

Figura 36 – Seções realizadas com o comando *Section Plane* - AutoCad®



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 37 – Vistas ortogonais, perspectivas isométricas e seções geradas automaticamente em *Viewports*.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

#### 4.5 Modelagem Física

Modelos dos tipos físico (maquetes e protótipos) e virtual (digital) contribuem para explicitar a intenção do projetista, assim como verificar a viabilidade do projeto. Os modelos físicos, de acordo com Segall (2007, s.p.),

[...] são representações tridimensionais reais, em escala exata ou aproximada, com características diversas. São utilizados quando da necessidade da realização física no espaço, de algum conceito surgido da elaboração intelectual, passível de alteração e com o fim essencial de estudo, auto-esclarecimento ou comunicação com terceiros (em sentido construtivo, não transmissão vulgar de ideias).

O modelo físico assume o caráter investigativo, mesmo quando feito com materiais diversos, sem a preocupação de acabamento, expressando a forma em construção, numa síntese visual, que tem a função de comunicar, expressar e representar a ideia, mesmo que de modo introdutório (SEGALL, 2007). Nos últimos anos, de acordo com Florio, Segall e Araújo (2007, p.2), a atividade profissional do arquiteto urbanista tem sido transformada “[...] em um híbrido de processos analógico e digital, onde as habilidades e conhecimentos sobre artefatos produzidos manualmente, e aqueles produzidos computacionalmente, têm sido mesclados”.

Como visto no capítulo dois, atualmente, as técnicas de prototipagem digital tornam possível a investigação projetual por meio de modelos físicos, cada vez mais precisos e com altos níveis de acabamento. Modelagem, tanto física como virtual, requer:

[...] metodologia, planejamento e habilidade técnica tanto nas escolhas de suas características e componentes sensoriais. Afinal, cada característica física ou mecânica de qualquer material causa um efeito. E uma mesma ideia pode ser expressa ou representada de várias maneiras ou em partes, e sua expressão ou representação mais apropriada sempre irá depender dos aspectos que se deseja destacar dela” (SEGALL, 2007, s.p.)

A modelagem virtual favorece em muito, a análise do modelo em níveis visuais e mesmo de performance, com a prototipagem virtual. Porém, a contribuição dos modelos físicos pode ser decisória e a prototipagem digital, que permite fabricar objetos físicos tridimensionais a partir de arquivos digitais, reforça essa importância. De acordo com Celani e Bertho (2007), as vantagens da prototipagem rápida, por exemplo, são: alta precisão, inclusive em detalhamentos de pequena escala; produção ilimitada de peças iguais em formato e tamanho; produção de curvas planas, até mesmo as feitas à mão livre, diminuição do trabalho com acabamento; economia de tempo em relação às produções manuais.

A prototipagem rápida de modelos, em escala reduzida, para fins de estudos volumétricos, especialmente no início do processo de projeto, deve seguir estratégias de execução que incluem quatro etapas: a modelagem virtual; o planejamento da impressão 3D; a fabricação e o acabamento (PUPO, 2009; MILIOLI, 2012).

Após a modelagem virtual e preparação do arquivo STL para exportação, o planejamento da impressão, que demanda a escolha de equipamentos e materiais para a realização do processo, pode ser feito pelo *software* do equipamento de prototipagem rápida a ser utilizado ou outros. De acordo com Pupo (2009, p. 73),

Nessa etapa, o *software* tem a função de: (1) verificar a integridade do arquivo STL enviado, (2) definir os suportes para peças em balanço (no caso do processo FDM), (3) definir parâmetros como escala, tempo de execução, posição e orientação do objeto e (4) “fatiar” o objeto em camadas para que possa ser enviado à fase seguinte, a de fabricação. Cada sistema procede de sua maneira específica para solidificar o objeto, camada a camada.

Dunn (2012, p. 119 – tradução nossa) ressalta que é importante que o projetista tenha consciência de que “[...] o arquivo digital é o arquivo de fabricação, então, para obter o máximo proveito da prototipagem é necessário que o projetista tenha uma compreensão holística da geometria, das técnicas de fabricação e propriedades dos materiais”<sup>4</sup>. Nesse processo, pode-se

---

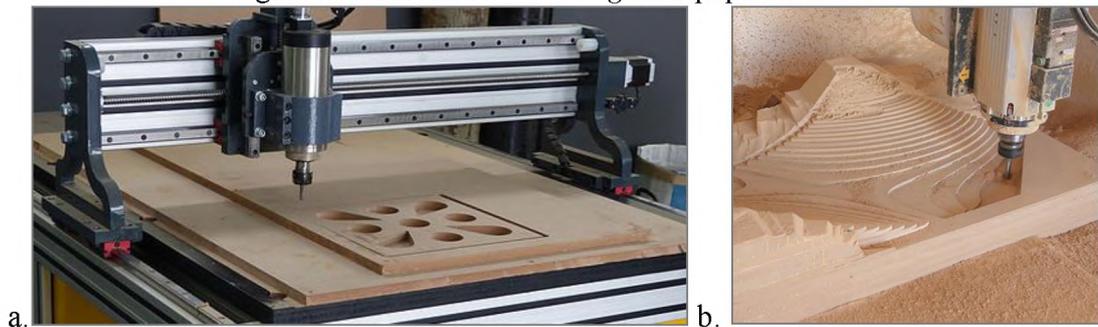
<sup>4</sup> “[...] the design data is the construction data, so to achieve the most from these techniques it is important for designers to embrace a holistic understanding of the geometry, fabrication techniques, and material properties”.

dizer que não há neutralidade do meio digital no resultado do modelo físico. Então, o modelo virtual assume pelo menos duas funções – experimentação virtual de geometrias formais, a partir da opção metodológica definida pelo projetista, e antecipar, construtivamente, o objeto projetado, fornecendo dados para a confecção do modelo físico, na prototipagem digital ou na fabricação digital, considerando as escala dimensionais de produção.

O aspecto da experimentação é reforçado no modelo virtual, quando a modelagem é concebida como massa volumétrica que vai assumindo formas geométricas, a partir dos recursos digitais já explicitados. Durante esse processo, a reflexão sobre como construir, tornar exequível, o modelo que se transformará em um objeto arquitetônico real, pode ir sendo testado e definido também pelos recursos digitais de prototipagem digital. Nesse caminho, a construção do modelo físico é categorizado por Dunn (2012), em cinco processos de acordo com o ferramental utilizado:

- *Contouring* (contornos): similar ao processo manual de entalhamento, cria relevos e depressões em superfícies planas (Figura 38 a e b), como chapas de madeira e espumas, tipicamente utilizados, admitindo também rocha e metais. Realizada em equipamentos CNC, é um técnica subtrativa que gera resíduos em maior ou menor quantidade, dependendo do nível de detalhes do projeto.

Figura 38 – Processo *Contouring* em equipamento CNC



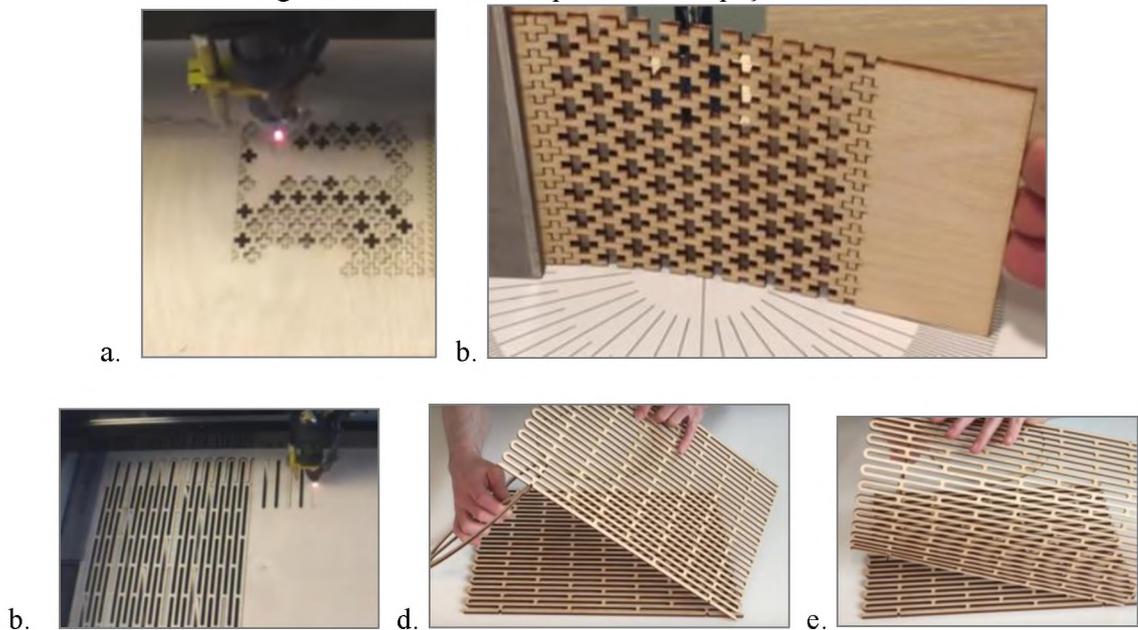
a. Fonte: MACHCNC.NET, 2019

b. Fonte: COUTERCNC, 2019

- *Folding* (dobragem): baseado em dobras de materiais planos, esse processo pode aumentar efetivamente a extensão autoportante e a rigidez material, o potencial para definir a geometria estruturante do objeto caracterizado pela continuidade e fluidez de espaços, superfícies e formas. É realizado por máquinas de corte – laser, jato d'água e plasma, porém com mais vantagens em máquinas de corte à laser, pois é possível somente marcar a placa ao invés de cortá-la efetivamente, facilitando o processo de dobra do material (Figura 39 a-e), enquanto outros processos criam furos ao longo da

linha de corte. O material utilizado deve ter flexibilidade e espessura compatíveis com o processo de dobra, vinco, por isso os materiais mais utilizados são placas finas de papel, plástico e metal.

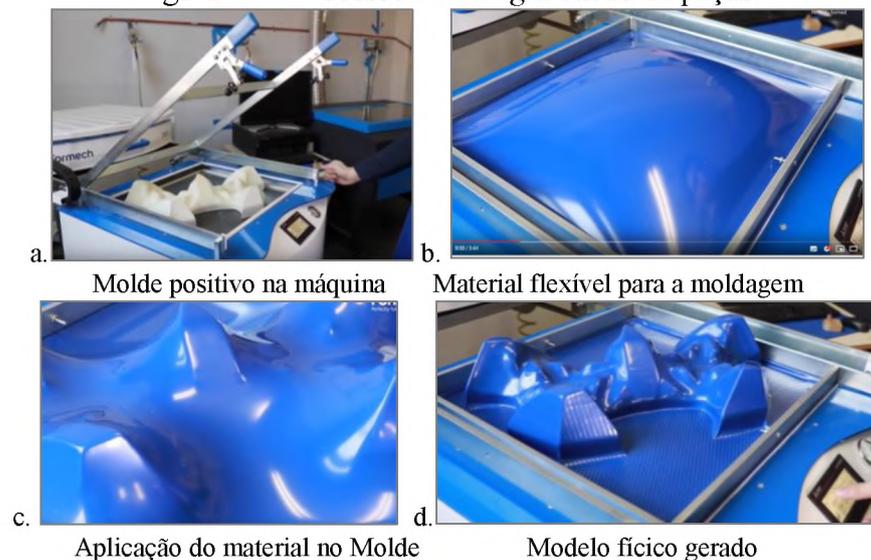
Figura 39 – Corte a laser para dobra da peça em MDF.



Fonte: THEKIDSHOULDSSEETHIS, 2019

- *Forming* (moldagem): gera objetos que são moldadas em peças (moldes) pré-fabricadas por equipamentos CNC. Moldes com formas positivas, são utilizados para moldagens do tipo térmicas ou a vácuo, e os moldes com formas negativas são utilizadas em moldagens por injeção ou fundição (Figura 40 a-d).

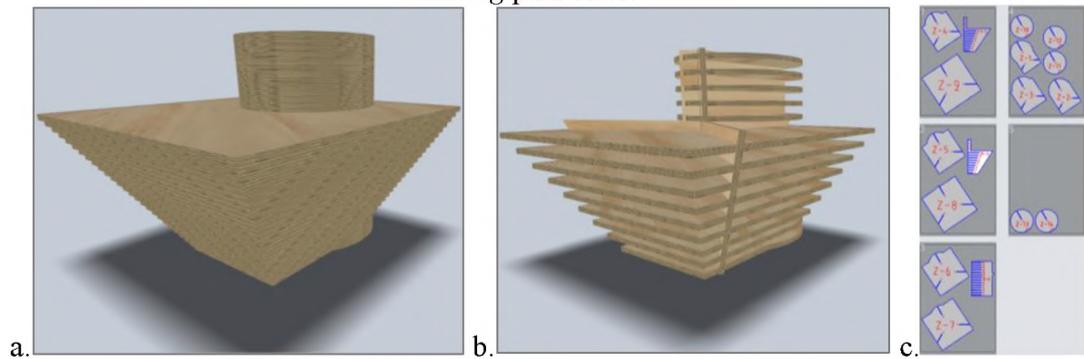
Figura 40 – Processo *Forming* a vácuo de peças.



Fonte: FORMECH, 2017

- *Sectioning* (fatiamento): o modelo virtual é seccionado paralelamente em várias partes, que formam a geometria das seções que serão informadas ao equipamento de corte, para gerar a estrutura física do objeto. Em geral são utilizados equipamento de corte a laser e fresadoras de CNC. O processo de seccionamento em mais de uma direção, possibilita o sistema de junção por encaixes (*assembles*), que devem ser programados nas interseções das peças. O sistema de seccionamento, gera uma quantidade menor de peças, que são codificadas e digitalmente organizadas no formato das chapas por tipos específicos *de software*, que buscam uma solução para melhor distribuição dos elementos (*Nesting*) e programam o arquivo para o equipamento de corte (Figura 41 a-c).

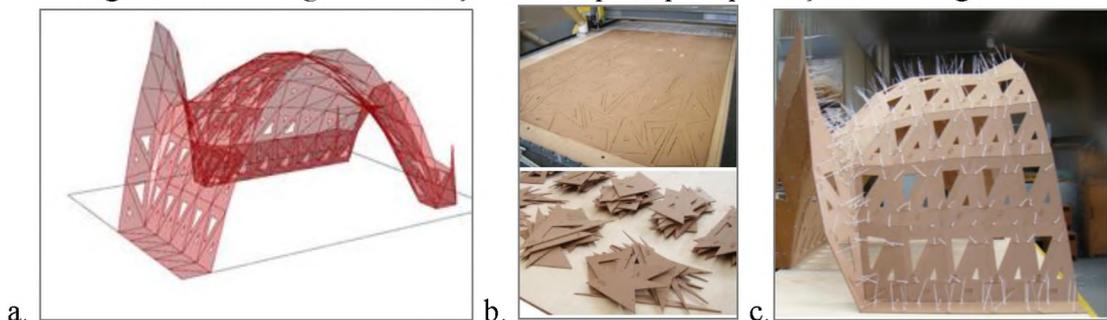
Figura 41 – *Sectioning* em modelo virtual em seções paralelas, com junções por encaixes e *nesting* para corte.



Fonte: elaborado pela autora, 2019

- *Tilling* (fragmentação): consiste em criar figuras ou formas, que quando colocadas juntas formam um plano contínuo sem lacunas ou sobreposições, criando um mosaico de peças em formatos bidimensionais que resultam em objetos e superfícies tridimensionais. A modelagem por *Meshes* é a mais indicada para orientar a produção das peças (Figura 42 a-c).

Figura 42 – *Tilling* na fabricação de maquete para produção de cenografia.



Fonte: CARMO, 2019

O conjunto de conceitos que envolvem a geração, materialização e fabricação no processo de projeto em meio digital, incluem a instrumentalização e o conhecimento dos recursos de cada *software* e contribuem para a estruturação de conteúdos para o ensino de Informática Aplicada.

## 5 INSTRUMENTALIZAÇÃO DIGITAL COM MODELAGEM VIRTUAL E PROTOTIPAGEM DIGITAL NO ENSINO DA INFORMÁTICA APLICADA

Este capítulo apresenta a verificação da aplicação integrada da modelagem virtual e da prototipagem digital como recursos de experimentação da forma, na formação acadêmica de arquitetos urbanistas. Na busca por conteúdos e práticas de ensino para a instrumentalização digital, foram estabelecidas quatro tipos atividades: a. participação em eventos científicos do tipo *workshops* e congressos; b. treinamento e aperfeiçoamento em software CAD, BIM e operação de equipamentos CNC; c. atividade docente em disciplina de Informática Aplicada.

### 5.1 Participação em *Workshops* e Congressos

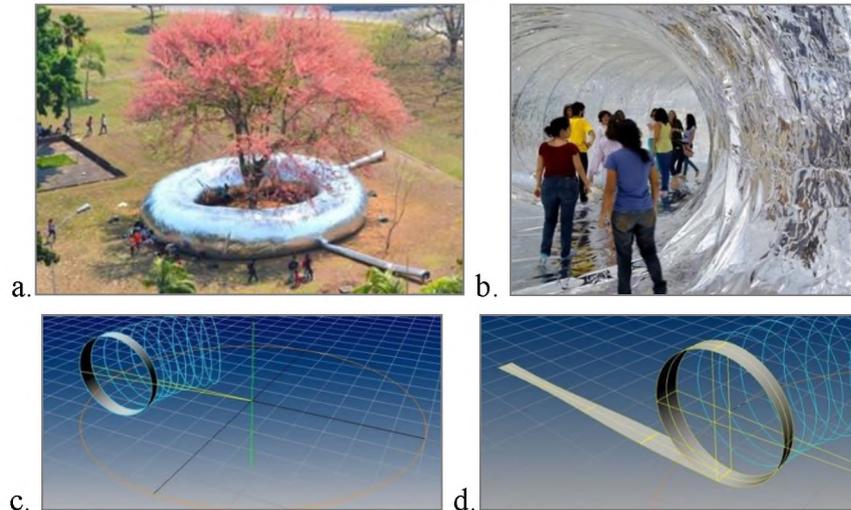
A participação em *workshops* visou a conhecer a dinâmica de um projeto digital integral, com imersão na técnica e na prática do que se pode denominar de ateliê de projeto informatizado. Deste modo, foram escolhidos dois *workshops* promovidos pelo Grupo de Pesquisa ‘A Educação do Olhar: apreensão dos atributos geométricos da forma dos lugares’, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O terceiro *workshop* foi realizado no evento SIGRADI 2018.

A primeira participação foi no *workshop* “Formalismos Anacrônicos & Ficções Arquitetônicas”, realizado em 2014. O objetivo do *workshop* foi desenvolver e construir o projeto de arquitetura efêmera, que explorou uma construção em forma de um toro circular, para ser erguida ao redor de uma árvore existente junto ao edifício da Reitoria, onde funciona a FAU-UFRJ. O material utilizado na construção foi o plástico denominado Mylar, e o toro foi sustentado por insuflamento (Figura 43 a-d). A condução do *workshop* foi feita pelo professor William O’Brien Jr., da Escola de Arquitetura e Planejamento do MIT (Massachusetts Institute of Technology - USA).

A modelagem virtual do toro circular, no *software* Rhinoceros<sup>®</sup>, foi feita pelo deslocamento do centro de uma circunferência (geratriz) de raio menor, ao longo de outra circunferência (diretriz) de raio maior, perpendicular à primeira, para que fosse possível o entendimento da construção da forma, cuja superfície tem dupla curvatura. A partir do modelo 3D, foi possível planificar a forma utilizando ferramenta específica do programa, que resultou em faixas de no máximo 1,00m de largura, e formariam os 72 anéis do toro circular que, ao final, ficou com diâmetro menor de 3,00m e maior de 14,00m, possibilitando o acesso ao interior da instalação.

Os participantes foram divididos em equipes para cortar as faixas, uni-las com adesivo especial, e montagem do toro completo com insuflamento por meio de ventiladores.

Figura 43 – Toro circular inflado e o processo de modelagem virtual.

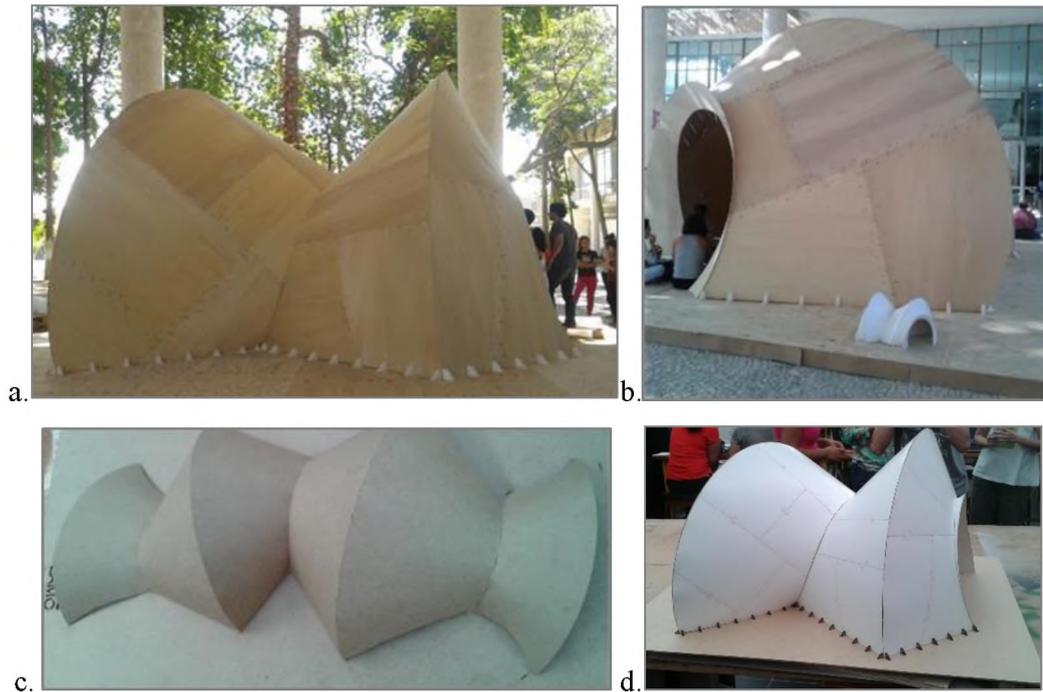


Fonte: DIAS; MARCONI, 2015.

Em 2015, outro evento, denominado ‘The Butterfly Gallery – Helicoidal Surfaces’, contou com a parceria da Universidade de Sevilla, representada pelo professor Andrés Martín Pastor, e foi realizado no Laboratório de Modelos 3D e Fabricação digital - LAMO/ FAU – UFRJ, coordenado pelo professor Andrés Passaro. Com o objetivo de apresentar estratégias para abordar o processo de desenho paramétrico, corte e produção digital de elementos arquitetônicos de pouco peso, o projeto de arquitetura efêmera resultou na construção de um pavilhão de chapas de madeira compensada (Figura 44 a-d), em forma de um helicóide desenvolvível (LAMO, 2015).

Durante os dez dias de evento, foram realizadas aulas para a instrumentalização básica do *softwares* Rhinoceros®/Grasshopper, nas quais foi possível também entender o processo de geração da forma do pavilhão, a partir da construção de superfície do helicóide desenvolvível. Os participantes formaram grupos para experimentar a geração de modelos virtuais utilizando a geometria da forma proposta, como também, após a planificação, planejar o corte das partes, em equipamento de corte a laser, para a construção de uma maquete, em escala reduzida. Após esse processo, foi realizada a construção de maquete do pavilhão, para análise da estrutura e planejamento da montagem, que foi realizada pelas equipes. Foi utilizado o processo de fabricação digital com uso da fresagem em equipamento CNC para corte dos painéis em chapas de madeira compensada. Depois de cortadas e lixadas, as partes foram unidas por meio de parafusos, formando painéis curvos para a montagem do pavilhão.

Figura 44 – Pavilhão Butterfly Gallery montagem final e maquetes.



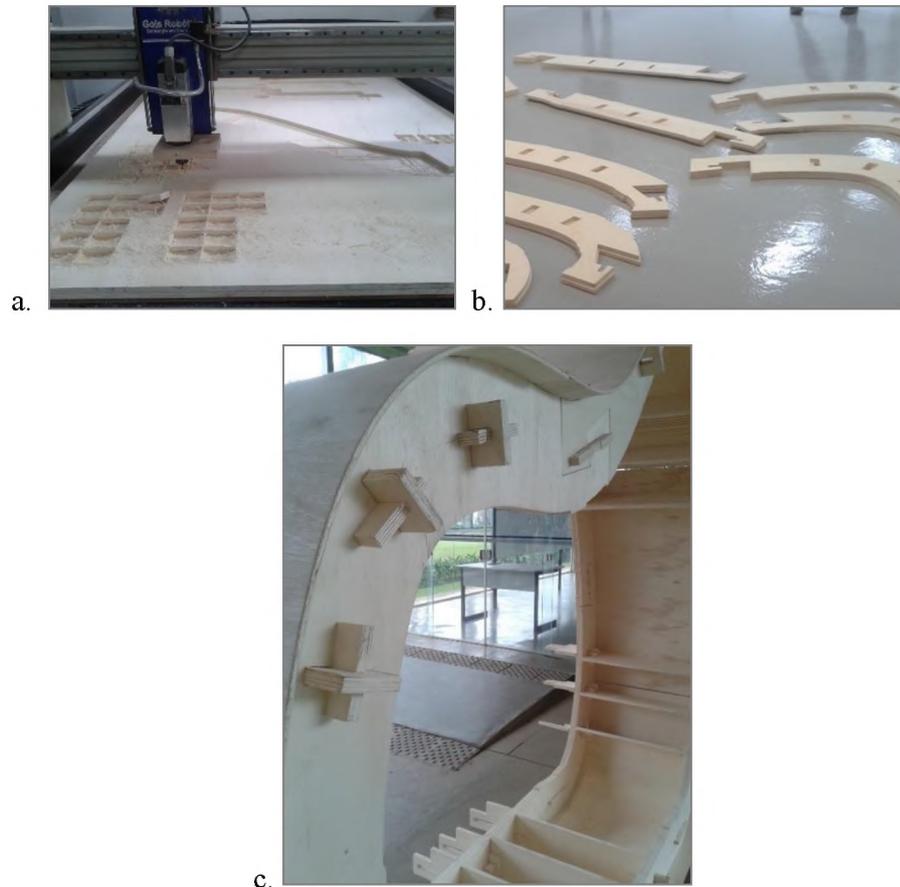
Fonte: arquivo da autora, 2015.

O evento SIGRADI 2018, realizado na Universidade de São Paulo - USP, Unidade São Carlos (SP), promoveu o Workshop ‘WikiHouse: geração e construção digital – material’, coordenado pelos Professores Gonçalo Castro Henriques (LAMO-UFRJ) e Andrés Passaro (professor LAMO-UFRJ). Teve por objetivo, o projeto digital-material integral, através da tutoria de *design* algorítmico, com o acompanhando da preparação, fabricação e montagem de um conjunto de estruturas/pórticos à escala real de uma WikiHouse (Figura 45 a-c).

WikiHouse é o sistema de fabricação digital de casas, personalizadas, de alto desempenho, que utiliza encaixes de modelos padronizados, o que faz com que as casas sejam montadas com precisão milimétrica e rapidamente. Têm baixo custo, pois utilizam madeira compensada (WIKIHOuSE, 2019)

Utilizou-se para corte dos painéis e peças de encaixe o processo de fresagem em equipamento CNC. Nos dois dias do *workshop*, pode-se experimentar a geração de formas de curvatura livre, a partir de um arquivo base do programa Rhinoceros/Grasshopper® fornecido pelos organizadores. O projeto contemplou apenas uma parte componente de uma WikiHouse, com formato curvilíneo, que foi montada em chapas de madeira compensada pelos participantes, de acordo com o planejamento feito pela equipe de instrutores.

Figura 45 – Construção parcial de uma WikiHouse– corte e montagem



Fonte: acervo próprio, 2018

Durante a participação dos *workshops* foi importante o entendimento de diferentes práticas de projeto digital, principalmente a aplicação da modelagem paramétrica e a experimentação de vários processos de análise e construção de formas arquitetônicas, em modelos virtuais e físicos. Foi possível verificar a importância de fundamentos da geometria na concepção da forma e a relação com os materiais definidos para a construção das três instalações. O processo integrado dos modelos virtual e físico, em diferentes escalas, ampliou o aspecto de experimentação da forma.

A participação nos Congressos CaadFutures (2015), Projetar (2015), Graphica (2017) e SIGRADI (2018), buscou-se conhecer as pesquisas relacionadas aos avanços da tecnologia digital aplicada à arquitetura e urbanismo, além de participar como ouvinte das palestras com pesquisadores brasileiros e estrangeiros, que são referência na área temática.

## 5.2 Treinamento e aperfeiçoamento em *software* CAD/BIM/CAM

Para o aprofundamento nas questões operativas de programas computacionais dos sistema CAD e BIM utilizados no desenvolvimento de projetos, além de observar a dinâmica de aulas para instrumentalização digital, a participação em cursos de treinamento e aperfeiçoamento em *software* são essenciais na prática docente. A constante atualização de versões e sistemas computacionais ampliam os recursos de aplicação dos *software*. Deste modo, em 2018, buscou-se aperfeiçoamento no uso do *software* SketchUp<sup>®</sup>, para conhecer aplicações atualizadas, com comandos que foram implementados.

Outro treinamento realizado, no período 2016-2018, foi com o programa Revit<sup>®</sup>, escolhido por ser o programa do sistema BIM, que geralmente vem sendo adotado em escritórios e em disciplinas de Informática Aplicada de curso de arquitetura e urbanismo, no Brasil. Foi realizado o curso de Revit básico, sequenciado pelo curso de Revit<sup>®</sup> para Interiores. Para complementar o aprendizado e observar como é ministrada a instrumentalização digital com o *software* Revit<sup>®</sup>, foi feito o acompanhamento em aulas da disciplina Informática Aplicada, do quarto período do curso de Arquitetura e Urbanismo das Faculdades Integradas São Pedro, em Vitória, ES, durante o período letivo de 2016-2.

Com objetivo de conhecer o universo das dimensões do sistema BIM para projetos do setor AEC foram realizadas aulas experimentais na empresa Multinúcleo, em Vitória ES, nas quais foi possível experimentar aplicação do *software* Infracore<sup>®</sup> (Autodesk) e das Soluções BIM da Bentley<sup>®</sup>

Nos *workshops* também foi possível conhecer e aprender o funcionamento básico do *software* Rhinoceros associados ao Grasshopper, pois os projetos foram desenvolvidos pelo processo paramétrico com uso desses recursos.

O preparo de arquivos de corte e operacionalização de equipamentos CNC foi obtido sob orientação do técnico de operações do equipamento, para conhecimento das etapas que envolvem o processo de prototipagem por subtração. Deste modo, foi necessário conhecer *software* para Nesting, que organiza a distribuição das peças nas chapas de corte. Em um processo de prototipagem por subtração, utilizando a técnica de ‘fatiamento’ (*Sectioning*) do modelo virtual, é preciso o planejamento das seções, que foi feito em programa específico, na

ocasião foi utilizado o software 123D Make<sup>5</sup> (Autodesk). Além disso, foi importante conhecer o uso do *software* ArtCam Pro<sup>6</sup> (Delcam), para gerar o arquivo G-Code, com os parâmetros necessários para o corte em equipamento CNC.

### **5.3 Experiências docentes vivenciadas em disciplinas de Informática Aplicada**

Com o intuito de observar na prática algumas aplicações da modelagem virtual e da prototipagem digital como recursos de experimentação da forma no processo projetual, foram realizadas atividades docentes em disciplinas de Informática Aplicada relatadas a seguir, que aconteceram nos anos de 2016, 2017 e 2018, no curso de Arquitetura e Urbanismo da FAESA-Centro Universitário, em Vitória – Espírito Santo.

O curso teve início em 2009, passou por alterações na estrutura curricular e, desde 2017, contempla três disciplinas de Informática Aplicada: Informática Aplicada à Representação de Projetos I, II e III, no terceiro, quarto e quinto períodos, respectivamente. Nos mesmos períodos, são ministradas as disciplinas, Projeto de Arquitetura e Urbanismo I, II e III. Na busca por um ensino integrador, o planejamento das disciplinas é feito de modo a contemplar conteúdos em ações interdisciplinares. Deste modo, as disciplinas de Informática Aplicada buscam acompanhar as demandas das disciplinas de projeto, de cada um dos períodos ao qual está inserida, no propósito de que, a partir do quinto período, o aluno tenha adquirido competências e habilidades requeridas para o uso do meio digital no desenvolvimento de projetos.

A mudança no currículo trouxe a oportunidade de repensar a metodologia de ensino, e inserir novos conceitos aos conteúdos ministrados e, embora os processos de parametria e programação ainda não estejam plenamente no escopo do percurso acadêmico do curso, atividades que exploram os recursos digitais no processo criativo, instigam a busca por outras possibilidades de aplicações. Em outro aspecto, usar as ferramentas com criatividade, desafia o usuário a ultrapassar a ‘rigidez’ do *software*. As ementas das disciplinas IARP I, II e III a partir do ano de 2017 são apresentadas no Quadro 7 e as ementas das disciplinas de Projeto de Arquitetura e Urbanismo correspondentes aos períodos de IARP I, II e III são apresentadas no Quadro 8:

---

<sup>5</sup> Esse programa foi desativado e substituído por programa Slider (Autodesk).

<sup>6</sup> A Delcam foi encampada pela Autodesk e o programa Artcam foi desativado e substituído por outras soluções de fabricação, como o Fusion 360.

Quadro 7– Ementas e disciplinas das Disciplinas IARP I, II e III da FAU-FAESA

Disciplina	Ementa	Objetivo
IARP I	<p>Iniciação ao estudo de programa de computação gráfica para dar suporte às atividades de projeto.</p> <p>Uso de software gráfico: ferramentas de desenho e edição, inserção de texto, cotagem, plotagem.</p> <p>Representação em 2D do espaço arquitetônico e do objeto.</p> <p>Representação gráfica de projetos.</p>	<p>Representar graficamente o espaço e o objeto arquitetônico em meio computacional, utilizando recursos do sistema CAD (<i>Computer Aid Design</i>), nas fases de desenvolvimento projetual.</p> <p>Exercitar a capacidade criativa e a representação da linguagem arquitetônica com os recursos da computação gráfica em projetos de Arquitetura e Urbanismo.</p>
IARP II	<p>Aplicação da computação gráfica no desenvolvimento de projetos arquitetônicos e urbanísticos.</p> <p>Estudo da representação virtual do espaço arquitetônico e do objeto.</p> <p>Processo de projeto com o uso de recursos computacionais.</p> <p>Conceitos de parametria e prototipagem.</p>	<p>Utilizar os recursos da computação gráfica explorando o potencial do sistema CAD para a modelagem virtual e física no processo de desenvolvimento de projetos.</p> <p>Produzir modelos digitais para estudo de formas e composições volumétricas.</p> <p>Explorar conceitos de projeto paramétrico.</p> <p>Conhecer processo de prototipagem rápida e impressão 3D.</p> <p>Gerar representação gráfica bidimensional a partir do modelo digital. Introduzir conceitos do sistema BIM.</p>
IARP III	<p>Estudo da plataforma BIM para a modelagem paramétrica do espaço arquitetônico e urbano no processo de elaboração de projetos.</p>	<p>Utilizar os recursos do sistema BIM para a construção virtual da edificação.</p> <p>Desenvolvimento e apresentação de projetos do espaço arquitetônico e urbano, abordando a representação gráfica, compatibilização, otimização do processo produtivo e levantamento de quantitativos.</p>

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Quadro 8 – Ementas das Disciplinas Projeto de Arquitetura e Urbanismo I, II, III da FAU-FAESA(Continua).

Disciplinas	Ementas
Projeto de Arquitetura e Urbanismo I	<p>Relação com o meio ambiente natural e edificado, e a paisagem: eixos, acessos, fluxos e circulação, pré-existências edificadas, vegetação.</p> <p>Sequências espaciais e qualidade espacial: espaço interior e exterior, espaço público, semi-público e privado.</p> <p>Representação materializada do projeto.</p> <p>Projeto de edificação habitacional e seus equipamentos de apoio na escala da rua.</p> <p>Tipologias unifamiliar da habitação urbana. Conceituação, metodologias e mecanismos projetuais.</p> <p>Condicionantes sociais, ambientais e técnicas: densidade, habitabilidade e fluxos.</p> <p>Prática do projeto.</p>

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Quadro 8 – Ementas das Disciplinas Projeto de Arquitetura e Urbanismo I, II, III da FAU-FAESA (Término)

Disciplina	Ementa
Projeto de Arquitetura e Urbanismo II	<p>Projeto de edificação institucional.</p> <p>Teoria do projeto: Conceituação dos mecanismos e metodologias projetuais adstritos ao nível da disciplina. Tipos e paradigmas precedentes.</p> <p>Histórico dos edifícios de uso institucional.</p> <p>Os usos e suas interações: conexões, circulações e fluxos.</p> <p>Relação entre forma e uso dos espaços, entre o edifício institucional e o contexto urbano e suas referências culturais.</p> <p>Definição de materiais e detalhes arquitetônicos básicos. Prática do projeto.</p>
Projeto de Arquitetura e Urbanismo III	<p>Projeto na escala do bairro com enfoque na habitação social em áreas com terreno acidentado.</p> <p>Atributos naturais e sociais no contexto urbano, relações entre domínio público e privado, entre o espaço livre e edificado; entre as edificações e o contexto urbano; entre o tecido urbano e social existente e novo, densidade, habitabilidade, acessibilidade, linguagem, percepção ambiental.</p>

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

- **Experiência docente I: composição regrada na instrumentalização digital<sup>7</sup>**

A atividade relatada foi implementada na disciplina Informática Aplicada à Representação de Projetos I (IARP I), no período 2018-2019, que tem como foco a representação bidimensional do projeto arquitetônico em meio digital. A instrumentalização digital tem início na disciplina IARP I, que acontece no terceiro período. O *software* utilizado foi Autocad<sup>®</sup> na versão 2015. A carga horária é de 80 hs, distribuída em 20 aulas de 4hs cada, e os conteúdos são divididos em três unidades:

- Unidade I: Introdução ao uso de *software* do sistema CAD e conceitos básicos para elaboração de desenhos bidimensionais - 24 hs
- Unidade II: Representação gráfica do projeto arquitetônico e detalhes construtivos - 24 hs
- Unidade III: Elaboração de desenhos para apresentação de projetos - 32hs.

Os conteúdos da Unidade I são relativos ao uso das ferramentas de desenho e edição, como também os recursos que agilizam essas operações. A inserção e criação de blocos e hachuras são contemplados nessa unidade, assim como a impressão de projeto. Na Unidade II, os

<sup>7</sup> O relato fez parte do artigo 'Composições geométricas regradas no ensino de informática aplicada' publicado na Revista Educação Gráfica, *online*, Volume 23, nº 1, 2019, p. 131-150. Disponível em: <http://www.educacaografica.inf.br/artigos/composicoes-geometricas-regradas-no-ensino-de-informatica-aplicada-ruled-geometric-compositions-for-teaching-applied-informatics>.

conteúdos são direcionados à representação gráfica de projetos com formatação de arquivos para a padronização de elementos como textos, cotas, espessura de linhas, de acordo com a simbologia de projeto arquitetônico, e também dão precisão e organizam o trabalho digital, como *Layers* (camadas). A terceira unidade é dedicada à preparação de desenhos de apresentação, com recursos gráficos para humanização de projetos, com hachuras, cores, textos, blocos, imagens e pranchas de impressão. A carga horária de cada unidade é variável, dependendo do prazo de publicação das três avaliações parciais, estipulado pela Instituição.

O objeto de estudo desse relato está contido na Unidade I de IARP I, com o início do uso das ferramentas de desenho e edição. Preliminarmente, é importante detectar o conhecimento prévio dos alunos sobre *software* gráfico e suas aplicações na área de arquitetura e urbanismo. Nesse sentido, já no primeiro dia, por meio de aula expositiva dialogada, os alunos foram sensibilizados para refletir sobre o processo digital na arquitetura e urbanismo e o uso do computador como auxiliar nas ações projetuais. O diálogo foi provocado por meio de leituras e explicações.

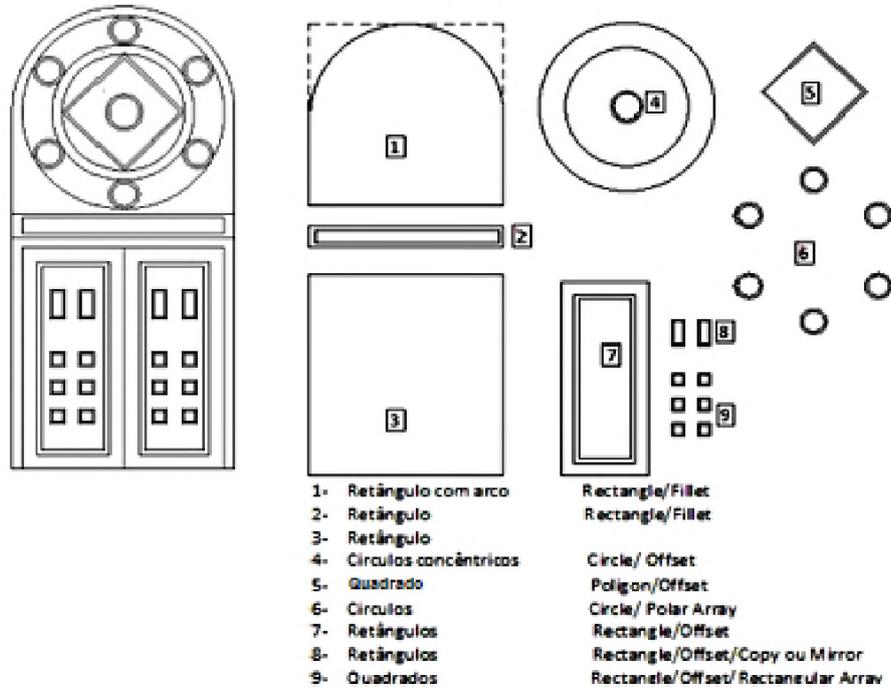
O planejamento das aulas foi feito para que os conceitos possam ser apreendidos em exercícios práticos e o fator operacional seja assimilado. Desenho e edição na área gráfica do *software*, denominada *Model*, implicam em acionamento de comandos, inserção de dados, manejo do *mouse/cursor* e recursos de visualização, como o *Zoom*. Além disso, é importante que o aluno entenda que o programa é vetorial, ou seja, sentido e direção orientam a inserção de dados, que são regidos pelo Sistema de Coordenadas Cartesianas – X,Y,Z. A área gráfica do ambiente 2D é caracterizada pelo plano de trabalho bidimensional (X,Y), identificado pelo *Grid* (malha) e o ícone dos eixos X e Y, posição de visualização *Top* (Topo).

Para atingir o objetivo de conhecer as ferramentas de desenho e edição, nas duas aulas subsequentes à inicial, são realizados desenhos que contemplam as principais aplicações de comandos. A Figura 46 mostra um exemplo de exercício, com desenho de um pórtico, e a decomposição em partes que identificam figuras geométricas e os comandos que podem ser utilizados.

O primeiro exercício é realizado juntamente com os alunos para explicar as fases de construção e os comandos utilizados, explicitando sempre os recursos de precisão e auxílio do *software*. A orientação dada aos alunos para a execução dos exercícios foi para que seja feita uma análise estratégica de cada figura, para a definição de quais comandos utilizar, de modo a usar menor

número de etapas e ferramentas. Além da atividade no Laboratório de Informática, exercícios práticos e leituras extraclasse da bibliografia básica e apostila da disciplina, foram incentivados, para dar apoio ao desenvolvimento dos conteúdos.

Figura 46 - Desenho de Pórtico, decomposição em figuras geométricas e a lista de comandos



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Na quarta semana de aula, outras atividades foram iniciadas para evolução dos conteúdos. Nessa etapa, exercícios de composições geométricas foram a principal atividade. O objetivo foi mobilizar os recursos digitais para realizar desenho de figura geométrica primitiva (iniciador), e gerar transformações pontuais para criar unidades de forma (geradores) no processo de composição recursiva ou regrada, base para novas transformações. Inserção de hachuras, criação de blocos e uso de *Viewports* foram recursos acrescentados, além de cada elemento ter sido criado em *Layers* (camadas), para controle dos elementos gráficos do arquivo.

- **Composição Regrada**

Tomou-se por referência, conceitos e exemplos de aplicações práticas da metodologia de CELANI (2003), com adaptações para a versão do programa utilizado e os objetivos da disciplina. Simetria, rotação, homotetia e roto-homotetia são alguns dos conceitos de transformação geométrica aplicados no processo criativo. É importante associar a função de cada comando à realização das transformações geométricas, pois em um segundo momento o aluno deverá fazer a descrição do processo de criação no trabalho avaliativo individual. Para

que o aluno entendesse o método, foi realizada aula expositiva dialogada, com explanação sobre o tema da *Shape Grammar*, e atividade prática que servisse de base para o desenvolvimento do trabalho individual.

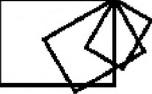
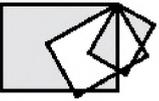
A unidade de forma é gerada por recursão, função que, na matemática “[...] utiliza variáveis criadas durante o processo, através da aplicação sucessiva de uma mesma rotina” (CELANI, 2003, p. 41), ou seja, por meio da emprego de regras simples para construir a unidade de forma. Assim, no exemplo, o desenho de um retângulo medindo 200x150 foi o iniciador, ou elemento primitivo da composição, que foi gerado a partir da aplicação de três regras: cada retângulo inserido na composição deveria ter 70% da dimensão do retângulo que o precede; ter rotação de 30° com centro no vértice superior direito; e todos os retângulos devem ter o vértice superior direito coincidente. Essa regra pode ser aplicada, sucessivamente. Porém, no exemplo, ela é finita, aplicada duas vezes, acrescentando dois retângulos ao primeiro. A unidade de forma ou gerador pode produzir outras formas ao ser submetida a novas regras ou transformações geométricas.

A composição da unidade modelo exemplificada foi regida pela roto-homotetia, transformação geométrica que se caracteriza pela alteração de proporção entre os elementos de uma figura, a uma razão conhecida (homotetia), adicionada do movimento de rotação. No Autocad® essas operações são realizadas separadamente e, no caso o comando Scale (escala) faz a redução de cada retângulo na proporção de 30% e o comando Rotate (rotação) rotaciona cada retângulo a 30°, no sentido anti-horário (positivo). Pode-se utilizar o recurso de gerar Block (bloco) do retângulo inicial, com ponto de inserção no vértice superior direito e, em seguida, usar o comando Insert (inserir) para inserir o bloco com diferentes fatores de escala, uniformes em X, Y e Z, e ângulos de rotação.

No exemplo dado, a unidade de forma foi preenchida por hachura sólida (*Solid*), para destacar regiões internas da figura, iniciando assim um processo de identificação de formas emergentes, que “[...] surgem, propositalmente ou não, a partir da sobreposição de outras formas [...] ou que se pintam as áreas que serão somadas para formar novas figuras” (CELANI, 2003, p. 103).

O Quadro 9 mostra as etapas de construção da unidade de forma.

Quadro 9 - Etapas para construção da unidade de forma inicial

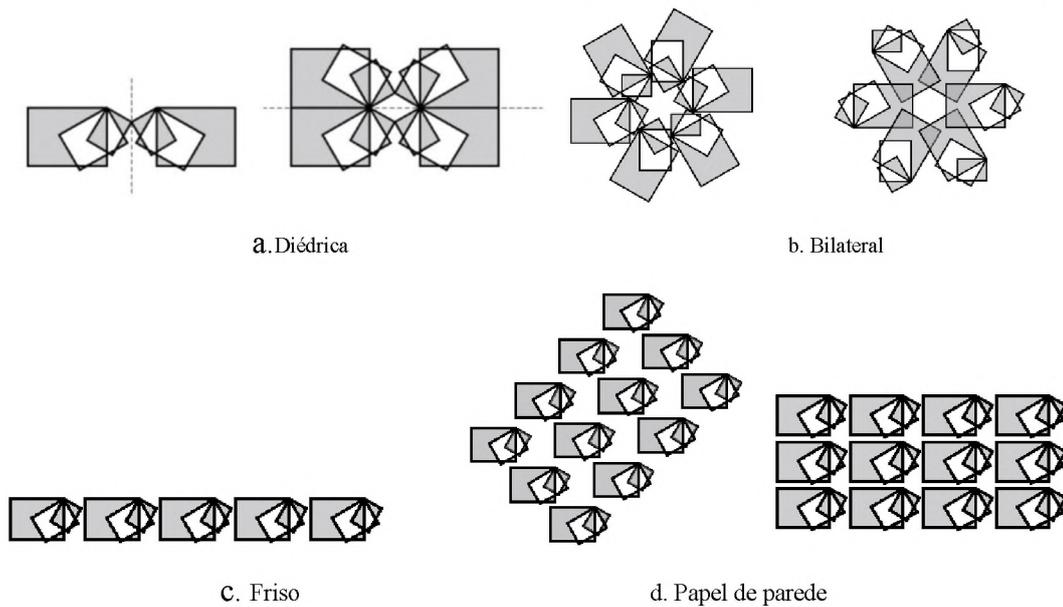
 <p>a.</p>  <p>b.</p>  <p>c.</p>	<p>a. Desenho retângulo R1 com dimensão de 200x150.</p> <p>b. Gerar retângulo R2, reduzindo em 30% o desenho de R1, coincidentes no vértice superior direito.</p> <p>c. Gerar retângulo R3, reduzindo em 30% o desenho de R2, coincidentes no vértice superior direito.</p>	<p>a. Comando <i>Rectangle</i> (retângulo).</p> <p>b. Comando <i>Scale</i> (escala), opção <i>Copy</i> (cópia), fator de escala=0,7.</p> <p>c. Comando <i>Scale</i> (escala), opção <i>Copy</i> (cópia), fator de escala=0,7.</p>
 <p>d.</p>  <p>e.</p>	<p>d. Rotacionar os retângulos R2 e R3 com ângulo de 30°, com centro de rotação no vértice superior direito dos retângulos R1, R2e R3.</p> <p>e. Rotacionar o retângulo R3 com ângulo de 30°, com centro de rotação no vértice superior direito dos retângulos R1, R2e R3.</p>	<p>d. Comando <i>Rotate</i> (Rotacionar) com ângulo =30°.</p> <p>e. Comando <i>Rotate</i> (Rotacionar) com ângulo =30°.</p>
 <p>f.</p>	<p>f. Preencher com hachura sólida regiões intercaladas a partir de R1.</p>	<p>f. Comando <i>Hatch</i> (hachura) padrão <i>Solid</i>, na cor de preferência do usuário.</p>

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

A partir dessa unidade de forma, foram realizadas transformações geométricas com uso de simetria diédrica, que é “[...] obtida através do processo de reflexão ao longo de um eixo, seguido pelo processo de rotação ao redor de um ponto” (CELANI, 2003, p. 1) e Simetria Bilateral, “[...] gerada por um processo de reflexão ao longo de um eixo central” (CELANI, 2003, p.1). O comando utilizado para obter simetria bilateral foi o *Mirror* (espelho) e quando associado o comando *Polar Array* (matriz circular) gera simetria diédrica.

A repetição ordenada de elementos ao longo de eixos ou ao redor deles é um tipo de comportamento associado à simetria, com dois tipos denominados Friso e Papel de Parede (MARCH e STEADMAN, 1974, apud CELANI, 2003, p.1), obtida por translação, que pode ser realizada pelo comando *Rectangular Array* (matriz retangular). A Figura 47 (a-d) mostra composições com simetria bilateral e diédrica, de Friso e Papel de Parede, aplicadas à unidade de forma do exemplo dado.

Figura 47: Composições com simetrias diédrica, bilateral, tipo Friso e Papel de Parede



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

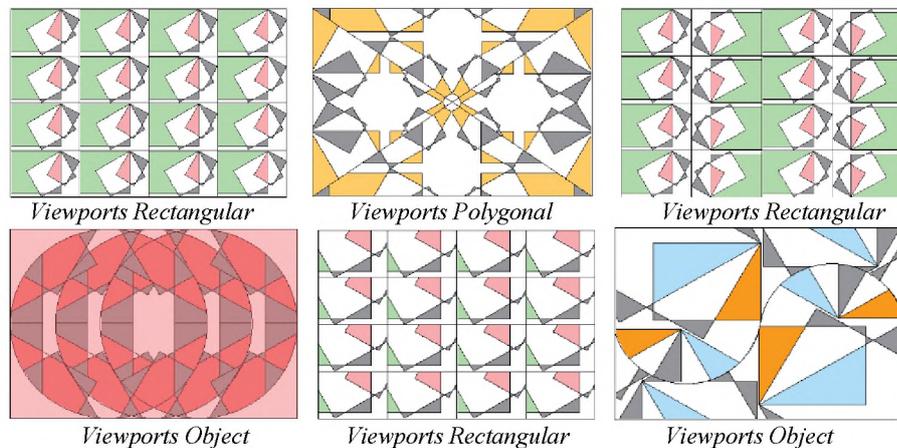
As possibilidades de arranjos dependem da conjugação de comandos, da repetição das operações sobre um mesmo gerador, entre outras ações. Alguns comandos permitem ao projetista investigar alternativas com mudanças de alguns dos parâmetros que regem a composição criada. Por exemplo, os comandos *Polar Array* e *Rectangular Array*, quando acionados, dão acesso à barra *Array Creation* (criação de matriz) para que os parâmetros sejam inseridos. Assim, no *Polar Array*, são definidos a quantidade e o ângulo de rotação parcial ou total dos itens, o número de repetições (*Rows*=linhas) e a distância entre os itens. O Comando *Rectangular Array* solicita o número de coluna e linhas, a distância entre eixos de colunas e linhas ou a distância total pretendida. Uma alternativa da barra nos dois tipos de *Array* é o parâmetro *Level* (nível), que nas composições de modelos em espaço tridimensional, cria repetições em níveis com distâncias pré-definidas

O aspecto importante que caracteriza a aplicação desses comandos é a interação dinâmica do usuário, que ao selecionar a forma, ativa *Grips* (pontos de controle) para alterações de quantidade, distâncias e ângulos, com o uso do cursor, além de acionar novamente a barra *Array Creation*. Esses níveis de parametrização, com ferramentas de controle da forma do próprio programa, são relevantes para a compreensão da atividade informatizada de projetos pelo aluno iniciante. No caso da disciplina IARP I, dá início a uma preparação para o ambiente BIM, que é inserido no quinto período do curso na disciplina IARP III, com o uso do *software* Revit<sup>®</sup>.

A continuidade do exercício proposto foi complementada como a mudança do espaço *Model* para o espaço *Layout* ou *Paper Space*, comumente utilizado para arranjo de pranchas de impressão nos formatos padrão ISO (A4, A3, A2, A1 e A0). No exemplo, o formato configurado foi o A4, posição paisagem, com margem de 1cm. Os desenhos do espaço *Model* são visualizados na prancha, pela criação de *Viewports* (portas de visualização). De acordo com Celani (2003), o uso de múltiplas *Viewports* criam o ambiente interativo para composições simétricas dinâmicas.

O geração de uma *Viewport* tem as opções de comando *Retangular* (quatro lados paralelos), *Polygonal* (polígonos irregulares) e *Object* (figuras geométricas construídas previamente para a geração da *Viewport*). Ao criar uma *Viewport*, o desenho da unidade de forma pode ser visualizada no espaço *Model*, e comando o *Zoom* possibilita ampliar ou reduzir a visualização, aleatoriamente por meio do *Zoom Real Time* (tempo real) ou aplicando um fator de escala com o *Zoom Scale* (escala). O arranjo das *Viewports* gera composições diferentes a cada *Zoom* que é aplicado à unidade de forma criada, como pode ser visto na Figura 48, com investigação de opções que contou com alteração de cores das hachuras e formatos diferentes de *Viewports*.

Figura 48: Exemplos de composições realizadas com *Viewports*



Fonte: elaborado pela autora, 2019

A última fase do exercício foi a geração de arquivo PDF para impressão. A atividade avaliativa se constituiu em um trabalho individual, em que cada aluno teve que explorar os comandos de desenho e edição para criar uma unidade de forma e aplicar transformações geométricas de simetria, no espaço *Model* e depois criar no mínimo 3 painéis em formato A4, no espaço *Layout*, explorando formatos diferentes de *Viewports*.

Todas as etapas do trabalho foram registradas em texto (*Word*) e imagens (*PrintScreen*) e, de cada painel, foi gerado um arquivo PDF para impressão. Os trabalhos foram depositados no Ambiente Virtual de Aprendizagem – AVA, na pasta individual do aluno. A exposição dos trabalhos da turma de 2019-1 foi feita em sala de aula, utilizando as telas dos computadores (Figura 49) e os alunos compartilharam as experiências.

Figura 49- Trabalhos dos alunos da turma 2019-1 e exposição em sala de aula.



Fonte: Arquivo pessoal BUERY

- **Resultados e desdobramentos**

Em relação ao uso das ferramentas digitais a atividade cumpriu os objetivos da Unidade I da disciplina IARP I, pois levou o aluno a conhecer a interface gráfica do programa CAD, utilizar os comandos básicos de seleção, visualização, construção e edição de desenhos, aplicar recursos gráficos para desenvolvimento projetual. Além disso, incentivar a prática da redação e desenvolver conteúdo procedimental e atitudinal nas atividades propostas, desenvolver a capacidade de investigação de comandos e das possibilidades que geram, se aproximando de metodologia de projeto, o *Shape Grammar*, com abordagem generativa.

Esse caráter de experimentação de composições regradas em ambiente virtual, associa a apreensão dos recursos do *software* à atividade criativa. O registro em texto e imagens teve o objetivo de descrever o método de geração da unidade de forma e suas derivações, que pretende ser, no sentido figurado, o algoritmo gerador da forma. As atividades resultaram em um produto, mas levaram a um segundo momento, abordado na Unidade II. Como desdobramento, o aluno é provocado a pensar a unidade de forma tridimensionalmente, atribuindo critérios para a terceira dimensão, e dar uma possível função arquitetônica – volume de edificação, elemento de fachada, revestimento, etc.

Pretende ser um momento híbrido em que o aluno pode utilizar croquis manuais e digitais para as primeiras ideias, e depois inicia-se a representação em vistas ortogonais, para introduzir à representação gráfica de acordo com a simbologia de projeto arquitetônico, com inserção elementos textuais e dimensionais em meio digital. Não é obrigatório, mas incentiva-se que o aluno use o processo para os estudos da disciplina Projeto de Arquitetura e Urbanismo I.

- **Experiência docente II: estudo volumétrico para projeto arquitetônico<sup>8</sup>**

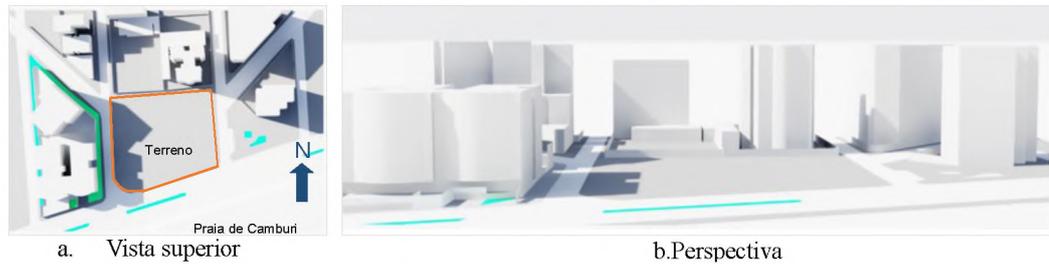
Neste relato, as disciplinas de Informática Aplicada II (IARP II) e Projeto de Arquitetura e Urbanismo II (PA II), ambas no quarto período, integraram conteúdos para o desenvolvimento de projeto sob a temática Instituição de Ensino de Educação Infantil. A motivação deu-se pela iniciativa das professoras Érica Pagel (PA II) e Cristina Buery (IARP II), de associar a metodologia de projeto adotada na disciplina PAU II ao processo digital, na fase inicial de estudo volumétrico e construção de maquetes físicas. Gerou-se, então, a oportunidade de dar início à experimentação digital e produção de modelos prototipados, pois até o início de 2016, essa associação era feita informalmente, com a modelagem e geração de imagens renderizadas do projeto final de PA II.

Para a realização da disciplina, houve o planejamento integrado de cronogramas, conteúdos, modo de avaliação, apresentação e entrega das etapas contempladas. Definiu-se que a integração das atividades ocorreria em duas fases do projeto: estudo volumétrico preliminar e produção e tratamento de imagens para apresentação final da proposta. Para a realização da primeira fase, foram produzidos e fornecidos aos alunos o modelo virtual do terreno e das edificações do entorno, para estudos de volumetria, implantação e sombreamento, de acordo com datas de solstício e equinócio (Figura 50 a e b), e o modelo real construído pelo processo de prototipagem rápida em equipamento de Comando Numérico Computadorizado - CNC.

---

<sup>8</sup> O relato faz parte do artigo publicado no evento GRAPHICA 2017, sob o título “Reflexões sobre o ensino das ferramentas digitais e o processo de projeto”. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/graphica2017/50925-reflexao-sobre-o-ensino-das-ferramentas-digitais-e-o-processo-de-projeto/>.

Figura 50 - Modelo virtual do terreno e edificações de entorno, no solstício de verão - 21 dez.

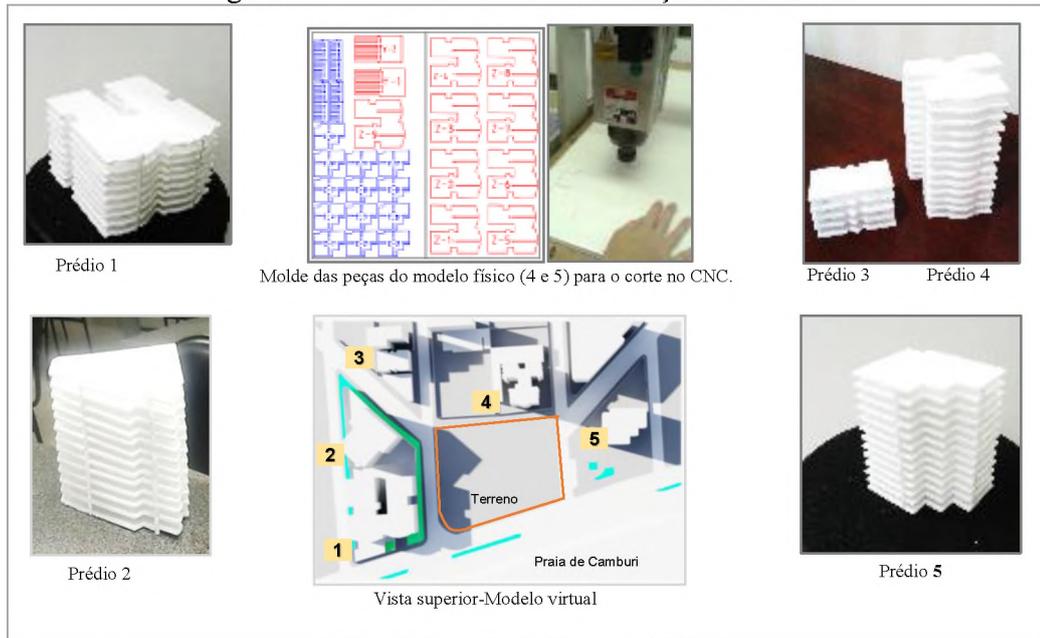


Fonte: elaborado pela autora, 2016.

Na produção do material de apoio foi utilizado o programa AutoCad (Autodesk), versão 2015, para modelagem geométrica da área de implantação (ruas, quadras, edificações), a partir de arquivo \*.dwg (CAD), obtido no site da Prefeitura Municipal de Vitória, ES. Além de fotografias do local, recorreu-se também ao Google *Street View*, para obter informações complementares, como formas e dimensões aproximadas de altura das edificações e elementos urbanos, em comparação com a base cartográfica digital. Sendo a primeira vez em que a prototipagem rápida seria utilizada, foi preciso um período de aprendizado e testes, para a compreensão de todo o processo que seria explicado aos alunos.

No programa 123 D Make foi feita a simulação e definição do método construtivo do modelo real, a partir do arquivo gerado no AutoCad. O processo utilizado foi o ‘fatiamento’ (*Sectioning*) em duas direções, criando encaixe nas interseções das peças (*Interlocked Slices*). A preparação do arquivo para corte foi realizado no programa ArtCam Pro. O equipamento de corte utilizado foi a fresadora Router CNC (MTC Robótica), de pequeno porte (500x1000mm), que pertence ao laboratório da Engenharia e Arquitetura, na FAESA. Com os modelos virtuais das principais edificações situadas no entorno do terreno escolhido, foi possível testar e produzir os modelos reais (Figura 51) para a montagem do modelo real, na escala 1/200.

Figura 51 - Modelos físicos de edificações do entorno.



Fonte: acervo da autora, 2016.

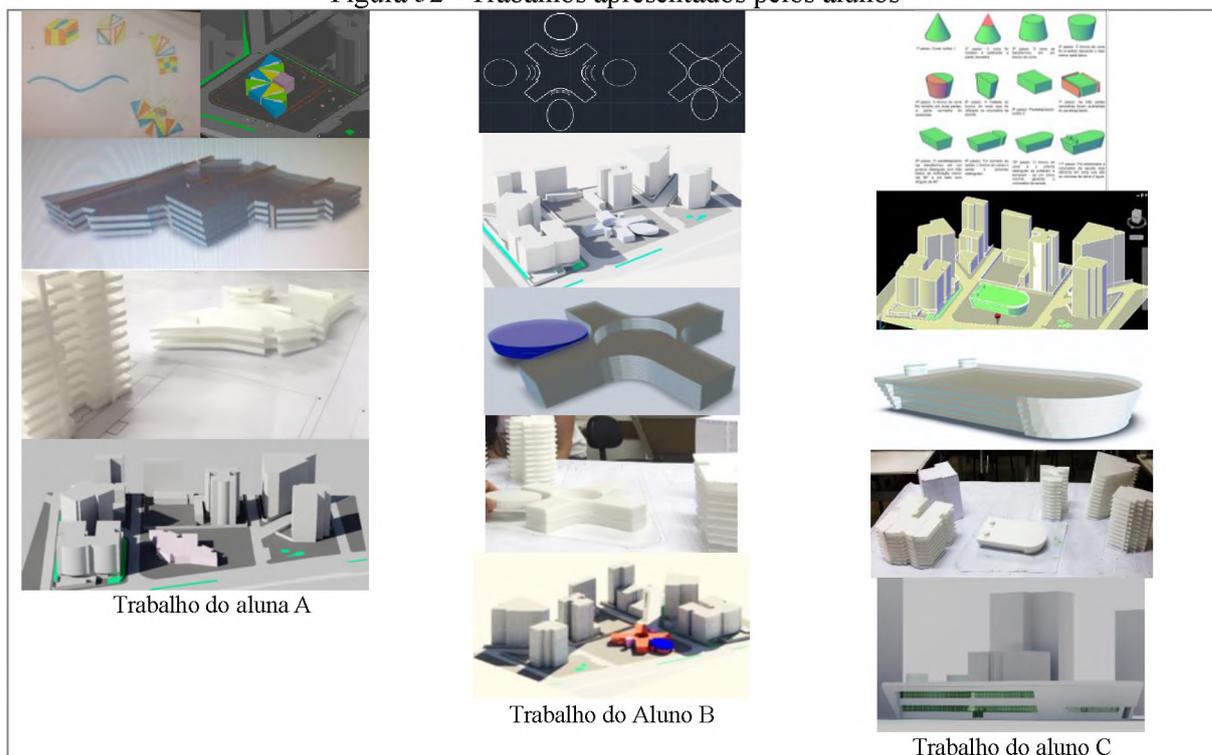
Esse processo, realizado pela professora de IARP II, contou com apoio de alunos voluntários e técnicos do laboratório de Engenharias. O material utilizado para as maquetes foi o Depron, que é uma placa de poliestireno extrudada, muito utilizada em aeromodelismo, pelo fato de ser economicamente viável para os alunos, e as dimensões 50x100x0,5cm, atenderem as escalas da maquete e ao equipamento CNC. A disciplina IARP II tem carga horária de 80hs (4hs semanais) e PA II 120hs (6hs semanais). Ambas são ministradas nos laboratórios de informática do Núcleo de Atividades Tecnológicas – NAT, da Instituição. A atividade integrada de modelagem e prototipagem foi realizada em seis semanas, da instrumentalização a apresentação dos trabalhos, e foi a primeira das três avaliações do semestre. Enquanto os conteúdos conceituais e normativos para o desenvolvimento do projeto foram acontecendo na disciplina PA II, exercícios eram aplicados nas aulas de IARP II para a aprendizagem dos recursos de geração de sólidos e superfícies, de geometrias convencionais e não convencionais (composição de objetos). O desenvolvimento de modelos virtuais com utilização de Mesh e NURBS, não foram contemplados.

Para a atividade integrada, alguns parâmetros de projeto, como o formato e dimensionamento do terreno, o número de pavimentos (Gabarito Máximo), configuração viária (terreno de duas esquinas), topografia do terreno (plano), eram de conhecimento dos alunos, porém a geração de formas foi pautada pela experimentação digital, em processo que se aproximou à Gramática da Forma, com manipulação geométrica e transformações do tipo Boleanas (união, subtração e

interseção). As seções não foram exploradas. No entanto, vistas ortogonais e perspectivas foram bastante utilizadas para a visualização dos modelos virtuais, incluindo o estudo de sombras projetadas pelo posicionamento geográfico.

O levantamento de dados para o projeto proposto contou com pesquisa bibliográfica e documental (legislação), visita ao local da proposta arquitetônica e em escolas da rede municipal, além de informações em *sites* da Internet. A execução dos cortes e montagem das maquetes pelos alunos foi feita fora do horário de aula, com agendamento de horários no Laboratório das Engenharias, sempre acompanhados pelos técnicos. Cada volumetria desenvolvida foi apresentada às professoras, tanto no modelo digital como no modelo físico, posicionadas na maquete do terreno com as edificações do entorno, além de um relatório do processo de geração da forma e construção do modelo físico, com descrição da análise do resultado obtido. A figura 52 apresenta os trabalhos de três alunos, identificados como Aluno A, alunos B e aluno C.

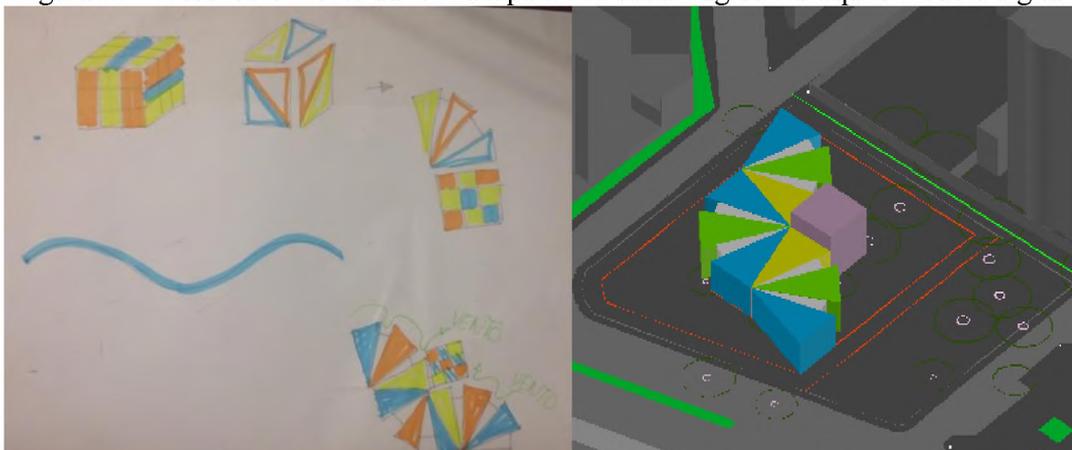
Figura 52 - Trabalhos apresentados pelos alunos



Fonte: acervo da autora, 2016.

A concepção da forma, nos três casos apresentados na Figura 53, foi desenvolvida com diferentes abordagens. A aluna A, relatou que “[...] a base de toda a geometria da arquitetura é um cubo mágico que se desconstrói em triângulos” (Figura 53).

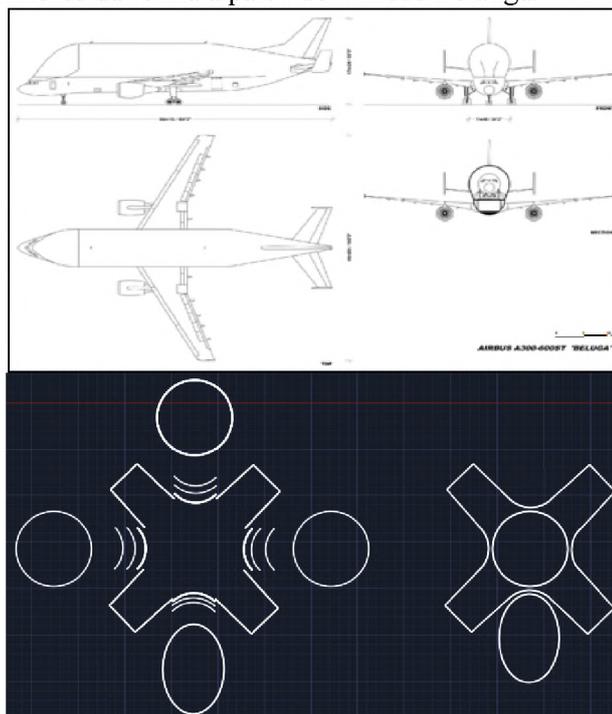
Figura 53 – Desenvolvimento da forma a partir do cubo mágico – croqui e modelo digital.



Fonte: acervo da autora; elaborado pela aluna A, 2016.

O aluno B descreveu que “A ideia inicial partiu do ‘Airbus Beluga’. Após a decomposição da aeronave surgiu a primeira forma que conforme orientação da professora foi duplicada, para aumentar a área construída [...]”, resultando na forma da Figura 55.

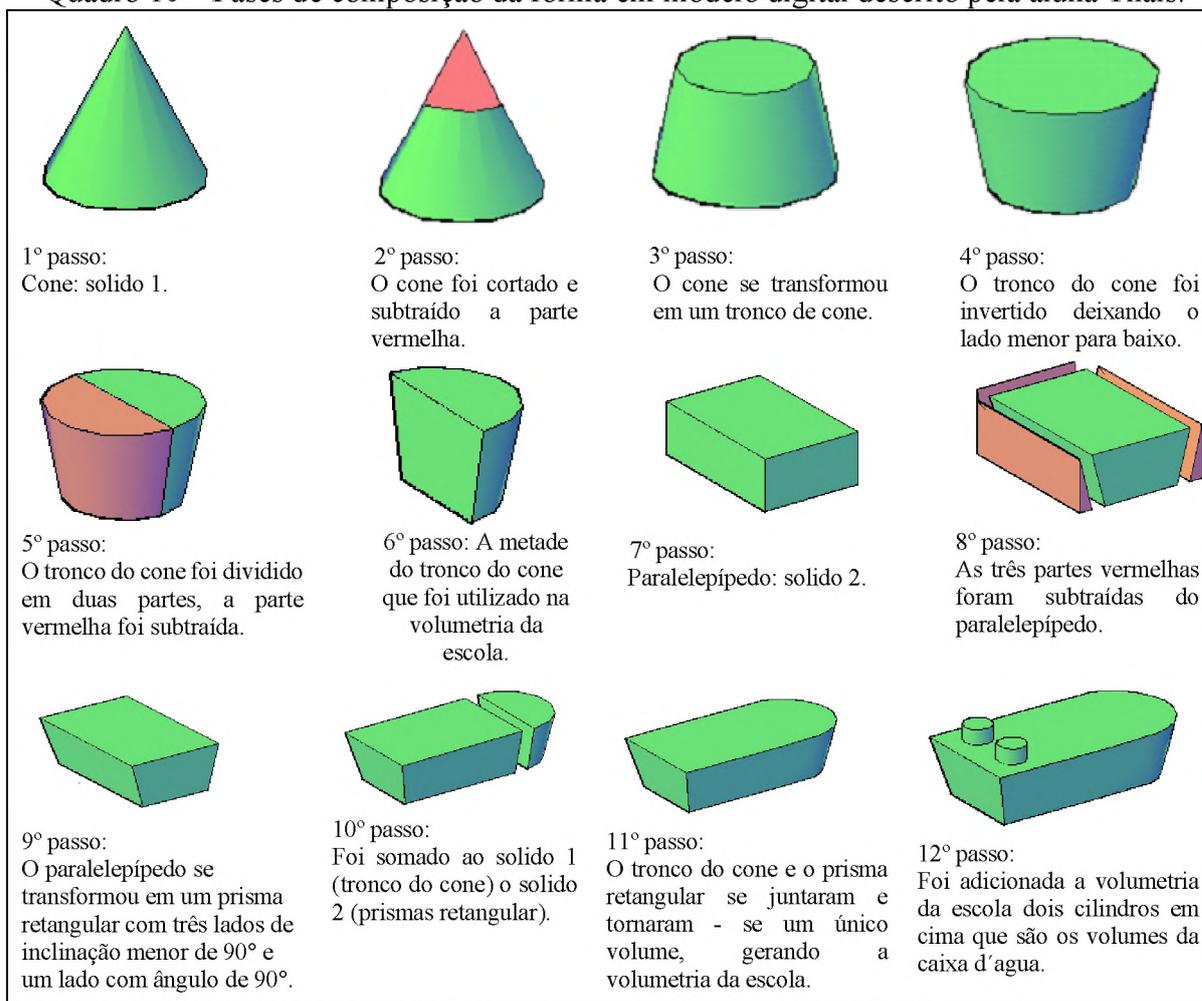
Figura 54 - Desenvolvimento da forma a partir do ‘Airbus Beluga.’ – imagem e desenho digital.



Fonte: acervo da autora; elaborado pelo aluno B, 2016.

O aluno C utilizou sólidos primitivos para compor a forma final, aplicando transformações e deformações na geometria dos sólidos. Pode-se observar as fases da composição no Quadro 10.

Quadro 10 – Fases de composição da forma em modelo digital descrito pela aluna Thais.



Fonte: acervo da autora; elaborado pela aluna C, 2016.

### • Resultados e desdobramentos

A experiência se mostrou positiva sob o aspecto do ensino, e apesar de não ter sido aplicado um instrumento de coleta de dados para averiguação dos resultados, alguns aspectos justificam essa afirmativa. A dinâmica da interdisciplinaridade provocou ajustes no conteúdo programático de ambas as disciplinas e na organização didática das professoras, provocando um avanço no ensino, pela iniciativa de ampliar o uso de ferramentas digitais no pensar do projeto arquitetônico, principalmente na fase inicial. Percebeu-se, também, que os alunos se sentiram motivados a realizar os modelos virtuais e físicos, pela ‘novidade’ da prototipagem rápida e pela produção de um único trabalho para as duas disciplinas.

Observou-se ainda, que na geração das formas, houve uma preferência pelo processo de extrusão paralela e uso de primitivas geométricas, não sendo utilizados comandos como *Loft* e o *Sweep* para criar volumetrias mais complexas, mesmo que exercícios de modelagem

provocassem essas construções formais. O fato pode ser atribuído ao desenvolvimento acadêmico concernente aos alunos do quarto período, que estavam iniciando o aprendizado da modelagem virtual. Contudo, nas etapas seguintes, de acordo com relato da professora da disciplina de projeto, a maioria dos projetos se deu a partir dos estudos volumétricos digital e físico, realizados na atividade integrada.

A apropriação dos recursos digitais, para estudos da forma arquitetônica, demandou a ampliação dos conteúdos que tratam da modelagem geométrica na disciplina de Informática Aplicada, integrando processos de geração, materialização e fabricação. A interdisciplinaridade agregou conhecimentos para alunos e professores, e permitiu observar como o processo de desenvolvimento do projeto em sua fase inicial pode ser permeada pela modelagem virtual e prototipagem rápida de modelo real.

Tornou evidente que a experimentação digital, durante o processo criativo, aliando a tecnologia digital à materialização do objeto em estudo, incorpora ações de aprendizagem adequadas ao ensino de projeto. A experiência relatada tornou-se um indicativo importante para a necessidade de estabelecer parâmetros curriculares mais adequados ao perfil do egresso no século XXI, com articulação interdisciplinar do ensino das ferramentas digitais aplicadas ao desenvolvimento projetual em arquitetura e urbanismo.

A atividade foi repetida na turma sequencial, porém, por um ajuste de conteúdos, foi introduzido o *software* Revit<sup>®</sup>, versão 2015, como programa a ser utilizado. O modelo virtual de apoio modelado no AutoCad para a atividade do período anterior, foi importado pelo Revit<sup>®</sup> e serviu de base para os estudos volumétricos dos alunos, que geraram modelagem geométrica, com as ferramentas estudo de Massas (*Massing and Site*). Foi preciso utilizar *Add-in* conversor de Arquivo STL (*STL File Converter*) para gerar arquivo compatível com o *software* 123D *Make*. A atividade causou um pouco mais de dificuldade aos alunos, pela adaptação ao *software* Revit<sup>®</sup>, já que na disciplina IARP I, a instrumentalização foi feita no programa AutoCad. No entanto, a avaliação do processo e do resultado obtido foi positiva.

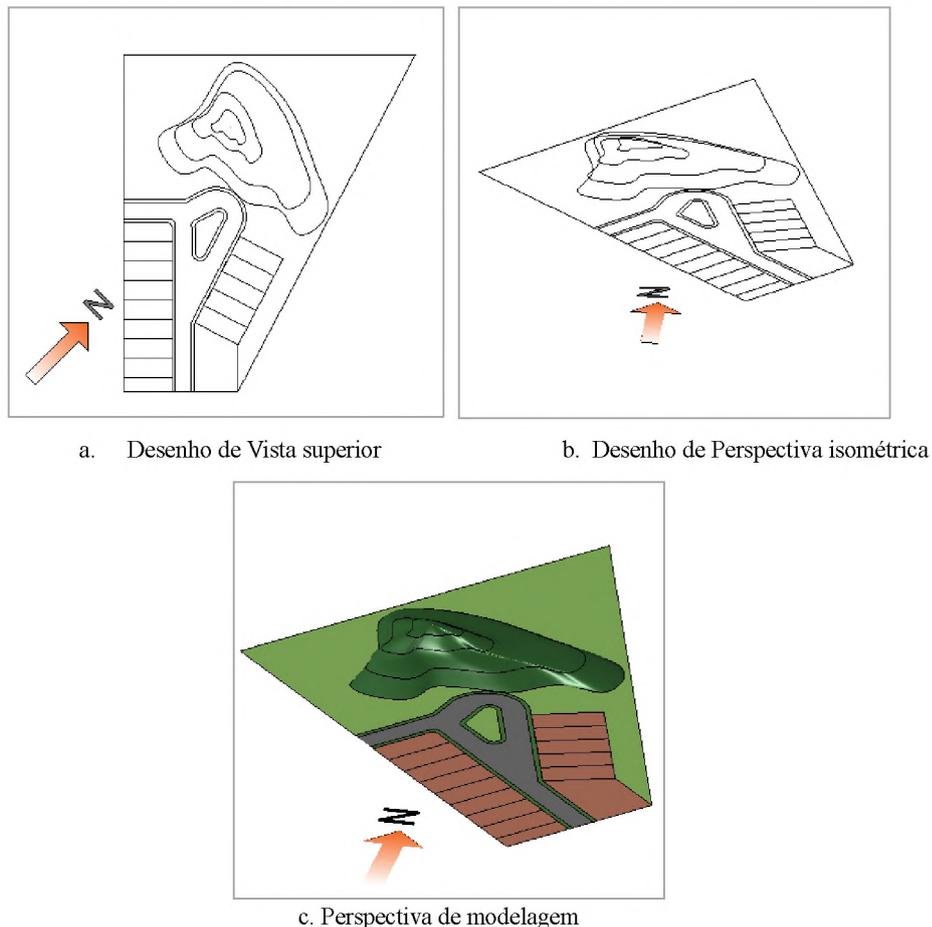
- **Experiência docente III: curso de extensão ‘Modelagem da forma arquitetônica e do objeto’.**

No segundo semestre de 2018, durante o evento ‘Jornada Científica da FAESA’, foi ministrado o curso de extensão ‘Modelagem Virtual da forma arquitetônica e do objeto’, aberta para participação de alunos de Arquitetura e Urbanismo e Design de Interiores, sem limites de

periodização. Durante dois dias, o curso teve a duração de 10 horas, em dois dias, com vagas para 20 alunos, em dois turnos - matutino e vespertino. O programa utilizado foi o Autocad e as atividades foram distribuídas em duas partes. A primeira parte teve início com uma palestra que apresentou um panorama da tecnologia digital aplicada à Arquitetura e Urbanismo contemporâneos, e a importância da modelagem e da prototipagem no processo de projeto. Depois, foram iniciadas as atividades de instrumentalização, nas quais foram apresentados os principais recursos de modelagem geométrica do programa, em exercícios do tipo estudo dirigido. Foi detectado que os alunos inscritos nas duas turmas, em média 15 alunos, eram na totalidade da Arquitetura e Urbanismo, então a atividade se direcionou para essa área.

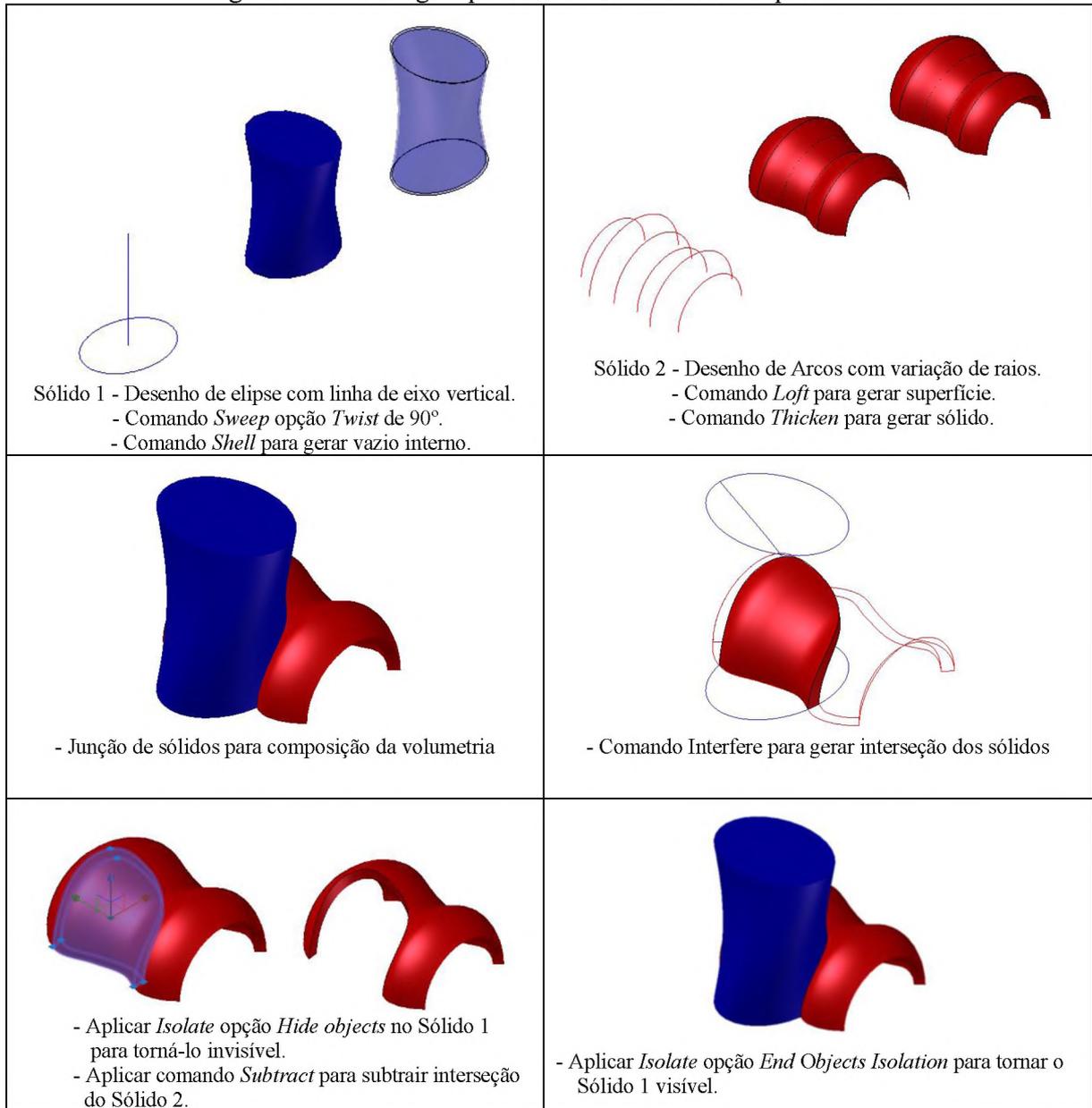
Foi modelada uma região urbana com topografia plana e em aclive (Figura 55 a-c), com lotes e via de acesso com calçada. A localização geográfica foi feita com latitude e longitude para a cidade de Vitória- ES. Foram utilizados comandos como *Loft e Sweep* para gerar a topografia, e também volumetrias que simularam edificações de geometrias não-convencionais. Para a manipulação da forma foram aplicadas operações Boleanas, entre outros (Figura 56).

Figura 55 – Desenho de base da topografia da região urbana.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

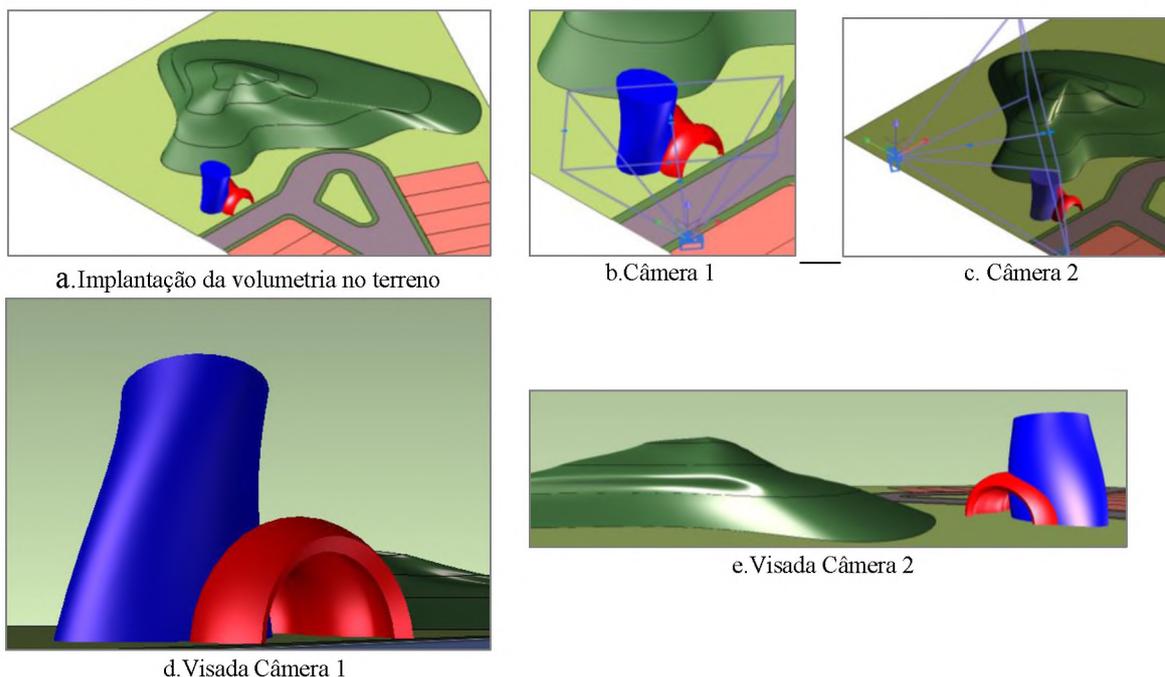
Figura 56 – Modelagem para estudo de volumetria arquitetônica.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

A segunda parte do curso foi dedicada à análise do produto arquitetônico e implantação em espaço urbano, por meio de posicionamento de ‘cameras’ para gerar visadas em perspectiva, tendo o ‘pedestre’ como referência principal, se limitar, no entanto, outros pontos de vista (Figura 57 a-e).

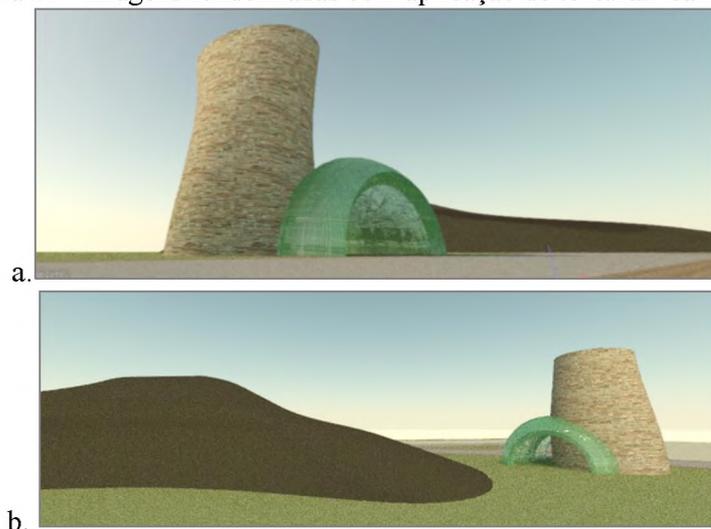
Figura 57 – Implantação da volumetria no terreno e posição de câmeras para gerar pontos de visadas.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Para gerar maior realismo, o arquivo foi preparado para a renderização, com aplicação de materiais e texturas. Deste modo, simular sombras e sensações em relação a proporções, cores, reflexos, transparências, geometria da forma, e os impactos em escala humana e urbanística (Figura 58 a e b).

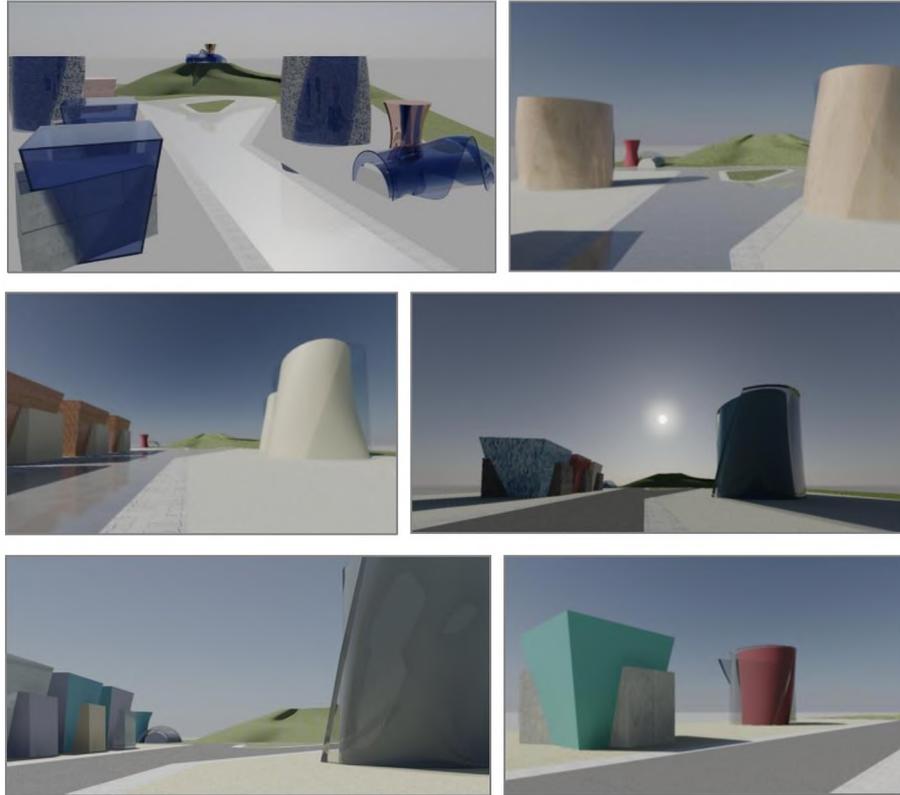
Figura 58 –Imagens renderizadas com aplicação de texturas realísticas.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Também foram utilizadas ferramentas de investigação formal do modelo gerado, seções em planos verticais e horizontais, a geometria da forma. Para tal foi utilizado o espaço *Paper Space* e as ferramentas *Project* (projeção) e *Sections* (seção) do *menu layout*, barra *View*.

Figura 59 - Imagens geradas dos trabalhos da Oficina de modelagem virtual da forma arquitetônica.



Fonte: acervo da autora, 2018.

- **Resultados e desdobramentos**

O curso de extensão foi proposto para apresentar modelagem geométrica com recursos mais avançados para geração de formas não-convencionais, em estudos volumétricos na fase preliminar de concepção projetual. Contribuiu para complementar a instrumentalização do programa Autocad®, já que a instrumentalização do *software*, na grade curricular em vigor, é feita apenas para desenhos bidimensionais. Foram observados, durante a apresentação do tema, a curiosidade dos alunos e o desconhecimento em processos de projeto paramétrico e generativo. O interesse dos alunos em participar do curso, foi detectada na apresentação inicial, na qual cada aluno tinha que identificar e dizer a motivação para a inscrição. Em parte deveu-se ao fato da conquista de horas complementares em cursos de extensão, exigidas pelo curso. No entanto, notou-se que a maioria dos quase trinta alunos, foi pelo tema proposto.

Ao fim, os alunos completaram as atividades e se mostraram surpresos com os recursos de modelagem e renderização do *software* utilizado para gerar volumetrias de estudo, e mais inteirados ao tema de modelagem digital como recurso de experimentação, para além das ‘maquetes de apresentação’, no processo de projeto. No estudo dirigido proposto, a base

geométrica da modelagem foi a mesma, porém cada aluno pôde manipular a forma de acordo com a sua necessidade de investigação, tanto de geometria quanto de materiais.

#### **5.4 Reflexões sobre as vivências de ensino**

A investigação sobre conteúdos e estratégias de ensino para instrumentalização de recursos digitais, de modo a dar suporte à expressão da capacidade criativa nos processos projetuais de disciplinas de Informática Aplicada, motivou a participação nas atividades relatadas. Amparada pelo referencial teórico, que conceitua o digital na arquitetura e urbanismo, a observação sob a ótica docente dos processos digitais para desenvolvimento de projetos, em especial os recursos de experimentação da forma arquitetônica, foi importante para esclarecer a hipótese lançada e ampliar a compreensão sobre o tema abordado. Em outro aspecto, mostrou que o aprendizado dos processos digitais é contínuo e que a prática de pesquisa leva ao entendimento e ao domínio de conceitos e operacionalizações.

Neste trabalho, entende-se que o manejo operacional de ferramentas digitais é uma das habilidades que permitem ao projetista o uso de *software* com eficiência e agilidade, nas demandas projetuais. Deste modo, foi possível experienciar, na participação dos eventos e na prática docente, como a modelagem virtual e a prototipagem digital possibilitam análises e reflexões a respeito das propostas de projetos, no ambiente de formação de futuros arquitetos urbanistas. O planejamento de conteúdos que contemple atividades teórico-práticas e torne a instrumentalização parte do processo de projeção, como acontece nos *workshops*, dinamiza o aprendizado e reafirma o ambiente de experimentação dos ateliê de projeto, como idealiza Oxman (2008).

Assim, pode-se observar que o processo inventivo, inovador, experimental do arquiteto urbanista, se amplia com o uso da tecnologia digital, por oferecer dinâmica metodológica baseada em algoritmos, manipulação e arquivamento de dados, além das sinapses visuais, das quais comenta Cocciarella (2006). A simulação virtual permite que soluções sejam testadas de modo interativo, possibilitando tomadas de decisão pautadas em dados precisos, e a materialidade ajustada às lentes do virtual, pode ser transportada para o mundo real, pela mesma tecnologia que a produz (*File to File*).

Constatou-se também, que a estética contemporânea da arquitetura e urbanismo explora, cada vez mais, conceitos de geração e performance baseados em princípios da natureza (morfogênese, biomimética, fractais, etc). A qualidades orgânicas e performáticas das formas

arquitetônicas, são resultantes de processos de pesquisa e experimentação, nos quais os recursos computacionais têm grande participação, conferindo precisão à geometria das formas, produzindo dados e simulações.

A multidisciplinaridade e a colaboração são aspectos que foram bastante evidenciados nas atividades dos *workshops*, e na literatura sobre o tema, a interligação da arquitetura com a engenharia, como ressalta Bosia (2018), favorece a evolução de metodologias projetuais com precisão e possibilidades construtivas de toda ordem, impulsionados pelos processos de fabricação digital, já amplamente utilizados pelas indústrias naval, aeroespacial e automobilística, e agora mais próxima do dia-a-dia das pessoas. Identificou-se que a prática da prototipagem digital, quando inserida no contexto de ensino, destaca a importância dos recursos digitais no processo de concepção projetual, especialmente quando o modelo virtual pode ser gerado e manipulado na construção da forma, seja pela modelagem geométrica ou paramétrica. Também fornece a base para a construção do modelo físico pelos processos de prototipagem ou fabricação digital, ampliando a compreensão do projeto, análise e a verificação de fatores construtivos e sensoriais. Contribui ainda para a retomada das maquetes, desde os primeiros estágios do processo de projeto, prática que quase desapareceu com o avanço da computação gráfica, e principalmente, pelos avanços e impactos da tecnologia digital na arquitetura, engenharia e indústria de construção, como ressaltam Celani e Pupo (2008).

Ficou evidenciado, que a existência de laboratórios para o estudo de processos e aplicações digitais é fundamental para que seja viabilizada a implementação dos recursos digitais no ensino de arquitetura e urbanismo, além de impulsionar o trabalho de pesquisadores, docentes e discentes, na construção de currículos acadêmicos ajustados às atuais demandas tecnológicas da atividade profissional. A integração do laboratório com disciplinas da grade curricular, especialmente projeto, é um dos principais objetivos a serem alcançados,

Ressalta-se que a atualização e os treinamentos em software de CAD/BIM/CAM (de iniciativa individual), foram de grande importância no entendimento de cada tecnologia, e ajudaram a refinar os conteúdos no ensino de cada nível de instrumentalização, ajustando as ferramentas como interlocutoras na ação projetual. Nesse sentido, corrobora-se as recomendações de alguns autores (CELANI; PUPO; 2008; OXMAN, 2008 - 2014, etc.) de que a atualização e treinamentos do corpo docente deve ser incentivada pela promoção de cursos organizados pelas próprias Instituições, contribuindo para que a instrumentalização realizada nas disciplinas de

Informática Aplicada efetivamente se realize na aplicações de recurso e atividades de projetos e outros, como indica Kara (2015).

As atividades de criação no estudo volumétrico com modelagem virtual e prototipagem, na primeira atividade relatada, assim como a criação de painel por composições regradadas, na segunda atividade, despertaram a investigação e experimentação de possibilidades de formas geométricas, planas e volumétricas, assim como ajustaram as expectativas em relação ao emprego do digital na elaboração de projetos. Contudo, percebeu-se que algumas deficiências em fundamentos de geometria plana e espacial, demonstram que ajustes com reforço de conteúdos são necessários.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desafio da formação acadêmica atual é preparar profissionais para um mercado de atuação em que a metodologia projetual se ancora na computação para estender a capacidade do projetista na racionalização, exploração e simulação de soluções de projetos. A discussão sobre a inserção do digital nos currículos acadêmicos se depara com algumas barreiras ainda existentes, sobre essa realidade. Ao se considerar que o meio digital provoca mudanças no modo de pensar e construir a arquitetura, se admite que o modelo de ensino deva acompanhar essas mudanças. Deste modo, pode-se concluir que:

- O processo de concepção é essencialmente um momento de experimentação das possibilidades criadas no pensamento do projetista e os recursos de geração, manipulação e visualização da modelagem virtual são auxílios importantes nas fases iniciais do projeto de arquitetura. No âmbito acadêmico, o ensino de recursos para a modelagem virtual e prototipagem deve ser priorizado na instrumentalização digital da Informática Aplicada.
- Em termos geométricos, a modelagem virtual representa possibilidades de geração de formas que se apropriam da geometria não euclidiana, utilizando curvas de controle por pontos, como as NURBs, por exemplo, e que desafiam geração de vistas e cortes tradicionais, para explicar a complexidade formal. O uso do modelo virtual para a fabricação do modelo real viabiliza a materialização dessas concepções. Deste modo, identifica-se que o conhecimento mais aprofundado da geometria para a construção de sólidos e superfícies é necessário para explorar melhor e mais eficientemente a modelagem virtual. No entanto, há também o fator positivo de que, ao gerar um objeto no computador, de modo intuitivo, experimental, pode-se entender as relações geométricas que se estabelecem, e deste modo, acrescentar conhecimento ao estudante. A participação do professor nessa conceituação de fundamentos se torna muito importante, tanto para a consolidação de conteúdos geométricos, quanto na aplicação desses recursos na metodologia projetual. As ferramentas digitais de visualização e análise contribuem muito para esse entendimento.
- A metodologia projetual se ampara cada vez mais nos recursos digitais para estender as habilidades criativas, assim como busca nas ciências naturais, organismos e sistemas, argumentos para conceituação projetual. A associação do aprendizado das ferramentas

digitais utilizando métodos generativos para a concepção do objeto arquitetônico favorece a instrumentalização como recurso de projeto.

- A evolução dos *softwares* e equipamentos formam, atualmente, um conjunto de recursos que auxiliam a projeção, em várias aplicações. A modelagem virtual tornou-se essencial no processo digital de projeção, principalmente nas fases iniciais de concepção, e pode ser do tipo geométrica, quando gerada no sistema CAD, ou paramétrica, quando gerada no sistema BIM.
- Foi observado que a modelagem geométrica demanda um grau de abstração menor, em comparação à modelagem paramétrica, que amparada por *software* como o *Grasshopper* ou *Dynamo*, exige do aluno um maior desempenho lógico matemático, na programação dos parâmetros modeladores da forma. Portanto, sugere-se que a instrumentalização digital deve começar com a modelagem geométrica, avançar na representação de projetos, utilizando um *software* paramétrico,
- Para que a modelagem virtual e a prototipagem digital sejam realizadas é preciso conhecer programas CAD/BIM/CAM. Porém, na atualidade, a variedade de programas é grande, e exige uma definição, de certo modo hierárquica, quando se define o sistema e os resultados pretendidos. Esse fator de multiplicidade de opções, cria dificuldades para a instrumentalização na definição de sistemas, *software*, equipamentos, associados ao domínio da tecnologia por parte dos professores de informática (e do restante do corpo docente) e das estratégias didáticas a serem adotadas.
- A estruturação dos ateliês de ensino de projeto, diante dessa variedade de opções tecnológicas, passa a ser fundamental na continuidade das práticas projetuais com apoio dos recursos digitais na metodologia projetual. Um espaço estruturado para ensino de projeto, que se caracterize como ambiente de investigação, exploração, pesquisa. conforme orienta Oxman (2008), um espaço de experimentação.
- A possibilidade de vivenciar nos *workshops* e nas atividades docentes o processo de projeto integralmente informatizado, ratificou a interdisciplinaridade como prática de ensino pertinente à Informática Aplicada à arquitetura e urbanismo. Além disso, destaca-se a necessidade de criação de grupos de pesquisa, com participação de professores, e alunos, que possam fomentar o conhecimento da tecnologia digital, tanto nos processos de projeto, quanto na instrumentalização digital e no ensino de arquitetura e urbanismo.

Por fim, ficou evidenciado que a modelagem virtual e a prototipagem rápida, inseridas no ensino das Informática Aplicada, ressaltam a importância dos recursos digitais para experimentação da forma na concepção projetual, principalmente na geração de formas não convencionais. A instrumentalização aliada a uma prática projetual faz da experimentação o principal recursos de aprendizagem, que envolve tempo, equipamentos e espaços estruturados para a investigação de conceitos, assim como pessoas motivadas a criar e inovar. O levantamento de informações acerca do tema, ratificaram algumas certezas e provocam outras inquietudes, que indicam a realização de pesquisas sobre metodologias projetuais com processos generativos, baseados na biomimética e morfogênese, como futuros campos de investigação para o ensino de projetos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3DPRINT.COM. **Contour Crafting Will Develop Concrete 3D Printer for Disaster Relief, Thanks to DoD Contract**. Imagem. Disponível em: <https://3dprint.com/222125/contour-crafting-dod-contract/>. Acesso em: 10 jan. 2019.

ABEA. Proposta de alteração da resolução cne/ces nº2/2010 que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo. *In: XVII CONABEA – Congresso Nacional da ABEA /XXVII ENSEA - Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo*. Goiânia: ABEA, 2013, p.30-31. **Anais [...]**. Disponível em: [http://abea.org.br/wp-content/uploads/2014/02/Proposta\\_Altera\\_Diretrizes.pdf](http://abea.org.br/wp-content/uploads/2014/02/Proposta_Altera_Diretrizes.pdf). Acesso em: 15 jan. 2018.

ACADIA. **The Hangzhou Tennis Center**. Imagem. 2011. Disponível em: <http://acadia.org/papers/T6KK2N>. Acesso em: 10 jan. 2019.

AGKATHIDIS, Asterios. Generative design methods - implementing computational techniques in undergraduate architectural education. *In: Martens, B, Wurzer, G, Grasl T, Lorenz, WE and Schaffranek, R (eds.), Real Time - Proceedings of the 33rd eCAADe Conference*, Volume 2, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, 16-18 September 2015, pp. 47-55

ALDESIG. **Protótipos rápidos**. Imagem. Disponível em: [http://aldesig.com.br/index.php?route=gallery/album&album\\_id=19](http://aldesig.com.br/index.php?route=gallery/album&album_id=19). Acesso em: 10 jan. 2019.

ALVES, João Murta. O sistema *Just In Time* reduz os custos do processo produtivo. *In: XXV Congresso Brasileiro de Custos, novembro, 2018, Vitória, ES. Anais [...]* Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3431/3431>. ISSN 2358-856X. Acesso em: 20 jan. 2019.

AMORIM, Arivaldo Leão de. Cidades Inteligentes e City Information Modeling. *In: SIGRaDi 2016, XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 9-11, November, 2016 - Buenos Aires, Argentina. Anais [...]*. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/cidades-inteligentes-e-city-information-modeling-24838>. Acesso em: 20 dez. 2018.

ANDRADE, Max. Prototipagem Rápida. *In: BRAIDA, Frederico et al (Organizadores). 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 78, p. 164-165.

ARCHDAILY. **Museu Kunsthaus Graz**. Imagem. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/01-132249/museu-kunsthau-graz-produz-a-energia-que-consome-atraves-de-paineis-solares-em-sua-cobertura>. Acesso em 20 jun. 2017.

\_\_\_\_\_. **Clássicos da Arquitetura: Biosfera de Montreal / Buckminster Fuller**. Imagem. 2016. Disponível em: <https://images.adsttc.com/media/images/546a/753b/e58e/cea7/5a00/002f/slideshow/abdallah.jpg?1416262967>. Acesso em 10 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **AD Classics: Kubuswoningen / Piet Blom.** Imagem Dirk Verwoerd. Disponível em: [https://images.adsttc.com/media/images/5312/3ac4/c07a/80b9/3f00/003b/large\\_jpg/DV0\\_0800-Edit.jpg?1393703616](https://images.adsttc.com/media/images/5312/3ac4/c07a/80b9/3f00/003b/large_jpg/DV0_0800-Edit.jpg?1393703616). Acesso em: 10 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Departamento de Saúde de Bilbao/Coll-Barreu** Arquitectos. Imagem Coll-Barreu Arquitectos, 2014. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/601651/sede-do-departamento-de-saude-de-bilbao-slash-coll-barreu-arquitectos>. Acesso em: 20 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Biblioteca Pública de Seattle.** Rem Koohaas e Josua Prince-Ramus. Imagem Fernando Herrera. 2014. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/624269/biblioteca-central-de-seattle-oma-mais-lmn>. Acesso em: 20 jan. 2019

\_\_\_\_\_. **Pirâmides do Louvre/ I.M. Pei.** Imagem Reiji k.A. Disponível em: <https://images.adsttc.com/media/images/5037/ebb2/28ba/0d59/9b00/047c/slideshow/stringio.jpg?1414219171>. Acesso em: 10 jan. 2019.

BARCELONATURISME. **Peix (Pez), Frank Gehry.** s.d. Imagem. Disponível em: <https://www.barcelonaturisme.com/wv3/es/page/1965/peix-pez-frank-gehry.html>. Acesso em 20 fev. 2019.

BATISTA, Luciana Teixeira. **O processo de projeto na era digital.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2010. Disponível em: [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/RAAO8CDKUT/luciana\\_teixeira.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/RAAO8CDKUT/luciana_teixeira.pdf?sequence=1). Acesso em: 15 jan. 2013.

BAYAZIT, Nigan. Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research. **Design Issues**, Volume 20, Number 1 Winter 2004. MIT - Massachusetts Institute of Technology. Disponível em: <http://www.ida.liu.se/~steho/desres/bayazit.pdf>. Acesso em 15 jan.2013.

BRAIDA, Frederico. Digitalização 3D. *In*: BRAIDA, Frederico *et al* (Organizadores). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital.** São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 38, p. 90-91.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais.** Resolução CNE/CES nº 2, de 17 de junho de 2010. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category\\_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192). Acesso em 21 dez. 2016.

BRASÍLIA FAB LAB. **GUIA: Entendendo a fresadora CNC.** Imagem. Disponível em: <https://medium.com/bsbfablab/guia-entendendo-a-fresadora-cnc-583fa153ef98>. Acesso em: 17 dez. 2018.

BOSIA, Daniel. Digital to post digital. *In*: KARA, Hanif; BOSIA, Daniel. **AD (smart 03) Design Engineering Refocused.** United Kingdom: Willey, 2016, p. 33-50. Disponível em: [https://issuu.com/cagdaoz/docs/ad\\_smart\\_03\\_2016\\_design\\_engineering](https://issuu.com/cagdaoz/docs/ad_smart_03_2016_design_engineering). Acesso em 15 dez 2018.

BUENO, Ernesto. Parametria/Parametrismo. *In*: BRAIDA, Frederico *et al* (Organizadores). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital.** São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 71, p. 150-151.

BUERY, Cristina Cerqueira. **Ensino da representação gráfica digital aplicada ao desenvolvimento de projeto**: o caso da UFRJ. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: PROARQ, 2013. 131 p.

CADCURSOSCANGURU. **Fases da Prototipagem Digital**. Imagem. Disponível em: <https://cad.cursosguru.com.br/o-que-e-prototipagem-digital/>. Acesso em: 10 jan. 2019.

CADERNOS ABEA. Proposta de alteração da resolução cne/ces nº2/2010 que institui as diretrizes curriculares nacionais do curso de graduação em arquitetura e urbanismo. *In*: XVII CONABEA – Congresso Nacional da ABEA /XXVII ENSEA - Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo. **Anais [...]** Goiânia: ABEA, 2013, p.30-31 (Caderno; 38). Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B1yOFSPeROtJMmVtOW5aaXpWN2M/view>. Acesso em: 23 dez. 2018.

\_\_\_\_\_. Conclusões e recomendações do encontro. XII Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo. *In*: XII Encontro Nacional sobre o Ensino de Arquitetura e Urbanismo. Belém, outubro / novembro de 1995. **Anais [...]**. ABEA. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B1yOFSPeROtJWUx6d1c0SUIIejA/view>. Acesso em: 20 dez. 2018.

\_\_\_\_\_. XXXII ENSEA/XVII CONABEA: ABEA 40 anos. Arquitetura e urbanismo: formação unificada no Brasil./ XXXII Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo, XVII Congresso Nacional da ABEA. Goiânia-GO – Brasil, 13 à 15 de maio de 2013, Pontifícia Universidade Católica de Goiás; Comissão organizadora Fernando José de Medeiros Costa... et al... – Goiânia: ABEA, 2013. 310 p.: il. – (Caderno; 38). **Anais [...]**. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B1yOFSPeROtJemlWR3A1QIZGNnc/view>. Acesso em: 15 dez. 2018

\_\_\_\_\_. CAMPOS, José Carlos Gomes. **Fabricação robótica em arquitetura**: Princípios, processos e aplicações. Dissertação (Mestrado Integrado em Arquitetura) Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto, 2016. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/87253/2/158923.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2018.

CARDOSO, Christina Araújo Paim. **Formas arquitetônicas**: Possibilidade em ambiente computacional. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia, 2005. Salvador. 229 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufba.br:8080/ri/handle/ri/8814>. Acesso em: 15 jun. 2017.

CARREIRO, Patrícia de Oliveira Dias Porto. **Inserção da informática nos cursos de arquitetura no Brasil (1994-2006)**: Diagnósticos, rebatimentos, e perspectivas nas Instituições Federais de Ensino Superior do Nordeste: UFRN, UFPB e UFPE. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12335>. Acesso em: 03 dez. 2019

CARMO, Carina. Cenário#1. Imagem. Disponível em: <https://carinacarmo.com/portfolio/cenario-01/>. Acesso em 15 jan. 2019

CARVALHO, Ramon Silva de; SAVIGNON, Affonso Pedro de. O professor de projeto de arquitetura na era digital: desafios e perspectivas. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, Volume

6, Número 2, Janeiro, 2012. DOI: 10.4237/gtp.v6i2.215. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/51007/55074>. Acesso em: 05 jan. 2017.

CELANI, Gabriela. Uma nova era para a arquitetura. *In*: CELANI, Gabriela; SEDREZ, Maycon (Organizadores). **Arquitetura contemporânea e automação**: prática e reflexão. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 17-20.

\_\_\_\_\_. Espaços para a prática da interdisciplinaridade: laboratórios de fabricação digital na pesquisa, ensino e extensão. *In*: PHILIPPI JR., Arlindo; FERNANDES, Valdir (Organizadores). **Práticas da Interdisciplinaridade no Ensino e Pesquisa**. São Paulo: Manole, 2018, s.p. Disponível em: <https://loja.minhabiblioteca.com.br/ebooks/1143173-praticas-da-interdisciplinaridade-no-ensino-e-pesquisa>. Acesso em: 18 dez. 2018.

\_\_\_\_\_. Prefácio. *In*: BRAIDA, Frederico *et al*(Organizadores). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 2, p. 12-14.

\_\_\_\_\_. Algoritmo. *In*: BRAIDA, Frederico *et al*(Organizadores). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 2, p. 22-23.

\_\_\_\_\_. CAAD (*computer-aided architectural design*). *In*: BRAIDA, Frederico *et al*(Organizadores). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 12, p. 40-41.

\_\_\_\_\_; VAZ, Carlos Eduardo Verzola; PUPO, Regiane. Sistemas generativos de projeto: classificação e reflexão sob o ponto de vista da representação e dos meios de produção. **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**, São Paulo, Vol. 1, n. 1, 2013, ISSN 2318-7492 Disponível em: <http://rbeg.net/artigos/artigo2.pdf>. Acesso em: 15 jun 2017.

\_\_\_\_\_. Digital Fabrication Laboratories: Pedagogy and Impacts on Architectural Education. **Nexus Network Journal**. Volume 14, n. 3, Outubro 2012, p 469–482. DOI: 10.1007/s0 0004-012-0120-x. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00004-012-0120-x>. Acesso em: 24 maio 2018.

\_\_\_\_\_. A importância da pesquisa na formação de docentes: o caso da “Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo”. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo FAU Mackenzie**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2007. ISSN 1809-4120. Disponível em: <http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cpgau/article/view/2007.1.Celani/4337>. Acesso em 10 dez 2016.

\_\_\_\_\_. BERTHO, Beatriz Carra. A prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de arquitetura. *In*: VII INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN - GRAPHICA 2007, 7, Curitiba. **Anais [...]**, Curitiba: ABEG, 2007. 8 p. CD-ROM.

\_\_\_\_\_, Gabriela *et al*. Gramática da forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura. **Conexão – Comunicação e Cultura**, UCS, Caxias do Sul, v. 5, n. 10, p. 181-197, jul./dez. 2006. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/conexao/article/view/222/213>. Acesso em: 23 dez. 2018.

\_\_\_\_\_, Maria Gabriela C.; GIACAGLIA, Marcelo E.; KOWALTOWSKI, Doris C. C. K.. CAD - o lado criativo: duas experiências educacionais visando mudar a forma como

estudantes de arquitetura usam o CAD. Pós. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, São Paulo, n. 14, p. 66-79, dezembro, 2003. ISSN 2317-2762. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/43358/46980>. Acesso em: 16 mai. 2017.

\_\_\_\_\_, Gabriela. **CAD criativo**. Rio de Janeiro: Campus, 2003. 158 p.

CHING, Francis D. K. **Arquitetura forma, espaço e ordem**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2012. xiii, 399 p.

COCCHIARELLA, Luigi. Geometry and Graphics in Spatial Invention: Among Mind, Hand, and Digital Means. *In: VI INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN - GRAPHICA 2006*, 6, Salvador. **Anais [...]**, Salvador: ABEG, 2006. 10 p. CD-ROM

COUCEIRO, Mauro Costa. Biomimética. *In: BRAIDA, Frederico et al (Organizadores)*. **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 10, p. 36-37.

COUTERCNC. **Corte e Usinagem de peças Técnicas, Moldes, Maquetes e Projetos Especiais**. Imagem. Disponível em: <https://www.cuttercnc.com/corte-e-usinagem-de-peas-tnicas-e-projetos-especiais>. Acesso em: 15 jan. 2019.

CZMOCH, Ireneusz; PEKALA, Adam. Traditional *Design* versus BIM Based *Design*. **Procedia Engineering**, [s.l.], n. 91, p.210-215, 2014. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.048. Disponível em: [http://ac.els-cdn.com/S1877705814030665/1-s2.0-S1877705814030665-main.pdf?\\_tid=7a6d8670-74a0-11e7-a9e8-00000aab0f27&acdnat=1501362005\\_305b5a87d00869b7936e6f674bb78b26](http://ac.els-cdn.com/S1877705814030665/1-s2.0-S1877705814030665-main.pdf?_tid=7a6d8670-74a0-11e7-a9e8-00000aab0f27&acdnat=1501362005_305b5a87d00869b7936e6f674bb78b26). Acesso em: 10 maio 2017.

DIAS, Maria Angela; MARCONI, Raphael. Construir e viver a arquitetura. Relatos de um workshop em ambiente universitário. **Arquitextos**, São Paulo, ano 16, n. 185.05, Vitruvius, out. 2015. ISSN 1809-6298. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.185/5785>.

DUNN, Nick. **Digital fabrication in architecture**. Londres: Laurence King Publishing Ltd, 2012. 192 p.

EISENMAN, Peter. **BioCentrum**. 1997. Imagem. Disponível em: <https://eisenmanarchitects.com/Biocenter-1987>. Acesso em: 15/ fev. 2019.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de Bim: um guia da modelagem da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. São Paulo: Bookman, 2014. 482 p.

ERICKSON, Arthur. **Tacoma Museum of Glass**. Imagem. Disponível em: <https://www.arthurerickson.com/cultural-buildings/museum-of-glass/1/caption>. Acesso em: 10 jan. 2019.

EXAPRO. **Perez Camps TEC-CAM 1000 cnc vertical milling machine**. Imagem. Disponível em: [https://www.exapro.com/perez-camps-tec-cam-1000-cnc-vertical-milling-machine-p70829031/#prettyPhoto\[p\\_gal\]/0/](https://www.exapro.com/perez-camps-tec-cam-1000-cnc-vertical-milling-machine-p70829031/#prettyPhoto[p_gal]/0/). Acesso em: 10 jan. 2019.

FERNANDES, Alberto Britto Sanches. **A escolha do ponto de vista na perspectiva: Estudo de caso nos três momentos de síntese do curso de Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFRJ.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU, 2014. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/21/teses/824701.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2017.

FLORIO, Wilson. Prototipagem Virtual. *In: BRAIDA, Frederico et al (Organizadores).* **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital.** São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 79, p. 166-167.

\_\_\_\_\_, Wilson. Modelagem paramétrica. *In: BRAIDA, Frederico et al (Organizadores).* **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital.** São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 65, p. 139-140.

\_\_\_\_\_, Wilson; TAGLIARI, Ana. Modelagem e animação para análise de espaços em projetos não construídos. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 61-74, jun. 2016. Disponível em: <http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8643565>. Acesso em: 30 jan. 2017.

\_\_\_\_\_, Wilson. Modelagem paramétrica na concepção de elementos construtivos de edifícios complexos. *In: XV Encontro nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.* Maceió-AL, novembro 2014, p. 2943-2953. DOI: 10.17012/entac2014.516. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/301434412\\_Modelagem\\_parametrica\\_na\\_concepcao\\_de\\_elementos\\_construtivos\\_de\\_edificios\\_complexos](https://www.researchgate.net/publication/301434412_Modelagem_parametrica_na_concepcao_de_elementos_construtivos_de_edificios_complexos). Acesso em: 15 ago 2017.

\_\_\_\_\_, Wilson; SEGALL, Mário Lasar; ARAÚJO, Nieri Soares de. A contribuição dos protótipos rápidos no processo de projeto em arquitetura. *In: VII INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN - GRAPHICA 2007*, 7. Curitiba, **Anais [...]**. Curitiba: ABEG, 2007, 10p.

FORMECH. Formech explores how vacuum forming is innovating design at Pratt Institute, School of Architecture. 2017. Vídeo. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8hDbRGbthVo>. Acesso em: 15 jan. 2019.

FOSTER+PARTNERS. **City Hall.** Imagem. Disponível em: <http://www.fosterandpartners.com/projects/city-hall/> Acesso em: 20 jun 2017.

FUKSAS, Maximiliano; FUKSAS, Dorian M. **Rhike Park - Music Theatre and Exhibition Hall.** 2010. Imagem. Disponível em: <http://fukasas.com/?p=337>. Acesso em: 10 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **New Milan Trade Fair**, 2005. Imagem. Disponível em: <http://fukasas.com/?p=692>. Acesso em: jan. 2019.

GRAMAZIO KOHLER RESEARCH. **The Programmed Wall, ETH Zurich, 2006.** Elective Course. Disponível em: <http://gramazio-kohler.arch.ethz.ch/web/e/lehre/81.html>. Acesso em: 18 dez. 2018.

GOMES FILHO, João. Gestalt dos objetos: sistema de leitura visual de formas. São Paulo: Escrituras 2009. 127 p.

HADID, Zaha. **Spittelau Viaducts Housing Project**. Imagem de Margherita Spiluttini, s.d. Disponível em: <http://www.zaha-hadid.com/architecture/spittelau-viaducts-housing-project/>. Acesso em: 10 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Galaxi Soho**. 2009-2012. Imagem. Disponível em: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/galaxy-soho/>. Acesso em: 20 fev. 2019.

HEALD, David. **Guggenheim Museum Bilbao**. Imagem: Disponível em: <https://www.guggenheim.org/about-us>. Acesso em 18 jun 2017.

HENRIQUES, Gonçalo Castro. Script. In: BRAIDA, Frederico *et al* (Organizadores). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 86, p. 180-181.

HIGUERA, Andrés García, GARCÍA, Fernando J. Castillo. **CIM, el computador en la automatización de la producción**. Barcelona: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2007. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=Ook9Ec9n2ZcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=Ook9Ec9n2ZcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). Acessível em: 20 jan. 2019.

HOLLS, Steven. **Tianjin Ecocity Ecology And Planning Museums**. China, 2012. Imagem. Disponível em: <http://www.stevenholl.com/projects/tianjin-ecocity-ecology-and-planning-museums?>. Acesso em: 18 nov. 2018

HOTZA, D. Prototipagem rápida de pilhas a combustível de óxido sólido. Imagem. **Matéria**. Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, p. 1101-1113, 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762009000400003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762009000400003&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 10 jan. 2019.

IMPRESSORA3D.NET. **Cortadora a laser**. Imagem. Disponível em: <http://www.impressao3d.net.br/corte-gravacao-laser-mdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

KARA, Dr. Levent. A critical look at the digital technologies in architectural education: when, where, and how? **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 176 (2015), p. 526 – 530. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815005431>. Acesso em: 22 jun. 2018.

KAUFMANN, Stefan; SCHUBERT, Gerhard; PETZOLD, Dr. Frank. Escaping the Model's Scale. In: **SIGraDi 2010\_Proceedings of the 14th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**, pp. Bogotá, Colombia, November 17-19, 2010, pp. 30-34. Disponível em: [http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2010\\_30.content.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2010_30.content.pdf). Acesso em: 10 jun. 2018.

KLOFT, Harald. Non-standard structural design for non-standard architecture. In: Koralevic, Branko; MALKAWI, Ali M. . **Performative architecture beyond instrumentality**. New York (and London): Sponsor Press, 2004. p. 135-148. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=SQOTAgAAQBAJ&pg=PA139&lpg=PA139&dq=Dynaform+designed+by+Bernhard+Franken.&source=bl&ots=3RHFIAq4Lf&sig=ACfU3U0hDy7O7GvAI5GCy0M\\_TbsORHftng&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwiXk6KUXMjiAhUjLLkGHUgeCvYQ6AEwB3oECAkQAQ#v=onepage&q=Dynaform%20designed%20by%20Bernhard%20Franken.&f=false](https://books.google.com.br/books?id=SQOTAgAAQBAJ&pg=PA139&lpg=PA139&dq=Dynaform+designed+by+Bernhard+Franken.&source=bl&ots=3RHFIAq4Lf&sig=ACfU3U0hDy7O7GvAI5GCy0M_TbsORHftng&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwiXk6KUXMjiAhUjLLkGHUgeCvYQ6AEwB3oECAkQAQ#v=onepage&q=Dynaform%20designed%20by%20Bernhard%20Franken.&f=false). Acesso em: 12 fev. 2019.

KOLAREVIC, Branko. Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. *In: Architectural Information Management* [19th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9523687-8-1] Helsinki (Finland) 29-31 August 2001, pp. 117-123. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?3826>. Acesso em 15 jun 2017.

\_\_\_\_\_. Digital Architectures. *In: Eternity, Infinity and Virtuality in Architecture* [Proceedings of the 22nd Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture / 1-880250-09-8] Washington D.C. 19-22 October 2000, pp. 251-256. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?dcb9>. Acesso em 15 jun 2017.

\_\_\_\_\_. Digital Production. *In: KOLAREVIC, Branco. Architecture in the digital age: design and manufacturing*. Londres: Spon Press, 2003. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/a3ac.content.07119.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2018.

KÓS, José Ripper. Projeto digital. *In: BRAIDA, Frederico et al (Organizadores). 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 76, p. 160-161.

KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornélie Knatz *et al*. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, abr./jun. 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Regina\\_Ruschel/publication/242094564\\_Reflexao\\_sobre\\_metodologias\\_de\\_projeto\\_arquitetonico/links/0f31753170e1d7eabe000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Regina_Ruschel/publication/242094564_Reflexao_sobre_metodologias_de_projeto_arquitetonico/links/0f31753170e1d7eabe000000.pdf). Acesso em: 15 nov. 2018.

LAMO. Laboratório de Modelos. **The Butterfly Gallery-helicoidal surfaces**. Disponível em: <http://www.lamo.fau.ufrj.br/workshops/the-butterfly-gallery/>. Acesso em 10 jan 2016.

LARA, Arthur Hunold. Desenho paramétrico. *In: BRAIDA, Frederico et al (Organizadores). 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 32, p. 78-79.

LEWIS, Paul; TSURUMAKI, Marc; LEWIS, David J. **Manual of Section**. New York: Princeton Architectural Press, 2016. 208 p.

LIBESKIND, Daniel. **Jewish Museum Berlin**. Imagem. Disponível em: <https://libeskind.com/wp-content/uploads/aerial-view-c-guenter-schneider-2280x1526.jpg>. Acesso em: 10 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **The Run Run Shaw Creative Media Centre**. Disponível em: [https://libeskind.com/wp-content/uploads/2a5j0437\\_c-john-nye\\_low.jpg](https://libeskind.com/wp-content/uploads/2a5j0437_c-john-nye_low.jpg). Acesso em: 10 jan. 2019.

LIMA, Fernando. CAE (computer-aided Engineering). *In: BRAIDA, Frederico et al (Organizadores). 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 15, p. 46-47.

\_\_\_\_\_, Pedro Gabriel de Sousa; SOUSA; Débora de Oliveira; ROMCY, Neliza Maria e Silva. Bases epistemológicas para uma abordagem contemporânea ao ensino de projeto: Os meios digitais, o profissional reflexivo e a ruptura dos velhos paradigmas. *In: XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital 2015, Blucher Design Proceedings*, Volume 2, 2015, p. 602-608. DOI:10.1016/despro-sigradi2015-100377. Disponível em: [www.proceedings.blucher.com.br/article-details/bases-epistemologicas-para-uma-abordagem-](http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/bases-epistemologicas-para-uma-abordagem-)

contemporanea-ao-ensino-de-projeto -os-meios-digitais-o-profissional-reflexivo-e-a-ruptura-dos-velhos-paradigmas-22373. Acesso em: 27 jul. 2017.

\_\_\_\_\_, Fernando Tadeu de Araújo; SOARES, Carlos Alberto Pereira; BORGES, Marcos Martins. Novas tecnologias e ferramentas de simulação e suas aplicações no processo de produção arquitetônica. **CES Revista**, v. 25, Juiz de Fora, 2011.

LYNN, Greg. **Port authority triple bridge gateway**. Disponível em: <http://glform.com/buildings/port-authority-triple-bridge-gateway-competition/>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MACHCNC. **Router CNC Spark**. Imagem. Disponível em: <https://www.machcnc.net/router-cnc-spark>. Acesso em: 15 jan. 2019.

MAHFUZ, Edson da Cunha. Banalidade ou correção: dois modos de ensinar arquitetura e suas consequências. **Revista Projetar: Projeto e Percepção do Ambiente**, v.1, n.3, Dezembro 2016. Natal: PPGAU- UFRN. Disponível em: < [www.revistaprojetar.ct.ufrn.br](http://www.revistaprojetar.ct.ufrn.br) >. Acesso em: 14 dez 2016.

MAGALHÃES, Maria Amalia Amarante de Almeida. Diretrizes curriculares para arquitetura e Urbanismo: estratégias de implantação. *In*: 15º Encontro Nacional Sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo, 1998. **Anais [...]**. MS:ABEA, 1998, p. 178-183. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B1yOFSPeROtJemlWR3A1QlZGNnc/view>. Acesso em: 20 dez. 2018.

MALLARD, Maria Lúcia; KÖLLN, Elke Berenice. A imersão virtual em espaços arquitetônicos e a sua colaboração nas decisões de projeto. *In*: **SIGraDi 2010 - Proceedings of the 14th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**, Bogotá, Colombia, November 17-19, 2010, pp. 301-303. Disponível em : [http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2010\\_301.content.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2010_301.content.pdf). Acesso em: 24 jan. 2018.

\_\_\_\_\_. Maria Lúcia. **As aparências em Arquitetura**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 144 p. Disponível em: <[books.google.com.br/books?isbn=8570415559](http://books.google.com.br/books?isbn=8570415559)>. Acesso 10 ago 2014.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 4 ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2003. 288 p.

MARK, Earl; MARTENS, Bob; OXMAN, Rivka. The Ideal Computer Curriculum. *In*: **19th eCAADe Conference Proceedings - Architectural Information Management**. 2001. Helsinki Finlândia, 29-31 August 2001, pp. 168-175. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?44d2> Acesso em: 20 abr 2016.

MARTÍNEZ, Afonso. **Ensaio sobre projeto**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2000. 198 p.

\_\_\_\_\_; VIGO, Libertad; BUACAR, Cristián; RUBBO, Sebastián. En el taller de proyecto, dónde está la arquitectura? *In*: **VIII Congreso Iberoamericano de Gráfica Digital** São Leopoldo, 10, 11 Y 12 de noviembre 2004. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS Brasil. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228709275\\_EN\\_EL\\_TALLER\\_DE\\_PROYECTO\\_DONDE\\_ESTA\\_LA\\_ARQUITECTURA](https://www.researchgate.net/publication/228709275_EN_EL_TALLER_DE_PROYECTO_DONDE_ESTA_LA_ARQUITECTURA). Acesso em 15 maio 2017.

- MEDEIROS, Lúgia Maria Sampaio de. **Desenhística**: a ciência da arte de projetar desenhando. Santa Maria: sCHDs Editora, 2004. 144 p.
- MENDES, Letícia Teixeira Mendes. Gramática da forma: aplicações em habitação social. *In*: CELANI, Gabriela; SEDREZ, Maycon (Organizadores). **Arquitetura contemporânea e automação**: prática e reflexão. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 41-54
- MICHAELIS. Morfogenese. **Dicionário Brasileiro de Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2019. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/morfogenese/>. Acesso em 15 nov. 2018.
- MILLER, Nathan. The Hangzhou Tennis Center: A case study in integrated parametric design. *In*: **Parametricism (SPC) ACADIA Regional 2011 Conference Proceedings**. Nebraska, USA, 2011. Disponível em: [http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadiaregional2011\\_016](http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadiaregional2011_016). Acesso em: 10 jan. 2019.
- MILIOLI, Larissa. **O uso de sistemas CAD e de prototipagem rápida no projeto de arquitetura: benefícios e desafios**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade de Brasília, Brasília, 2012.204 p. disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/12781>. Acesso em: 15 dez. 2018.
- MITCHELL, William J.. **A lógica da arquitetura**: projeto, computação e cognição. Tradução Gabriela Celani. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. 304 p.
- MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. São Paulo: M. Fontes, 1998. 375 p.
- MUSEUM-JOANNEUM. **Museu Kunsthaus – Graz**. Imagem. Disponível em: <https://www.at/en/kunsthaus-graz/architecture> Acesso em 18 jun 2017.
- MÜNCH, José Ricardo. **Tecnologia BIM**: ciclo do 3D ao 7D. Artigo. Make Bim. Disponível em: <http://www.makebim.com/2017/01/13/tecnologia-bim-ciclo-do-3d-ao-7d/>. Acesso em: 15 jun 2017.
- NARDELLI, Eduardo Sampaio. BIM 4D e 5D. *In*: BRAIDA, Frederico *et al.* **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 9, p. 35.
- \_\_\_\_\_. Arquitetura e projeto na era digital. **Arquiteturarevista**: Revista da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, v. 3, n. 1, p. 28–36, jan./jun. 2007. Disponível em: [http://www.arquiteturarevista.unisinos.br/pdf/AR\\_T03\\_Nardelli.pdf](http://www.arquiteturarevista.unisinos.br/pdf/AR_T03_Nardelli.pdf). Acesso em: 15 ago 2016.
- NATIVIDADE, Verônica. Para além dos clichés paramétricos. *In*: **SIGRADI 2012 - Proceedings of the 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics**, Fortaleza 13-16 November 2012, p. 584-588. Disponível em: [http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/sigradi2012\\_355](http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/sigradi2012_355). Acesso em: 17 ago. 2018.
- NATUMI, Yone. **O ensino da Informática Aplicada nos cursos de graduação em arquitetura e urbanismo**. Dissertação (Mestrado em tecnologia da arquitetura – FAU-USP). São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-31102013-133225/pt-br.php> Acesso em: 10 jan. 2017.

OLIVEIRA, S. L. **Tratado de Metodologia Científica**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

OLIVIERI, Alberto Freire de Carvalho. As dimensões no desenho da arquitetura. *In*: XV Encontro Nacional Sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo, 1998. **Anais [...]**. MS:ABEA, 1998, p. 11-15. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B1yOFSPeROtJemlWR3A1Q1ZGNnc/view>. Acesso em:

ORCIUOLI, Affonso. CAM (computer-aided manufacturing). *In*: BRAIDA, Frederico *et al*(Organizadores). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 16, p. 48-49.

OXMAN, Rivka. Theory and Design in the First Digital Age. **The international Journal of Design Studies**, 27(3): 229 – 265, 2006. Disponível em: <http://arq510002.páginas.ufsc.br/files/2011/04/Design-Studies-Theory-and-design-in-the-first-digital-age-Rivka-Oxman-1.pdf> Acesso em: 15 jan 2016.

\_\_\_\_\_, Rivka. Digital architecture as a challenge for *design* pedagogy: theory, knowledge, models and médium. **The international Journal of Design Studies** 29(2): 99-120, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Rivka\\_Oxman](https://www.researchgate.net/profile/Rivka_Oxman). Acesso em: 10 mar 2016.

\_\_\_\_\_; OXMAN, Robert. **Theories of the digital in architecture**. London; New York: Routledge, 2014. 429 p.

PAIO, Alexandre. Gramática da Forma. *In*: BRAIDA, Frederico *et al* (Organizadores). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 51, p. 114-115.

PASSARO, Andres, HENRIQUES, Gonçalo Castro. **Abrigos Sensíveis, do método ao conceito, superando a instrumentalização**. São Paulo: Blucher, 2015. p. 94-100. DOI 10.5151/despro-sigradi2015-30155. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/abrigos-sensveis-do-mtudo-ao-conceito-superando-a-instrumentalizao-22304>. Acesso em: 20 nov. 2018.

PICON, Antoine. The seduction of innovative geometries. *In*: OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. **Theories of the digital in architecture**. London; Ney York: Routledge, 2014. 429 p.

PIRES, Janice de Freitas, **Sistema de Leis de geração** (Propriamente curvas). Imagem. Disponível em: [https://cmapspublic.ihmc.us/rid=1SHS9F97H-29FHH6N-C4FV/sup\\_propr\\_curvas.jpg](https://cmapspublic.ihmc.us/rid=1SHS9F97H-29FHH6N-C4FV/sup_propr_curvas.jpg). Acesso em: 20 fev. 2019.

POLONINI, Flávia Bicas da Silva. **A modelagem paramétrica na concepção de formas curvilíneas da arquitetura contemporânea**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/15339>. Acesso em 12 nov. 2018.

POTTMANN, Helmut *et al*. **Architectural geometry**. Exton: Bentley Institute Press, 2007, vii, 724 p.

\_\_\_\_\_, Helmut. Architectural geometry as design knowledge. *In*: OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. **Theories of the digital in architecture**. London; Ney York: Routledge, 2014. 429 p.

PUPO, Regiane Trevisan. Fabricação digital. *In: BRAIDA, Frederico et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 42, p. 98-99.

\_\_\_\_\_, Regiane Trevisan. Técnicas subtrativas. *In: BRAIDA, Frederico et al (Organizadores). 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 96, p. 199-200.

\_\_\_\_\_, Regiane Trevisan. **A inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto**: um novo desafio para o ensino da arquitetura. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257723>>. Acesso em: 13 dez. 2018.

\_\_\_\_\_, Regiane Trevisan; CELANI, Gabriela. Técnicas de prototipagem digital para arquitetura. *In: VIII International Conference on Graphics Engineering For Arts And Design - GRAPHICA 2009*, 9, Bauru. **Anais [...]**, Bauru: ABEG, 2009. 14 p. CD-ROM.

\_\_\_\_\_, Regiane Trevisan; CELANI, Gabriela. Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades. *In: SIGRADI 2008 - Proceedings of the 12th Iberoamerican Congress of Digital Graphics*. Havana, Cuba: Ministerio de Educacion Superior, 2008. 6 p. **Anais [...]** Disponível em: <https://cumincaad.architexturez.net/node/16386>. Acesso em: 31 nov. 2017.

\_\_\_\_\_, Regiane Trevisan. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 1, n. 3, p. 80-98, nov. 2008. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634511/2432>. Acesso em: 05 ago 2017.

RÊGO, Rejane de Moraes. Educação gráfica e educação projetual em arquitetura: discutindo uma aproximação. *In: VIII International Conference on Graphics Engineering For Arts And Design - GRAPHICA 2009*, 9, Bauru. **Anais [...]**, Bauru: ABEG, 2009. 14 p. CD-ROM.

ROCHA, Germana Costa; CORDEIRO, Aristóteles L. M. Modelagem Tridimensional Digital em Abordagem Tectônica na Concepção da Arquitetura, p. 250-254. *In: Proceedings of the XVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics: Design in Freedom* [=Blucher Design Proceedings, v.1, n.8]. São Paulo: Blucher, 2014. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/modelagem-tridimensional-digital-em-abordagem-technica-na-concepo-da-arquitetura-14265> Acesso em 22 mar 2017.

ROCHA, Isabel Amalia Medero. Arquiteturas nem boas nem más, arquiteturas possíveis. **Arquiteturarevista**, vol. 7, n. 2, p. 142-160, jul/dez 2011. Unisinos. Doi:10.4013/arq.2011.72.05. Disponível em: [revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/download/arq.2011.72.05/639](http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/download/arq.2011.72.05/639). Acesso em: 08 fev. 2017.

ROMANO, Elisabetta, SCARABOTTO, Henrique. CAD Criativo - Uma Experiência Didática. Artigo. **INFORMÁTICA PÚBLICA**: revista da Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL). Belo Horizonte, Ano 11, n. 1, p. 55 – 68, 200. Disponível em: [http://www.ip.pbh.gov.br/ANO11\\_N1\\_PDF/CAD\\_criativo\\_uma\\_experencia\\_didatica.pdf](http://www.ip.pbh.gov.br/ANO11_N1_PDF/CAD_criativo_uma_experencia_didatica.pdf). Acesso em: 13 jul 2011.

RUSCHEL, Regina. To BIM or not to BIM?. *In: III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo*. São Paulo, Outubro, 2014, p.1-15. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/282669890\\_To\\_BIM\\_or\\_not\\_to\\_BIM](https://www.researchgate.net/publication/282669890_To_BIM_or_not_to_BIM). Acesso em: 04 maio 2017.

SALAMANDER FABRICATIONS LTDA. **What is metal bending?** Disponível em: <https://www.salamanderfabs.com/latest-news/what-metal-bending/>. Acesso em: 15 fev. 2019.

SEDREZ, Maycon Ricardo. **Arquitetura e complexidade: a geometria fractal como sistema generativo**. 2016. Tese (doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidades) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258036>. Acesso em: 20 set. 2018.

\_\_\_\_\_, Maycon Ricardo. A contribuição da arquitetura fractal para o ensino de CAAD. **OCULUM ENSAIOS**, 11\_12, Janeiro/Dezembro 2010, Campinas, p. 44-57. Disponível em: <http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/oculum/article/view/153/140>. Acesso em: 15 nov. 2018.

SEGALL, Mario Lasar. Modelagem tridimensional real e ensino de arquitetura. Ferramenta de projeto e construção de repertório. **Arquitextos**, São Paulo, ano 08, n. 091.07, Vitruvius, dez. 2007. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.091/186>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SHUMACHER, Patrik. **The Concept of Style and Parametricism as Epochal Style**. *Cameraconica* #10, 2016. Disponível em: <http://www.patrikschumacher.com/Texts/The%20Concept%20of%20Style%20and%20Parametricism%20as%20Epochal%20Style.html>. Acesso em: 15 fev. 2019.

SILVA, Robson Canuto; AMORIM, Luiz. Urbanismo paramétrico: emergência, limites, e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico. **Virus**, n. 3. São Carlos: Nomads. USP, 2010. Disponível em: [www.nomads.usp.br/virus/virus03/submitted/layout.php?item=2&lang=pt](http://www.nomads.usp.br/virus/virus03/submitted/layout.php?item=2&lang=pt). Acesso em: 17 jan. 2017.

SOARES, Cláudio C. P. Uma abordagem histórica e científica das técnicas de representação gráfica. *In: VII INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN – GRAPHICA 2007*, 7. Curitiba. **Anais [...]**, Curitiba: ABEG, 2007. 11 p. CD-ROM.

SOUZA, José Pedro. Contour drafting. *In: BRAIDA, Frederico et al (Organizadores). 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 28, p. 70-71.

\_\_\_\_\_, Adriano Fagali de; COELHO, Reginaldo Teixeira. Tecnologia CAD/CAM - Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril. *In: XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção*, 2003. Ouro Preto, MG. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003\\_TR0504\\_0920.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0504_0920.pdf) Acesso em 15 jul 2017.

SPERLING, David M. et al. Fabricação digital na América do Sul: um mapeamento de linhas de ação a partir da arquitetura e urbanismo. *In: XIX Congresso da Sociedade Ibero-*

**americana de Gráfica Digital 2015**, Blucher Design Proceedings, Volume 2, 2015, p. 119-125. Doi:10.1016/despro-sigradi2015-30212. Acesso em: 5 jul. 2018.

\_\_\_\_\_. David M. Entre conceitos, metáforas e operações: convergências da topologia na arquitetura contemporânea. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, Volume 3, nº 2, Novembro, 2008, p.43-55. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/download/50941/55022/0>. Acesso em: 20 fev. 2018.

SPIPKI, Fernando Rosado; NAIME, Roberto. **O padrão da (des)ordem da natureza**. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2012, 75 p. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=3j5zp-panxMC&pg=PA25&dq=matem%C3%A1tica+da+natureza&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwj3\\_JzF3s3gAhUeE7kGHRhhDhAQ6AEIUzAIv=onepage&q=matem%C3%A1tica%20da%20natureza&f=false](https://books.google.com.br/books?id=3j5zp-panxMC&pg=PA25&dq=matem%C3%A1tica+da+natureza&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwj3_JzF3s3gAhUeE7kGHRhhDhAQ6AEIUzAIv=onepage&q=matem%C3%A1tica%20da%20natureza&f=false). Acesso em: 20 dez. 2018.

THEKIDSHOULDSEETHIS. **Bend-testing laser-cut plywood hinge patterns**. Imagem. Disponível em: <https://thekidshouldseethis.com/post/bend-testing-laser-cut-plywood-hinge-patterns>. Acesso em: 10 jan. 2019.

TRAMONTANO, Marcelo. Quando pesquisa e ensino se conectam: *design* paramétrico, fabricação digital e projeto de arquitetura, p. 544-550. In: **Proceedings of the XIX Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**: Project information for interaction. São Paulo: Blucher, 2015. Disponível em: [http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2015\\_10.144.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2015_10.144.pdf). Acesso em 22 mar 2017.

TSCHUMI, Bernard. **Tianjin Binhai New Area Culture Center**, 2019. Imagem. Disponível em: <http://www.tschumi.com/projects/79/>. Acesso em: 10 jan. 2019.

VASCONSELOS, Tássia Borges de; SPERLING, David Moreno. Entre representações, parâmetros e algoritmos: um panorama do ensino de projeto de arquitetura em ambiente digital na América Latina. In: **XX Congresso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, Blucher Design Proceedings**, Volume 3, 2016, p. 94-100. DOI: 10.1016/despro-sigradi2016-592. Disponível em: [www.proceedings.blucher.com.br/article-details/entre-representaes-parmetros-e-algoritmos-um-panorama-do-ensino-de-projeto-de-arquitetura-em-ambiente-digital-na-amrica-latina-24777](http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/entre-representaes-parmetros-e-algoritmos-um-panorama-do-ensino-de-projeto-de-arquitetura-em-ambiente-digital-na-amrica-latina-24777). Acesso em: 26 jun 2018.

VELOSO, Pedro Luis Alves, SCHEEREN, Rodrigo, VASCONSELOS, Tássia. O Ensino de Projeto e o Processo de Design Paramétrico: Desafios e Perspectivas. **Bloco (13): o ensino e a prática de projeto / organização Centro de Arquitetura e Urbanismo - Feevale**, Novo Hamburgo, 88-107, 2017. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/8268b967-0635-4e0e-907e-0cc910c16335/Bloco%2013.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2018.

VOLPATO, Neri. Processos baseados em pó. In: VOLPATO, Neri et al. **Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgar Blücher, 2007, p. 81-84.

WHITEHEAD, Hugh. Laws of form. In: OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. **Theories of the digital in architecture**. London; New York: Routledge, 2014. Cap. 7, p. 113-130

WILLMANN, Jann; GRAMAZIO, Fábio; KOHLER, Mathias. Towards an extended performative materiality – interactive complexity and the control of space. In: OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. **Theories of the digital in architecture**. London; New York: Routledge, 2014. Cap. 20, p. 305-3017.

WITTEKIND, Marta, **Museum of Furniture, Culture and Fine Arts**. 2005. Imagem. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5727648>. Acesso em 15 fev. 2019.

WONG, Wucius. **Princípios de forma e desenho**. São Paulo: M. Fontes, 2001. 352 p.

WOODBURY, R. F., Elements of parametric design. *In*: OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. **Theories of the digital in architecture**. London; New York: Routledge, 2014. Cap. 10, p. 153-170.

ZEVI, B. **Saber Ver A Arquitetura**. Trad. Maria Izabel Gaspar e Gaëtan Martins de Oliveira. 6 ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2009. 286 p.