



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Marcelo Galafassi

Estratégias de pensamento paramétrico aplicadas ao projeto arquitetônico:
uma matriz de relações e um *framework* de apoio ao ensino e aprendizagem

Florianópolis
2023

Marcelo Galafassi

Estratégias de pensamento paramétrico aplicadas ao projeto arquitetônico:
uma matriz de relações e um *framework* de apoio ao ensino e aprendizagem

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Alice Theresinha Cybis Pereira, PhD.

Florianópolis

2023

Galafassi, Marcelo

Estratégias de pensamento paramétrico aplicadas ao projeto arquitetônico: : uma matriz de relações e um framework de apoio ao ensino e aprendizagem / Marcelo Galafassi ; orientadora, Alice Theresinha Cybis Pereira, 2023.

158 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. pensamento paramétrico. 3. processo de ensino-aprendizagem na arquitetura. 4. processo de projeto arquitetônico. I. Cybis Pereira, Alice Theresinha. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Marcelo Galafassi

Estratégias de pensamento paramétrico aplicadas ao projeto arquitetônico:
uma matriz de relações e um *framework* de apoio ao ensino e aprendizagem

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 28 de julho de 2023,
pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Carlos Eduardo Versola Vaz, Dr.
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Janice de Freitas Pires, Dra.
Instituição Universidade Federal de Pelotas

Prof.(a) Jarryer Andrade de Martino, Dr.
Instituição Universidade Federal do Espírito Santo

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Profa. Alice Theresinha Cybis Pereira, Dra.
Orientadora

Florianópolis, 2023.

Dedico este trabalho aos meus pais **Paulo** e **Maria**, que não mediram esforços para que eu conseguisse alcançar com qualidade uma formação digna. À minha esposa **Carolina** e meu filho **Rafael**, motivação constante para fazer sempre melhor.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado de muito esforço e muita dedicação ao longo de muitos anos. Neste período, percalços ocorreram e foram vencidos por conta da ajuda de muitas pessoas. Este apoio e incentivo precisam ser declarados:

À Prof. Dra. Alice Theresinha Cybis Pereira pela excelente orientação, paciência e sabedoria para conduzir o trabalho. Além disso, por conseguir me manter sereno e confiante durante todo o tempo, sendo mais amiga do que professora quando necessário. Foi um presente contar com sua orientação!

Importante agradecer à banca avaliadora, a qual tive o prazer de contar com pessoas de alto nível de conhecimento e às quais dedico a evolução deste trabalho: Prof. Dr. Carlos Eduardo Verzola Vaz, Prof^a. Dra. Janice de Freitas Pires, Prof. Dr. Jarryer Andrade de Martino e a Prof^a. Dra. Maristela Moraes de Almeida, presente na avaliação de Qualificação. Muito obrigado pela enorme contribuição.

Aos alunos que aceitaram participar do trabalho e contribuíram para o andamento deste e aos professores que cederam suas Iniciações Científicas.

Ao amigo, arquiteto, professor Lucas Arango, um gênio colombiano, e o amigo que todos deveriam ter o prazer de poder ter. E ao amigo e professor Fernando Ruttkay, um gênio brasileiro, sempre presente nesta trajetória.

Aos amigos da Univali, que muito contribuíram neste percurso, como o Lucas Vieira, Luciano Pereira Alves, Giselle Carvalho Leal, Timóteo Schroeder, Sérgio Túlio A. de Medeiros, Lucas Moraes Muniz, Maria Cândida Samara da Silva, Amanda Simi Lenz, Luana Berrutti Claverie, Samuel Krolof, Júlia Azambuja Jasiocha, Gabriela Celestina Bernardi e Luíza Cândido Malburg.

Agradecer minha Mãe Maria, meu Pai Paulo (*in memoriam*), minhas irmãs Daniela e Jenifer, meu cunhado Arlen (até a banca ele assistiu), meus sobrinhos Helena e Eurico (só por existirem já fazem a diferença) e minha sogra e amiga Maria da Graça Carvalho, que nitidamente torceram e me ajudaram sempre.

Agradecer ao meu filho Rafael, que soube esperar quando foi preciso e, no alto da sua sabedoria infantil, me dar incentivo para realizar um bom trabalho.

Minha esposa e amiga Carol, pelo incondicional apoio e pelas broncas merecidas durante os momentos de crise (sim, eles existem). Ela foi a grande responsável por eu alcançar este nível na minha profissão.

Meu muito obrigado!!

“Não há nada mais trágico neste mundo do que saber o que é certo e não fazê-lo. Que tal mudarmos o mundo começando por nós mesmos?”

Martin Luther King

RESUMO

Nos últimos anos é crescente o interesse por tecnologias digitais que auxiliam no projeto de formas e espaços de maior complexidade. Foram muitas as tecnologias que surgiram visando aperfeiçoar, agilizar ou desenvolver o processo projetual arquitetônico. Os computadores estão de maneira gradativa envolvidos neste processo, com a progressão da tecnologia da computação gráfica refletida tanto no projeto arquitetônico quanto na linguagem arquitetônica contemporânea. A utilização de geometrias complexas na arquitetura tem como estímulo justificativas estéticas e funcionais, podendo atingir altos níveis de desempenho. Para que isso realmente ocorra é necessário o uso de suporte computacional como a modelagem paramétrica, vista como uma técnica de explorar e mapear a nossa própria maneira de pensar. Entretanto, tanto a modelagem paramétrica quanto o pensamento paramétrico ainda não possuem um cenário consolidado no contexto brasileiro, tanto em relação ao mercado, mas principalmente em relação ao processo de ensino-aprendizagem. O objetivo geral deste trabalho é investigar de que maneira o pensamento paramétrico está inserido no processo de projeto arquitetônico e como pode ser transposto ao processo de ensino-aprendizagem deste. Por meio da revisão de literatura foram abordados o processo de projeto e métodos de projeto, avaliando suas características, diferenças e no que se fundamentam teoricamente, e a contextualização das tecnologias digitais em relação ao processo projetual. A criação de um objeto de ensino foi estruturada a partir das teorias da Transposição Didática e da Teoria Antropológica do Didático, ambas desenvolvidas por Yves Chevallard, buscando a abordagem dos novos saberes referentes ao pensamento paramétrico e sua aplicação no ensino da prática de arquitetura. A metodologia de pesquisa foi baseada em design e tecnologia educacional, utilizando Design-Based Research in Innovative Education Framework (DBRIEF) como método, dividido nas etapas: Exploração Fundamentada; Prenúncio; Processamento (dividido em quatro ciclos: a criação de uma matriz de relação das estratégias de pensamento com base em trabalhos de Iniciação Científica, desenvolvimento inicial de exercícios, análise dos exercícios e criação de um framework); Produto e Avaliação Estendida. Os resultados da criação da matriz resultaram em sete categorias organizadas a partir da produção científica brasileira em pesquisas que tratam de modelagem paramétrica. Os exercícios foram aplicados com alunos do início, meio e final do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Itajaí (Univali - Balneário Camboriú, SC) e deixaram claro que existe a necessidade de provocar o pensamento paramétrico, visto que a grande maioria das respostas não remetem a um raciocínio claro quanto ao pensamento discutido. Uma vez que o pensamento paramétrico precisa ser induzido nos alunos, foi desenvolvido um *framework* com instruções indutoras do pensamento paramétrico, permitindo que o professor possa criar seus próprios exercícios.

Palavras-chave: pensamento paramétrico; processo de ensino-aprendizagem na arquitetura; processo de projeto arquitetônico.

ABSTRACT

In recent years, there has been an escalating interest in digital technologies which facilitate the design of forms and spaces of increased complexity. Numerous technologies have emerged with the aim to refine, expedite, or evolve the architectural design process. Computers are incrementally involved in this process, with advancements in computer graphics technology reflected in both architectural design and contemporary architectural language. The use of intricate geometries in architecture is driven by aesthetic and functional justifications, capable of achieving superior performance levels. For so, it requires computational support such as parametric modeling, perceived as a technique to scrutinize and map our cognitive processes. However, both parametric modeling and thinking have yet to establish a solidified presence in the Brazilian context, not only in what regards the market itself but also and predominantly the pedagogical process. The main objective of this work is to probe how parametric thinking is integrated into the architectural design process and how it can be transposed to its pedagogical process. Through a literature review, the design process and design methods were examined, evaluating their characteristics, differences, and theoretical foundations, as well as the contextualization of digital technologies in relation to the design process. The creation of a teaching object was structured based on the theories of Didactic Transposition and the Anthropological Theory of Didactic, both formulated by Yves Chevallard, aiming to approach new knowledge pertaining to parametric thinking and its application in the teaching of architectural practice. The research methodology was predicated on design and educational technology, employing Design-Based Research in Innovative Education Framework (DBRIEF) as a method, segmented into stages: Informed Exploration; Presage; Processing (partitioned into four cycles: the creation of a matrix of relationship of thinking strategies based on Scientific Initiation works, initial development of exercises, analysis of exercises, and creation of a framework); Product and Extended Evaluation. The outcomes of the matrix creation resulted in seven categories organized from Brazilian scientific production in research dealing with parametric modeling. The exercises were implemented with students at the beginning, middle, and end of the architecture and urbanism course at the University of Vale do Itajaí (Univali - Balneário Camboriú, SC) and underscored the necessity to stimulate parametric thinking, as the great majority of responses did not allude to a clear line of reasoning regarding the discussed thinking. Given that parametric thinking needs to be induced in students, a framework was developed, with instructions on how to promote parametric thinking, allowing the educator to devise their own exercises.

Keywords: parametric thinking; teaching-learning process in architecture; architectural design process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa Conceitual da Pesquisa.....	23
Figura 2 – Representação gráfica do processo projetual	26
Figura 3 – Representação gráfica do mapeamento do processo projetual como articulador entre o problema e a solução	27
Figura 4 – O método projetual visto sob 3 pontos de vista: criatividade, racionalidade e controle.....	28
Figura 5 – Esquema do Processo de Projeto, baseado no método de Viollet-le-Duc	30
Figura 6 – Croquis – o “pensar desenhando”	36
Figura 7 – Guggenheim Bilbao, 1997	48
Figura 8 – Fundação Louis Vuitton, 2014.....	48
Figura 9 – Optus Stadium, Perth, Australia	49
Figura 10 – Swiss Re, London, UK	49
Figura 11 – Heydar Aliyev Centre, Baku, Arzerbaijan	49
Figura 12 – Palácio dos Esportes - arquiteto Félix Candela, 1968 - Cidade do México	50
Figura 13 – Estádio Olímpico de Munique - arquitetos Frei Otto e Gunther Behnisch, 1972	50
Figura 14 – Igreja La Sagrada Família – arquiteto Antoni Gaudí - Barcelona	51
Figura 15 – Opera House – arquiteto Jørn Utzon, 1973 - Sydney.....	51
Figura 16 – Aviva Stadium, Populous arquitetos, 2010 - Dublin.....	54
Figura 17 – Esquema do raciocínio da Transposição Didática de Chevallard	60
Figura 18 – Processo de pesquisa - Framework baseado no processo DBRIEF	72
Figura 19 – Esquema do pré-modelo	73
Figura 20 – Estrutura da formação proposta pelo Projeto Pedagógico do curso de Arquitetura e Urbanismo da UNIVALI.....	75
Figura 21 – Composição de estrutura da matriz de estratégias do pensamento.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro síntese das etapas de pesquisa.	85
Quadro 2 – Matriz de relações de estratégias de pensamento	98

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral	20
1.1.2	Objetivos Específicos	20
1.2	HIPÓTESE	21
1.3	JUSTIFICATIVA	21
1.4	ASPECTOS DE INEDITISMO.....	22
1.5	MAPA CONCEITUAL DA PESQUISA.....	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	PROCESSO DE PROJETO	24
2.1.1	Pensamento no processo projetual	30
2.1.2	Métodos	33
2.1.2.1	<i>Método Tradicional</i>	35
2.1.2.2	<i>Método de Archer</i>	37
2.1.2.3	<i>Método de Alexander</i>	37
2.1.2.4	<i>Método de Luckman</i>	38
2.1.2.5	<i>Método de Broadbent</i>	39
2.1.2.6	<i>Método de Asimow</i>	40
2.2	TECNOLOGIAS DIGITAIS NO PROCESSO DE PROJETO	41
2.2.1	Crítica	45
2.2.2	Processo Paramétrico	47
2.2.2.1	<i>Contexto</i>	49
2.2.2.2	<i>Conceitos de termos paramétricos</i>	51
2.2.2.3	<i>Pensamento Paramétrico</i>	53
2.3	ENSINO	57
2.3.1	Estruturação do Saber	57
2.3.2	Ensino de Arquitetura	63
3	METODOLOGIA	70
3.1	ETAPAS DE PESQUISA.....	71
3.1.1	Fase de Exploração Fundamentada	72
3.1.2	Fase de Prenúncio	74
3.1.2.1	<i>Participantes</i>	76

3.1.3	Fase de Processamento	77
3.1.3.1	<i>1º Ciclo - Matriz dos trabalhos de Iniciação Científica</i>	<i>78</i>
3.1.3.2	<i>2º Ciclo - Desenvolvimento inicial dos exercícios</i>	<i>79</i>
3.1.3.3	<i>3º Ciclo - Avaliação dos exercícios</i>	<i>83</i>
3.1.3.4	<i>4º Ciclo - Framework - estrutura de trabalho.....</i>	<i>84</i>
3.1.4	Fase de Produto	84
3.1.5	Fase de Avaliação Estendida	84
4	RESULTADOS	87
4.1	1º CICLO DA FASE DE PROCESSAMENTO - ANÁLISE DOS TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA.....	87
4.1.1	Processo de projeto.....	88
4.1.2	Ensino de projeto.....	90
4.1.3	Gestão e tecnologia de projetos.....	91
4.1.4	Projeto e tecnologia do ambiente construído	91
4.1.5	Projeto e tecnologia da edificação	93
4.1.6	Ferramentas.....	96
4.1.7	Plano diretor.....	97
4.1.8	Matriz de relações de estratégias de pensamento.....	98
4.2	2º E 3º CICLOS DA FASE DE PROCESSAMENTO - ANÁLISE DOS EXERCÍCIOS	105
4.2.1	Exercício 1 - análise de terreno e edificação.....	105
4.2.2	Exercício 2 - biomimética e arquitetura	109
4.2.2.1	<i>Galhos das árvores.....</i>	<i>111</i>
4.2.2.2	<i>Casa do João-de-Barro</i>	<i>112</i>
4.2.2.3	<i>Concha.....</i>	<i>113</i>
4.2.2.4	<i>Asa da libélula.....</i>	<i>114</i>
4.2.3	Exercício 3 - maquete a partir de fotografias.....	114
4.2.4	Exercício 4 - organização de cômodos	117
4.2.5	Exercício 5 - maquetes físicas geradas através da cortadora a laser	120
4.2.6	Exercício 6 - estratégias para otimizar o ganho de luz natural.....	123
4.3	4º CICLO DA FASE DE PROCESSAMENTO - FRAMEWORK / ESTRUTURA DE TRABALHO	126
4.3.1	Diretrizes Gerais para aplicação do Framework	132
5	CONCLUSÕES.....	137

5.1	ANÁLISE DA MATRIZ DE RELAÇÕES DE ESTRATÉGIAS DE PENSAMENTO	138
5.2	ANÁLISE DOS EXERCÍCIOS	140
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
5.4	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	144
5.5	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	144
	REFERÊNCIAS	146

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos é crescente o interesse por tecnologias digitais que auxiliam no projeto de formas e espaços de maior complexidade. Muitas foram desenvolvidas visando aperfeiçoar, agilizar ou desenvolver o processo projetual arquitetônico, seja com arquitetos formados ou em formação. Os professores ou alunos que trabalharam e estudaram durante os anos 1990 presenciaram a substituição progressiva de muitas ferramentas utilizadas nos ateliês pelos computadores e seus *softwares* CAD¹ (DINIZ e QUEIROZ, 2019). Para Iraqi e Daly (2017) os computadores estão de maneira gradativa envolvidos neste processo, com a progressão da tecnologia da computação gráfica refletida tanto no projeto arquitetônico quanto na linguagem arquitetônica contemporânea. Essa inserção digital contribuiu para o aumento de complexidade das formas propostas, muito por conta dos sistemas CAD que facilitaram a representação e a manipulação dessas formas (KOWALTOWSKI *et al.*, 2006).

Erhan, Salmasi e Woodbury (2010) citam justificativas estéticas e funcionais como outro estímulo na utilização de geometrias complexas na arquitetura, assim como Peters e Whitehead (2008), que colocam a utilização da tecnologia digital para produzir edifícios com geometrias não euclidianas como uma maneira de proporcionar uma estética orgânica que pode atingir altos níveis de desempenho. No entanto, à medida que a complexidade das soluções de projeto aumenta, também aumentam os custos e o tempo necessário para avaliar essas soluções.

Nesse contexto, torna-se fundamental utilizar suporte computacional, principalmente ligados a um processo paramétrico como a modelagem paramétrica, que evoluiu muito nos últimos anos. Iraqi e Daly (2017) descrevem que essa evolução pode ser dividida em três momentos: o primeiro quando foram utilizadas apenas relações matemáticas baseadas em aplicativos gráficos; o segundo como um reflexo da expansão dos computadores pessoais; e o terceiro momento que reflete a aplicação madura do poder computacional, que vai além do desenvolvimento de aplicativos de *softwares* comerciais, tornando-se uma técnica de explorar e mapear a nossa própria maneira de pensar.

¹ Os sistemas CAD - Desenho Assistido por Computador (do termo inglês Computer Aided Design) - podem ser definidos como sistemas computacionais que auxiliam na criação, modificação, análise ou otimização de um projeto (SARCAR, RAO e NARAYAN, 2008).

Entretanto, Florio (2011) aponta que os princípios básicos estudados na arquitetura não podem ser ignorados diante da inovação das metodologias de concepção de projeto, sendo importante que eles fiquem em conjunto com os novos conhecimentos formando a base para o pensamento criativo e reflexivo. Conforme escrito por Marin, Bignon e Lequay (2013), o projetista deve ficar atento ao incorporar alguma ferramenta digital pois elas, geralmente, não possuem a capacidade de suportar uma abordagem completa do processo de projeto. O diferencial do projetista está em identificar a ferramenta certa no momento certo. Além disso, ferramentas paramétricas trabalham com um número limitado de parâmetros e não necessariamente levam em consideração todas as variáveis de projeto. Isso acaba por deixar na mão do projetista a escolha dos parâmetros corretos e reforça a importância do ensino das ferramentas digitais em projeto.

Lawson (2011) coloca que o surgimento dos computadores gerou uma nova perspectiva para o pensamento, e o constante desenvolvimento das ferramentas de projeto e outras tecnologias estão refletidos nas rápidas mudanças que ocorrem na Arquitetura. No ensino de projeto paramétrico muitas etapas estão envolvidas, desde uma introdução básica ao projeto até a fabricação digital. Somente a experiência completa pode mostrar adequadamente aos alunos o potencial das ferramentas de projeto algorítmico (CUDZIK e RADZISZEWSKI, 2019).

Erhan, Salmasi e Woodbury (2010) denominam os sistemas de projeto paramétrico como inteligentes, pois estes conseguem conectar a intenção projetual com associações paramétricas, auxiliando o projetista a explorar, rever decisões anteriores e aprimorar as correlações entre as etapas de projeto no processo projetual. Mesmo que as ferramentas sejam apenas uma maneira de expressar o projeto, fornecendo uma compreensão do resultado projetual, seus procedimentos operacionais possuem um certo poder de demonstrar explicitamente o processo, o que tende a facilitar a interação entre projetista e projeto. Essa interação é benéfica ao processo criativo a partir do momento que ele tende a ficar mais visível (MARIN, BIGNON e LEQUAY, 2013).

A visão de Florio (2009) sobre o ensino do projeto paramétrico é objetiva ao falar sobre a incorporação de novas tecnologias digitais no processo criativo que possam, além dos já consagrados aspectos estéticos e formais, considerar questões técnicas e a soma de novos conhecimentos. O papel da academia é formar profissionais que consigam refletir sobre os avanços tecnológicos e não ficarem

presos apenas às demandas de mercado. A difusão cada vez maior do projeto paramétrico como processo computacional na arquitetura contemporânea está exigindo do projetista um domínio técnico que está diretamente ligado à maneira de se pensar modos de ensino e aplicações nas práticas de projeto (VELOSO, SCHEEREN, VASCONSELOS, 2017).

Diante do contexto abordado, é importante entender como ocorre a elaboração de um projeto e compreender como funcionam os processos de projeto. Jones (1970) separa o processo de projeto em três etapas: a fase da divergência (geração de ideias e elaboração de um programa de necessidades); a fase da transformação (o problema de projeto é estruturado e são concebidas as soluções parciais); e a fase da convergência (as soluções são combinadas). Essa metodologia citada por Jones é dividida nas fases de Análise, Síntese e Avaliação, encontrada em trabalhos de muitos autores com frequência (VOORDT e WEGEN, 2013). Para que essas fases ocorram dentro da rotina projetual do arquiteto, existem procedimentos chamados métodos, que auxiliam no desenvolvimento do processo projetual. São muitos os estudiosos que se dedicam a estudar e desenvolver métodos, levando em consideração como funciona o processo e as metodologias utilizadas.

Lawson (2011) descreve o ateliê de projeto como o principal método de ensino de projeto, baseado no aprender fazendo (os alunos recebem um problema de projeto para resolver). No entanto, o autor aponta que esse método estimula o aluno a dar muita atenção ao produto final e prejudica sua reflexão sobre o processo. Com a inserção do computador no ensino, os alunos que iniciam um trabalho abrindo um determinado programa podem necessitar de um tempo maior para desenvolver a ideia, seja pela limitação criativa ou pela falta de domínio do *software* escolhido (KEPCZYŃSKA-WALCZAK, 2014).

Diniz e Queiroz (2019) propõem que o ensino de arquitetura necessita se adequar para utilizar as ferramentas digitais. O trabalho desenvolvido por Almeida, Brandão e Souza (2019) aponta que em muitos dos cursos de arquitetura brasileiros o ensino de ferramentas digitais não desenvolve um raciocínio crítico, uma reflexão teórica e projetual, e os estudantes entendem as ferramentas como um meio de representação da forma. A utilização do pensamento paramétrico trabalha o oposto e a forma é resultado de uma representação oriunda de um processo anterior. O texto de Cross (1980), ainda no início da década 1980, menciona a relação entre

desenho (projeto) e tecnologia quando cita que o processo de desenho deveria deixar de ser um desenho de produto e virar desenho de sistemas; seria como “pensar antes de desenhar”. No caso do pensar com parâmetros, a escolha correta destes vai ao encontro do que foi mencionado por Cross.

A pesquisa de Miranda (2005) revela que os cursos de arquitetura que se destacam com renovações em disciplinas apresentam a inclusão de disciplinas de outras áreas e renovação das práticas pedagógicas do ensino de projeto com obstinado caráter experimental. O funcionamento se dá com estudos teóricos que abastecem os ateliês de projeto e possibilitam que a experimentação também abasteça a teoria, aprimorando-a. O texto escrito por Trujillo (2018) cita a necessidade de nos apoiarmos em novas tecnologias, em novos materiais e em conhecer profundamente os fatores ambientais e humanos envolvidos nos projetos. As escolas de arquitetura são os melhores locais para que essas tarefas sociais e éticas sejam estudadas e implementadas. E para que isto mude, deve-se treinar o manuseio de novos instrumentos, existir interação entre disciplinas, entender as dificuldades e trabalhar para superá-las.

A introdução de um novo conhecimento precisa de embasamento teórico para que ele seja posto em prática. Este trabalho se amparou nas teorias da Transposição Didática e Teoria Antropológica do Didático, ambas desenvolvidas por Chevallard², e que serviram como suporte para a análise do saber a ser introduzido no contexto didático do curso de Arquitetura e Urbanismo, de maneira que se possa identificar a estrutura deste saber constituída por seus elementos: tarefas, teorias, técnicas e tecnologias (CHEVALLARD, 1999). A inclusão de objetos de ensino³ e de novas tecnologias deve respeitar o contexto em que serão inseridos, considerando a Instituição de Ensino envolvida, a matriz curricular do curso e as características dos docentes envolvidos (DUARTE, CELANI e PUPO, 2011).

Tendo em conta o contexto do ensino brasileiro com relação ao projeto e o pensamento paramétrico e como ele pode ser estimulado nos estudantes de arquitetura, buscou-se a criação de um objeto de ensino amparado por um *framework* que possa estimular o pensamento paramétrico nestes alunos. Por se

² Yves Chevallard é um professor francês do campo de ensino da matemática, nascido em Marselha em 1º de maio de 1946. Atua como professor Institut Universitaire de Formation des Maîtres de l'Académie d'Aix-Marseille e como coordenador de pesquisas na área da formação docente em matemática.

³ O termo objeto de ensino é entendido nesta pesquisa por todo ou qualquer objeto que o professor possa utilizar em sala de aula de maneira a interferir no processo de ensino e aprendizagem.

tratar de uma nova maneira de pensamento existe a necessidade de identificar como pode ser desenvolvido junto aos alunos, deixando claros os conceitos relacionados ao termo paramétrico e como esse novo saber pode ser ensinado, alinhado com os conhecimentos já adquiridos pelos alunos e com outros que podem ser acrescentados.

Segundo Duarte, Celani e Pupo (2011), inserir o ensino paramétrico nos cursos de arquitetura em disciplinas isoladas não é suficiente, visto que os estudantes necessitam de tempo para absorver todos os princípios que envolvem o projeto paramétrico. Ainda segundo os autores, esse ensino deve ser implementado desde as fases iniciais permitindo esse amadurecimento. O grande passo é ensinar para aprender, não deixando a ferramenta guiar o processo, mas sim, ser conduzida pelo aluno. Neste cenário manifesta-se a necessidade de se explorar o pensamento paramétrico nos alunos de graduação em arquitetura e urbanismo, de maneira que se possa incentivar neles o pensamento baseado em parâmetros.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é investigar de que maneira o pensamento paramétrico está inserido no processo de projeto arquitetônico e como pode ser transposto ao processo de ensino-aprendizagem deste.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, foram listados os seguintes:

- Identificar em qual momento do ensino de arquitetura o pensamento paramétrico pode contribuir de maneira significativa.
- Relacionar em uma matriz de relações como está sendo adotado o pensamento paramétrico no processo de ensino-aprendizagem na arquitetura.
- Propor um *framework* para o desenvolvimento de situações didáticas que utilizem o pensamento paramétrico nos cursos de graduação de arquitetura e urbanismo.

1.2 HIPÓTESE

O pensamento paramétrico não é um pensamento inato nas pessoas. Ele precisa ser estimulado, treinado e trabalhado como qualquer habilidade que pode ser aprendida desde que se utilize a didática correta. Os parâmetros presentes nos conteúdos teórico e prático de ensino das disciplinas devem ser demonstrados pelo professor para que o aluno possa relacioná-los com projeto.

A hipótese que motivou este trabalho parte do princípio de que aplicando-se estratégias que ativem o pensamento paramétrico e potencializem o modo de projetar, associadas com uma estruturação do saber, que demonstre a relação entre teoria e técnica, então o aluno poderá identificar os parâmetros principais do que será projetado.

1.3 JUSTIFICATIVA

O processo de projeto desenvolvido e utilizado pelos arquitetos é particular e exclusivo de cada projetista. Assim como cada pessoa possui diferentes maneiras de pensar e utilizam um tipo de inteligência de maneira mais efetiva do que outra. Essas características individuais levam a procedimentos que podem ser amparados por ferramentas de apoio com o propósito de auxiliar o projetista, trazendo vantagens durante o processo projetual. Além disso, justifica-se a presença dessas ferramentas desde a graduação fazendo parte do processo de ensino-aprendizagem, para que o aluno em formação possa lidar com maior clareza com suas características.

No entanto, para que ferramentas de modelagem paramétrica sejam inseridas no ensino de arquitetura é necessário compreender a lógica de sua utilização e a maneira como utilizar o pensamento paramétrico. Segundo Duarte, Celani e Pupo (2011), os alunos serão capazes de integrar habilidades adquiridas para resolver problemas de projeto utilizando o computador se entenderem que ele é uma ferramenta de concepção ao invés de um simples elemento de representação.

Kepczńska-Walczak (2014) destaca o fato de que os alunos de hoje são nascidos na era da internet e têm a possibilidade da informação instantânea e constante; mas quando se trata de uma ferramenta de projeto, o conhecimento de informática não é óbvio e deve ser baseado no talento manual e não na

dependência do computador, visto que sem as habilidades necessárias o processo criativo pode ser limitado ou bloqueado. A provável facilidade para lidar com a tecnologia não é, necessariamente, sinônimo para habilidades na definição de estratégias adequadas para um processo que não lhes é inato.

Diante deste contexto, a pergunta de pesquisa para este trabalho é definida em: de que maneira a introdução do pensamento paramétrico pode potencializar o processo de aprendizagem no ensino de arquitetura?

1.4 ASPECTOS DE INEDITISMO

A elaboração de uma matriz de relações, construída a partir dos trabalhos de Iniciação Científica produzidos no Brasil (no contexto do estudo da modelagem paramétrica), possibilitou uma descrição do conhecimento gerado. A partir deste, foram elaborados exercícios conectados aos conhecimentos advindos da matriz, no contexto brasileiro. O aspecto de ineditismo deste trabalho consiste na identificação do retrato brasileiro sobre o assunto e a produção de possibilidades e propostas de criação de exercícios que possam ser aplicados em diferentes fases de projeto, no contexto de ensino-aprendizagem.

A tese se apoia em duas teorias relacionadas à estruturação do saber, e busca a criação de um objeto de ensino, com o desenvolvimento de um *framework* que possa ser utilizado no contexto da sala de aula, buscando estimular o pensamento paramétrico em alunos para que possam aplicá-lo no processo de projeto arquitetônico. O *framework* proposto procura dar suporte para a escolha dos parâmetros adequados, a partir da identificação do problema de projeto e da lógica projetual para poder resolvê-lo.

1.5 MAPA CONCEITUAL DA PESQUISA

A Figura 1 apresenta um mapa conceitual desta pesquisa, enfatizando suas ideias principais e articulações propostas.

Figura 1 – Mapa Conceitual da Pesquisa

ESTRATÉGIAS DE PENSAMENTO PARAMÉTRICO APLICADAS AO PROJETO ARQUITETÔNICO: UMA MATRIZ DE RELAÇÕES E UM FRAMEWORK DE APOIO AO ENSINO E APRENDIZAGEM

OBJETIVO

INVESTIGAR DE QUE MANEIRA O PENSAMENTO PARAMÉTRICO ESTÁ INSERIDO NO PROCESSO DE PROJETO ARQUITETÔNICO E COMO PODE SER TRANSPOSTO AO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DESTA

HIPÓTESE

SE FOREM APLICADAS ESTRATÉGIAS QUE ATIVEM O PENSAMENTO PARAMÉTRICO E POTENCIALIZEM O MODO DE PROJETAR, ASSOCIADAS COM UMA ESTRUTURAÇÃO DO SABER, QUE DEMONSTRE A RELAÇÃO ENTRE TEORIA E TÉCNICA, ENTÃO O ALUNO PODERÁ IDENTIFICAR OS PARÂMETROS PRINCIPAIS DO QUE SERÁ PROJETADO

PROCESSO → MÉTODOS DE PROJETO

- DIFERENÇAS / CARACTERÍSTICAS DE CADA MÉTODO
- EM QUE SE FUNDAMENTAM TEORICAMENTE

ARQUITETO



PERGUNTA

DE QUE MANEIRA A INTRODUÇÃO DO PENSAMENTO PARAMÉTRICO PODE POTENCIALIZAR O PROCESSO DE APRENDIZAGEM NO ENSINO DE ARQUITETURA?



- EM QUAL MOMENTO DO ENSINO DE ARQUITETURA O PENSAMENTO PARAMÉTRICO É IMPORTANTE
- QUAIS TIPOS DE PROJETOS (TODO OU PARTES? QUAL GEOMETRIA?)
- IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE DEFINIÇÃO DA FORMA
- OTIMIZAÇÃO DA FORMA DE ACORDO COM OS PARÂMETROS
- EXPLORAÇÃO FORMAL

ENSINO/APRENDIZAGEM → ESTRUTURAÇÃO DO SABER - CHEVALLARD

TIPOS DE PENSAMENTO



TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

TEORIA ANTROPOLÓGICA DO DIDÁTICO



MÉTODO DBRIEF
PESQUISA BASEADA EM DESIGN E TECNOLOGIA EDUCACIONAL

- EXPLORAÇÃO FUNDAMENTADA
 - PRENÚNCIO
 - PROCESSAMENTO →
 - PRODUTO
 - AVALIAÇÃO ESTENDIDA
- 1º CÍCLO - MATRIZ ICs
2º CÍCLO - DESENVOLVIMENTO EXERCÍCIOS
3º CÍCLO - ANÁLISE EXERCÍCIOS
4º CÍCLO - FRAMEWORK

Fonte: elaborado pelo autor

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura abordando quatro tópicos: o Processo de Projeto e seus métodos, a Tecnologia Digital, o Processo Paramétrico e o Ensino.

O objetivo desta revisão é abordar o processo projetual e métodos de projeto, avaliando suas características, diferenças e no que se fundamentam teoricamente. A partir desse estudo, buscar ferramentas que surgem como apoio a esses métodos para, no terceiro tópico, abordar o pensamento paramétrico e suas possíveis e/ou prováveis conexões com os métodos de projeto e como podem se refletir no processo de ensino-aprendizagem.

2.1 PROCESSO DE PROJETO

O processo projetual, formado por um conjunto de etapas e procedimentos que buscam facilitar e orientar as fases de elaboração de um projeto, concentra toda a carga de informações necessárias para a criação do projeto arquitetônico. Castells (2012) cita o processo projetual como inseparável do arquiteto, descrevendo-o como *“espelho onde fica registrado [...] sua particular maneira de entender a arquitetura e praticar a atividade projetual”*.

No entanto, o processo de projeto e a própria profissão do arquiteto nem sempre foram, pode-se colocar assim, organizados. De acordo com Glancey (2001) a arquitetura teve início a partir do momento que a humanidade começou a praticar a agricultura; foi necessário viver em lugares fixos, inicialmente às margens de rios, onde foram criadas as primeiras cidades. Do Egito antigo, passando pela ascensão grega e romana (a chamada arquitetura clássica), a arquitetura foi se desenvolvendo e se modificando, e o trabalho artesanal do arquiteto também.

A invenção da perspectiva linear por Filippo Brunelleschi (que conseguiu criar uma maneira de representar como construir a cúpula da catedral de Santa Maria Del Fiore, em Firenze) foi uma das principais heranças do Renascimento para a profissão do arquiteto e representou a conquista da expressão espacial (RAGAZZI, 2014). Rego (2001) ressalta que as conquistas do século XV, principalmente a perspectiva, representaram uma mudança importante no processo projetual, quando os arquitetos passaram a usufruir de uma técnica de representação gráfica capaz de

permitir uma visualização do objeto arquitetônico muito próxima do que seria quando construído. Além disto, uma constante modulação dos edifícios ficou conhecida como um padrão deste movimento, que começou a valorizar artistas e arquitetos, com suas obras sendo estudadas detalhadamente (JONNES, 2014).

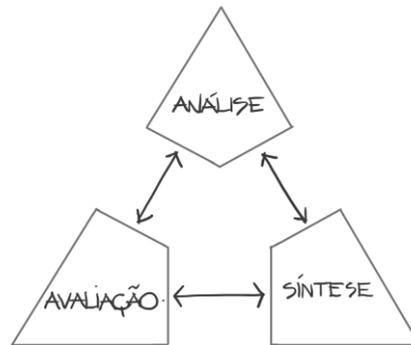
Segundo Lawson (2011) as mudanças nos materiais e nas tecnologias disponíveis evoluíram de modo muito rápido para que fossem acompanhadas pelo processo manual do artesão. Quando a Bauhaus⁴ de Walter Gropius surgiu, combinando uma academia de belas-artes com uma escola de artes e ofícios, era um exemplo de escola democrática que considerava a interação colaborativa entre professores e alunos, com o objetivo de trabalhar uma unidade entre método didático e sistema produtivo (ARGAN, 2005). Gropius buscava uma tentativa de fazer com que o artesanato progredisse na indústria, aproximando-os e fazendo com que o artesão passasse do domínio da ferramenta para o domínio da máquina, e o processo didático reproduzisse o processo de evolução social.

O processo de projeto que é conhecido atualmente não foi resultado de um planejamento, mas de uma reação a todas as mudanças que o contexto social e cultural impôs; hoje, o processo em que o arquiteto produz desenhos que servem de base para outros construírem tornou-se a maneira tradicional de projetar (LAWSON, 2011).

A palavra processo é definida como: a maneira de se fazer alguma coisa; procedimento: processo de criação; Ação contínua e prolongada, que expressa continuidade na realização de determinada atividade (DICIO, 2021). O processo de projeto é composto por uma sequência de atividades distintas e identificáveis que ocorrem, de maneira geral, na forma de Análise, Síntese e Avaliação, de acordo com a Figura 2:

⁴ A Bauhaus foi uma escola de arquitetura e arte aplicada, criada na Alemanha em 1919 pelo arquiteto Walter Gropius e fechada em 1933 sob pressão nazista. A escola rompeu a maneira como ensinar arte no século 19, dividindo suas salas em oficinas como serralheria, teatro e fotografia, cada um sob comando de um mestre. Em seu livro, Argan (2005) descreve que na escola da Bauhaus “o tema fundamental do ensino de arquitetura era a combinação de unidades formais típicas em relação aos vários tipos de núcleos e funções sociais”. (ARGAN, 2005).

Figura 2 – Representação gráfica do processo projetual



Fonte: Baseado em Lawson (2011)

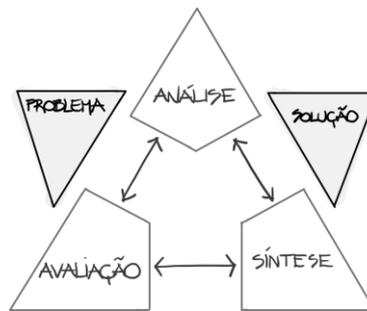
Em uma rápida descrição sobre o mapeamento descrito, pode-se dizer que a Análise representa a organização, interpretação e estruturação do problema; a Síntese é a geração de soluções para o problema; a Avaliação é a posição do projetista frente à solução encontrada. Jones (1970) descreve estas etapas de maneira mais simples, como sendo “quebrar o problema em pedaços, juntar as peças de uma nova maneira e testar para descobrir as consequências de colocar o novo arranjo em prática”.

Al-Rqaibat (2019) se refere ao processo de projeto com início no pensamento cognitivo para o arquiteto buscar soluções para um problema dado, traduzindo a ideia em esboços e modelos de maneira cíclica. Esse pensamento cognitivo envolve a mente e a mão, que traduz o pensamento nos esboços, que por sua vez suportam o processo intelectual. Kępczyńska-Walczak (2014) destaca que mesmo por um momento o ato de capturar e registrar uma ideia permanece analógico, reforçando a relação entre a mente e a mão mais forte do que entre a mente e o computador.

O processo de projeto parte de experiências anteriores, referências gerais, contexto e até intuição. Ao considerarmos este mapeamento generalizado do processo projetual, deve-se ter consciência de que a análise, a síntese e a avaliação ocorrem em todas as fases do pensamento projetual. O processo não é rígido e está dependente de vários fatores que orientam qual direção o projetista seguirá (CASTELLS, 2012). A pesquisa de Naziri *et al.* (2019) vai além e argumenta que a experiência do arquiteto é essencial para o desenvolvimento de um projeto melhor a partir da escolha por um determinado partido.

Lawson (2011) complementa que essas atividades ocorrem em uma ordem previsível e com uma lógica identificável. No entanto, é enfático quando afirma que saber que o projeto é composto por ciclos iterativos que unem análise, síntese e avaliação, não capacita ninguém a projetar; cada projetista deve entender que o procedimento é particular, e que cada projetista desenvolve o seu. De acordo com o autor, este mapeamento poderia ser descrito como um acordo entre a compreensão do problema e a definição da solução. As atividades de análise, síntese e avaliação estariam envolvidas nesse acordo, conforme ilustrado na Figura 3:

Figura 3 – Representação gráfica do mapeamento do processo projetual como articulador entre o problema e a solução



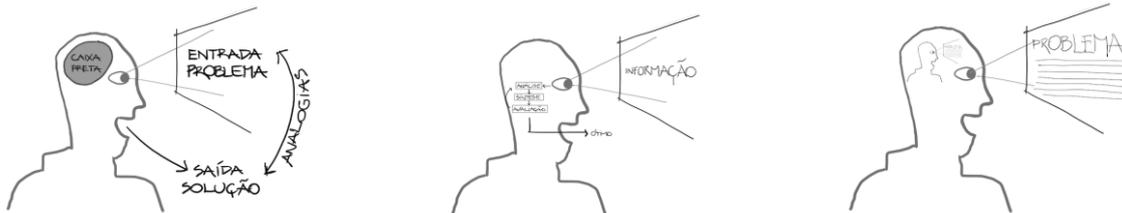
Fonte: Baseado em Lawson (2011)

Segundo Latifi, Mahdavinezhad e Diba (2016), quando o projeto é concebido na mente do arquiteto e não é revelado, reduz-se a possibilidade de se executarem alterações. Neste caso, o mais provável é que, até estar com o projeto completo, o projetista terá dificuldades para visualizar o objetivo final, entre o pensamento lógico e a criatividade artística. A importância em externar esse processo, poder visualizá-lo e, porventura, replicá-lo, passa pela criação de esquemas gráficos, esboços e a utilização de tecnologias que auxiliem o arquiteto nesta tarefa. Este processo acaba por se tornar particular, tornando-se o método de cada projetista. Sobre os métodos de projeto, Jones (1970) aponta que o objetivo deles é o de tornar público o pensamento do projetista, revelando seu processo projetual. Além disso, sugere uma leitura de cada método considerando três pontos de vista: criatividade, racionalidade e controle sobre o processo de projeto.

Nessa perspectiva, olhar o método sobre o ponto de vista da criatividade, tem-se que o pensamento do projetista é a caixa preta, da qual surge o intrigante

salto criativo. Do ponto de vista racional, tem-se o oposto, que seria a caixa de vidro, transparente, pela qual pode-se reconhecer e explicar todo o processo. E pelo ponto de vista do controle do processo, o projetista apresenta um planejamento organizado do seu pensamento, descobrindo atalhos que possam auxiliar o processo (JONES, 1970). A Figura 4 ilustra estes três pontos de vista na abordagem dos métodos:

Figura 4 – O método projetual visto sob 3 pontos de vista: criatividade, racionalidade e controle



Fonte: Baseado em Jones (1970)

Além disso, considerando que todo projeto tem como foco a solução de um problema, e esse problema é específico para cada projeto, é possível que um mesmo projetista adote muitos métodos de maneira simultânea. Pelo relato de Lawson (2011), em geral o arquiteto tende a utilizar pouca teoria para resolver o problema, preferindo utilizar o estoque de conhecimento adquirido sobre soluções e suas possibilidades ou funcionalidades. Mas Voordt e Wegen (2013) explicam que a comparação do processo de um arquiteto com a literatura da metodologia de projeto torna o processo mais fácil de ser discutido e compreendido.

Castells (2012), discorre sobre as etapas do processo projetual como os resultados parciais e final do processo de projeto. Dentro de uma produção qualitativa, tem-se: o Programa, que lista os objetivos do projeto e suas necessidades; o Partido Arquitetônico, que constitui o registro do pensamento, das principais tomadas de decisão que fizeram o projetista optar por uma ideia em detrimento de outras; o Estudo Preliminar, o momento de criação onde é definida a forma do projeto, incluindo tamanho, disposição e organização espacial dos espaços e certas especificações. Quando tratamos de uma produção quantitativa, tem-se o Anteprojeto e o Projeto Executivo. Al-Rqaibat (2019) descreve o projeto arquitetônico como um processo de pensamento cognitivo que possui diferentes estágios, partindo da fase de concepção conceitual para esboços iniciais, que na fase de estudo preliminar se tornam mais refinados. Em seguida o anteprojeto arquitetônico

apresenta desenhos detalhados e modelo analítico e segue para a fase de projeto executivo, onde são elaborados os desenhos finais.

O próprio Castells (2012) cita ainda, no contexto da produção do projeto e suas etapas, a existência de estudiosos que defendem que o processo de projetar ocorre do geral para o particular (do todo para as partes) e outros que, ao contrário, sustentam a produção do particular para o geral (das partes para o todo). A discussão sobre o assunto parte dos estudos do arquiteto francês Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc: seus textos demonstram que existe uma base metodológica que reforça o processo pensado do todo para as partes, mas que trabalhar do mais simples para o mais complexo (das partes para o todo) fortalece teoricamente a idealização da composição arquitetônica (CASTELLS, 2012).

O esquema representado na Figura 05 baseia-se na construção do processo projetual de Viollet-le-Duc, demonstrando a relação entre as etapas de projeto e o mapeamento do processo:

Figura 5 – Esquema do Processo de Projeto, baseado no método de Viollet-le-Duc



Fonte: Galafassi (2012)

2.1.1 Pensamento no processo projetual

Segundo Gardner (1999) a interpretação dos fatores psicológicos relacionados às habilidades humanas é um assunto estudado desde Darwin, que já se preocupava com a origem e o desenvolvimento de traços psicológicos dos indivíduos. Os estudos do psicólogo francês Alfred Binet foram os primeiros testes de inteligência, focados em crianças e educação, medindo memória e raciocínio verbal, raciocínio numérico e apreciação de sequências lógicas. Baseado nos

estudos de Gardner, Brualdi (1996) escreve sobre elementos primários de diferentes tipos de aprendizagem presentes em pontos específicos do cérebro. Estes elementos seriam responsáveis por inteligências particulares, que variam de indivíduo para indivíduo. Em seu trabalho, a autora descreve as sete inteligências múltiplas definidas por Gardner:

- inteligência lógico-matemática, responsável pela capacidade de detectar padrões, raciocínio dedutivo e pensamento lógico;
- inteligência linguística, baseada no domínio da linguagem para se expressar de maneira retórica ou poética;
- inteligência espacial, que permite a capacidade de manipular e criar imagens mentais na busca pela solução de problemas;
- inteligência musical, responsável pela capacidade de reconhecer e compor músicas, alturas, tons e ritmos;
- inteligência cinestésica corporal, que reforça a habilidade mental de alguém em seus próprios movimentos corporais;
- inteligência interpessoal, que inclui sentimentos e intenções de outros;
- inteligência intrapessoal, referente à capacidade de compreender seus próprios sentimentos e motivações.

Ainda segundo Brualdi (1996), todo indivíduo nasce com essas sete inteligências e com o passar do tempo vão desenvolvendo diferentes conjuntos de inteligências com seu próprio grupo de pontos fortes e fracos intelectualmente. Em um cenário ideal, professores criariam um perfil de inteligência para cada aluno, de maneira que pudessem ter uma visão geral dos pontos fortes e fracos, avaliar o progresso de cada aluno e tomar decisões mais firmes sobre o que ensinar e como ensinar.

Levy e Murnane (2005) desenvolveram uma pesquisa onde, por meio da categorização das habilidades humanas, estimaram a probabilidade de informatização dessas habilidades. As categorias estudadas foram: [1] pensamento especialista, onde se resolvem problemas para os quais não existem soluções baseadas em regras, e portanto não podem ser informatizados; [2] comunicação complexa, em que existem interações entre as pessoas para se obter informações, explicá-las ou convencê-las; [3] tarefas cognitivas de rotina, mentais, bem descritas por regras dedutivas ou indutivas e podem ser informatizadas; [4] tarefas manuais

de rotina, físicas, bem descritas por regras dedutivas ou indutivas e possíveis de informatização; [5] tarefas manuais não-rotineiras, física, que não podem ser descritas seguindo um conjunto de regras, e difíceis de serem informatizadas. Para as tarefas difíceis de serem informatizadas, o computador não poderia substituí-las, mas complementá-las.

Celani *et al.* (2015) também comentam esse estudo e acrescentam que os arquitetos provavelmente cairiam em uma categoria com nível de habilidade alto e nível de índice de rotina baixo, com maior dificuldade de serem substituídos pelo computador. Isto ocorre porque, como visto anteriormente, o mapeamento do processo de projeto ocorre na forma de Análise, Síntese e Avaliação, e isto não acontece de maneira linear. O processo projetual alterna constantemente entre pensamento convergente (produção de ideias) e pensamento divergente (escolha e avaliação de ideias). Florio (2011) reforça que o pensamento convergente envolve pensamento criativo, enquanto o divergente envolve pensamento crítico, e que estes são indissociáveis e complementares.

Sobre criatividade, Gerlovina (2011) a relaciona não apenas com a produção de algo novo, mas também em quão influente essa produção é, adequada à função ou tarefa em questão, fornecendo uma resposta a um problema de maneira que seja útil. A pesquisa de Al-Mamoori e Daher (2018) abordou a criatividade no processo arquitetônico e a influência que a informática exerce sobre ela, visto que tradicionalmente estudantes de arquitetura e arquitetos dependem do estudo, do conhecimento e também da imaginação para projetar. Os resultados apontaram que o processo para cada um é distinto em relação ao impacto dos *softwares*, mas que estes colaboraram no aumento de variáveis cognitivas como conhecimento e habilidades técnicas, e variáveis de personalidade, como motivação e confiança; no entanto, outras variáveis cognitivas como inteligência e talentos especiais não apresentaram melhora pelo uso de ferramentas digitais.

Runko e Acar (2012) definem o pensamento criativo como aquele que permite aplicar a imaginação para gerar ideias, experimentar alternativas e avaliar essas ideias, produtos finais e processos. Esse pensamento necessita de conhecimentos que ajudem a formular a própria compreensão e imaginação. A criatividade é inerente ao processo de todo arquiteto e os capacita para realizar projetos que sejam ao mesmo tempo novos e contextualizados, mediando a combinação de muitas ideias. Ao trabalhar com parâmetros essa capacidade se

torna agilizada pelo número de combinações de variáveis permitindo descobrir o inesperado (FLORIO, 2011). O pensar paramétrico é uma maneira de mudar o padrão atual na prática acadêmica e profissional, retirando a pressão do projetista em conceber o projeto ideal e pressionando-o a fazer as perguntas certas, estabelecendo um conjunto de regras com variáveis associadas (KARLE e KELLY, 2011). Os autores apontam que o pensamento paramétrico relaciona sistemas tangíveis e intangíveis fora do contexto de alguma ferramenta digital. No caso dos arquitetos, o objetivo é que estes pensem por meio dos parâmetros e não apenas por meio de soluções predeterminadas ou preconcebidas.

O trabalho realizado por Kępczyńska-Walczak (2014) buscou relacionar o pensamento criativo com o processo de projetar em ambientes analógico e digital, estudando duas situações: a primeira abordando uma forma digital gerada por um computador e a segunda explorando a imaginação trabalhando com folhas de papel. Na primeira situação verificou-se que as soluções visuais dependiam do aluno conhecer o projeto do algoritmo e de suas habilidades com programação, sendo que nos casos em que essas habilidades não seguiam a criatividade, os resultados foram de insucesso. No segundo caso não foi utilizado o computador para gerar uma ideia e os alunos estudaram o comportamento natural do papel dobrado, mas na sequência foram estimulados a utilizarem o Grasshopper⁵ para buscar novas soluções. A conclusão da autora ressalta que deve existir uma ligação direta entre a mente do arquiteto e a ferramenta de projeto para que o projetista não se torne um revisor ao invés de criador. Mesmo considerando todo o potencial do Grasshopper, o projetista deve ter o controle do processo (suas especificidades, o processo criativo, habilidades e técnicas) para que consiga extrair o máximo potencial da ferramenta.

2.1.2 Métodos

Nas décadas de 1960 e 1970 muitos foram os trabalhos que se debruçaram no estudo sobre metodologia de projeto, a teoria dos métodos de projeto levando em consideração o processo por detrás do projeto (VOORDT e HERMAN, 2013).

⁵ O *Grasshopper* é um editor de algoritmo gráfico integrado às ferramentas de modelagem 3D do software *Rhinoceros*, desenvolvido por David Rutten, da Robert McNeel & Associates, que permite desenvolver modelos tridimensionais por meio de algoritmos e parâmetros, com linguagem visual baseada em inputs e outputs associados à lógica e à matemática. (Disponível em: <https://www.grasshopper3d.com/>)

Castells (2012) aponta que os estudiosos dos métodos de arquitetura divergem quanto a concepção filosófica e conceitual que embasa cada modelo, dividindo-os entre os de base científica e os de base artística, e define o método como um instrumento-guia, referencial para orientar o desenvolvimento do trabalho projetual e que pode ser utilizado em outras oportunidades. Snyder e Catanese (1984) citam os métodos como “procedimentos que os arquitetos têm empregado para criar projetos”, e o trabalho de Jones (1970) identificou que o estudo do processo de projeto pode ser dar por uma pesquisa sobre métodos para melhorar a qualidade do projeto.

Lawson (2011) afirma que não existe um método correto para projetar e tampouco um caminho padrão para o processo, sendo que arquiteto possui um processo que envolve um método (ou métodos) e que caracteriza e fundamenta seu estilo de projetar. No entanto, muitos livros e muitos autores publicaram (e ainda publicam) estudos sobre métodos de projetar. O próprio autor denomina esses métodos de técnicas utilizadas com a intenção de “controlar a direção do pensamento em certos estágios do caminho”. Masry *et. al* (2004) apontam que métodos visuais são a maneira mais simples e eficiente para que o projetista possa demonstrar suas ideias sobre forma, composição e a relação entre os componentes de um projeto.

Jones (1970) cita que a representação do método pode ser feita em palavras, símbolos matemáticos e quase sempre por um diagrama que representa etapas do processo e a relação que existe entre elas. Para Montaner (2017), os diagramas não são similares e apresentam muitos significados, são progressivos e apresentam constante evolução do processo cognitivo; são como pontos de atração, com capacidade de reorganização e também de serem transmitidos. No entanto, Goldschmidt (1991) aponta que ao trabalhar com diagramas ou fluxogramas ocorre o pensamento visual, que é útil e produtivo, mas não deve ser único na fase de criação, devendo contar também com esboços (como croquis e desenhos) para uma representação geométrica e formal que ajudem a organizar o pensamento.

A seguir serão descritos alguns métodos escolhidos por serem considerados como mais relevantes, conforme descrito nos trabalhos de Jones (1970), Lawson (2011), Castells (2012) e Voordt e Wegen (2013).

2.1.2.1 *Método Tradicional*

Tradicionalmente, o estágio inicial do lançamento de uma ideia de projeto começa com desenhos de um modelo para explorar soluções, e muitos autores reforçam o uso de desenhos e sua importância para o processo de projeto arquitetônico. Hyun e Han (2004) examinaram o processo cognitivo partindo da percepção visual da representação por desenhos e esboços como influente no comportamento do projetista, pois auxiliam no pensamento criativo permitindo a visualização da ideia externamente ao longo do processo de projeto, como um raciocínio visual.

Lawson (2011) utiliza o termo desenho de projeto, que faz parte do próprio processo de pensamento. Castells (2012) evidencia a necessidade de desenhos e esboços feitos pelo arquiteto e, segundo o autor, os arquitetos projetistas pensam desenhando e os desenhos são a materialização do raciocínio, do processo de projeto e do pensar. Gero, Chase e Rosenman (2001) também citam os esboços do arquiteto como importantes para explicitar e ordenar as relações que tem em mente, pois fornecem uma memória externa que permitem que haja uma investigação futura e esclareçam as intenções do projetista. Da mesma maneira Al-Rqaibat (2019) define que os esboços desempenham um papel importante na compreensão do projeto, pois dão uma ideia de como o arquiteto pensa, como ele pode representar seu pensamento e como expressa suas ideias para o projeto.

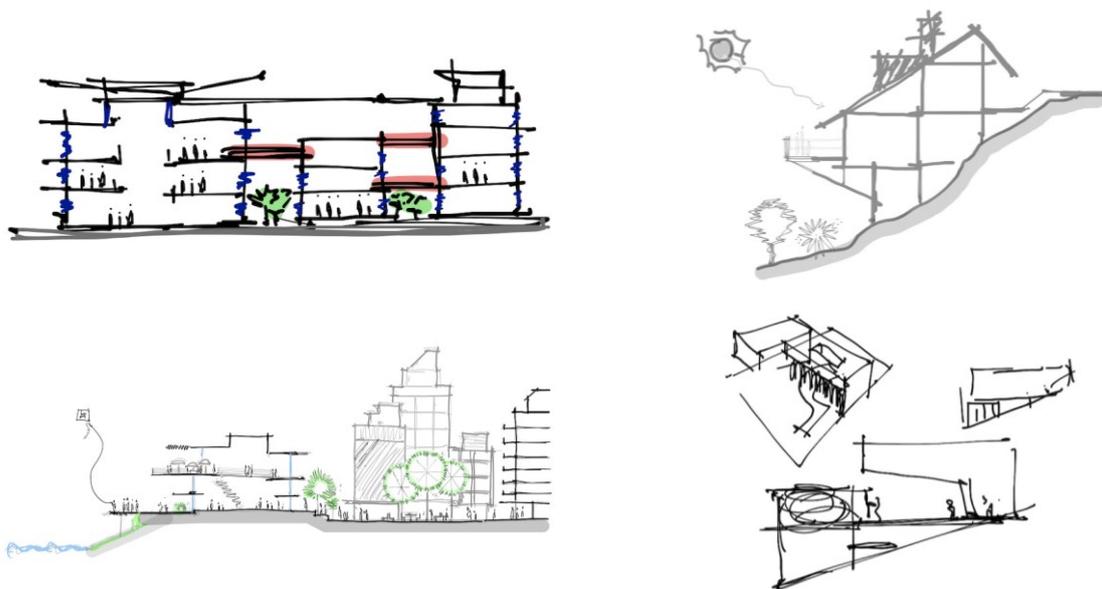
Quando estão na fase de resolução de problemas, os esboços passam de desenhos não estruturados para representações desenhadas de forma mais precisa e explícita, e podem se dar de maneira lateral (onde existe um movimento de uma ideia para uma ideia diferente) e vertical (onde uma ideia evolui e se torna mais detalhada). As transformações laterais ocorrem na fase de concepção do projeto, associada a esboços não estruturados, enquanto as verticais ocorrem durante as fases de refinamento, associadas a desenhos mais detalhados e precisos (HYUN e HAN, 2004).

A pesquisa realizada por Heidari e Polatoğlu (2019) estudou o desempenho dos desenhos e verificaram que a incerteza é uma característica dos esboços relacionada à reinterpretação: essas incertezas podem ser interpretadas de maneira distinta, impedindo a definição precoce de ideias, podendo utilizar os esboços tanto para expressar suas ideias quanto para gerar outras. No entanto, Al-Rqaibat (2019)

ressalta que o esboço não é apenas uma tradução das ideias, mas também uma ferramenta de pensamento que suporta o processo cognitivo. Goldschmidt (1991) propõe que o esboço introduz um tipo especial de lógica no raciocínio de projeto, baseado em imagens interativas com o objetivo de raciocinar visualmente não sobre algo previamente percebido, mas sobre algo a ser composto, aquilo que está sendo projetado.

Desenhar com base naquilo que outros constroem consolidou-se de tal modo que tornou-se a maneira tradicional de projetar. Nesse processo de projetar com desenhos, Lawson (2011) evidencia que, comparado ao processo vernacular utilizado até então pelo artesão, desenhar ampliou a capacidade de percepção do projetista, permitindo que o processo de desenhar e redesenhar se prolongue até que os problemas de projeto visíveis sejam resolvidos. Nesta linha de raciocínio, o processo tradicional de desenho permite que o arquiteto experimente e libere sua criatividade. No entanto, se analisarmos o projeto como produto final, a obra construída, o processo de projetar com desenhos permite visualizar como ficará o produto, mas nem sempre como ele funcionará (LAWSON, 2011). A Figura 6 mostra alguns croquis que possibilitam que a ideia inicial seja visualizada:

Figura 6 – Croquis – o “pensar desenhando”...



Fonte: Registros do autor

2.1.2.2 *Método de Archer*

Bruce Archer desenvolveu, durante a década de 1960, uma metodologia que possuía uma abordagem mais próxima de uma busca organizada pela solução manual de um problema de projeto (JONES, 1970). Segundo Silva *et al.* (2017) esse método deveria incluir uma combinação da intuição com o conhecimento, baseado em metodologias, com a tendência de que o trabalho tivesse um viés mais científico conforme o processo criativo fosse desenvolvido.

Castells (2012) trata do método de Archer como uma relação lógica entre o conjunto de saberes (habilidades, intuição e conhecimento disciplinar) e um pensamento lógico que pode se organizar para a construção de uma ciência de projeto; esta formalização do processo criativo facilitaria a reprodução e compreensão do projeto (SILVA *et al.*, 2017).

O método de Archer se divide em três fases: a fase analítica, composta pelo levantamento dos dados relativos às necessidades do usuário, o problema de projeto e as condições locais; a fase criativa, onde as ideias são desenvolvidas e trabalhadas para chegar a uma solução; e a fase executiva na qual a ideia desenvolvida é apresentada e finalizada (ou, se necessário for, reformulada). Na fase analítica o problema inicial divide-se em partes segundo a hierarquia e depois é transformado em uma lista de atributos. Silva *et al.* (2017) descrevem que o objetivo desta sistematização de Archer era reduzir as tarefas imaginativas e permitir mais tempo para o arquiteto investir no salto criativo.

No entanto, segundo Jones (1970) a metodologia sistemática desenvolvida por Archer pode comprometer o processo ao não considerar a habilidade humana de perceber atalhos no processo projetual e, conseqüentemente, não conseguir esclarecer como foram realizados.

2.1.2.3 *Método de Alexander*

O método de Alexander (ALEXANDER, 1964) lista as exigências do problema de projeto para procurar correspondências entre elas. Essa relações são classificadas em positivas, negativas ou neutras, e em seguida divididas em subproblemas independentes. O objetivo é de que cada componente do problema

possa ser alterado de maneira independente para poder se adequar às possíveis mudanças que podem ocorrer no futuro.

Jones (1970) listou um esboço sobre as etapas que compõem o método de Alexander: [1] identificar os requisitos que influenciam na estrutura do projeto e que possuam qualquer relação com a forma física; [2] verificar a dependência (ou não) de cada requisito, registrando-as em uma matriz de interação; [3] decompor essa matriz em conjuntos conectados; [4] elaborar um componente físico para cada conjunto de requisitos; [5] organizar esse novos componentes em sistemas físicos existentes. Sugere-se que o problema principal, ao ser dividido em partes relativamente mais simples, facilite a compreensão e resolução por parte do arquiteto. Com este método, Alexander pretendia prever e perceber a existência de padrões de relações que um novo produto estabelece quando utilizado.

Jones (1970) ainda afirma que para atender aos objetivos propostos, o método depende de três suposições arriscadas: a primeira é de que o pensamento do projetista provavelmente fornece uma maneira de representar tudo o que afeta ou é afetado por um novo projeto; a segunda suposição parte de que uma interação é independente da solução que eventualmente se alcança; e a terceira baseia-se em que acréscimos e alterações feitas no futuro não acontecerão naturalmente após o padrão de interações ser decomposto.

Enfim, percebe-se que o Método de Alexander, mesmo considerando que a criação de sua matriz requer alto grau de sistematização e habilidade de taxonomia, pode auxiliar o projetista a encontrar as conexões entre as sub-soluções imaginadas e os possíveis padrões do problema como um todo (JONES, 1970).

2.1.2.4 *Método de Luckman*

John Luckman desenvolveu o método *Analysis of Interconnected Decision Areas* (AIDA - em tradução livre Análise de Áreas de Decisão Interligadas) buscando, por meio do que denominou de “áreas de decisão”, tomar decisões durante a fase de projeto (VOORDT e WEGEN, 2013). Sua utilização parte de muitos problemas conectados e como as escolhas para resolver um deles afeta as escolhas de outro problema (MARTIN *et. al*, 2010).

Segundo Voordt e Wegen (2010) este método se preocupa em gerar soluções, buscando inicialmente todas as possíveis diante do problema para, em

seguida, determinar quais elementos são mais relevantes diante as soluções encontradas, elaborando uma lista com as maneiras de resolver cada elemento. Se trata de um método analítico que necessita de uma árvore de soluções⁶ para exibir todas as combinações compatíveis de opções de solução.

Luckman (1967) explica que o método AIDA pode ser usado para encontrar as melhores soluções desde que os critérios de escolha estejam claros. Esta afirmação do autor vai ao encontro do que se espera da modelagem paramétrica, onde os parâmetros devem ser definidos. Além disso, conforme Georgiou, Heck e Mrvar (2019), ao se considerar que cada problema de projeto pode ser dividido em problemas menores, com uma variedade de soluções possíveis, e algumas destas podem ser incompatíveis; a identificação destas incompatibilidades pode possibilitar que sejam encontradas soluções com compatibilidade conhecidas.

2.1.2.5 *Método de Broadbent*

Por meio do estudo da história da arquitetura, o método de Broadbent deriva em quatro tipos de projeto: [1] pragmático, baseado na utilização de materiais e métodos disponíveis; [2] icônico, que consiste na cópia de obras e estilos consagrados, soluções existentes, adaptadas ao contexto de projeto; [3] canônico, guiado por regras que envolvem modulações e padronizações; [4] analógico, resultante da utilização de equivalências de outras áreas para elaborar o projeto (CASTELLS, 2012; LAWSON, 2011). O método de Broadbent tem se mostrado efetivo ao longo do tempo. Isto porque trabalha com o senso comum, com atenção para a atitude que se deve ter para definir as necessidades dos usuários (CASTELLS, 2012).

Pode-se colocar que o diferencial do método de Broadbent é a variedade de alternativas de direcionamento permitidas, a partir da definição do programa de necessidades, sendo que os quatro tipos são significativos para as práticas de projeto (CASTELLS, 2012). Para os autores que escrevem sobre o método de Broadbent, os quatro tipos de projeto são possíveis de utilização. O projetista pode,

⁶ Uma árvore de soluções (também conhecida por árvore de decisão) é uma maneira de estruturar os principais problemas que estão presentes e determinar quais as opções possíveis para encaminhar a solução (Fonte:<https://w20.b2m.cz/post/arvore-de-problemas-e-solucoes.html>)

segundo Lawson (2011), utilizar os quatro tipos de maneira ordenada e organizada, para em seguida adotar um como solução a ser encaminhada.

No entanto, deve-se considerar que a utilização dos quatro métodos, gerando soluções diferentes para o mesmo projeto, pode ser arriscada. A ideia de gerar alternativas e apresentá-las ao cliente manifesta o receio de que este mesmo cliente opte por ideias de várias alternativas, difíceis de combinar e que possa resultar em uma solução sem lógica e sem integridade. Paralelamente, Lawson (2011) salienta que esta questão é mais complexa quando ponderam-se dois pontos de vista: se o processo deve se apoiar no desenvolvimento de uma única solução ou buscar, de maneira consciente, várias soluções para encontrar a mais adequada. Sem dúvida, o processo é complexo, no entanto, dependendo de vários fatores (habilidade e experiência, por exemplo) relacionados ao projetista, parece que ambas as maneiras podem ser bem sucedidas.

2.1.2.6 *Método de Asimow*

O método de Asimow foi trabalhado para a engenharia e posteriormente teve uma sequência similar desenvolvida para a arquitetura, elaborada pelo *Royal Institute of British Architects* (RIBA)⁷, em 1965.

Considera o fato de ter sido baseado no método tradicional de desenho, elaborado e pensado por uma pessoa de cada vez, em uma única mente, e que tem seu processo iniciado geralmente por um projetista chefe ou o líder de uma seção. Por conta disto, este método busca suprir o problema causado pela não utilização de muitas mentes no momento crítico do projeto, utilizando-se de subproblemas advindos do processo elaborado pelo projetista chefe (JONES, 1970).

O método desenvolvido por Asimow baseia-se na seguinte sequência de etapas:

- Etapa 1: Viabilidade - onde procura-se por um conjunto de conceitos viáveis; nesta etapa são reunidas as informações e dados sobre o problema, e na sequência é montado um conjunto de arranjos alternativos para o projeto;

⁷ O *Royal Institute of British Architects* - RIBA (traduzido para o português como Instituto Real de Arquitetos Britânicos) é uma associação profissional de arquitetos do Reino Unido, fundada em 1834 (Fonte: <https://www.architecture.com/about>).

- Etapa 2: o Projeto preliminar - após a análise dos conceitos encontrados, seleciona-se e desenvolve-se aquele julgado mais satisfatório;
- Etapa 3: Projeto detalhado - após o desenvolvimento do Projeto Preliminar, quando este atinge o ponto de satisfação do projetista chefe, o trabalho é dividido para que possa ser detalhado por mais pessoas;
- Etapa 4: Planejamento - é avaliado e alterado o projeto para atender os requisitos técnicos, de produção e execução.

Jones (1970) alerta para o fato de que esse processo pode não ter êxito caso os pressupostos iniciais não se confirmarem quando a Etapa 3 iniciar. Decidir a forma do 'todo' antes que os detalhes tenham sido investigados pela mente do projetista chefe pode não funcionar para situações em que a experiência necessária não pode ser confinada na mente de uma única pessoa.

2.2 TECNOLOGIAS DIGITAIS NO PROCESSO DE PROJETO

Desde o surgimento daquele que foi considerado o primeiro programa de interação gráfica entre homem e máquina (criado por Ivan E. Sutherland⁸ em 1963) e a chegada das tecnologias CAD aos escritórios de arquitetura na década de 1990, até o advento da chamada arquitetura paramétrica, muito se avançou, se alterou e se adaptou no processo projetual dos arquitetos. Kolarevic (2009) enfatiza que vivemos em uma "era digital" na arquitetura, na qual está se criando uma relação direta entre o que pode ser projetado e o que pode ser construído.

Ao longo do tempo vários objetivos nortearam o desenvolvimento da tecnologia, deixando evidente uma progressão digital da área. Na década de 1960, o objetivo dos computadores na arquitetura era imitar os humanos através de conceitos; na década de 1970, a criação de sistemas inteligentes visava auxiliar na

⁸ Ivan Edward Sutherland, nascido em 16 de maio de 1938, em Hastings, Nebraska - EUA, é engenheiro elétrico e cientista da computação, vencedor do A.M. 1988 Prêmio Turing, a maior honra da ciência da computação, por suas "contribuições pioneiras e visionárias à computação gráfica...". Sua tese de doutorado "*Sketchpad: um sistema de comunicação gráfica homem-máquina*" foi o início da computação gráfica do usuário e dos programas de design auxiliado por computador (CAD). Sutherland é frequentemente reconhecido como o pai da computação gráfica (Fonte: www.britannica.com/biography/Ivan-Edward-Sutherland).

tomada de decisões; na década de 1980, foi utilizada para apresentação de trabalhos e criação de novas formas (IRAQI e DALY, 2017).

Segundo Polonini (2014), apesar do surgimento da tecnologia CAD ter ocorrido na década de 1960, foi somente na década de 1990 que se consolidou a utilização da tecnologia CAD nos escritórios de arquitetura. Esta demora ocorreu principalmente em razão de dois fatores: [1] o alto custo de implantação, muito além dos recursos dos escritórios, inclusive os maiores e [2] a necessidade de operadores especializados para o desenvolvimento e utilização dos *softwares*.

O surgimento dos computadores pessoais⁹ e sua popularização na década de 1980, auxiliou neste processo. Os sistemas de desenho 2D tornaram-se populares entre os arquitetos, reduzindo o processo de desenho e revisão, criando uma democratização da tecnologia e permitindo que muitos outros usuários a utilizassem. No entanto, segundo Aish e Bredella (2017), essa democratização, ao se tornar popular, institucionalizou uma maneira de trabalhar e de pensar na qual o usuário começa a refletir em termos das possibilidades e limitações da ferramenta. Isso leva a uma certa acomodação e produção de soluções parciais, prendem o arquiteto ao *software* que por sua vez não suporta todo o escopo de pensamento e criatividade que o profissional pode dispor.

Esta afirmação é reforçada quando se analisa o processo projetual no qual o arquiteto pode pensar em várias possibilidades. Estas podem ficar limitadas à ferramenta que utilizamos (seja o desenho à mão ou digital): se o arquiteto não a utiliza de maneira adequada, corre o risco de desenvolver apenas uma solução dentre tantas possíveis. Mesmo com essas limitações encontradas, Vahid, Sadeghian e Nia (2015) relatam duas grandes mudanças positivas provocadas com o surgimento da arquitetura digital: o aumento da capacidade e facilidade de projetar, modelar e construir formas arquitetônicas complexas, aumentando a produção e acelerando o processo de verificar diferentes opções; o poder de produzir e avaliar mais opções de projeto por meio do computador.

Para tanto, existe a necessidade de se relacionar o conhecimento de Arquitetura e as práticas de criação em um nova ferramenta, onde o desenvolvedor precisa entender que os usuários (neste caso os arquitetos) avaliam o equilíbrio entre o tempo para aprender o novo aplicativo e as melhorias na qualidade do

⁹ O *Personal Computer* (PC) foi lançado pela empresa americana IBM em 1981 com o *IBM Personal*; em 1984, a Apple lançou o Macintosh.

projeto, competitividade e produtividade advindas do aprendizado (AISH e BREDELLA 2017). O trabalho de Al-Rqaibat (2019) concentrou-se na produção de um framework para implementar ferramentas digitais nos estágios iniciais de projeto e apoiar as atividades de projeto na fase conceitual, e seus resultados demonstraram uma melhoria no processo de projeto arquitetônico, para o qual a ferramenta de esboço digital desenvolvida apoiou as atividades criativas.

O surgimento dos computadores pessoais e sua popularização na década de 1980, auxiliou na difusão dos programas CAD em muitos setores, inclusive nos escritórios de arquitetura. Esta difusão ocorreu por conta da diminuição dos custos dos *hardwares*, a utilização de pacotes de *softwares* (diminuindo a necessidade de operadores especializados) e a interface gráfica mais amigável, com o uso de ícones, janelas e o mouse. Os programas CAD ofereciam vantagens sobre o desenho manual da prancheta, por meio de operações de compor, combinar e transformar elementos gráficos, a facilidade de mover partes do desenho e ainda a possibilidade de evitar o redesenho de muitas partes do projeto.

Lawson (1998) analisa essas vantagens como uma oportunidade de livrar o desenhista do rigor e da precisão exigidos nos desenhos à mão. Afinal, as ferramentas de desenho como compasso, esquadro e o próprio grafite e lapiseira, exigiam habilidades de manuseio e prática para que fosse produzido um resultado interessante. Soma-se a esse contexto a evolução da capacidade de processamento dos computadores e um poder de resolução de vídeo maior, originando a oportunidade de trabalhar a forma com a modelagem geométrica tridimensional, gerando a maquete eletrônica como ferramenta de estudo e de apresentação para o cliente. No entanto, segundo Celani (2002), a grande maioria dos escritórios ainda manteve-se fiel ao processo de projeto da prancheta, utilizando as ferramentas CAD para o desenho técnico e para a apresentação final dos projetos.

Para a arquitetura surgiram rotinas (*scripts*) que, segundo Hernandez (2006), continham parâmetros editáveis para que se obtivesse variações da mesma forma. Isso permitia que se criassem modelos de escadas, telhados, janelas, portas e outros elementos pertencentes ao projeto de maneira que, ao entrar com esses dados, o projetista e/ou desenhista gerava e editava o objeto de desenho (POLONINI, 2014).

A constante evolução da tecnologia alcançou um estágio importante durante a década de 1990, com o surgimento dos processadores *Pentium*, em 1983, da

americana Intel. O grande diferencial do novo processador era poder replicar o *hardware* para que mais instruções fossem executadas ao mesmo tempo, diminuindo a o intervalo de tempo entre o comando e a execução e, conseqüentemente, acelerando o processo de trabalho (ARRUDA, 2011). El Ahmar, Fioravanti e Hanafi (2013) citam que o papel do arquiteto continua significativo diante do crescimento dos *softwares* e ferramentas computacionais. O papel do projetista para o ato de projetar não foi diminuído; ele é quem estabelece os parâmetros e critérios de projeto, alimenta o sistema com informações e escolhe o resultado que julga satisfatório.

Dentro deste contexto, Kolarevic (2009) destaca que as áreas de arquitetura, engenharia e construção podem ser integradas em uma “empresa colaborativa digital”, onde o arquiteto desempenhará o papel principal como articuladores das informações. As tecnologias alteraram o panorama da arquitetura, provocando um significativo impacto na maneira de projetar e de ensinar. A tecnologia digital faz parte do cotidiano profissional, com muitas delas servindo como elemento principal de produção dos escritórios de arquitetura, dos menores aos maiores. Se inicialmente as ferramentas de modelagem 3D foram incorporadas como uma extensão do desenho 2D básico, hoje pode-se colocá-las como substitutas dos *softwares* de desenho digital 2D, surgindo a modelagem paramétrica como uma nova tecnologia (CUDZIK e RADZISZEWSKI, 2019).

O trabalho de Stals, Catherine e Jancart (2017) separa a evolução das tecnologias de suporte ao projeto em: [1] desenvolvimento da forma por experimentação; [2] primeiros passos na era digital; [3] arquitetura digital atualmente, e inclui a modelagem paramétrica, que pode ser aplicada desde projetos de edificações que possuem configurações complexas quanto à forma e requisitos de desempenho, bem como para a solução de objetos e projetos menores, como no desenho de mobiliário (urbano, inclusive).

As análises de *softwares* comerciais realizada por Nisztuk e Myszkowski (2018) mostraram que as principais tendências no desenvolvimento de ferramentas comerciais para projeto arquitetônico apontam para tecnologia BIM¹⁰ e para *software*

¹⁰ A tecnologia BIM - *Building Information Modeling* (Modelagem de Informação da Construção) é um processo holístico de criação e gerenciamento de informações para um recurso construído, que integra dados estruturados e multidisciplinares para produzir uma representação digital de um recurso em todo seu ciclo de vida, desde o planejamento e o projeto até a construção e as operações (AUTODESK, 2023).

paramétrico. Existem muitos recursos a serem implementados nos *softwares* comerciais existentes, que podem gerar possibilidades, um escopo ilimitado de informações de projeto e geometria do objeto arquitetônico. No entanto, os autores citam alguns problemas que obstruem o desenvolvimento de ferramentas de projeto: as soluções são direcionadas a um pequeno grupo de elite, o que resulta na falta de um uso mais amplo dessas ferramentas; a linguagem de *script* visual, que geralmente não se assemelha a um fluxo de trabalho característico do processo de projeto de arquitetura, faz com que essas ferramentas não sejam intuitivas para os arquitetos; a não existência de ferramentas simples para o projeto e que fiquem disponíveis para um grande grupo de arquitetos.

No entanto, Rego (2001) indica a existência de ferramentas de simulação que permitem instigar o processo criativo e cognitivo implícitos no ato de projetar. A autora afirma que, com o emprego de tecnologias computacionais no projeto de arquitetura, existe alteração na sequência das fases de projeto (não necessariamente seguem o modelo tradicional de estudo preliminar - anteprojeto - projeto executivo e detalhamento), que se confundem ou deixam de existir. Mesmo com as limitações ainda existentes com relação a uma interface que se aproxime do gestual do arquiteto (culturalmente o desenho à mão com a lapiseira), alterações no modo de projetar são vistas principalmente em arquitetos recém formados e os estudantes atuais, que incorporam as diferentes tecnologias e muito provavelmente estão formando seus processos criativos e cognitivos a partir delas. (REGO, 2001).

2.2.1 Crítica

Segundo Marin, Bignon e Lequay (2013), cabe ao projetista identificar a ferramenta adequada ao seu processo projetual. Afinal, ele tem o poder de decisão, o que torna incabível acreditar que a ferramenta irá fornecer respostas a todos os problemas de projeto que surgem. A representação gerada por meio de esboços ou croquis é expressada por um pensamento implícito, ao contrário das ferramentas geradoras, onde o pensamento é explícito e resulta da execução de um algoritmo. Os autores defendem que deve haver ênfase na utilização de ferramentas de projeto para desenhar e facilitar a percepção, reduzir complexidade do projeto e torná-lo inteligível para o projetista.

Nisztuk e Myszkowski (2018) citam que a maioria das ferramentas e aplicativos são criados para otimizar uma parte ou todo o corpo do objeto projetado, o que não provoca o aprimoramento da criatividade do arquiteto. As soluções existentes não possuem uma interface intuitiva e são limitadas em sua funcionalidade e quando operam apenas em 2D, levam em consideração um número restrito de critérios de projeto. Segundo os autores, as ferramentas devem apoiar o trabalho criativo arquitetônico com maior ênfase, acelerando a análise dos dados que são quantificáveis, deixando as decisões de projeto mais importantes para o arquiteto.

A utilização de ferramentas 2D são questionadas devido a restrições e limitações, principalmente nos estágios iniciais do processo de projeto. Segundo Marin, Bignon e Lequay (2013), essas ferramentas introduzem requisitos que afetam o processo criativo do trabalho, pois o projetista foca em conteúdos precisos e a execução do desenho tem preferência sobre a análise do problema. Kępczyńska-Walczak (2014) vai além, e cita os primeiros anos das ferramentas CAD como limitadores da criatividade, de um lado abastecidos por um “modesto conjunto de paletas de ferramentas” e por outro pelo pouco domínio de informática, tornando seus recursos muito mais um bloqueio do que um facilitador.

Castells (2012) alerta para duas situações que podem criar vícios, principalmente nos jovens arquitetos e estudantes: a primeira refere-se ao uso de esquemas de organização espacial horizontal (organogramas e fluxogramas) que se tornam o desenho digitalizado da planta baixa, eliminado quase que totalmente a reflexão sobre a concepção espacial e articulação dos espaços. A segunda situação diz respeito aos estudantes que, impedidos de utilizar o computador para realizar uma tarefa projetual, digitalizam e imprimem seu trabalho para desenhar sobre ele à mão.

O arquiteto (pode-se falar do formado ou daquele que ainda é estudante) deve ter domínio do projeto, tomando decisões e utilizando-se de sua bagagem de conhecimento adquirida, utilizando as ferramentas digitais como propósito de auxiliar e agilizar o processo projetual, oferecendo possibilidades além do que é conhecido. Como citado por Castells (2012) em outro trecho de seu livro, quando o projetista é refém da máquina inicia o trabalho digitalizando uma forma geométrica simples para, na sequência, sem compromissos projetuais de reflexão, revesti-la com elementos

que geralmente não são compatíveis, que o autor denomina como “arquitetura como tratamento de fachadas”.

2.2.2 Processo Paramétrico

Até o surgimento das tecnologias CAD e CAM¹¹, as formas complexas eram difíceis de serem concebidas, desenvolvidas, representadas e principalmente fabricadas. Com o aumento da tecnologia digital atuando diretamente na prática profissional arquitetônica, e com a utilização de muitas ferramentas e *softwares* digitais interferindo na metodologia projetual, tornou-se mais frequente o uso das geometrias ditas complexas. Os *softwares* de modelagem tridimensional baseados em NURBS¹² deram o impulso necessário para que estas formas não-euclidianas aparecessem de maneira mais contundente (KOLAREVIC, 2009; PIRES, PEREIRA e GONÇALVES, 2017).

O escritório do arquiteto canadense naturalizado norte-americano, Frank Gehry, é considerado pioneiro na utilização de ferramentas digitais para elaboração e criação de projetos com formas complexas. Utilizando um programa baseado em equações matemáticas para a definição das formas¹³, o escritório passou a utilizar o modelo geométrico e a propor formas cada vez mais complexas (POLONINI 2014), como as utilizadas no *Guggenheim* de Bilbao (Figura 7) e na Fundação *Louis Vuitton* (Figura 8).

¹¹ O sistema CAM - Computer Aided Manufacturing (traduzido para o português como Manufatura Assisitida por Computador) é o uso de software e maquinário controlado por computador, com o objetivo de automatizar um processo de fabricação. (Fonte: www.autodesk.com)

¹² Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS) são representações matemáticas de geometrias 3D. Elas definem com precisão desde uma linha 2D simples até a mais complexa superfície ou sólido orgânico 3D de forma livre. Trabalhar com NURBS permite representar a geometria de curvas, círculos, arcos e superfícies em um espaço 3D, onde curvas livres e superfícies podem ser criadas e editadas com alto nível de flexibilidade e precisão (Fonte: www.rhino3d.com).

¹³ Desenvolvido em 1977 por Marcel Dassault, o *software* CATIA (*Computer Aided Tridimensional Interactive Application*) foi criado para uso no design de aviões, antes de ser adotado em outras indústrias. É uma avançada ferramenta de desenho 3D que inclui desenvolvimento de sistemas distributivos e modelagem de sistemas inteligentes complexos. (Fonte: www.indiacadworks.com).

Figura 7 – Guggenheim Bilbao, 1997



Fonte: Disponível em <<https://www.guggenheim-bilbao.eus/en/the-building/outside-the-museum>>. Acesso em 20 abr. 2021

Figura 8 – Fundação Louis Vuitton, 2014



Fonte: Disponível em <https://www.researchgate.net/figure/Fondation-Louis-Vuitton-URL-5_fig4_339627644>. Acesso em 20 abr. 2021

As novas possibilidades oferecidas pelas ferramentas digitais influenciaram a transformação da arquitetura de maneira mais contundente a partir da década de 1990, focadas no processamento de informações e na geração de novos conhecimentos: o desenvolvimento tecnológico direcionado para o acúmulo de conhecimento (NATIVIDADE, 2010). Celani *et al.* (2015) ressaltam que a informatização na prática arquitetônica geralmente tem a produtividade como alvo, onde as tarefas que não carecem de inteligência criativa são as principais atividades automatizadas. Nos escritórios de arquitetura, esta prática promove redução no número de funcionários que não são arquitetos, mas invariavelmente aumenta o número de arquitetos para tarefas que envolvem tecnologia da informação ou especialista em criação de imagens 3D.

Escritórios de destaque possuem equipes de programadores e matemáticos que desenvolveram *softwares* e algoritmos¹⁴ que servem de suporte para a produção do escritório. É o caso do Arup's Advanced Geometry Unit (que utiliza o FABWIN), Foster and Partners (com o Specialist Modelling Group) e Zaha Hadid Architects (com o ZHA/CODE). Exemplos de projetos que utilizaram estes *softwares* podem ser vistos na Figura 9, Figura 10 e Figura 11.

¹⁴ Um algoritmo é uma sequência lógica e finita de instruções que ajuda a concluir uma meta específica em um número limitado de etapas. Trabalha com parâmetros de entrada e uma série de ações computacionais para alterar essa entrada, gerando um conjunto de valores como saída. Esse conjunto de regras fornece uma sequência de etapas para resolver um determinado problema (DICIO, 2020).

Figura 9 – Optus Stadium, Perth, Australia



Fonte: Disponível em <https://www.watoday.com.au/national/western-australia/the-biggest-hits-and-misses-in-two-years-of-optus-stadium-20200122-p53trl.html>. Acesso em 20 abr. 2021

Figura 10 – Swiss Re, London, UK



Fonte: Disponível em <https://www.fosterandpartners.com/projects/30-st-mary-axe/#gallery>. Acesso em 20 abr. 2021

Figura 11 – Heydar Aliyev Centre, Baku, Arzerbaijan



Fonte: Disponível em <https://www.zaha-hadid.com/architecture/heydar-aliyev-centre/>. Acesso em 20 abr. 2021

2.2.2.1 Contexto

Conforme relatado por Gulay e Lucero (2021), a grande influência de movimentos inspirados na natureza e o crescimento na utilização de geometrias complexas impulsionou a utilização de ferramentas de projeto paramétrico e também de linguagens de programação. No entanto, a busca por modelos harmônicos, com proporção e beleza, somados à fundamentos matemáticos não é exclusividade deste período que vivemos. Mesmo em épocas remotas, quando a tecnologia disponível limitava-se aos manuscritos existentes, pode-se encontrar a presença de estudos matemáticos e paramétricos na arquitetura.

No Egito antigo, a Seção Dourada era clara em muitos edifícios, estátuas e relevos egípcios; na Grécia e Roma antigas, a arquitetura era baseada em componentes ordenados, com proporção geométrica; para a arquitetura islâmica, a geometria representa ordem, harmonia e beleza, com escala e proporção (IRAQI e DALY, 2017).

O arquiteto Luigi Moretti, durante a década de 1940, formulou o primeiro conceito de Arquitetura Paramétrica, concentrando-se na relação entre forma e estrutura (no sentido de organização), antecipando a chegada de uma nova maneira de fazer arquitetura (GALLO e PELLITERI, 2018).

Moretti buscava por um método que pudesse rejeitar escolhas baseadas no empirismo; um método científico que justificasse a solução funcional da forma e que

ainda possibilitasse liberdade de expressão do arquiteto. Defendia que a arquitetura é um complexo sistema de relações, baseadas nas muitas formas estruturais possíveis, na forma funcional e na forma expressiva. A interação entre elas leva a uma série de estruturas de organização, como a estrutura de claro-escuro, estrutura de relações estáticas, estrutura de espaços, estrutura de relações plásticas, estrutura de superfícies, estruturas de densidade de luz; elas são independentes, mas necessitam serem gerenciadas juntas, por meio de uma abordagem. Esta abordagem era o que o arquiteto chamava de arquitetura paramétrica.

Mesmo assim, o projeto paramétrico aliado à tecnologia digital não é a única maneira de elaborar geometrias complexas. Antes mesmo do computador fazer parte do processo projetual, foram desenvolvidos trabalhos onde a geometria não euclidiana se fez presente (AGIRBAS, 2018). Félix Candela e Frei Otto (Figura 12 e Figura 13) desenvolveram projetos utilizando técnicas próprias e um amplo conhecimento de geometria para produzir formas complexas (PIRES, 2018).

Figura 12 – Palácio dos Esportes - arquiteto Félix Candela, 1968 - Cidade do México



Fonte: Disponível em

<https://www.archdaily.com.br/br/787664/classicos-da-arquitetura-palacio-dos-esportes-felix-candela?ad_medium=gallery>. Acesso em 02 maio 2021

Figura 13 – Estádio Olímpico de Munique - arquitetos Frei Otto e Gunther Behnisch, 1972



Fonte: Disponível em

<https://www.archdaily.com.br/br/763572/a-obra-de-frei-otto-em-dez-imagens?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all>. Acesso em 02 maio 2021

Antoni Gaudí utilizava modelos suspensos de corrente e empilhamento de peças de gesso para estudar a forma (Figura 14); Jørn Utzon, no projeto da Ópera House de Sidney, foram utilizadas análises conceituais e alguns croquis simples para dar vida à forma, cuja cobertura inicialmente indefinida parecia ser impossível de ser construída (Figura 15). Dino (2012) destaca Gaudi, em seu processo de descoberta de formas com seus modelos em escala, que sofreram grandes

mudanças quando passaram para a estrutura material; e também Utzon, que em um processo de tentativa e erro precisou racionalizar o telhado em uma forma possível de ser construída. Os dois casos são exemplos de projetos de geometrias complexas e não padronizadas e podem ser tratados como eficientes no domínio da geometria com parâmetros e algoritmos (DINO, 2012).

Figura 14 – Igreja La Sagrada Família – arquiteto Antoni Gaudí - Barcelona



Fonte: Disponível em

<https://www.archdaily.com.br/br/942390/antoni-gaudi-simbiose-da-forma-e-da-tecnica?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all>. Acesso em 02 maio 2021

Figura 15 – Opera House – arquiteto Jørn Utzon, 1973 - Sydney



Fonte: Disponível em

<<https://www.archdaily.com/65218/ad-classics-sydney-opera-house-jørn-utzon>>. Acesso em 02 maio 2021

2.2.2.2 *Conceitos de termos paramétricos*

O termo paramétrico diz respeito às relações entre elementos de um modelo, as relações entre parâmetros. Este, por sua vez, é um valor, opção, denominação ou característica que o usuário acrescenta ou altera ao executar um comando, modificando-o ou ajustando-o (DICIO, 2020). É oportuno abordar sobre conceitos e definições de termos relacionados ao processo paramétrico, com o intuito de esclarecer as muitas abordagens que são utilizadas. Caetano, Santos e Leitão (2020) apontam para o uso indevido de termos fundamentais relacionados com o Design Computacional, fazendo com que estas definições se tornem importantes para a construção do pensar paramétrico, a partir do momento que os conceitos são comparados e apresentados, visto que existem muitas abordagens envolvendo o processo paramétrico, como a arquitetura paramétrica, a arquitetura evolutiva e a arquitetura generativa.

A pesquisa de Caetano, Santos e Leitão (2020) baseou-se em uma extensa revisão de literatura reunindo termos que tratam de Design Computacional em arquitetura. Segundo essa revisão, o Projeto Paramétrico é um processo de projeto fundamentado no pensamento algoritmo e explora relações geométricas associativas que são responsáveis pela criação, gestão e organização de modelos complexos de projeto digital; sua abordagem é baseada no uso de parâmetros para descrever um conjunto de projetos. Outros trabalhos subdividem o Projeto Paramétrico em duas categorias: uma que o coloca como um método de modelagem conceitual (que necessita de conhecimento de programação e *scripts*) e outra que o relaciona com a ideia de construção arquitetônica.

Ainda no contexto do trabalho de Caetano, Santos e Leitão (2020), a definição para Projeto Generativo o coloca como capaz de gerar soluções potenciais para resolver um determinado problema e usa algoritmos para gerar projetos; e o Projeto Algorítmico como um processo de design baseado em algoritmos, com uma abordagem caracterizada por uma interdependência entre o algoritmo e seu resultado. Os autores colocam que esta correlação entre o algoritmo e o modelo gerado permite que o usuário possa identificar as partes do algoritmo que geraram uma determinada parte do modelo. Isso o torna um subconjunto do Projeto Generativo, visto que o desenvolvimento do algoritmo se concentra no projeto previsto, em detrimento de produzir menos resultados que sejam surpreendentes.

Baseado nas definições de Kolarevic (2000), Marin, Bignon e Lequay (2013) descrevem os processos algorítmicos dividindo-os em Arquitetura Paramétrica, Arquitetura Generativa e Arquitetura Evolutiva, retratando características e principais diferenças entre cada processo.

Na Arquitetura Paramétrica o processo é concentrado na definição de um conjunto de parâmetros que influenciam a forma e a induzem. Ao alterar os valores dos parâmetros, cria-se um conjunto de variações e não apenas um objeto (as entidades geométricas se relacionam e os parâmetros são manipulados).

A Arquitetura Generativa possui uma abordagem não linear, na qual as soluções alcançadas são inicialmente imprevisíveis, e o projeto não é mais formal, mas processual. O projetista manipula o sistema gerador da forma ou do objeto, permitindo que sejam exploradas um grande número de soluções e que a criatividade seja estimulada.

Sedrez e Martino (2018) definem os sistemas generativos como um método de obter soluções para um dado problema com parâmetros em aberto. Mas, as definições presentes nestes sistemas dependem de um arquiteto para serem analisadas. O arquiteto não trabalha na solução mas no sistema que gera a solução.

Na Arquitetura Evolutiva, os conceitos arquitetônicos são expressos como regras. A partir de cruzamentos sucessivos um modelo numérico é avaliado conforme objetivos e restrições pré-definidas. O projetista não define uma solução e a executa; no sistema evolutivo ele simula todas as soluções possíveis, avalia e seleciona as que satisfazem os critérios definidos por ele.

Diante destes conceitos e derivações do processo paramétrico, é possível que o pensamento por detrás de qualquer deles seja determinante. A escolha da ferramenta ou método cabe ao problema que o projetista tem e como ele pode resolver.

2.2.2.3 *Pensamento Paramétrico*

Ao trabalhar com parâmetros, o processo de concepção da forma não fica restrito à estrutura formal do modelo, mas também a uma estrutura conceitual, de maneira que o pensamento projetual seja guiado por ela para que se possa definir os parâmetros que serão utilizados (AISH e WOODBURY, 2005).

A modelagem paramétrica não reduz a complexidade do projeto, podendo ser aplicada desde projetos de edificações que possuem configurações complexas (quanto à forma e requisitos de desempenho), bem como para a solução de objetos e projetos menores, como no desenho de mobiliário urbano.

No projeto paramétrico, o projetista precisa descrever e resolver explicitamente o esquema paramétrico e os parâmetros que irá utilizar. Dino (2012) define um sistema paramétrico como uma ferramenta que combina a visualização do modelo em três dimensões e um esquema visual que permite ao projetista configurar parâmetros. O produto da ferramenta paramétrica é resultado da conclusão de todas as combinações possíveis dos parâmetros e o principal desafio é a entrada destes para cada caso em particular. O projeto paramétrico demonstra potencial de transformar ideias em critérios (VAHID, SADEGHIAN e NIA, 2015).

O processo de projeto descrito por Shepherd, Roly e David (2011) para o projeto do Aviva Stadium, em Dublin (Figura 16), enfatiza a utilização da modelagem

paramétrica no início do projeto e a integração multidisciplinar entre arquitetos e engenheiros. Compartilhando um único modelo paramétrico, os arquitetos definiam a forma e revestimentos, enquanto os engenheiros dimensionavam e posicionavam os elementos estruturais. Com isso, forma, estrutura e fachada integraram-se e possibilitou-se uma resposta rápida às mudanças de projeto.

Figura 16 – Aviva Stadium, Populous arquitetos, 2010 - Dublin



Fonte: Disponível em <<https://populous.com/project/aviva-stadium>>. Acesso em 11 maio 2021

Celani *et al.* (2015) destaca que os arquitetos não podem competir com os computadores, mas devem se aproveitar deles. As alterações nos prazos, objetivos e conteúdo do projeto e das habilidades requeridas são requisitos que sofrem diretamente com a informatização, na medida que podem ser quantificados e controlados. Além disso, outros fatores também são, de certa maneira, afetados por ferramentas computacionais. A pesquisa de El Ahmar, Fioravanti e Hanafi (2013) estudou um processo de projeto que reuniu princípios biológicos (organismo, comportamento e ecossistema) e ferramentas computacionais, relacionando-os com aspectos importantes do design, como significado, propriedade e regras.

Vahid, Sadeghian e Nia (2015) citam duas grandes mudanças no processo projetual, conseqüente do surgimento desta arquitetura digital: [1] o aumento da capacidade e facilidade de projetar, modelar e construir formas arquitetônicas complexas e [2] a capacidade de produzir e avaliar mais opções de projeto. Esse progresso digital levou ao fortalecimento da Arquitetura Paramétrica e potencializou a possibilidade de se desenvolver e alterar a forma por meio da programação e codificação de parâmetros ao alcance do projetista.

Schumacher (2009) foi mais enfático, e utilizou o termo *Parametricism*¹⁵, declarando-o como o “líder na prática arquitetônica atual”, sucessor do Modernismo como “a próxima longa onda de inovação sistemática”. A afirmação fica mais clara quando evidencia que ele está presente em todas as escalas, da arquitetura ao design de interiores e ao grande desenho urbano, o que o torna um novo estilo e não apenas um novo conjunto de técnicas. No entanto, Caetano, Santos e Leitão (2020) colocam essa visão de Schumacher como resultado de um manifesto arquitetônico, o que limita a sua capacidade de gerar um consenso mais amplo.

O trabalho de Vahid, Sadeghian e Nia (2015) afirma que a abordagem paramétrica permite o desenvolvimento e alteração da forma com programação e codificação, com a possibilidade de se controlar layout, tamanho, gênero. O projetista precisa entender a relação entre os parâmetros e o produto, para que possa atingir resultados satisfatórios, além da necessidade de aprender os fundamentos e os métodos de programação. Como relatado por Pires, Pereira e Gonçalves (2017), é inevitável o projetista precisar conhecer “um conjunto de conceitos e técnicas de representação gráfica digital para projetar com tais geometrias”.

Ao contrário do método tradicional de desenhar volumes, a modelagem por algoritmo de geração é baseada em números e cálculos (além da geometria, presente em ambas as abordagens). Mesmo se o processo começar com liberdade de desenho do volume, ele deverá ser conectado a parâmetros especificados. Segundo Latifi, Mahdavinezhad e Diba (2016), esse método fortaleceu a relação entre o projeto e a forma matemática, levando a possibilidade de representar e criar com geometrias intrigantes, que até então eram desconhecidas dos arquitetos, mas já sistematizadas pelos matemáticos. Estas geometrias incluem as formas fractais, autômatos celulares, diagrama de Voronoi, sistema Lindem Meyer, triangulação e fórmula Premier.

A percepção de Moretti, muito antes do surgimento de qualquer método digital, já deixava pistas para a maneira como o processo projetual deveria ser encarado: uma visão holística, multidisciplinar e gerenciada de maneira conjunta. Tecnologias como o BIM e a modelagem paramétrica visam, em sua essência, a

¹⁵ Patrick Schumacher, durante a Bienal de Veneza em 2008, utilizou o termo no seu *Parametricist Manifesto*, referindo-se a um grande novo estilo depois do modernismo. Esse estilo arquitetônico contemporâneo pode ser compreendido como um programa de pesquisa baseado no paradigma paramétrico (SCHUMACHER, 2008).

possibilidade de se executar esta filosofia, ao buscar um processo mais claro, com variáveis interdependentes e compatibilizadas.

No caso da modelagem paramétrica, ao utilizar um processo de projeto paramétrico o arquiteto não projeta diretamente o edifício, mas opera uma representação do processo de projeto que gerará o projeto do edifício, ou seja, projeta o processo (AISH e BREDELLA, 2017). Em um comparativo com os sistemas convencionais de desenhos 2D, estes representam o resultado do pensamento do projeto no ponto em que o arquiteto salva seu trabalho, não representando as várias etapas do processo projetual. Além de comandos com *Undo* e *Redo* e *List*, não existe possibilidade de reconstruir o desenho, nem tampouco reproduzir o processo. Com o projeto paramétrico, existe a possibilidade de se documentar o processo, visto que o algoritmo fica disponível, como um passo a passo que demonstra a evolução do pensamento e as decisões de projeto. Além disto, os modelos CAD apresentam algumas características que comprometem o registro do processo, como a complexidade de leitura e escrita (a percepção da escala do desenho, do infinitamente pequeno e do infinitamente grande), o raciocínio estatístico, a evolução genética do projeto, o imediatismo e a heterogeneidade das percepções (MARIN, BIGNON e LEQUAY, 2013).

Nisztuk e Myszkowski (2018) ressaltam que o desenvolvimento das ferramentas de projeto atuais está focado principalmente nos últimos estágios do processo projetual servindo como auxiliares de desenho. Ao analisarmos a questão de produtividade e do tempo utilizado no desenvolvimento de um projeto, não se pode negar o benefício que estas ferramentas oferecem. No entanto, quando atuam nos estágios iniciais do processo, o potencial de auxílio cresce, pois elas favorecem o surgimento de novas ideias e seu posterior desenvolvimento.

Segundo Cudzik e Radziszewski (2019), a prática arquitetônica recente demonstra que a aplicação do projeto paramétrico contribui para as etapas de projeto e construção, automatizando os processos. Para tanto, é importante compreender o propósito e a aplicação dos métodos de programação e conhecer as ferramentas que influenciarão diretamente no processo de projeto.

A relação entre os conceitos de projeto arquitetônico e a sua realização é diferente por conta da interação que existe entre o processo de projeto paramétrico e o produto final. As etapas do processo digital estão interligadas e não seguem hierarquias específicas, podendo inclusive interagir e mudar de lugar. Latifi,

Mahdavinezhad e Diba (2016) afirmam que, por serem gráficos matemáticos possíveis de serem replicados e a possibilidade de interferência construtiva no produto final, existe mais dinamismo no processo de projeto.

Na modelagem paramétrica é o projetista que fornece o conjunto de regras e instruções sobre quais informações serão obtidas e podem fornecer uma resposta entre variáveis específicas que mudam conforme a necessidade, de maneira a se obter o produto ideal (VAHID, SADEGHIAN e NIA, 2015).

2.3 ENSINO

Apesar da crescente ascensão da modelagem paramétrica, como colocado anteriormente, a sua incorporação no contexto arquitetônico brasileiro não é efetiva. Vasconcelos, Borda e Vecchia (2014) entendem que é necessário gerar uma cultura paralela que potencialize exercícios cognitivos no contexto de cada método e consideram que o desenho paramétrico estabelece uma mudança de paradigma que deve ser levada em conta no ensino de projeto.

Uma certa resistência às mudanças no comportamento e a falta de consolidação de estudos sobre métodos de projeto são fatores importantes a serem considerados, visto que o desconhecimento do processo afeta a utilização da ferramenta para potencializar habilidades. Segundo Sedrez e Celani (2014) explorar as habilidades cognitivas de percepção nos métodos de projeto contemporâneos contribui para a criação e descoberta de soluções, o que pode favorecer para que essas habilidades sejam estimuladas em um ambiente digital.

Para que esse conhecimento possa ser efetivado é necessário conhecer o objeto de caráter didático que se propõe, considerando a organização de um determinado conteúdo para que este possa ser ensinado. A noção de estruturas do saber presente nas teorias elaboradas por Chevallard e citadas no capítulo Introdução deste trabalho, auxiliarão na etapa de conhecimento do contexto didático e na inserção de um novo saber, sendo apresentadas em seguida.

2.3.1 Estruturação do Saber

Com o intuito de compreender mais sobre esta abordagem, recorre-se a duas teorias educacionais: a Teoria da Transposição Didática e a Teoria

Antropológica do Didático, ambas desenvolvidas pelo matemático e professor Yves Chevallard.

A Teoria da Transposição Didática (TD) surge como uma necessidade de se analisar as condições e os contextos para que conhecimento possa ser ensinado. Um instrumento que analisa o movimento do conhecimento descoberto pelos cientistas (o saber sábio) passado para os livros (saber a ensinar) e que será ensinado em sala de aula (saber ensinado). A TD transforma um objeto de conhecimento em objeto de ensino, transformando-o para se adaptar e se tornar apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino (CHEVALLARD, 1998a). Além desta, a Teoria Antropológica do Didático (TAD) tem a intenção de analisar a preparação do professor dos seus cursos e aulas para depois colocá-los em prática, organizando um objeto de estudo para que funcione em sala de aula (SANTOS e MENEZES, 2015).

Chevallard (1988) indica que o objetivo central da teoria didática é mostrar os mecanismos que tornam o ensino e a aprendizagem possível, aumentando nosso comando teórico e prático do processo de ensino-aprendizagem. Em outro texto explica que mudanças são necessárias não como sinônimo de modernização, mas como atualização do saber ensinado (CHEVALLARD, 1982). Para Trujillo (2018), a renovação de conteúdos, materiais bibliográficos e outros instrumentos e apoios didáticos utilizados nas universidades nem sempre acompanham o rápido avanço da ciência e das tecnologias e devem estar sujeitos a alterações frequentes.

O conhecimento produzido pela TD é excluído de suas origens para ocorrer na esfera da sala de aula, reconhecido como ensinado e compatível com o ambiente e passa por um processo de adaptação que lhe confere uma evidência inquestionável (CHEVALLARD, 1982). Existe uma relação que se estabelece entre professor e aluno; uma relação didática que une ambos com o conhecimento ensinado, que em sala de aula é concebida com pessoas livres do contexto. Por conta desta condição, essa relação entre professor, aluno e o conhecimento precisa ser repensada, não devendo se basear apenas em uma troca professor-aluno, com o professor demonstrando o problema, apontando soluções e por vezes ocultando o enfoque do saber (CHEVALLARD, 1988). Além disso, segundo Santos e Menezes (2015), isto ocorre também por conta da maturidade dos estudantes quanto as suas escolhas, pois em geral, no início do curso, esses estudantes entendem que seguir

as regras estabelecidas pelo professor resolvem os seus problemas e isso gera um falso ganho de saber.

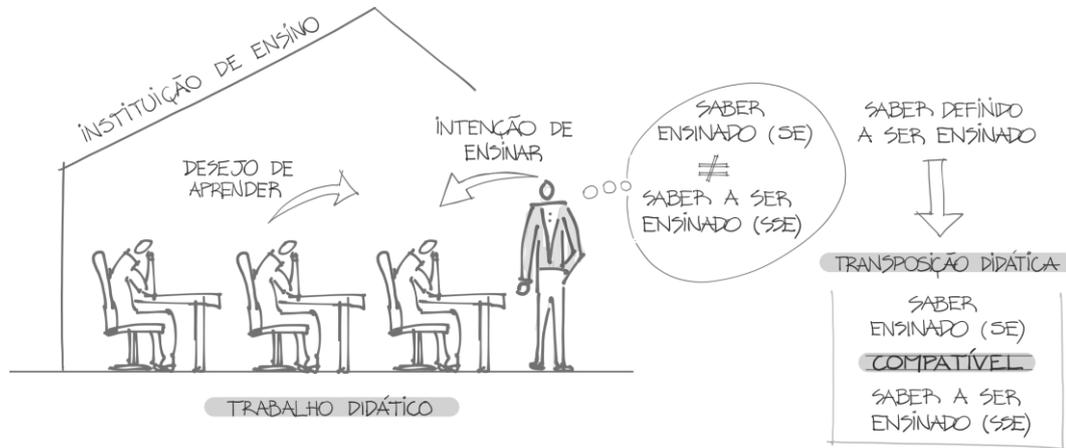
Chevallard (1988) identifica que o sistema educacional carrega o peso das expectativas da sociedade para que a educação seja moldada conforme seus desejos, projetados em uma instituição de ensino. E quando se analisa o contexto, isso é ainda mais complexo: existem os alunos, esperando que o saber ensinado esteja próximo do saber erudito, não comprometendo a autenticidade deste saber como socialmente aceito e apoiado; e existe o fato do saber que se desgasta e acaba banalizado pela sociedade, com seu valor diminuído perante os pais.

Esse desgaste do saber ensinado, que acaba gerando conflito entre o sistema educacional e seu ambiente, é o que Chevallard (1982) denomina de envelhecimento biológico - o conhecimento que pode vir a se tornar falso conforme o andamento de pesquisas - ou envelhecimento moral - quando os saberes ensinados não estão de acordo com a sociedade. Bittar e Feitas (2022) também expõem esse desgaste dos elementos de ensino, que passam a ser percebidos como algo natural após serem ensinados por um longo período de tempo. A ideia da transposição didática é justamente encontrar uma solução para se sobrepor a isso, sendo sua tarefa abordar uma nova perspectiva sobre os mecanismos que tornam o ensino e a aprendizagem possível, aumentando o comando teórico e prático do professor sobre o processo de ensino-aprendizagem (CHEVALLARD, 1988).

No entanto, o sistema didático não é resultado do nosso desejo; cada elemento deste sistema (professor, aluno, instituição de ensino) deve satisfazer a requisitos didáticos específicos, compreendendo as alterações que o elemento do conhecimento, que virá a ser ensinado, sofreu (CHEVALLARD, 1989). Mesmo que o processo de ensino pressuponha que o professor tenha intenção e interesse em ensinar para que o aluno aprenda (CHEVALLARD, 1988), Kluth e Almoloud (2020) ressaltam que o desejo de ensinar não pode ser a única aspiração do professor; ele precisa reconhecer que a TD irá alterar a maneira como realizar seu trabalho de ensinar. Chevallard (1982) define o sistema didático como um sistema aberto, que necessita estar compatibilizado com o ambiente; por ser aberto o saber ensinado difere do saber a ser ensinado, e essa diferença influencia no trabalho habitual do professor e revela a existência de uma transposição didática a partir do saber definido para ser ensinado. O resultado dessa transposição é o saber ensinado, que

deve ser compatível com o saber a ser ensinado (CHEVALLARD, 1982). O esquema abaixo (Figura 17) representa essa lógica a partir do raciocínio descrito:

Figura 17 – Esquema do raciocínio da Transposição Didática de Chevallard



Fonte: Registros do autor, baseado em Chevallard (1982)

Nesse contexto, é importante entender o que Chevallard define como a praxeologia da atividade humana, que ocorre pela realização de tarefas por meio de um modo de fazer (denominado por Chevallard como técnica) cuja combinação entre ambas (tarefa e técnica) dará origem a um saber fazer próprio (CHEVALLARD, 1999). No entanto, Santos e Menezes (2015) reiteram que esta combinação necessita de um amparo tecnológico e teórico, formado por uma teoria que justifica e esclarece uma tecnologia, que por sua vez contribui para dar racionalidade e suporte à técnica. Neste contexto, para que a prática docente seja analisada, é necessário que se tenha entendimento de como a tarefa será realizada e como sua realização poderá ser melhorada; isto está diretamente relacionado a produção de técnicas, ou de praxeologias. O próprio Chevallard (1999) reforça as definições destes elementos que estruturam toda a atividade humana:

- a tarefa é uma obra, um artefato, uma construção institucional, que no caso da didática é o próprio objeto desta. Um gênero de tarefas existe na forma de diferentes tipos de tarefas, com conteúdo definido;
- a técnica é a maneira como será realizada uma determinada tarefa. Existem tipos de tarefas com determinadas técnicas para serem realizadas, as quais podem ser superiores umas às outras em pelo menos parte da tarefa;

- a tecnologia é o discurso racional que justifica de maneira coerente a técnica, garantindo que esta possa realizar a tarefa (fazer o que se pretende), podendo também explicar porque a técnica está correta e ainda ter a função de produzir técnicas;
- a teoria busca afirmações dentro da tecnologia que possam justificar sua utilização. A teoria assume para a tecnologia a mesma função dela para com a técnica, a de justificar sua utilização.

Chevallard (1999) coloca algumas questões a serem estudadas com relação às praxeologias: o envelhecimento de suas componentes teóricas e tecnológicas, que podem comprometer as técnicas estabelecidas; a importação de uma praxeologia de outra Instituição, sem a compreensão de que deverão ser feitas alterações para adaptação; a análise das práticas docentes, principalmente em relação às técnicas utilizadas (ou a falta delas). O autor aponta para a omissão de técnicas ditas alternativas em determinadas instituições em decorrência da utilização de uma técnica apenas ou de um número baixo destas, podendo segundo o autor, gerar uma certa objeção para novas técnicas e classificá-las como artificiais, além do avanço das tecnologias que podem colocar em alerta a utilização de determinadas técnicas, fazendo com que se tornem ultrapassadas e coloquem em risco a realização das tarefas.

Pires (2018) identificou que o aceite na utilização de técnicas digitais de representação nas escolas de arquitetura brasileiras sofreu por muito tempo para ser incorporado, em função do uso das técnicas de representação consideradas tradicionais. Segundo a autora, o fato de desconhecer toda a estrutura (principalmente os elementos) que constituem um saber, levou a crer que tais tecnologias poderiam substituir o pensar do estudante. Diante das possibilidades que os avanços tecnológicos apresentam, é relevante que a formação do estudante de arquitetura incorpore de maneira mais explícita o conhecimento do pensar paramétrico.

A Teoria da Transposição Didática moldada por Chevallard implica na criação de situações didáticas (de conhecimento e ensino em conjunto), necessárias às demandas do funcionamento didático. Segundo Catelli e Pauletti (2015), estas situações didáticas são responsáveis por gerar um processo de modificação do conhecimento científico ao se tornarem próprias para serem ensinadas na sala de aula; mas, mesmo adquirindo características semelhantes à pesquisa científica

inicial, terão suas próprias propriedades diante do contexto em que estarão localizadas.

Assim, o texto do conhecimento é o principal recurso do professor na sua prática; o texto do saber é o que define os princípios que o aluno deve respeitar e é a partir dele que o professor poderá alterar o ensinamento durante sua aplicação e baseado com o que realmente ocorre na sala de aula (CHEVALLARD, 1982). O professor fica responsável por gerir as mudanças que vão ocorrer no processo de produção do saber e isso o torna o protagonista desse processo (SANTOS e MENEZES, 2015). Por trás da atividade do professor, é preciso perceber a atividade do aluno, buscando dentro da Instituição didática qual a qualidade e a quantidade de trabalho exigido ao aluno (de certa forma invisível ao professor), de maneira que se possa garantir a este bom desempenho de aprendizagem (CHEVALLARD, 1999).

Mas como o pensamento paramétrico pode ser ensinado? Ou como ele pode ser aprendido? A resposta para estas questões parecem ter sido respondidas pelo próprio Chevallard (1998a), quando descreve que a TD deve conter um objeto de ensino verdadeiramente diferente do objeto de conhecimento ao qual responde, criando situações de ensino que se tornam necessárias por conta das demandas do funcionamento didático.

A relação entre professores, alunos e o conhecimento depende da existência de um objeto de ensino acessível e vinculado ao contexto. Chevallard (1982) considera que ele deve ser possível de ser ensinado antes mesmo de ser um bom objeto de ensino. Além disso, ele só existirá de fato quando for útil ao sistema didático, inserido no sistema de objetos a serem ensinados. Neste momento o processo de transposição didática já se confirma, independentemente do objeto em questão estar pronto (CHEVALLARD, 1998b). Conhecido então pelo professor, esse novo objeto de saber necessita ser ensinado para o aluno. As relações estabelecidas em sala de aula é que serão responsáveis pela aprendizagem para que o saber a ser ensinado seja transmitido para o aluno (SANTOS e MENEZES, 2015).

Entretanto, apenas um objeto de conhecimento preciso pode se tornar objeto de ensino. Em uma analogia com o ensino da matemática, Chevallard (1998a) cita as noções paramatemáticas como “objetos auxiliares do conhecimento”, que devem ser aprendidos e conhecidos, mas não podem ser ensinados pois são excluídos de uma avaliação direta e entram no campo da percepção didática. O professor possui

conhecimento desses objetos, os denomina (parâmetro, equação, demonstração), e os tem no seu campo de percepção didática.

No caso específico do tema desta tese, os parâmetros são o equivalente aos objetos auxiliares do conhecimento; mas a maneira como poderão ser utilizados (processo - pensamento) e os meios para fazer isso é o que será explorado pela TAD. Fazendo uso da citação de Bittar e Freitas (2022), “o que acontece em uma aula não pode ser explicado apenas pelo que pode ser observado na aula”, é necessário explorar outros meios que possam estimular o saber e o desejo de aprender, respeitando o processo cognitivo de cada indivíduo.

A TAD expõe a estrutura dinâmica do saber, composta por problemas, teorias, técnicas e tecnologias; identificar esses elementos é fundamental para que exista uma transposição didática dos saberes (PIRES, 2018). A partir da TAD e dos conceitos e diretrizes estudados por Chevallard, a análise dos novos saberes referentes ao pensamento paramétrico (e sua utilização no processo de projeto arquitetônico) foi tratada baseada nos estudos apresentados e na contextualização histórica, além da maneira como este tema está inserido em Instituições de Ensino Superior, especialmente em sua abordagem intuitiva no ensino da prática de arquitetura.

2.3.2 Ensino de Arquitetura

A combinação perfeita entre currículo e ensino segundo Mark, Martens e Osman (2001), passa pelo potencial criativo do ateliê de projeto para incorporar a tecnologia, e que ela possa responder de maneira mais eficiente às constantes mudanças na arquitetura. Por outro lado, essa interação somente será possível se os métodos de ensino de projeto forem os agentes promotores da mudança na metodologia e teoria de projeto, incorporando novas tecnologias. Segundo Romcy, Tinoco e Cardoso (2015), os cursos de arquitetura brasileiros em geral possuem as disciplinas projetuais como eixo central de formação; nos ateliês os professores orientam os alunos a trabalharem com projetos que abordam temas específicos. Ainda segundo os autores, esses temas são avaliados a partir do que o professor considera uma boa arquitetura e, por vezes, não são considerados requisitos preliminares que podem abastecer o conhecimento e criar no aluno uma lógica projetual. Para Trujillo (2018), diante de processos de inovação um professor

comprometido com sua função de ensinar possui a responsabilidade de afirmar sua autonomia e em seguida fazer com que os alunos conquistem a sua, e isso faz com que a relação entre estudante e professor talvez seja das mais importantes no contexto do processo de ensino-aprendizagem.

Muito mais do que a busca pelo conhecimento, a maneira como esse conhecimento é transmitido, estimulado e experimentado entre aluno e professor é fundamental para a evolução do aluno. Segundo Chevallard (1988), não se pode separar o ensino da aprendizagem; no entanto, o ensino depende da existência da intenção de ensinar o outro, e ensinar algo ao outro (ainda que seja um mau ensino), ao passo que o problema é se a aprendizagem ocorre ou não. Florio (2011) destaca que o professor deve determinar metodologias que estimulem o fazer com liberdade e entendendo que errar faz parte do processo.

Eigbeonan (2015) aponta como grande desafio do ensino integrar a explanação do professor na experiência de aprendizagem do ateliê, no qual o aluno deve aprender experimentando e aprender fazendo, para aprender refletindo e aprender pensando. O autor ressalta também atenção para a maneira como os alunos estão se comportando, imitando o estilo dos arquitetos que estão em evidência, sem procurar compreender as implicações do projeto para os usuários e a adequação ao contexto local.

Assim como pode-se observar a constante e rápida evolução da tecnologia, é compreensível que o ensino deva evoluir também. Vasconcelos, Borda e Vecchia (2014) citam que existe pouca experiência dos professores quando se trata do pensamento paramétrico e também pouco material didático específico para ser utilizado. Florio (2011) defende a inclusão de novos conteúdos nos currículos dos cursos de arquitetura, aliando a evolução tecnológica com os conhecimentos básicos fundamentais de cada disciplina. Os grandes escritórios, por exemplo, com toda sua estrutura e tecnologia avançadas, utilizam maquetes físicas como forma de compreensão do espaço.

O estudo de Brualdi (1996) aponta que uma melhor abordagem de ensino e avaliação deve permitir que o aluno explique seu material por conta própria, deixando com que eles utilizem diferentes tipos de inteligências. A autora indica o uso de portfólios, projetos independentes, diários de aluno e atribuição de tarefas criativas. No entanto, vê-se um sistema baseado em testes de múltipla escolha, respostas curtas, ensaios, que exigem que o aluno demonstre seu conhecimento de

maneira predeterminada. Para Naziri *et al.* (2019), o ensino de projeto deve possuir uma educação holística, que incorpore vários tipos de conhecimento, desenvolva habilidades, alimente a criatividade, estimule a imaginação e incentive os alunos a opinarem ao invés de encontrar informações. O sistema educativo no qual os docentes foram educados se fundamenta em processos de preservação do conhecimento, ao invés de ser orientado para a criação de novos conhecimentos (TRUJILLO, 2018)

O projeto paramétrico está cada vez mais difundido na produção da arquitetura contemporânea e, segundo Veloso, Scheeren e Vasconcelos (2017) a discussão sobre as possibilidades e limitações dos computadores para ampliar o nível de controle do projeto precisam ser aprofundadas. Existe a necessidade de se pensar o ensino inserindo o pensamento paramétrico nas práticas de projeto. Para Florio (2009), a parametrização torna-se importante quando o objetivo é explorar diferentes configurações geométricas em projetos de arquitetura. Karle e Kelly (2011) afirmam que o processo de pensar paramétrico é essencial no desenvolvimento dos alunos, pois com o foco na elaboração dos parâmetros o projeto torna-se mais concentrado no processo do que no resultado.

Sárközi, Iványi e Széll (2018) explicam que o ensino de projeto paramétrico pode ser dividido em três grupos: [1] aplicação do *software* paramétrico; [2] pensamento paramétrico do projeto, modelo cognitivo do processo de projeto; [3] conhecimento teórico de diferentes campos que a grade do curso de arquitetura não abrange. Segundo os autores, a definição de pensamento de projeto paramétrico muda constantemente por conta do conhecimento que os projetistas vão acumulando com a utilização da ferramenta. Essa afirmação reforça a necessidade de uma base de conhecimento prévio, que permita ao usuário utilizar a ferramenta de maneira mais espontânea e que lhe seja oferecida a possibilidade de utilizar outras abordagens na solução de um problema. Como descrito por Chevallard (1999) o suporte teórico é necessário para compreender as técnicas disponíveis na ferramenta, de maneira que se possa efetivar a transposição para o projeto paramétrico.

Para Karle e Kelly (2011) a utilização do pensamento paramétrico possui foco delimitado nas questões mais relevantes do projeto, aquelas que determinam decisões efetivas. O desenvolvimento do projeto se torna mais orientado no processo e não no resultado, e esta maneira de enxergar o processo requer do

estudante um olhar mais analítico sobre o produto gerado. Diniz e Queiroz (2019) afirmam que as habilidades provenientes da relação cérebro-mão são impossíveis de serem anuladas pelo computador, mas podem ser potencializadas diante da interface dos *softwares* com o usuário; além disso defendem a integração dessas habilidades com as ferramentas digitais no ensino de arquitetura nos ateliês de projeto.

Pires e Pereira (2020) asseguram que é essencial a aplicação de exercícios sobre as propriedades de superfície, conceitos básicos de programação e interfaces de *software*, além de programar geometrias complexas. Além disso, segundo as autoras, é importante associar esse conhecimento no impacto que virá a exercer no objeto arquitetônico, não apenas com exercícios de representação, mas compreendendo que as propriedades das geometrias complexas estão relacionadas com muitos aspectos de desempenho.

Com a intenção de incentivar a utilização de *softwares* e do pensamento paramétrico, alguns autores criaram metodologias de ensino do projeto paramétrico em universidades buscando, de certa maneira, popularizar a modelagem paramétrica no ensino de arquitetura. Segundo Agirbas (2018), o ensino das ferramentas de modelagem paramétrica ainda não possui uma metodologia específica que possa ser utilizada no ensino de Arquitetura. O mesmo autor descreve uma metodologia, onde buscou-se a utilização de metáforas no processo de projeto com ferramentas de arquitetura paramétrica no curso da Fatih Sultan Mehmet Vakif University, em Istambul. Nesta abordagem, os alunos partem de projetos de arquitetos conhecidos, para que interpretem e os comparem a objetos diferentes buscando o uso da metáfora, focando em alcançar diferentes projetos ao invés de determinar as formas exatas. Os alunos determinaram os problemas de projeto específicos para os seus próprios projetos.

Para esta experiência de Agirbas (2018) foi implementado um projeto com base no que foi aprendido em sala, visto que um dos grandes problemas no ensino de projeto de arquitetura é a aplicação prática da teoria de sala de aula em um projeto real. Cada aluno criou um script, executou-o e começaram a alterá-lo nos controles deslizantes do *plugin Grasshopper*, adicionando componentes diferentes. Esse é o início de um esboço digital e a busca pelos resultados. Os alunos tiveram liberdade para criar, projetando em um modo ascendente, considerando a forma e a função e praticando movimentos reiterados dentro do processo projetual,

compreendendo a lógica do saber implícito na ferramenta e também o processo de pensamento paramétrico de projeto.

Outra experiência foi relatada por Sárközi, Iványi e Széll (2018), descrevendo o ensino do projeto paramétrico na Universidade de Pécs, na Hungria, onde os alunos precisam projetar um sistema baseado em regras, ao invés de um projeto baseado em experimentos, aparentemente o oposto do que foi ensinado a eles durante a graduação.

A capacidade de aplicação e compreensão dos alunos que aprendem o projeto paramétrico evolui à medida que praticam a aplicação dos *softwares* paramétricos. Esse pensamento é reforçado por Cudzik e Radziszewski (2019) ao descreverem o modelo de ensino na Universidade de Tecnologia de Gdansk, Polônia, onde o nível dos exercícios e o conhecimento necessário aumentam conforme os alunos avançam. Com um conjunto de lições sobre representação paramétrica de edifícios da arquitetura contemporânea, programando a superfície das fachadas dos edifícios, os alunos vão adquirindo conhecimento de um conjunto de métodos que permitem o projeto das fachadas, com painéis e diagramas de Voronoi.

A opção de ensinar a ferramenta em conjunto com a teoria do pensamento paramétrico resulta na utilização da ferramenta com a oportunidade de explorar o pensamento projetual. É importante ensinar a aplicação da ferramenta e a teoria de maneira paralela, contínua e relacionada, utilizando o conhecimento de projeto arquitetônico previamente aprendido e o pensamento paramétrico recém adquirido juntos (SÁRKÖZI, IVÁNYI e SZÉLL, 2018).

Cudzik e Radziszewski (2019) reforçam o impacto que a escolha dos parâmetros e a hierarquia escolhida pelo projetista tem sobre o projeto. Essa dependência tem base na avaliação adequada dos tópicos de projeto e nas limitações das ferramentas disponíveis, e portanto deve ser supervisionada por um arquiteto experiente. Nesta etapa entra o conhecimento prático, como utilizar o *software* e seus comandos específicos. Durante o exercício, é inevitável a necessidade de teoria, seja porque os alunos nunca aprenderam ou porque esqueceram. Para tanto, aplica-se a exposição teórica como solução de problemas, onde os alunos aprendem o novo conhecimento e imediatamente aprendem como utilizá-lo; aprendem a utilizar o *software* enquanto aprendem como resolver um tipo específico de problema e quais teorias estão por detrás desse problema.

Braida e Lima (2013) implantaram uma disciplina de Modelagem Digital e Prototipagem, no curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Juíz de Fora. Destacam como resultados positivos o crescente interesse dos alunos pela cultura digital, o surgimento de projetos em iniciação científica na área e a utilização cada vez maior de *softwares* de modelagem tridimensional como suporte ao processo projetual.

Duas experiências desenvolvidas por Florio (2011) revelaram resultados interessantes, sobretudo do ponto de vista didático. A primeira experiência foi aplicada com alunos da FAU UNICAMP, na cidade de Campinas, dentro da disciplina de Informática IV. Divididos em grupos, o objetivo era produzir uma cobertura de dupla curvatura, utilizando os *softwares Rhinoceros e Paracloud*. Para tanto, os alunos tiveram aulas teóricas para compreender os conceitos fundamentais relacionados à geometria baseada em superfícies regradas e dupla curvatura e análise da curvatura gaussiana, incluídas nos projetos estudados. Os resultados mostraram que os alunos apresentam dificuldades para trabalhar com superfícies orgânicas, sem uma forma definida. Além disso, ao trabalhar com modelos físicos, os alunos perceberam que estes foram de extrema importância e complementares ao processo, aprovando o desafio de criar e produzir algo que possui aplicação direta em suas atividades de projeto.

A segunda experiência desenvolvida por Florio (2011) foi com alunos do último ano do curso FAU Mackenzie, em São Paulo, foi baseada em um *workshop* para aprender novas tecnologias, com participação voluntária e podendo aplicar o novo conhecimento em seus próprios projetos. Diante disso, os resultados demonstraram que os alunos puderam alcançar maior consistência e maior profundidade em seus projetos, podendo enfrentar uma gama maior de problemas. Mesmo tratando com alunos em fase final de graduação, a dificuldade com o pensamento lógico-matemático ficou evidente, diante da possibilidade de relações matemáticas entre os inúmeros parâmetros. As duas propostas de ensino tiveram como ponto chave a avaliação do processo, e não somente do resultado.

Neste contexto, fica clara a necessidade de uma atualização do ensino das habilidades espaciais e de desenho. Conforme avançam as aplicações geométricas na arquitetura, a familiarização com os fundamentos matemáticos e suas propriedades espaciais é imprescindível. O trabalho de Pires, Pereira e Gonçalves (2017) destaca a importância de se ter maior domínio dos conceitos matemáticos

para se utilizar ferramentas paramétricas, pois existe uma ligação estreita entre a linguagem arquitetônica, a geometria e a matemática.

Florio (2009) expõe que, apesar de existir um conjunto de fatores que contribuem para que o aluno desista de ideias promissoras, tais como falta de conhecimento de geometria, técnicas de modelagem 3D e até de conceitos sobre sistemas estruturais, a academia não pode se negar a enfrentar o desafio de ensinar a trabalhar com ferramentas paramétricas. Hardy (2011) é mais enfático quando afirma que a educação irá evoluir juntamente com os professores que a ensinam. Essa evolução, segundo o autor, passa por alguns caminhos possíveis: o declínio da técnica e maior especialização computacional, correndo o risco de distanciar a disciplina de arquitetura e ignorar importantes contextos mundiais; a mudança do foco pedagógico, visando menos na técnica e mais a experimentação, envolvimento social e expansão disciplinar; ou ainda na utilização de técnicas como ferramentas imersas nos contextos mais amplos das disciplinas, da prática e de um conjunto de variáveis com impacto no mundo real.

Como descrito por Veloso, Scheeren e Vasconcelos (2017), o ensino do design paramétrico ocorre de maneira isolada, em eventos ou ações de extensão organizadas por grupos de pesquisas de universidades que é, de certa maneira, insuficiente para difusão no meio acadêmico. Os autores insistem que é necessário um sistema que seja integrado, aplicado em projetos e resolução de problemas, preferencialmente encaixado no currículo nas disciplinas iniciais ou intermediárias do curso. Os estudantes devem ter tempo para assimilar todos os fatores que envolvem a questão do design paramétrico e da modelagem paramétrica, aliados ao pensar paramétrico. Almeida, Brandão e Souza (2019) também defendem que a abordagem paramétrica deve ser distribuída na estrutura dos cursos de arquitetura de maneira apropriada, de modo que as áreas de conhecimento sejam identificadas e o ensino inserido no momento adequado.

3 METODOLOGIA

A investigação sobre o pensamento paramétrico no processo de ensino-aprendizagem de projeto arquitetônico foi realizada por meio de uma metodologia de pesquisa baseada em design e tecnologia educacional.

Segundo Herrington *et al.* (2014), a pesquisa baseada em design favorece a contribuição teórica e o valor público da pesquisa em tecnologia educacional, tratada como um modelo alternativo para a investigação neste campo. A pesquisa que utiliza uma abordagem baseada em design lida bem com o foco orientado para o profissional. No trabalho realizado por Mülbert (2014), onde a autora utilizou a pesquisa baseada em design para implementar uma mídia digital no ensino, destaca-se a opção pela utilização deste método diretamente no campo da aplicação, sem estabelecer e testar hipóteses para apenas em seguida ser aplicado.

A dinâmica da pesquisa baseada em design é mais intensa quando comparada com a pesquisa-ação, que envolve o participante de maneira efetiva sob facilitação do pesquisador. Possui uma integração direta entre o participante e o pesquisador, buscando que as ações sejam projetadas e aprimoradas de maneira gradativa (MÜLBERT, 2014).

Herrington *et al.* (2014) descrevem as diferenças entre uma pesquisa preditiva, utilizada com frequência por muito tempo, e a abordagem baseada em design. A pesquisa preditiva utiliza-se das hipóteses como diretriz fundamental. Baseadas em teorias ou observações existentes, são experimentadas e refinadas ao longo de testes, para depois ser aplicadas com profissionais (o que pode vir a gerar novas hipóteses). No caso da abordagem baseada em design, a diretriz fundamental é a aplicação prática. A abordagem inicia com a análise de problemas práticos, seguido pelo desenvolvimento de soluções informadas por princípios de design existentes, testadas e refinadas para produzir princípios de design e melhoria das soluções encontradas (o que pode vir a gerar refinamento de problemas, soluções, métodos e princípios de design).

Dix (2007) aponta para um possível problema na utilização deste método de abordagem. Por conta da necessidade de vínculo entre o pesquisador e o participante, é importante que exista uma parceria colaborativa e produtiva entre ambos, e que pode ser prolongada por um longo período de tempo. No entanto, sendo esta pesquisa destinada à produção de um modelo de ensino para informar e

melhorar a prática educacional, sua aplicação é justificada como essencial para o correta utilização do método que será proposto, podendo gerar uma parceria colaborativa entre o pesquisador e o participante.

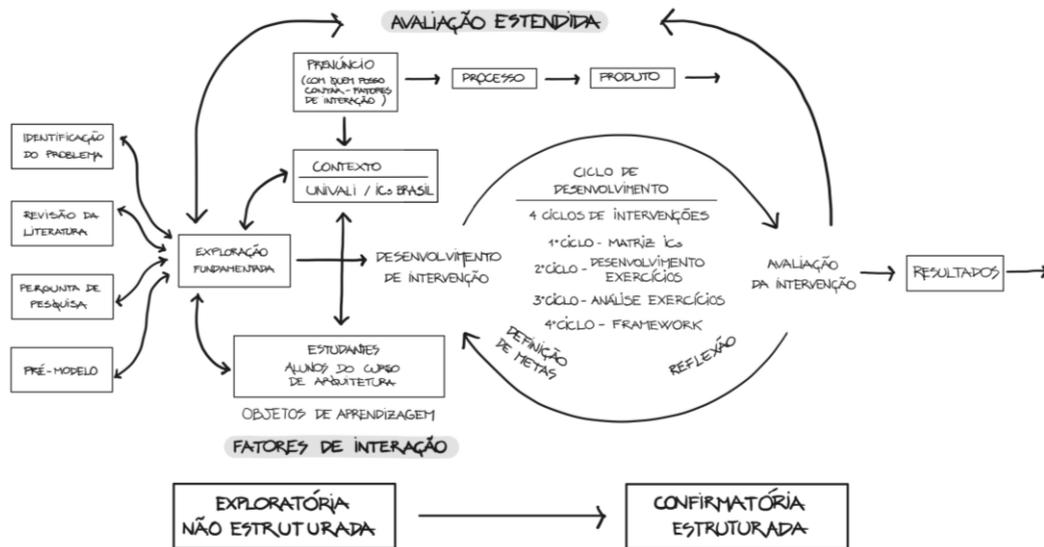
Existem muitos processos de Pesquisa Baseada em Design, todos com foco orientado para o profissional. O trabalho de Dix (2007), desenvolveu um modelo denominado de *Design-Based Research in Innovative Education Framework* (DBRIEF), ou Pesquisa Baseada em Design em Estrutura de Educação Inovadora (tradução livre), que basicamente combina elementos influentes de outras pesquisas no campo da educação.

O DBRIEF foi o processo escolhido para a realização deste trabalho pois seu objetivo é fornecer um instrumento prático e possível de ser adaptado, aplicado, aceito e promotor do conhecimento no ensino. É composto por cinco fases principais Exploração Fundamentada, Prenúncio, Processamento, Produto e Avaliação Estendida.

3.1 ETAPAS DE PESQUISA

As cinco etapas elencadas serão descritas a seguir. A partir do método de DBRIEF criou-se um esquema gráfico representando o processo de pesquisa adotado para este trabalho, segundo o modelo proposto por Dix (2007), ilustrado no esquema da Figura 18:

Figura 18 – Processo de pesquisa - Framework baseado no processo DBRIEF



Fonte: adaptado de Dix (2007) e baseado em Mülbert (2014)

3.1.1 Fase de Exploração Fundamentada

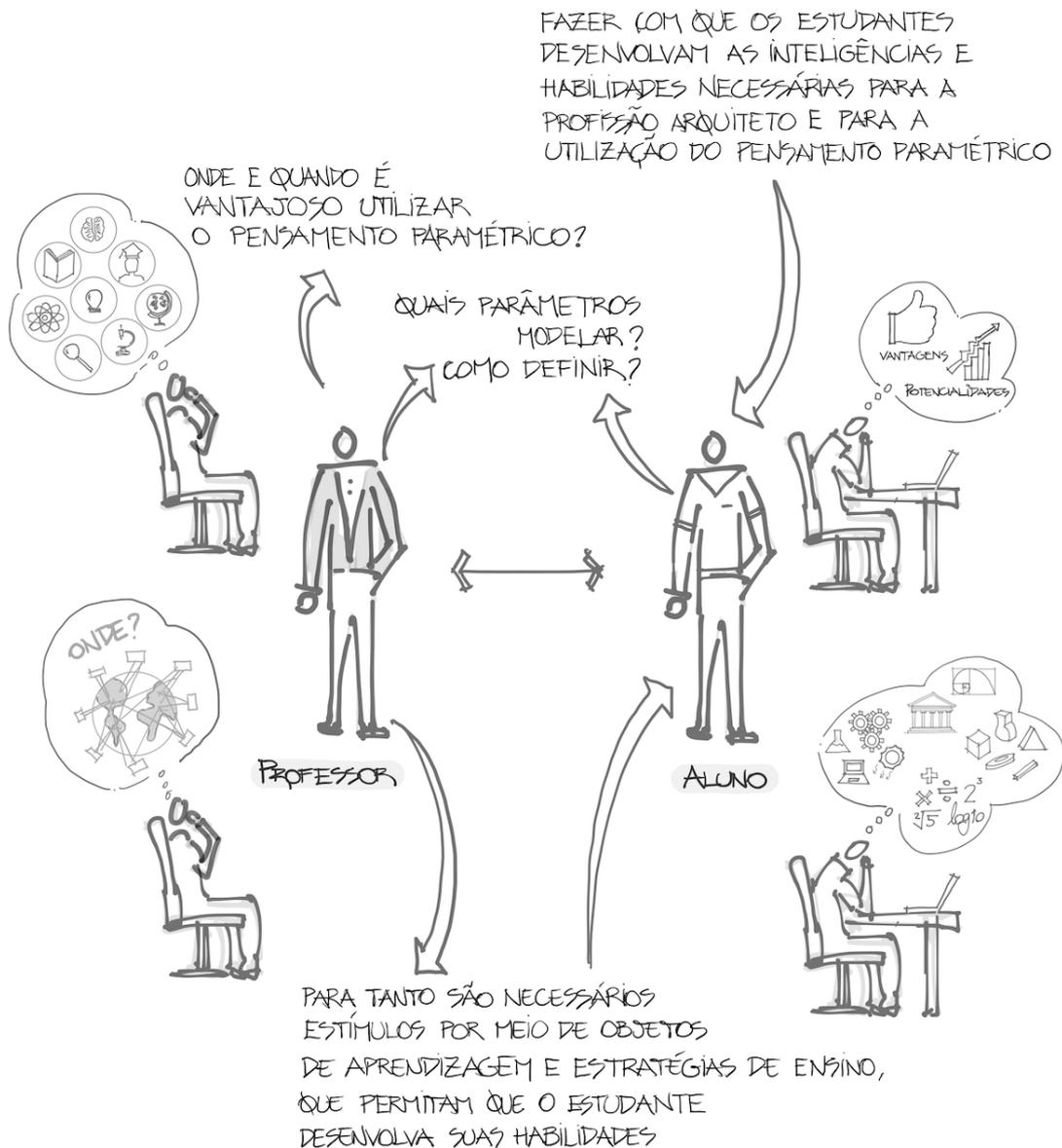
A Fase de Exploração Fundamentada consiste no processo de investigação do problema de pesquisa, considerando uma revisão da literatura que possa embasar e estruturar as perguntas de pesquisa (DIX, 2007). É um processo intuitivo e interativo, que permite ajustes à medida que a pesquisa avança.

Por meio do capítulo de revisão bibliográfica foram apresentados os fundamentos teóricos-científicos que orientam o desenvolvimento do pensamento paramétrico no projeto de arquitetura, além de buscar respostas sobre como, onde e quando é vantajoso utilizar o pensamento paramétrico neste contexto.

Nesta etapa foi produzido um pré-modelo que serve como base para o desenvolvimento dos ciclos na Fase de Processamento. Por meio de diretrizes que se baseiam nas inteligências múltiplas e nas habilidades necessárias para o arquiteto, o pré-modelo tem como objetivo explorar essas diretrizes para que orientem o desenvolvimento de material de aprendizagem para a utilização de ferramentas paramétricas, ou seja, identificar a necessidade de um pensamento crítico, quais parâmetros devem ser escolhidos, se o processo vai ocorrer do todo para as partes ou das partes para o todo. Estes são parte dos estimuladores de saberes para abastecer o *framework*.

Além disso, o pré-modelo se propõe a desenvolver um pensamento paramétrico nos estudantes fundamentado nas vantagens e potenciais da utilização das ferramentas paramétricas, considerando estratégias que apresentam resultados favoráveis em outros locais. A Figura 19 apresenta um diagrama sobre o pré-modelo:

Figura 19 – Esquema do pré-modelo



Fonte: Registros do autor

3.1.2 Fase de Prenúncio

A Fase de Prenúncio consiste na descrição aprofundada do contexto da pesquisa, bem como dos participantes que farão parte desta. Neste ponto os fatores ambientais e contextuais que moldam a intervenção são detalhados, considerando o cenário em que ocorre a aprendizagem e sua influência (MÜLBERT, 2014). É nesta etapa que se estabelecem as características das relações entre estudantes e professores e as características do processo e do produto esperado como saída.

Foi utilizado o curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) para o desenvolvimento da pesquisa. O curso de Arquitetura e Urbanismo iniciou suas atividades no ano de 1996, no Campus da Universidade do Vale do Itajaí (Univali) no Município de Balneário Camboriú, Estado de Santa Catarina, mediante resolução nº 022/1995 - CUN, de 18 de setembro de 1995. A Univali está atualmente estruturada com as Escolas do Conhecimento, uma forma de organização entre ensino, pesquisa e extensão, e também entre cursos, estudantes e professores, baseadas no conceito de *Skholé*¹⁶ e na Teoria do Conhecimento em Rede, que se apoia na intensificação das redes de comunicação digital e da microeletrônica (UNIVALI, 2020).

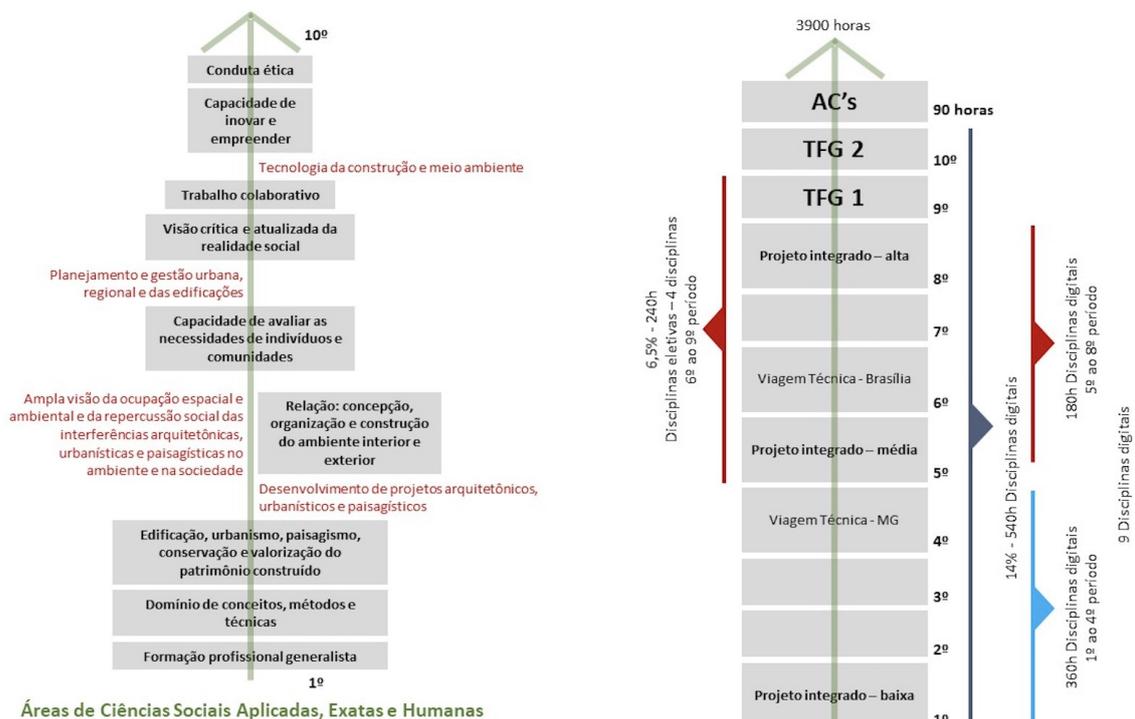
Para descrever a estrutura do curso foi utilizado seu Projeto Pedagógico, instrumento de concepção e estrutura de ensino-aprendizagem para o mesmo, que traz informações sobre disciplinas, estratégias de ensino, atividades de pesquisa e extensão e outras relativas à organização do curso. O curso possui duração de dez semestres, realizado na modalidade presencial e com turmas nos períodos matutino e noturno, distribuídas nos Campus de Balneário Camboriú e Florianópolis.

A matriz curricular do curso sofreu quatro alterações curriculares, estando atualmente vigente a Matriz 5, implantada em 2019, com ênfase do currículo conectado na aprendizagem colaborativa e no aprendizado baseado em pesquisa. Possui uma carga horária de 3900 horas, distribuídas em eixos de formação: criação e desenvolvimento, gestão, arte e cultura, humanidades e ciência e tecnologia; além destas, 180 horas são dedicadas para atividades de estágio obrigatório e 60 horas de Projeto Comunitário de Extensão Universitária e 150 horas de Atividades de

¹⁶ *Skholé* é um conceito grego em que a escola era definida como um espaço aberto, sem muros; um lugar de possibilidades onde os estudantes se tornavam capazes de fazer seu percurso acadêmico pela prática e pelo estudo, mediados por um mentor (LARROSA, 2017).

Conclusão de Curso; além da distribuição das disciplinas em 420 horas de no International Program, 300 horas no Núcleo Integrado de Disciplinas (NID) Institucional, 420 horas para o Núcleo de Disciplinas Eletivas Interescolas (NEI), 120 horas no Núcleo Integrado de Disciplinas (NID) Escola (UNIVALI, 2020). A Figura 20 mostra como está estruturado o movimento de formação proposto:

Figura 20 – Estrutura da formação proposta pelo Projeto Pedagógico do curso de Arquitetura e Urbanismo da UNIVALI



Fonte: Univali, 2020

A grade curricular está fundamentada nos princípios do currículo conectado da universidade, permitindo um percurso integrativo ao aluno que envolve flexibilização curricular, interdisciplinaridade, integração teoria-prática, ensino pela pesquisa, práticas e experiências profissionais, curricularização da extensão e internacionalização do currículo, de maneira que o estudante possa se aproximar do mercado e da realidade da profissão (UNIVALI, 2020).

O curso de Arquitetura e Urbanismo da Univali desenvolve-se em ateliê, em uma dinâmica que intercala a construção coletiva do saber e a necessidade da experiência individual, com destaque na estrutura do curso para as disciplinas de

Ateliê de Projeto Integrado, no 1º, 5º e 8º períodos, nas quais os alunos têm uma prática projetual que relaciona a escala urbanística com a arquitetônica e as correlaciona com as especialidades infraestrutura urbana, conforto ambiental, tecnologia e sistemas estruturais.

São trabalhadas práticas didático-pedagógicas consideradas inovadoras por darem forma à proposta educativa do currículo conectado, buscando que a aprendizagem proporcione investigações sobre bases teóricas para sustentar as atividades, pesquisas sobre diversos temas referentes à profissão, aproximação do acadêmico com a realidade do campo de atuação e vivência dos processos reais onde o aluno investiga, constrói e resolve problemas do contexto profissional: a disciplina de Ateliê de Projeto Integrado - Baixa Complexidade (5º período) trabalha a montagem de maquetes físicas com o objetivo de entender a empiria como processo de descoberta das relações espaciais; na disciplina Ateliê de Arquitetura - Baixa Complexidade (2º período) os alunos são estimulados a realizar uma proposta de arquitetura efêmera que estimule a discussão sobre problemas sociais, vinculados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS); em Ateliê de Arquitetura de Interiores os acadêmicos são estimulados na conexão com o mercado e fornecedores a partir do desenvolvimento de um projeto de interiores em um concurso (UNIVALI, 2020).

A partir deste panorama estabelecido no curso, percebe-se a oportunidade de inserção de objetos de ensino que possam articular o pensamento paramétrico tanto nas estratégias propostas no início do curso quanto para aquelas em semestres mais adiantados. Esses objetos de ensino, baseados na Estruturação do Saber desenvolvida por Chevallard, por meio da definição clara dos temas, teorias, técnicas e tecnologias, podem ser adaptados às práticas didático-pedagógicas descritas, de maneira que não somente a modelagem paramétrica, mas principalmente o pensamento que existe por detrás dela, possa fazer parte da formação acadêmica dos estudantes.

3.1.2.1 *Participantes*

Os participantes são formados por estudantes que estão cursando o curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo na Univali e por alunos de outras

universidades do Brasil, que realizaram pesquisas de Iniciação Científica, definidos por meio de seus professores orientadores.

Para a seleção dos estudantes do curso de Arquitetura e Urbanismo da Univali utilizou-se o método que Saunders e Townsend (2018) chamam de amostragem aleatória, onde a escolha dos participantes pode ocorrer através de amostragem por conveniência, na qual o pesquisador possui fácil acesso aos participantes e estes estão prontamente disponíveis, o que facilita a abordagem e agiliza o processo de aplicação da pesquisa. Levou-se em consideração o semestre em que estão matriculados dentro da grade curricular, buscando alunos do início, do meio e do final do curso. Para tanto, foram escolhidos dois alunos do início, dois das fases intermediárias e dois das fases finais. Além destes, três alunos que participaram de pesquisa de Iniciação Científica na Univali também foram contatados. Destes nove alunos apenas um não respondeu os exercícios, ficando o universo da pesquisa formado por oito alunos. Estes foram contatados por meio do envio de correio eletrônico com convite para participar do trabalho, informando-os sobre o conteúdo de pesquisa e os objetivos do contato.

Foram escolhidos sete professores conforme produção científica relevante envolvendo a modelagem paramétrica, dentre os quais cinco responderam ao e-mail de maneira positiva, encaminhando suas pesquisas. Além destes, os trabalhos de Iniciação Científica da Univali, na mesma linha de pesquisa, foram adicionados. Foram estudados um total de 30 trabalhos de Iniciação Científica de maneira individual, dos quais foram extraídos os objetivos, parâmetros utilizados, a estruturação do saber e o raciocínio empregado em cada trabalho.

3.1.3 Fase de Processamento

A Fase de Processamento é o que se pode chamar de centro de atuação, o núcleo central da pesquisa. Segundo Dix (2007), nesta etapa são desenvolvidos e testados programas de intervenção, avaliados por um sistema repetido de microciclos. A ação direta no campo de atuação ocorre nesta etapa, e não apenas no contexto da sala de aula e nos processos que ocorrem dentro dela, mas inclusive nas práticas de estudantes e professores no ambiente de aprendizagem, gerando resultados intermediários por meio de interação e coleta de dados.

Foram utilizados quatro ciclos para obter descrições de intervenções, resultados intermediários e observações, que posteriormente foram utilizados na etapa Produto. Os quatro ciclos serão descritos a seguir.

3.1.3.1 1º Ciclo - Matriz dos trabalhos de Iniciação Científica

O primeiro dos ciclos de intervenção buscou responder quais os fundamentos teóricos-científicos que orientam o desenvolvimento do pensamento paramétrico no projeto de arquitetura. Conforme descrito anteriormente, foram utilizados trabalhos de Iniciação Científica que trabalharam com modelagem paramétrica.

Para ao estudo destes trabalhos de Iniciação Científica utilizou-se o método de Análise de Texto descrito por Marconi e Lakatos (2017) que sugere a decomposição do texto a ser analisado em três partes: a decomposição dos elementos principais (verificar os componentes de um conjunto e suas possíveis relações); a generalização (formular afirmações aplicáveis ao conjunto) e a análise crítica (considerando a objetividade, a explicação e a justificativa para validar a crítica). Isto resultou em um texto próprio que contém reflexões pessoais sobre cada trabalho.

A partir desta análise foi elaborada uma matriz buscando por uma relação das estratégias de pensamento, avaliando as dificuldades e facilidades encontradas na utilização do pensamento paramétrico, e ressaltando a estruturação do saber de cada pesquisa. As colunas da matriz são preenchidas por elementos importantes dos trabalhos e também representativos quanto ao raciocínio utilizado, divididas em objetivo, área de atuação, parâmetros utilizados, estruturação do saber, raciocínio (descrito) e um esquema gráfico representativo deste (que foi denominado de *small picture*).

Após a leitura e composição da matriz, os trabalhos foram agrupados por área para depois gerarem os exercícios a serem aplicados com os alunos. O esquema abaixo (Figura 21) demonstra a composição da matriz de estratégias de pensamento:

Figura 21 – Composição de estrutura da matriz de estratégias do pensamento



Fonte: Registros do autor

3.1.3.2 2º Ciclo - Desenvolvimento inicial dos exercícios

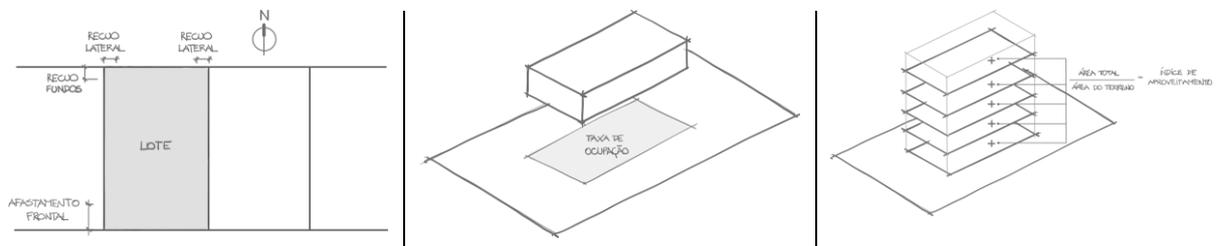
Este segundo ciclo objetiva produzir objetos de ensino que evidenciem as vantagens na utilização do pensamento paramétrico. A partir da construção da matriz de relação de estratégias de pensamento, foram elaborados exercícios que abordassem o conteúdo produzido nos trabalhos de Iniciação Científica. Essa abordagem foi baseada por meio de questões presentes no processo de projeto, com o objetivo principal de compreender o raciocínio do aluno e que este pudesse externar o seu pensamento, sem a necessidade de serem feitos desenhos ou esquemas gráficos.

Os exercícios foram elaboradas em formato de perguntas abertas, de maneira que permitissem ao aluno respondê-las utilizando linguagem própria e também emitindo opiniões (MARCONI e LAKATOS, 2017). Foram encaminhados aos alunos em Dezembro de 2022 e retornaram aproximadamente após dez dias do envio, por meio de correio eletrônico. Os participantes foram contextualizados sobre o assunto a ser tratado (a modelagem paramétrica e o pensamento com parâmetros) e informados sobre os objetivos do trabalho.

As questões foram relacionadas aos seguintes temas, extraídos da análise dos trabalhos de Iniciação Científica: análise de terreno e edificação; biomimética e arquitetura; maquete a partir de fotografias; organização de cômodos; maquetes físicas geradas através da cortadora a laser; estratégias para otimizar o ganho de luz natural. Os temas escolhidos procuraram atender os trabalhos de Iniciação Científica analisados. Os exercícios estão descritos a seguir.

- Exercício 1 - Análise de terreno e edificação:

Os Planos Diretores dos Municípios definem índices urbanísticos para a construção das edificações. Esses índices são formados por um conjunto de normas que determinam os valores para determinados parâmetros, como os recuos laterais e de fundos, o afastamento frontal, o máximo de área de projeção da edificação no lote (taxa de ocupação), a variação de altura do edifício (gabarito) e o índice máximo de aproveitamento do lote (índice de aproveitamento). Considerando a ocupação de um lote, procure descrever como você pode trabalhar esses parâmetros buscando variações da forma edificada demonstrando o raciocínio utilizado.



- Exercício 2 - Biomimética e Arquitetura:

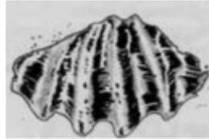
A Biomimética é uma ciência que estuda os princípios criativos e estratégias da natureza, visando criar soluções para problemas atuais, unido funcionalidade, estética e sustentabilidade. Este conceito pode ser explorado na arquitetura pois além de inspiração estética é possível correlacionar com estratégias de projeto e eficiência estrutural, com maior compreensão da estrutura dos objetos. A partir das imagens de formas encontradas na natureza e relacionadas com elementos arquitetônicos, descreva os parâmetros que você acredita terem sido utilizados para que fossem estabelecidas tais relações.



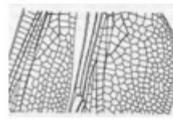
galhos das árvores



casa do João de Barro



concha



asa da libélula

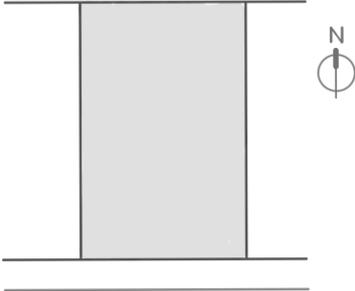


- Exercício 3 - Maquete a partir de fotografias:

É possível mapear um objeto, com suas dimensões, a partir de fotografias, caso algumas dimensões e ângulos sejam conhecidos. Isto pode ser feito por meio de equipamentos de alta precisão chamado digitalização tridimensional, que pode ser utilizada na produção de maquetes de edifícios históricos e de detalhes arquitetônicos. Por meio de uma nuvem de pontos de alta resolução, os dados são transformados em um modelo de superfícies e enviados para um equipamento de prototipagem rápida, para impressão em 3D. Considerando esta técnica de digitalização, como você imagina que se dá a produção de uma maquete a partir de fotografias?

- Exercício 4 - Organização de cômodos:

Com o lote e o programa apresentados abaixo, como você acredita que poderia organizar os cômodos de uma residência? Descreva o seu raciocínio.

TERRENO	PROGRAMA
	Sala
	Cozinha
	Área de serviço
	Dormitório 1
	Dormitório suíte
	Banheiro

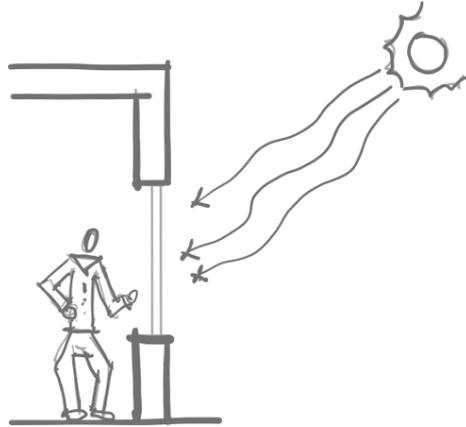
- Exercício 5 - Maquetes físicas geradas através da cortadora a laser:

A utilização de maquetes físicas é um instrumento de grande valia no ensino de arquitetura. A facilidade de visualização, manuseio e experimentação é um grande trunfo na compreensão do processo projetual. Apesar do avanço digital, novas técnicas (como a prototipagem rápida) contribuem para a criação e confecção de maquetes. Esta tecnologia permite que objetos físicos (tridimensionais) possam ser fabricados a partir de arquivos digitais produzidos em sistema CAD. O processo consiste no desenho do objeto para depois enviá-lo a uma cortadora a laser. Diante deste contexto, quais os cuidados que você acredita serem fundamentais para que se fabrique maquetes físicas a partir da prototipagem rápida?

- Exercício 6 - Estratégias para otimizar o ganho de luz natural:

A luz natural é uma ferramenta poderosa na concepção arquitetônica. A compreensão do fenômeno do movimento do Sol pode ser essencial para que possamos trabalhar com menor utilização de iluminação artificial e melhor qualidade nos ambientes projetados.

Deve-se considerar a posição do edifício, a utilização de estratégias arquitetônicas para ganho de iluminação natural, a integração dessas estratégias com as necessidades térmicas e acústicas do edifício e o uso a que se destina o edifício. Considerando o desenho abaixo, procure descrever como você poderia otimizar o ganho de luz natural em um ambiente.



3.1.3.3 3º Ciclo - Avaliação dos exercícios

Este ciclo envolve a avaliação dos exercícios encaminhados de maneira que possam ser analisadas quais são as percepções dos estudantes sobre o pensamento paramétrico e suas vantagens. Os exercícios foram respondidos pelos alunos em formato escrito e encaminhados por arquivo em formato não editável para o e-mail do pesquisador.

A interpretação dos exercícios foi baseada em um método de análises sequenciais, onde tanto o contexto discursivo quanto o contexto interativo local são considerados. Dentro das análises sequenciais pode-se trabalhar um princípio metodológico que possua uma maneira específica de sensibilidade em relação a esse contexto. No caso deste trabalho, foi utilizado o procedimento de análise de conversas onde a ação é guiada pela suposição de que a ordem é produzida em alternância (FLICK, 2004).

As análises foram realizadas de maneira individual, por exercício, considerando todas as respostas para cada um deles por meio de categorização, que consiste em selecionar trechos que fazem parte de um conjunto, e em seguida reuni-los por analogia, conforme critérios previamente definidos. Segundo Bardin (2010), por mais que se extraia trechos das respostas, esta espécie de simplificação dos dados não representa desvios no material, podendo revelar indícios antes invisíveis no tratamento dos dados. No entanto, é importante ressaltar que todas as respostas foram transcritas de maneira integral, e que em alguns momentos foram separadas dependendo do conteúdo advindo da categorização.

3.1.3.4 4º Ciclo - Framework - estrutura de trabalho

Neste último ciclo o objetivo foi a complementação dos exercícios de maneira que se tornassem estimuladores do raciocínio, buscando contribuir para induzir o pensamento paramétrico nos alunos.

A partir dos resultados obtidos com o terceiro ciclo, foi elaborada uma sequência de perguntas que pudessem levar o aluno a pensar com parâmetros para resolver o exercício.

3.1.4 Fase de Produto

A Fase de Produto é determinada pela análise dos dados obtidos nas etapas anteriores, contendo os resultados da pesquisa. De acordo com Dix (2007), nesta etapa a análise assume uma forma intensamente estruturada e de natureza confirmatória, que busca consolidar os resultados intermediários (obtidos com os ciclos introdutórios) em um *framework*.

Reflexões sobre esses resultados, articulados com a revisão teórica da literatura e a produção de objetos de ensino que possam apoiar um método de projeto, são os produtos que irão amparar o *framework*.

Embora sua divulgação e apropriação pela comunidade científica seja um processo natural para esta etapa, ela não é a fase final da pesquisa. Conforme citam Herrington *et al.*(2014), a pesquisa baseada em design avança em reflexões sobre o produto obtido, buscando melhorar a solução de implantação.

3.1.5 Fase de Avaliação Estendida

Dix (2007) evidencia que esta etapa é projetada para promover a pesquisa contínua e o desenvolvimento de novas teorias e intervenções. É importante que possa ser respondida as perguntas sobre quais as contribuições da pesquisa para o conhecimento teórico do tema pesquisado, o que contribuiu para a base teórica da tese e o quanto que o desenvolvimento do pensamento paramétrico pode ajudar no desenvolvimento de projeto.

O grande objetivo da Pesquisa Baseada em Design deve ser atingido nesta etapa, gerando contribuições para a teoria a partir das práticas que ocorrem na sala de aula, e corresponde às conclusões do trabalho e contribuições teóricas que podem transcender o contexto em que se desenvolveu o estudo.

O Quadro 1 apresenta um quadro síntese das etapas de pesquisa:

Quadro 1 – Quadro síntese das etapas de pesquisa.

FASE	QUESTÃO	RESULTADO	PARTICIPANTES	ASPECTOS METODOLÓGICOS
Exploração Fundamentada	quais os fundamentos teóricos-científicos que orientam o desenvolvimento do pensamento paramétrico no projeto de arquitetura?	<ul style="list-style-type: none"> · Sistematização teórica de como está sendo utilizado o pensamento paramétrico · elaborar o pré-modelo de abordagem do problema: identificação da utilização do pensamento paramétrico - do todo para as partes e das partes para o todo - dentro das etapas de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> · pesquisador 	<ul style="list-style-type: none"> · pesquisa bibliográfica · raciocínio abduutivo
Prenúncio	quais as características do contexto ambiental que moldam a pesquisa?	<ul style="list-style-type: none"> · descrição da instituição que abriga a iniciativa 	Instituição de Ensino Superior - Univali (curso de Arquitetura e Urbanismo)	<ul style="list-style-type: none"> · pesquisa documental · observação participante
Processamento	1º ciclo como aplicar os fundamentos teóricos-científicos explorando o pensamento paramétrico?	<ul style="list-style-type: none"> · identificação e análise de pesquisas · produção de uma matriz de relação de estratégias de pensamento 	<ul style="list-style-type: none"> · alunos de Iniciação Científica - contexto brasileiro e local 	<ul style="list-style-type: none"> · Análise de conteúdo e descrições das questões essenciais que definiram a utilização de modelagem paramétrica nas pesquisas científicas

	2º ciclo	como produzir objetos de ensino que evidenciem as vantagens na utilização do pensamento paramétrico?	<ul style="list-style-type: none"> desenvolvimento inicial dos exercícios 	<ul style="list-style-type: none"> pesquisador 	<ul style="list-style-type: none"> design instrucional e cognição situada
	3º ciclo	quais são as percepções dos estudantes sobre o pensamento paramétrico e suas vantagens?	<ul style="list-style-type: none"> avaliação dos exercícios e de seu uso pela ótica dos estudantes 	<ul style="list-style-type: none"> alunos de IC estudantes de graduação 	<ul style="list-style-type: none"> aplicação do modelo gerado no 2º ciclo
	4º ciclo	como contribuir para induzir o pensamento paramétrico nos alunos?	<ul style="list-style-type: none"> complementação dos exercícios como estimuladores do raciocínio 	<ul style="list-style-type: none"> pesquisador alunos IC 	<ul style="list-style-type: none"> design instrucional e cognição situada estruturação do saber

Produto	como consolidar os resultados em um <i>framework</i> ?	<ul style="list-style-type: none"> reflexões sobre os resultados dos ciclos 1, 2, 3 e 4 - articulados com a sistematização teórica produção de objetos de ensino que apoiem um <i>framework</i> (método de projeto) 	pesquisador	<ul style="list-style-type: none"> pesquisa bibliográfica análise dos resultados raciocínio indutivo estruturação do saber
----------------	--	---	-------------	--

Avaliação Estendida	quais as contribuições da pesquisa para o conhecimento teórico no tema pesquisado?	<ul style="list-style-type: none"> conclusões do trabalho e contribuições teóricas que podem transcender o contexto em que se desenvolveu o estudo 	pesquisador	<ul style="list-style-type: none"> raciocínio indutivo
----------------------------	--	---	-------------	---

Fonte: adaptado de Mülbert (2014)

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados e discussões obtidos com a metodologia descrita anteriormente, estruturado em três partes.

A primeira parte, relacionada ao primeiro ciclo da fase de processamento, aborda os trabalhos de Iniciação Científica que foram analisados e por fim resumidos em uma matriz de relações de estratégias de pensamento.

O 2º Ciclo foi abordado no capítulo anterior, quando apresenta-se o desenvolvimento inicial dos exercícios. A segunda parte trata das respostas obtidas com os exercícios criados para os alunos de graduação (2º Ciclo), e corresponde ao 3º Ciclo da fase de Processamento. As respostas foram analisadas por exercício, considerando todo o grupo de respondentes.

As análises correspondentes ao 4º Ciclo da fase de Processamento serão realizadas na sequência (terceira parte), a partir de perguntas elaboradas junto aos exercícios de modo a estimular o pensamento paramétrico, e que possam levar o aluno a pensar com parâmetros para resolver o exercício.

4.1 1º CICLO DA FASE DE PROCESSAMENTO - ANÁLISE DOS TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

A análise dos trabalhos de iniciação científica foi realizada de maneira individual: cada trabalho foi lido e examinado pelo método de análise de texto descrito por Marconi e Lakatos (2017). Por meio de observações pessoais, buscou-se entender o raciocínio empregado pelos pesquisadores e os parâmetros utilizados na pesquisa. Nos trabalhos analisados foram identificados os elementos relacionados à estruturação do saber proposta por Chevallard, no que diz respeito aos temas, técnicas, tecnologias e teorias utilizadas.

Depois de lidos e sintetizados em textos, os trabalhos foram agrupados por áreas de atuação da pesquisa, resultando em sete categorias: [1] Processo de Projeto; [2] Ensino de Projeto; [3] Gestão e Tecnologia de Projetos; [4] Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído; [5] Projeto e Tecnologia da Edificação; [6] Ferramentas; [7] Plano Diretor. As sete categorias foram organizadas em uma matriz que contém uma síntese de todos os trabalhos analisados. A seguir as categorias (e seus respectivos trabalhos de Iniciação Científica) são apresentadas.

4.1.1 Processo de projeto

Esta categoria foi resultado da análise de sete trabalhos de iniciação científica que exploraram a modulação espacial no processo de criação, a organização espacial vinculada à orientação solar e a lógica projetual dentro do processo de projeto arquitetônico.

O primeiro tema de pesquisa aborda o processo de sistematização como método de projeto, apoiado nos Sistemas Generativos, ressaltando que em um processo criativo o modelo generativo permite que o projetista crie as regras de composição e seleção e criação de formas. Ressaltou-se a descoberta de metodologias para ampliar o repertório de ferramentas para auxiliar na análise e criação de projetos: o sistema generativo *Mat-building*, uma metodologia utilizada para estruturação do espaço, contribuiu para a melhor compreensão do processo de geração dos módulos e na importância dada às circulações de pedestres como eixos estruturantes da organização do espaço; a Geometria Fractal, cuja teoria foi importante na formação de regras e para um sistema ordenador do crescimento dos módulos (ROSA e MARTINO, 2018).

Uma segunda pesquisa trabalhou com a organização de cômodos em um ambiente considerando a melhor orientação solar, utilizando a teoria *Space Planning* unida a um sistema generativo (SILVA e MARTINO, 2020). Os resultados apresentaram os cômodos corretamente posicionados em relação uns aos outros e também em relação à orientação solar. No entanto, a pesquisa revelou que houve perda de qualidade nos resultados quando analisados os parâmetros individualmente. Por exemplo, situações em que estão bem posicionados em relação a orientação solar, mas mal posicionados com relação a outros cômodos que deveriam estar conectados.

Outras cinco pesquisas abordaram a questão da lógica projetual do arquiteto em projetos que utilizaram ou foram desenvolvidos por meio da modelagem paramétrica. Praticamente todas se valeram de estudar o processo para em seguida reproduzi-lo em um *software* paramétrico. No entanto, houveram abordagens diferentes, na medida que a compreensão do processo ou o objetivo de pesquisa foi distinto em cada trabalho.

A primeira delas busca a interpretação da metodologia de processo projetual de um arquiteto por meio de vocabulário básico e regras de transformação da forma,

procurando replicar o processo em um sistema generativo utilizando o método da gramática da forma (BRAGA e MARTINO, 2019). Os parâmetros adotados foram trabalhados em função de uma modulação determinada no projeto e sua variação a partir da identificação do vocabulário e das regras que possibilitaram a formulação dos edifícios no projeto.

Nos outros quatro trabalhos desta categoria a ideia central foi a mesma: escolha de uma edificação trabalhada com modelagem paramétrica, estudar a lógica de concepção do arquiteto e reproduzir o edifício no *software* paramétrico. Apesar do mesmo objetivo proposto houveram resultados diferentes. O primeiro trabalho foi além do resultado obtido com a reprodução do edifício no *software*, e experimentou novas soluções a partir da encontrada; conforme sua percepção do processo, o aluno foi instigado a continuar buscando outras soluções, como a parametrização de outras maneiras de manipular os parâmetros (BRANCO e GALAFASSI, 2018). O código criado permitiu parametrizar as possibilidades de rotação de uma edificação alterando os parâmetros gerados pelo gráfico, do que pode ser considerado mais simples (rotacionar a partir da base uma angulação padrão por pavimento) até morfologias mais complexas, estabelecendo o ponto exato de rotação da torre.

Para o segundo trabalho o processo foi semelhante ao anterior. No entanto foram acrescentados a ele esquemas gráficos elaborados à mão pela aluna, para compreender o processo do arquiteto. Além disso, destacou-se a necessidade de se ter uma ideia clara do objeto de projeto para facilitar a escolha dos parâmetros, o conhecimento da matemática e geometria e a importância de se pensar no que está sendo feito ao invés de simplesmente reproduzir o conteúdo de vídeo-aulas (SOUZA e GALAFASSI, 2019).

O terceiro trabalho elaborou uma sequência de esquemas gráficos feitos à mão para compreender a lógica projetual e em seguida as desenhou no *software*, em um processo de desenhar o pensamento, possibilitando que a aluna tivesse uma espécie de roteiro para reproduzir o processo de elaboração da forma por parâmetros (BERNARDI e GALAFASSI, 2020).

O quarto trabalho seguiu a linha dos dois anteriores e, em seguida, utilizou a pesquisa de Agirbas (2018) onde os princípios de trabalho da natureza são tomados como metáforas para práticas de design generativo. Neste caso, com o objetivo de ter uma inspiração formal, foi desenvolvido um modelo paramétrico utilizando o desenho da cauda de um crocodilo, servindo como uma metáfora inspirada na

natureza para criar uma nova edificação (MALBURG e GALAFASSI, 2021). A utilização desta metáfora como guia do processo foi positiva e abre possibilidades de geração de novas formas e alternativas. Ao utilizar uma metáfora o processo de criação foi favorecido e guiado, tornando-se mais claro.

4.1.2 Ensino de projeto

O ensino de projeto foi tema de quatro trabalhos de iniciação científica, que buscaram a relação de estratégias de ensino para utilização em sala de aula. Dois deles trataram sobre o uso de maquetes físicas elaboradas por meio da técnica de prototipagem rápida e do uso de cortadora a laser. A técnica de confecção de maquetes físicas há muito vem se mostrando eficaz para a compreensão, elaboração e modificações do projeto, principalmente na fase de concepção; quando aliada com os sistemas digitais acaba por agilizar o seu processo de confecção e pode vir a ser de grande valia por conta do tempo utilizado e da possibilidade de experimentação de formas, visto que a técnica elimina restrições geométricas e diminui o tempo de produção (BERTHO e CELANI, 2007).

A abordagem sobre o conceito de biomimética e suas relações com o funcionamento do mundo natural foi estudado em um dos trabalhos. A metodologia apresentada explicitou a biomimética como alternativa para soluções arquitetônicas juntamente com a representação paramétrica no processo de projeto, como recurso ao processo e como subsídio importante na ação projetual durante o processo de formação do aluno. A sistematização apresentada em tabelas demonstrou o desenho analítico como um grande aliado na compreensão da natureza e de suas estruturas, juntamente com a parametrização atuando na modelagem das formas e estruturas complexas (OLIVEIRA e PIRES, 2021).

O trabalho que trata dos ambientes virtuais de aprendizagem para auxiliar no processo de aprendizagem do aluno, munido com conteúdos produzidos pela comunidade acadêmica, também trata da questão de ensino. Abordou a inserção de novos conteúdos no ambiente virtual, destacando a importância das ferramentas de análise e simulação de iluminação natural na tomada de decisões em projetos de arquitetura, considerando seu potencial para complementar o ensino e divulgar conteúdos relacionados com novas tecnologias em arquitetura e design (HIPÓLITO e PEREIRA, 2020). O conteúdo produzido resultou em um objeto de aprendizagem

para demonstrar a importância das ferramentas de análise de iluminação natural na tomada de decisões de projeto, utilizando *softwares* de modelagem paramétrica e de simulação computacional.

4.1.3 Gestão e tecnologia de projetos

Apoiado no gerenciamento das demandas e fluxos de trabalho voltados para tecnologia em projetos, esta categoria contou com uma pesquisa que trata da integração entre arquitetura e indústria durante a fase projetual, considerando a necessidade de uma reformulação no processo de projeto (CÔCO Jr. e CELANI, 2021).

Como estudo de caso foi utilizada a indústria de banheiros pré-fabricados e a implementação de algoritmos para gerar o layout de banheiros de maneira parametrizada, impactando na distribuição de equipamentos, nos pontos de elétrica e hidráulica, na distribuição de perfis, na furação para a passagem de sistemas complementares e no corte de peças. Foi adotada uma tipologia genérica de banheiro quadrado para trabalho na pesquisa, a partir de uma visão sistêmica dos elementos constituintes, como layout, estrutura, painéis de parede e forro.

Os resultados demonstram que a modelagem algorítmica permitiu a possibilidade de se concentrar nas relações paramétricas antes de trabalhar com as questões construtivas. Foi aplicada a tecnologia BIM que aprimorou o trabalho por conta da extração automática de dados de construção e produção, confirmando a automatização de processos e a diminuição do retrabalho com o uso de algoritmos.

4.1.4 Projeto e tecnologia do ambiente construído

O tema leva em consideração o estudo de técnicas, métodos e estratégias para o projeto de edificações e áreas urbanas do ambiente construído, visando aprofundar o conhecimento sobre projetos de arquitetura e urbanismo. A categoria foi formada por três trabalhos que tratam de situações urbanas que envolvem edifícios altos e seu contexto urbano, o aproveitamento da luz natural e consequente incidência de radiação solar neles.

O primeiro trabalho considerou a situação urbana da cidade de Balneário Camboriú, que possui áreas com edifícios altos e outras com edifícios sem obstrução do entorno (CARTANA e MORAES, 2017). Foram desenvolvidas três etapas para a pesquisa: escolha dos cenários urbanos, simulações computacionais destes cenários e a medição em campo. Os resultados mostraram para os edifícios desobstruídos que as áreas de fachadas envidraçadas foram concebidas sem levar em consideração a orientação solar. No caso dos *canyons* urbanos, todos os casos mostraram os pavimentos inferiores das edificações e os espaços públicos totalmente sombreados, gerando desconforto para permanência e utilização, principalmente no inverno. Para os dados obtidos em medição no local, os resultados mostraram coerência com os gerados na simulação computacional, em softwares de modelagem paramétrica.

Na mesma linha, o segundo trabalhou avaliou a admissão e distribuição de luz natural em ambientes internos de edifícios situados em *canyons* urbanos, definidos como configurações urbanas formadas por dois planos de edificações paralelas que causam diminuição da visão do céu por conta da obstrução de parte da abóbada celeste (CARTANA e KASPER, 2018). Foram analisadas doze diferentes configurações de *canyons* urbanos no *software Rhinoceros*, considerando modelos genéricos baseados na realidade da cidade de Florianópolis. Após as simulações e análises, foi concluído que a verticalização aliada a um menor afastamento entre os edifícios gera admissão ruim da iluminação natural nestes edifícios, tanto por falta quanto por excesso, além de má distribuição nos ambientes.

Por fim, como um complemento do trabalho anterior, foi proposto a criação de um algoritmo evolutivo para otimizar a admissão de luz natural nos ambientes dos *canyons* urbanos da cidade de Florianópolis (CARTANA e KASPER, 2019). Os resultados apresentaram que existe a necessidade de um aumento significativo nos afastamentos laterais, mesmo sendo o ambiente de análise voltado para o afastamento frontal (fachada norte). A configuração atual do tecido urbano mostra os lotes com pouca testada em relação à profundidade, resultando em dificuldades no acesso à iluminação natural, também influenciados pelos menores afastamentos laterais em relação aos frontais.

4.1.5 Projeto e tecnologia da edificação

Os resultados de 11 trabalhos de iniciação científica formaram a categoria que trata de projeto e tecnologia do edifício, focada em inovações tecnológicas e projetos que trabalham com a edificação.

Um dos trabalhos investigou a fabricação de fôrmas de concreto com formas complexas, partindo da utilização de um equipamento com tecnologia de prototipagem rápida. A produção automatizada de maquetes a partir de modelos geométricos digitais, gerando modelos físicos que encurtam o ciclo de produção permitem que o projetista possa fazer experimentos antes de tomar a decisão final (ROCHA, CELANI e PUPO, 2010). O processo foi dividido em 6 etapas: modelagem da escultura, planificação, protótipo em papelão, execução da fôrma, concretagem e produto final. O trabalho apresentou um produto sem irregularidades e com grandes vantagens comprovadas pelo uso da fabricação digital: não houveram desenhos impressos das fôrmas; nenhuma forma intermediária entre o projeto no software CAD e a fabricação final; não houve perda de material; não houve perda de dados (o mesmo arquivo no qual o sólido foi projetado e planificado foi aberto no artCAM, onde foi gerado o código e passado para a CNC); não houve erro no corte das fôrmas.

O foco dos outros dez trabalhos desta categoria foi em estratégias de conforto ambiental, mais especificamente no conforto térmico dos ambientes considerando a obstrução da radiação solar nas aberturas.

O primeiro deles abordou o desempenho dos sistemas de fachadas dos edifícios, considerando o consumo energético total e como eles podem contribuir para a produção arquitetônica contemporânea (DOMINGOS e CARTANA, 2018). Foram desenvolvidos três modelos de brises de proteção solar de movimentação simplificada, capaz de permitir maior ou menor incidência solar. A pesquisa afirmou a eficiência dos *softwares* paramétricos que facilitaram a elaboração de modelos dinâmicos capazes de aplicar diferentes movimentos de maneira simplificada. Considerando os elementos dinâmicos e que permitem maior ou menor obstrução solar, a utilização da modelagem paramétrica auxiliou a manipular o desempenho para aproveitar da melhor maneira a incidência solar. Foi citado a importância da geometria como elemento essencial na busca por resultados de maior admissão da radiação no mês de julho e menor admissão no mês de janeiro.

Outro trabalho tratou da utilização de um *software* paramétrico na simulação da radiação solar incidente nas fachadas das edificações (BERTÉ e CARTANA, 2015). O objetivo principal foi o de verificar se os dados obtidos com o *software* em questão eram tão precisos quanto os conseguidos em tradicionais ferramentas de simulação. Os resultados demonstraram-se bastante eficientes, com uma interface objetiva e uma ferramenta de fácil utilização e grande potencialidade.

A pesquisa seguinte tratou da evolução do design digital e seu impacto no processo de projeto e nas práticas de produção arquitetônica (CARTANA, PEREIRA e BERTÉ, 2016). Dentre os elementos que podem ser produzidos de maneira paramétrica, a pesquisa destaca os elementos de controle solar, objeto da pesquisa, considerando as variáveis geométricas dos parâmetros utilizados na elaboração do algoritmos. Os resultados mostraram-se eficientes como estratégia a ser incorporada no processo de projeto destes elementos, apresentando resultados interessantes tanto na estética quanto no desempenho.

Com foco no desenvolvimento de ferramentas computacionais em arquitetura, (principalmente as simulações computacionais, modelagem NURB, parametrização e tecnologias de prototipagem rápida) esta outra pesquisa abordou as questões de desempenho térmico de uma edificação utilizando o estudo da parametrização e simulações computacionais para otimizar o ganho térmico da cobertura (CAMPOS e CELANI, 2014). Foi desenvolvida uma cobertura assimétrica, com dupla curvatura e sombreada com a sua própria forma. Essas definições garantiram maior heterogenia de valores de insolação e ganho térmico do que uma cobertura simétrica, ortogonal ou sem o auto-sombreamento. A otimização da cobertura foi obtida em 4 passos: subdivisão da superfície; aplicação de padrões à superfície; cálculo inicial de ganho térmico; otimização pelo uso de algoritmos genéticos. A pesquisa aponta que na otimização de edificações com formas de múltiplas curvaturas utilizadas na arquitetura podem ser utilizados os mesmos princípios de formas ortogonais.

Tendo como inspiração estudos na área de conforto ambiental, onde por meio da manipulação do gráfico da trajetória solar é possível determinar a incidência de radiação solar em uma edificação, a ideia de determinar parâmetros que pudessem ser manipulados conforme a necessidade do projetista foi estudada e trabalhada nesta pesquisa (BINI e GALAFASSI, 2017b). A intenção foi criar uma espécie de rotina que fosse abastecida conforme desejos e necessidades do

projetista, incluindo o local e suas as condições climáticas específicas. Foi criado um modelo padrão de elementos de obstrução solar para serem trabalhados. Esses elementos foram testados considerando a trajetória solar a partir do diagrama da Carta Solar. A compreensão do fenômeno foi importante para que pudessem ser estabelecidos e definidos os parâmetros que seriam considerados na realização do fluxo de trabalho. Os parâmetros definidos foram trabalhados primeiramente em 2D, considerando a largura e a altura dos elementos de obstrução solar no desenho de uma forma curva. Após definida essa forma, foi introduzida a profundidade e a gerada a superfície; a pesquisa demonstrou que o desenho em duas dimensões pode ser útil para criar um caminho a ser explorado após a adição de determinados parâmetros, deixando clara a intenção projetual para o desenvolvimento da ideia.

A pesquisa seguinte analisou oito orientações solares, considerando a intensidade da incidência de radiação solar e o ganho de calor em cada orientação, para a latitude 27°30' Sul na cidade de Balneário Camboriú, considerando o fato de admitir a entrada de luz natural em 50% da abertura, trabalhando com brises horizontais, verticais e mistos em softwares de modelagem paramétrica (SCHVAMBACH e GALAFASSI, 2017). O processo passou pela compreensão do problema por parte da aluna, que possuía boa base de conhecimento sobre o fenômeno da radiação solar, estudos de geometria e raciocínio matemático. Isto foi importante para que ela pudesse definir os parâmetros que seriam utilizados, incluindo os tipos de elementos de obstrução solar e suas características, por meio de um fluxo de trabalho. Os estudos iniciais foram realizados à mão livre, em papel, considerando os parâmetros descritos.

Outro trabalho teve início com a definição do problema de projeto: um ambiente residencial em uma determinada cidade, voltado para a orientação Norte (hemisfério sul), considerando obstruir a entrada de radiação solar do dia 10 de Outubro ao dia 20 de Março, entre 10:00h e 15:00h, conforme dados obtidos no arquivo climático importado no plugin Ladybug. Esse intervalo foi definido em função do desejo de obstruir a radiação considerada mais intensa para um ambiente residencial (VON TENNENBERG e GALAFASSI, 2019). A partir do objetivo de trabalho definido, foi escolhido um fluxo de trabalho paramétrico para a criação dos brises, que pudesse demonstrar a capacidade do software ao realizar análises bioclimáticas modificando-se os parâmetros para conseguir o modelo de brise ideal para determinada latitude.

Outras três pesquisas foram sequenciais e divididas em três partes, que trabalharam com a ideia de projetar elementos de obstrução solar para duas cidades com contextos climáticos diferentes e, portanto, com soluções de projeto diferentes. As três utilizaram a relação entre a modelagem paramétrica e os arquivos climáticos das cidades escolhidas, de maneira que se pudesse relacioná-los para buscar alternativas ao projeto.

A primeira delas optou pela utilização do diagrama de Voronoi combinado com o uso do elemento arquitetônico denominado Cobogó, uma espécie de protetor solar misto em escala menor que, além de auxiliar no controle da entrada de radiação e iluminação natural, permite a passagem da ventilação natural. A aluna pode trabalhar em soluções ao longo da criação do algoritmo, durante as experimentações no software Ladybug (BERNARDI e GALAFASSI, 2019). A segunda pesquisa utilizou um fluxo de trabalho paramétrico que auxiliasse no projeto de uma fachada que funcionasse como uma espécie de segunda pele de um edifício, também considerando duas cidades com contextos climáticos diferentes. Foi estabelecida a criação de um modelo de estudo representando um edifício comercial, com período de uso definido e com os mesmos critérios de obstrução para ambas as cidades: período da manhã e tarde, considerando uso comercial (MALBURG e GALAFASSI, 2021). Por fim, a terceira parte combinou as duas anteriores, criando uma fachada para um edifício residencial em duas cidades e utilizando os conceitos de Pontos Atratores, Diagrama de *Voronoi* e *Surface Morph*, sendo as “cavidades” controladas conforme a proximidade com os pontos determinados no plano (JASIOCHA, GALAFASSI e CARVALHO, 2023).

4.1.6 Ferramentas

Três pesquisas abordaram a utilização de ferramentas computacionais que servem de apoio ao processo de projeto. Duas pesquisas trataram da digitalização 3D, um processo utilizado para obter arquivos digitais a partir de objetos físicos.

A primeira abordou um estudo sobre tecnologias de digitalização tridimensional de média distância em arquitetura, utilizadas para se obter dimensões a partir de fotos de objetos que tenham ao menos algumas dimensões e ângulos conhecidos (CELANI e CANCHERINI, 2009). Foram digitalizadas algumas

esculturas buscando produzir miniaturas dessas obras, com diferentes tecnologias de digitalização 3D de curto e médio alcance, considerando o nível de iluminação do ambiente da digitalização e o material dos objetos a serem digitalizados.

A segunda pesquisa partiu do estudo dos estilos neocolonial brasileiro e colonial mexicano buscando aplicar técnicas de digitalização 3D para a produção de ornamentos para aplicar em maquetes de edifícios históricos (RODRIGUES, PUPO e CELANI, 2010). Foram realizados dois experimentos: o primeiro teve seu processo de digitalização baseado em fotografias de um capitel da coluna do edifício escolhido; o segundo utilizou um equipamento de digitalização a laser de curto alcance para um banco ornamental construído na fachada do edifício escolhido. A utilização de dois métodos permitiu que fossem observadas diferenças entre ambos com relação à facilidade de uso e à qualidade dos modelos digitais. Foi constatado que apenas equipamentos de digitalização a laser de curta distância podem ser utilizados para digitalizar elementos arquitetônicos com dimensões de até 1,5m de grandeza, com boa qualidade e praticamente prontos para serem impressos em 3D.

Por fim, com o objetivo de analisar uma ferramenta de projeto generativo incluída como *plugin* em um *software*, este trabalho elaborou um algoritmo para simular o posicionamento e a altura de um edifício para um determinado coeficiente de aproveitamento do terreno, considerando as edificações do entorno (WOLKART e MARTINO, 2021). Foram definidos componentes de entrada (dados variáveis, como a variação da base em função da altura do edifício e sua posição no terreno) e componentes de saída (metas e restrições, como maximizar ou minimizar a altura do edifício), que permitiu a execução de um algoritmo de síntese com as variáveis do projetista. A pesquisa concluiu que a ferramenta de projeto generativo do *Revit*, ao executar um estudo de projeto com base em um sistema generativo, se encaixa na área de estudo CAAD, no caso com um estudo de projeto gerado a partir de um código desenvolvido no *plugin Dynamo*.

4.1.7 Plano diretor

Considerando os parâmetros quantitativos nos quais se baseiam os Planos Diretores dos Municípios, uma pesquisa abordou o caráter qualitativo do processo projetual para criar um sistema gerador que incorporasse os parâmetros

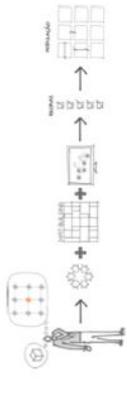
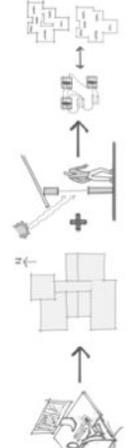
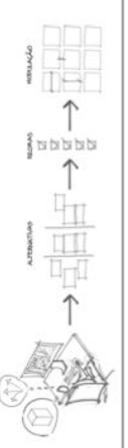
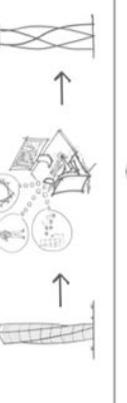
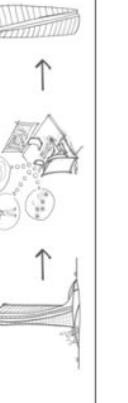
selecionados de um Plano Diretor, buscando possibilidades de aprimorar o aproveitamento do lote urbano (VELTEN e MARTINO, 2021).

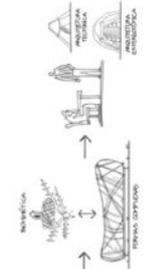
O trabalho partiu da ideia de desenvolver o processo de maneira sistematizada para que possa ser automatizado e auxiliar na geração de soluções. O foco foi o Sistema Generativo, levando em conta procedimentos, operações, variáveis e parâmetros necessários a fim de se obter outros resultados. O estudo apresentou o fato do Plano Diretor da região estudada não permitir uma grande variabilidade formal, o que foi um fator que não possibilitou a variação de formas dentro do sistema paramétrico, avaliado pelos algoritmos evolutivos.

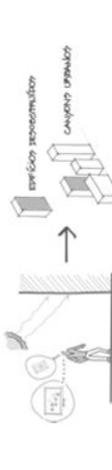
4.1.8 Matriz de relações de estratégias de pensamento

Os resultados das análises dos trabalhos de iniciação científica descritas acima, foram formatados em uma matriz, apresentada abaixo no Quadro 2:

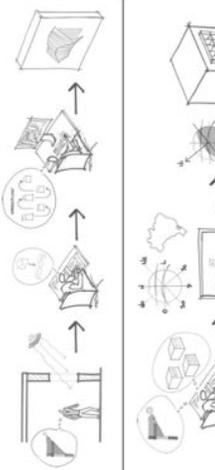
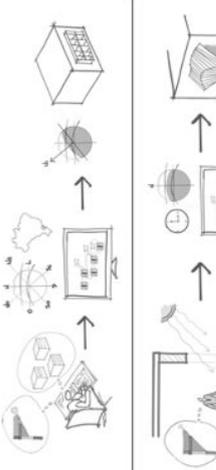
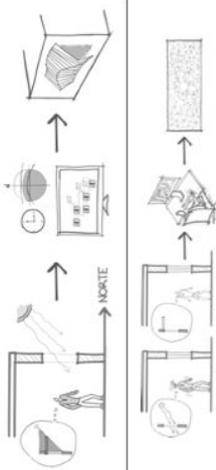
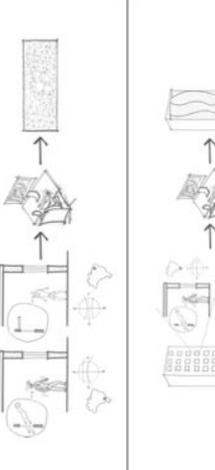
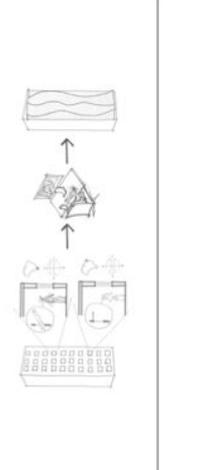
Quadro 2 – Matriz de relações de estratégias de pensamento

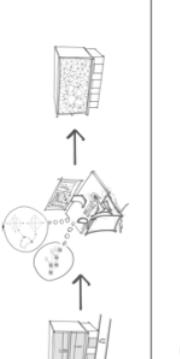
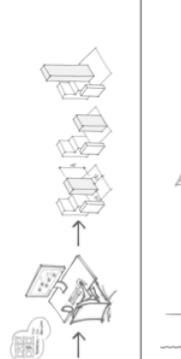
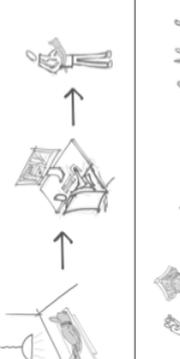
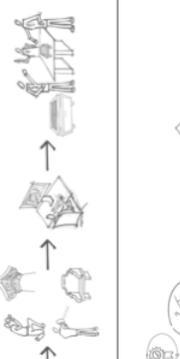
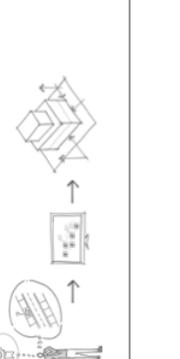
TÍTULO	OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO	PARÂMETROS	RACIOCÍNIO	ESTRUTURAÇÃO DO SABER	SMALL PICTURE
Auto-organização dos Edifícios do Centro de Artes: Estudo de Caso a partir dos Sistemas Generativos	Compreender e analisar os Sistemas Generativos como uma técnica sistematizada orientada por regras aplicada no desenvolvimento de projetos de Arquitetura e Urbanismo.	<ul style="list-style-type: none"> Processo de projeto - organização de modulação espacial aliada ao processo de criação projetual 	<ul style="list-style-type: none"> Dimensão e formato da célula Sentido e orientação do crescimento da célula Distância entre células Alinhamento das células 	<p>Utilizando o projeto arquitetônico do Centro de Artes da UFES e sua célula modular, utilizou-se o sistema generativo (estratégia de projeto <i>Multi-Building</i> e a geometria fractal) para comparar que as decisões de projeto baseadas em regras e modulação podem ser sistematizadas por meio de um sistema generativo não comuns nos currículos dos cursos de arquitetura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens do Projeto Generativo em Arquitetura e Urbanismo Teoria: geometria fractal, sistema <i>Multi-Building</i>, análise de projeto arquitetônico Técnica: identificação das regras que definem o método projetual do arquiteto, sistematização das regras e elaboração de desenhos espaciais mais responsáveis pela estruturação do algoritmo. Tecnologia: software de modelagem paramétrica 	
Geração de Layout: Space Planning aplicado ao Sistema Generativo com parâmetros em Conforto Ambiental	Reduzir o tempo gasto com a definição de posicionamento e organização do layout, utilizando o Space Planning como metodologia implementada ao computador a fim de, através de um sistema generativo, automatizar e otimizar este processo, além de torná-lo mais eficiente no aproveitamento dos recursos naturais para atingir o melhor conforto ambiental possível.	<ul style="list-style-type: none"> Processo de projeto - organização espacial de ambientes em um terreno considerando a melhor orientação solar 	<ul style="list-style-type: none"> Dimensões dos cômodos Orientação solar Perímetro do terreno Área útil do projeto Proximidade entre os cômodos 	<p>Considerando a utilização do processo de análise para locação dos ambientes (a teoria <i>Space Planning</i>) unida a um sistema generativo, procura organizar os cômodos de uma residência por meio das relações espaciais entre os mesmos e considerando os parâmetros relativos à melhor orientação solar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: organização espacial otimizada com Projeto Generativo Teoria: geometria da insolação, teoria <i>Space Planning</i> Técnica: busca de relações espaciais entre cômodos, maximização da área dos cômodos, minimização de área perdida, minimização da área livre no terreno, otimização da orientação solar Tecnologia: software de modelagem paramétrica 	
Modulação dos CEMUNIS: Estudo de Caso a partir dos Sistemas Generativos	Identificar a metodologia de projeto adotada para a criação dos edifícios do Centro de Artes da UFES, Campus Goiabeiras.	<ul style="list-style-type: none"> Processo de projeto - interpretação da metodologia do processo projetual por meio de vocabulário básico e regras de transformação da forma - possibilidade de replicar o processo em um sistema generativo 	<ul style="list-style-type: none"> Dimensão e posicionamento das células Alinhamento das células Modulação Posição dos pilares Dimensões de portas e janelas 	<p>A partir do projeto arquitetônico do Centro de Artes da UFES, buscou na gramática desenvolvida pelo arquiteto Andréa Palladio a exploração da planta baixa para encontrar outras alternativas. A partir de uma análise visual do projeto, foram identificados padrões existentes, em seguida esse padrões foram inseridos em um software paramétrico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: aplicação de sistemas generativos para identificação da modulação espacial de projeto Teoria: gramática da forma, sistema generativo Técnica: identificação de um vocabulário básico de formas, de um conjunto de regras de transformação dessas formas e da forma inicial. Tecnologia: software de modelagem paramétrica 	
Investigação acerca da lógica projetual em projetos arquitetônicos que utilizaram modelagem paramétrica	Compreender a lógica e o processo projetual do arquiteto, considerando o projeto de uma edificação desenvolvida por meio de softwares paramétricos.	<ul style="list-style-type: none"> Processo de projeto - lógica projetual 	<ul style="list-style-type: none"> Formas não convencionais Geometria da forma 	<p>Estudar a lógica projetual de um edifício projetado por meio de softwares de modelagem paramétrica para poder reproduzir sua forma baseada na compreensão pessoal do aluno. Foi estudado o processo projetual do arquiteto e a melhor maneira de organizar os parâmetros para reproduzir o desenho. No decorrer do processo outras ideias foram colocadas em prática baseadas no desenvolvimento da ideia inicial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens da modelagem paramétrica para compreensão da lógica de projeto Teoria: geometria, lógica projetual Técnica: modelagem 3D, programação visual Tecnologia: software de modelagem paramétrica 	
Investigação sobre o processo de projeto em edificações que utilizaram modelagem paramétrica - parte 1	Identificar a lógica projetual no processo de projeto arquitetônico que utiliza modelagem paramétrica.	<ul style="list-style-type: none"> Processo de projeto - lógica projetual 	<ul style="list-style-type: none"> Formas não convencionais Geometria da forma Altura Exo de rotação 	<p>O estudo da lógica de concepção projetual por meio de esquemas gráficos elaborados à mão, considerando um edifício de formas não convencionais elaborado por meio de modelagem paramétrica. Níveis de matemática foram importantes na compreensão de como utilizar os parâmetros encontrados na análise do projeto, para que fosse reproduzido pelo aluno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens da modelagem paramétrica para compreensão da lógica de projeto Teoria: geometria, lógica projetual Técnica: modelagem 3D, programação visual, transformação geométrica Tecnologia: software de modelagem paramétrica 	

TÍTULO	OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO	PARÂMETROS	RACIOCÍNIO	ESTRUTURAÇÃO DO SABER	SMALL PICTURE
Reflexões sobre o processo de projeto em edificações que utilizaram modelagem paramétrica - parte 2	Identificar a lógica projetual no processo de projeto arquitetônico que utiliza modelagem paramétrica.	Processo de projeto - lógica projetual	<ul style="list-style-type: none"> Formas não convencionais Geometria da forma Eixo de rotação Efeito domínio 	<p>A partir de desenhos e esquemas feitos à mão, foi definida a maneira como a forma seria desenvolvida e quais parâmetros seriam utilizados. A reprodução destas esquemas no software de modelagem paramétrica foi realizada seguindo o modelo inicial e desenvolvida à medida que o algoritmo era gerado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens da modelagem paramétrica para compreensão da lógica de projeto Teoria: geometria, lógica projetual Técnica: desenho à mão, modelagem 3D, programação visual Tecnologia: software de modelagem paramétrica 	
Reflexões sobre o processo de projeto em edificações que utilizaram modelagem paramétrica - parte 3	Identificar a lógica projetual no processo de projeto arquitetônico que utiliza modelagem paramétrica.	Processo de projeto - lógica projetual	<ul style="list-style-type: none"> Formas não convencionais Geometria da forma Eixo de rotação Elemento da natureza como inspiração formal 	<p>Reproduzir um edifício com formas não convencionais dentro de software de modelagem paramétrica a partir da interpretação do processo do arquiteto por meio de esquemas gráficos; os parâmetros foram definidos e o algoritmo foi criado. Na sequência, a partir de uma forma da natureza utilizada como metáfora, foi criado um algoritmo para gerar uma nova forma.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens da modelagem paramétrica para compreensão da lógica de projeto Teoria: conceito de superfícies mínimas, geometria, lógica projetual Técnica: Identificar os princípios de trabalho da natureza tomados como estratégias para práticas de design generativo, modelagem 3D, programação visual Tecnologia: software de modelagem paramétrica 	
Biomimética e representação gráfica: abordagem integrada ao processo projetual em arquitetura	Avançar na proposição de aplicação de atividades que promovam momentos didáticos de investigação das geometrias complexas da arquitetura, em especial as da natureza, e sua representação por modelagem paramétrica e fabricação digital.	Ensino de projeto - propor atividades de ateliê por meio da relação entre Biomimética, arquitetura técnica e arquitetura Estereotômica e a natureza (sua estrutura e forma)	<ul style="list-style-type: none"> Arquitetura técnica Arquitetura estereotômica Geometria dos elementos da natureza (galhos das árvores, asa da abelha, concha marinha) 	<p>A partir da identificação de alguns elementos da natureza e da geometria deles, estes foram relacionados com objetos arquitetônicos e comparados com os conceitos de arquitetura técnica e estereotômica para ensino em sala de aula.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: Investigação da relação entre Biomimética, geometria e arquitetura Teoria: Biomimética, processo projetual, teoria da arquitetura técnica, teoria da arquitetura estereotômica, geometria, sistemas estruturais Técnica: sistematização da relação entre a evolução da natureza e a geometria, estudos de caso, método de projeto, relação com os conceitos de Técnica e Estereotômica, representação gráfica Tecnologia: processo de revisão bibliográfica 	
A Prototipagem Rápida no Processo de Produção de Maquetes de Arquitetura	Produzir maquetes de diferentes tipos e escalas para analisar capacidades, limitações e as vantagens de cada produção em relação a tempo, dificuldade de produção, uso dos materiais, custo, nível de precisão e a qualidade do modelo para o estudo que se deseja.	Ensino de projeto - ferramentas digitais	<ul style="list-style-type: none"> Escolha das máquinas - custo e logística Tipo de modelo 3D Tipo de material Escala de impressão 	<p>Escolher edificações para serem digitalizadas e impressas por meio de prototipagem rápida, procurando por materiais mais adequados, por ajuste de escala para impressão e sem restrições geométricas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens da Prototipagem Rápida na produção de maquetes físicas de arquitetura Teoria: confecção de maquetes, computação gráfica Técnica: impressão 3D, modelagem 3D, maquete física, estudos de caso Tecnologia: computação gráfica, teoria do duplo aspecto (democratização e tecnologia) 	
Maquetes de papel com o uso da cortadora a laser	Propiciar os meios para unir a modelagem tridimensional à produção de maquetes por meio do uso da cortadora a laser.	Ensino de projeto - construção de maquetes físicas aliadas às ferramentas digitais	<ul style="list-style-type: none"> Materiais Camadas Planificação de volumes 	<p>Foram escolhidos algumas edificações para serem digitalizadas e impressas em uma cortadora a laser. A impressão pôde ser feita em escalas diferentes para utilização em sala de aula considerando o uso de maquetes para o ensino de arquitetura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens do uso de cortadora a laser na produção de maquetes físicas de arquitetura Teoria: computação gráfica, fabricação digital, fundamentos da teoria de corte, lógica estrutural da máquina a laser Técnica: subtração bolsona, sobreposição de camadas, planificação de volumes, montagem de arquivo para operação da máquina a laser, estudo de caso, maquete física Tecnologia: software gráfico, máquina de corte laser 	

TÍTULO	OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO	PARÂMETROS	RACIOCÍNIO	ESTRUTURAÇÃO DO SABER	SMALL PICTURE
Design paramétrico e simulação luminica associados a algoritmos genéticos evolutivos	Produzir objeto de aprendizagem com foco nos processos de parametrização e sistemas generativos para a criação de aberturas luminosas em vista o conforto ambiental adaptado desse comissão a plataforma digital TEAR_AD desenvolvida pelo Hyperlab, de modo que os usuários da rede tenham acesso ao conteúdo e possam desenvolver suas habilidades.	<ul style="list-style-type: none"> Ensino de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> Elementos de proteção solar Orientação Forma Dimensões 	Criouse um conteúdo digital para ser disponibilizado em uma plataforma digital de aprendizagem, considerando a usabilidade deste objeto de aprendizagem e um conteúdo específico relacionado ao projeto de arquitetura, no caso os requisitos de conforto luminoso.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: ensino de otimização de aberturas para ganho da iluminação natural com software de modelagem paramétrica, simulação computacional e algoritmos evolutivos Teoria: geometria da insolação, modelagem paramétrica, algoritmo evolutivo Técnica: modelagem paramétrica do ambiente, simulação de iluminação natural, otimização das aberturas Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica, softwares de simulação computacional de iluminação natural, softwares de sistemas 	
Algoritmização do projeto arquitetônico em BIM: uma aplicação na indústria de banheiros pré-fabricados	Obter uma maior integração entre a arquitetura e a indústria durante a fase de projeto, utilizando a indústria de banheiros pré-fabricados como estudo de caso.	<ul style="list-style-type: none"> Gestão e Tecnologia de Projetos 	<ul style="list-style-type: none"> Layout Dimensões (alturas, larguras, distâncias) Parâmetros de vedação (internos e externos) 	Para criar uma interação maior entre a tecnologia BIM e a indústria da construção civil, criou-se um fluxo de trabalho paramétrico para encontrar opções de desenho e montagem para um banheiro pré-fabricado, possibilitando automatizar processos e diminuir o retrabalho, de maneira a gerar ganho financeiro e diminuir o tempo.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: geração automatizada em BIM Teoria: geração de layout baseada em regras, geometria Técnica: valoração das variáveis do fluxo de trabalho, atribuição de semântica associada a cada objeto com elementos construtivos em BIM, criação de desenho para fabricação Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica, BIM 	
Medição e Simulação Computacional da Radiação Incidente em Fachadas e Canteiros Urbanos na Cidade de Balaieiro Camboriú	Mapear através de medições e simulações computacionais a radiação solar incidente em canteiros urbanos significativos da cidade de Balaieiro Camboriú.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído - análise de Conforto Ambiental no ambiente urbano e edificado 	<ul style="list-style-type: none"> Orientação solar Área de fachada enviaçada Radiação incidente 	Utilizando simulação computacional com softwares paramétricos e medições in-loco (para efeito comparativo), levantou-se a radiação incidente nas fachadas dos edifícios desobstruídos da influência do entorno e também com a presença de outras edificações.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: radiação solar incidente em fachadas de edifícios em canteiros urbanos Teoria: geometria da insolação, desempenho luminoso, morfologia urbana Técnica: medição in-loco, simulação digital do desempenho luminoso, modelagem 3D Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica 	
Análise da Admissão e Distribuição de Luz Natural em Edificações Localizadas em Canteiros Urbanos na Cidade de Florianópolis	Avaliar a admissão e distribuição de luz natural em ambientes internos de edifícios situados em canteiros urbanos baseados na morfologia do centro da cidade de Florianópolis.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído - análise de Conforto Ambiental no ambiente urbano e edificado 	<ul style="list-style-type: none"> Alasamentos (frontal e lateral) Orientação solar Configuração urbana Posição do pavimento Trajectoria solar 	A partir de modelos considerados genéricos na configuração urbana de Florianópolis, buscou-se a avaliação da radiação solar incidente nas fachadas e em um ambiente de estudo, utilizando softwares paramétricos.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: radiação solar incidente em fachadas de edifícios e ambientes internos em canteiros urbanos Teoria: geometria da insolação, desempenho luminoso, morfologia urbana, tipologia arquitetônica Técnica: modelagem 3D, simulação computacional Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica, softwares de simulação de incidência solar 	
Emprego de Algoritmos Evolutivos para Otimização da Admissão e Distribuição da Luz Natural em Edificações em Canteiros Urbanos Considerando o Clima de Florianópolis	Otimizar através do emprego de algoritmos evolutivos, a admissão e distribuição da luz natural em edificações localizadas em canteiros urbanos, considerando o clima Florianópolis.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído - análise de Conforto Ambiental no ambiente urbano e edificado 	<ul style="list-style-type: none"> Configuração urbana Formas e dimensões Alasamentos frontal e lateral Orientação solar 	Considerando a configuração morfológica da cidade de Florianópolis, buscou-se a melhor solução para a admissão e distribuição da luz natural nos edifícios, utilizando um sistema generativo.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: radiação solar incidente em fachadas de edifícios em canteiros urbanos Teoria: geometria da insolação, desempenho luminoso, morfologia urbana Técnica: simulação computacional, uso de algoritmos evolutivos, desempenho luminoso Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica, softwares de simulação computacional, softwares de algoritmos evolutivos 	

TÍTULO	OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO	PARÂMETROS	RACIOCÍNIO	ESTRUTURAÇÃO DO SABER	SMALL PICTURE
Fabricação Digital e sua aplicação no corte de formas de concreto: um exercício de produção	Estudar a aplicação de uma nova tecnologia de fabricação digital para a execução do edifício: produção de formas para concreto com formas complexas dinamicamente a partir de modelos geométricos digitais.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação 	<ul style="list-style-type: none"> Modelagem de um sólido Planificação do sólido Protótipo 	Considerando as vantagens da modelagem paramétrica na produção de formas complexas, buscou-se a criação de uma forma modelada em software CAD, para em seguida utilizar o artCAM e o Matc3 para a programação e a montagem do processo de corte. Um protótipo de papelão serviu para acompanhar o processo de montagem para a forma final.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens da modelagem paramétrica na produção de formas complexas Teoria: computação gráfica, programação visual e montagem do processo de corte Técnica: modelagem 3D (por manipulação de superfícies), uso de protótipo de papelão com dobradura e colagem Tecnologia: software CAD, artCAM e Matc3 	
Avaliação de Desempenho de Elementos de Controle Solar Dinâmicos	Avaliar a admissão de radiação solar e o desempenho luminoso de elementos de controle solar dinâmicos, desenvolvidos com modelagem paramétrica.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Profundidade das aberturas Ângulo das aberturas Orientação solar Incidência da radiação solar seu desempenho luminoso. 	A partir da necessidade de criação de elementos de controle solar dinâmicos, foram utilizados softwares de modelagem paramétrica, criaram-se 3 modelos de elementos de controle solar, estes foram avaliados considerando a entrada de radiação solar e seu desempenho luminoso.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: criação de elementos de obstrução solar dinâmicos Teoria: geometria da insolação e desempenho luminoso Técnica: criação de modelos de elementos de controle solar (modelagem 3D e programação visual), simulação digital de desempenho luminoso Tecnologia: software de modelagem paramétrica, software de simulação computacional 	
Simulação Computacional da Radiação Solar em Fachadas	Testar a ferramenta computacional de simulação Autodesk Ecotect Analysis quanto a suas possibilidades de simulação da radiação solar em edifícios, avaliando a confiabilidade dos dados fornecidos nas simulações e a usabilidade da sua interface.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Trajectoria solar Orientação Período (hora, dia, mês) 	Foi elaborado um modelo para análise, considerando suas faces para várias orientações, a fim de comparar softwares quanto a confiabilidade dos dados de radiação solar incidente.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: simulação da incidência de radiação solar em fachadas Teoria: geometria da insolação, análise climática Técnica: modelagem 3D, programação visual, simulação computacional, tratamento e comparação de dados Tecnologia: software de simulação computacional 	
Emprego de Modelagem Paramétrica na produção de Elementos de Controle Solar para Fachadas de Edificações Energicamente Eficientes	Testar o emprego de modelagem paramétrica na produção digital de elementos de controle solar, utilizando a suite de aplicativos Rhinoceros 3D com o plugin Grasshopper.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Trajectoria solar Orientação dos elementos de proteção Direção dos elementos de proteção Espessura dos elementos de proteção Profundidade dos elementos de proteção 	Foram avaliados elementos de controle solar produzidos com modelagem paramétrica, considerando a capacidade de sombreamento que possuem, o desempenho luminoso de cada um deles e sua geometria. Estes foram modelados conforme a possibilidade de serem adaptados em função da trajetória solar para bloquear ou permitir a entrada de radiação solar.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: elaboração de elementos de controle solar Teoria: compreensão do desempenho luminoso de materiais, geometria da insolação, modelagem paramétrica, eficiência energética nas edificações Técnica: modelagem 3D, programação visual, uso de diagrama solar Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica 	
Estudo de otimização de coberturas responsivas à insolação através da parametrização	Demonstrar o uso das ferramentas de parametrização e como estas permitem soluções eficientes e otimizadas em geometrias complexas.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Ganho térmico Orientação Área Permeabilidade visual 	Com a intenção de produzir uma cobertura que respondesse às condicionantes de insolação, foram utilizados softwares de modelagem paramétrica para projetar uma cobertura assimétrica. Por meio do método de triangulação, foram geradas superfícies triangulares independentes para serem aplicadas na cobertura podendo otimizar os parâmetros de ganho térmico.	<ul style="list-style-type: none"> Tema: criação de coberturas responsivas à incidência solar Teoria: geometria da insolação, geometria Técnica: método de triangulação de superfícies, geração de superfícies assimétricas Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica, softwares de simulação computacional 	

TÍTULO	OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO	PARÂMETROS	RACIOCÍNIO	ESTRUTURAÇÃO DO SABER	SMALL PICTURE
Desenvolvimento de um fluxo de trabalho para dimensionamento de elementos de obstrução solar, utilizando softwares de modelagem paramétrica	Criar um fluxo de trabalho que possa auxiliar o dimensionamento de elementos de obstrução solar utilizando softwares paramétricos, definindo parâmetros de base para a sua criação, identificando possíveis desenhos de projeto de elementos de obstrução solar.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Forma dos elementos de proteção Largura dos elementos de proteção Altura dos elementos de proteção Profundidade dos elementos de proteção 	<p>A fim de criar elementos de obstrução solar em uma edificação, foi utilizado software de modelagem paramétrica para manipular parâmetros, considerando o dimensionamento destes elementos. O desenho da forma em 2D demonstrou a intenção do projeto, para depois serem inseridos os parâmetros que gerassem a forma tridimensional.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: geração e dimensionamento de elementos de obstrução solar Teoria: geometria da insolação, modelagem paramétrica, método Workflow Técnica: desenho à mão, uso de diagrama solar, modelagem 3D, programação visual Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica 	
Aplicação prática e desenvolvimento de elementos de obstrução solar com o auxílio de softwares que utilizam modelagem paramétrica	Identificar possibilidades de mascaramento para diferentes orientações solares considerando a intenção de proteger aberturas da entrada de radiação solar em 50%.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Orientação solar Arquivo climático Largura dos elementos de proteção Altura dos elementos de proteção Profundidade dos elementos de proteção 	<p>A partir dos tipos de brises mais utilizados (horizontais, verticais e mistos), estes elementos foram analisados com a intenção de encontrar os mais adequados para diferentes orientações solares. Dois modelos para cada orientação foram gerados, partindo de esquemas gráficos feitos à mão, verificando a eficiência de cada um por meio de softwares de modelagem paramétrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: mascaramento de aberturas para diferentes orientações geográficas Teoria: leitura de arquivos climáticos, geometria da insolação, modelagem paramétrica Técnica: uso de diagrama solar, desenho à mão, modelagem 3D, programação visual Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica 	
Aplicação prática de um fluxo de trabalho paramétrico em projeto bioclimático	Aplicar um fluxo de trabalho para dimensionamento de elementos de obstrução solar utilizando softwares paramétricos em projeto arquitetônico.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Arquivo climático Largura dos elementos de proteção Altura dos elementos de proteção Profundidade dos elementos de proteção 	<p>Considerando uma situação de projeto para obter a entrada de radiação solar entre 10h e 15h na orientação Norte, para uma determinada cidade, foi utilizado um fluxo de trabalho paramétrico que gerasse soluções de elementos de obstrução solar. Diante as alternativas encontradas, foi definida uma forma irregular e assimétrica que correspondesse aos requisitos de pesquisa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: dimensionar elementos de obstrução solar para uma situação específica de projeto Teoria: geometria da insolação, análise climática, modelagem paramétrica Técnica: uso de diagrama solar, modelagem 3D, programação visual Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica 	
Aplicação prática de um fluxo de trabalho paramétrico em projeto arquitetônico para cidades com diferentes contextos bioclimáticos - parte 1	Dimensionar elementos de obstrução solar para duas cidades com características climáticas diferentes, utilizando um fluxo de trabalho paramétrico.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Arquivo climático Largura dos elementos de proteção Altura dos elementos de proteção Profundidade dos elementos de proteção 	<p>Foram combinados o elemento arquitetônico Cobogó e a estratégia matemática do Diagrama de Voronoi para criar elementos de obstrução solar, considerando a criação de um único algoritmo que atendesse situações de projeto diferentes para duas cidades com características climáticas opostas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: dimensionar elementos de obstrução solar para duas cidades com diferentes situações climáticas Teoria: geometria da insolação, análise climática, modelagem paramétrica Técnica: combinação de elementos geométricos matemáticos, modelagem 3D, programação visual Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica 	
Aplicação prática de um fluxo de trabalho paramétrico em projeto arquitetônico para cidades com diferentes contextos bioclimáticos - parte 2	Aplicar um fluxo de trabalho para projetar uma fachada para duas cidades com características climáticas diferentes.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Arquivo climático Largura dos elementos de proteção Altura dos elementos de proteção Profundidade dos elementos de proteção Forma do elemento de proteção Ambiente modelo 	<p>Para dois modelos de edificações que possuem as mesmas características funcionais e necessitam de obstrução solar, mas apresentam contextos climáticos opostos, foi desenhada uma segunda fachada utilizando os mesmos parâmetros mas variando a forma. Os arquivos climáticos mostraram quais os horários de entrada de radiação solar mais indesejáveis e que necessitavam de mais atenuação para o bloco.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: dimensionar elementos de obstrução solar para duas cidades com diferentes situações climáticas Teoria: geometria da insolação, análise climática, modelagem paramétrica Técnica: uso de diagrama solar, modelagem 3D, programação visual Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica 	

TÍTULO	OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO	PARÂMETROS	RACIOCÍNIO	ESTRUTURAÇÃO DO SABER	SMALL PICTURE
<p>Aplicação prática de um fluxo de trabalho paramétrico em projeto arquitetônico para cidades com diferentes contextos bioclimáticos - parte 3</p>	<p>Aplicar um fluxo de trabalho em projeto arquitetônico para dimensionamento de elementos de obstrução solar por meio de softwares paramétricos.</p>	<p>Projeto e Tecnologia da Edificação - análise de Conforto Ambiental</p>	<ul style="list-style-type: none"> Arquivo climático Largura dos elementos de proteção Altura dos elementos de proteção Profundidade dos elementos de proteção Forma do elemento de proteção Ambiente modelo 	<p>Foi trabalhada uma ficha de parâmetros que pudesse concentrar os conceitos de Pontos Atadores, Diagrama de Voronoi e <i>Surfaces Morph</i>, considerando a admissão (ou não) de radiação solar em um ambiente modelo. A partir dos dados climáticos, os parâmetros foram sendo alterados de maneira a buscar uma composição plástica e técnica que fosse adequada para duas cidades com climas diferentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: dimensionar elementos de obstrução solar para duas cidades com diferentes situações climáticas Teoria: geometria de inolação, análise climática, conceitos matemáticos, modelagem paramétrica Técnicas: sistema de Pontos Atadores, Diagrama de Voronoi, <i>Surfaces Morph</i>, modelagem 3D, programação visual Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica 	
<p>Análise da ferramenta Projeto Generativo do programa Dynamo/Autodesk Revit 2021</p>	<p>Analisar a ferramenta de Projeto Generativo existente no programa Autodesk Revit® 2021 e incluir no plugin Dynamo 2.5, a fim de averiguar se ela efetivamente contribui para a estruturação de sistemas generativos de projeto de maneira coerente com a definição conceitual adotada na área de estudo Computer Aided Architectural Design (CAAD).</p>	<p>Ferramentas - utilização de uma nova ferramenta digital</p>	<ul style="list-style-type: none"> Posição do edifício no terreno Altura do edifício Coefficiente de aproveitamento do terreno 	<p>A partir de um estudo de caso com parâmetros já definidos, verificou-se a condição de uma nova ferramenta digital executar um projeto generativo buscando melhores soluções de ocupação de lote.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens do projeto generativo na busca de soluções de projeto Teoria: conceitos de projeto digital, Sistemas Generativos, análise de índices urbanísticos, morfologia urbana Técnicas: pesquisa teórica, modelagem 3D, programação visual Tecnologia: software de modelagem paramétrica, software de sistemas generativos 	
<p>Digitalização tridimensional de objetos: um estudo de caso</p>	<p>Reunir informações que subsidiarão a futura aquisição de um equipamento de digitalização 3D para o Laboratório de Automação e Protótipagem para Arquitetura e Construção, LAPAC, da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).</p>	<p>Ferramentas - digitalização 3D</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fotografia Nível de iluminação do ambiente Distância 	<p>A partir de um estudo exploratório sobre tecnologias de digitalização tridimensional, foram analisadas técnicas fotogramétricas para digitalizar objetos de arte e imprimi-los.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: tecnologia de digitalização tridimensional para aplicação em arquitetura Teoria: tecnologias de digitalização 3D Técnicas: estudo de caso, luz estruturada, calibração de fundo, marcadores óticos, estereopar, técnica por contato, técnica sem contato, estudo exploratório Tecnologia: digitalização 3D, software Photomodeler, impressão 3D 	
<p>A digitalização 3D e a prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de edifícios históricos: o uso de técnicas de curto alcance para a produção de ornamentos arquitetônicos para maquetes</p>	<p>Contribuir para o desenvolvimento de métodos de produção de maquetes de ornamentos de edifícios históricos com o uso de tecnologias digitais.</p>	<p>Ferramentas - digitalização 3D</p>	<ul style="list-style-type: none"> Coordenadas geométricas do modelo Tamanho do objeto Pontos para orientar a planificação 	<p>A partir do estudo de estilos arquitetônicos foram feitos levantamentos digitais (fotográfico e com laser) de determinados elementos arquitetônicos. Estes foram transferidos para o software. Digitalizados e impressos em escala por meio de prototipagem rápida em impressora 3D.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: produção de maquetes de edifícios históricos Teoria: estudo de estilos arquitetônicos, técnicas de fotografia Técnicas: levantamento fotográfico, processo de digitalização 3D por fotografia e o laser de curto alcance, estudo de caso, maquete física Tecnologia: digitalização 3D, impressão 3D 	
<p>A parametrização no processo projetual: síntese do código</p>	<p>Criar um sistema gerador que incorpore os parâmetros selecionados do Plano Diretor Urbano, referentes à Zona de Parque Tecnológico, Vitória: ES, para criar possibilidades de aprimorar o aproveitamento do lote urbano.</p>	<p>Plano Diretor - parametrizando opções de ocupação do lote para conseguir melhor qualidade na forma arquitetônica</p>	<ul style="list-style-type: none"> Altura do pé-direito Número de pavimentos Recuo lateral Área máxima de projeção 	<p>Considerando os parâmetros do Plano Diretor de um Município, foi utilizado software de modelagem paramétrica para desenhar a forma geral da edificação no lote. Os parâmetros podem ser alterados para que se consiga atingir maior geração de soluções e aproveitamento do terreno</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tema: vantagens do projeto generativo na busca de soluções de projeto Teoria: sistema Gerativo, índices urbanísticos, morfologia urbana Técnicas: modelagem do edifício no lote segundo índices do Plano Diretor, desenvolvimento do edifício com blocos independentes (base e corpo da edificação) Tecnologia: softwares de modelagem paramétrica e sistema Gerativo 	

4.2 2º E 3º CICLOS DA FASE DE PROCESSAMENTO - ANÁLISE DOS EXERCÍCIOS

Os exercícios foram criados tendo como base os trabalhos de Iniciação Científica analisados. Procurou-se incorporar os diversos temas em questões que explorassem apenas o pensamento (tanto projetual quanto de processo), desconsiderando por hora qualquer produção técnica e criativa.

Com isso, os seis exercícios criados (descritos no capítulo Metodologia) puderam ser aplicados visando extrair como resultados a maneira de pensar do aluno, focando especialmente no pensamento paramétrico. O 2º Ciclo, referente ao desenvolvimento inicial dos exercícios, foi descrito no capítulo anterior. Neste capítulo, o 3º Ciclo será analisado de acordo com as respostas dos alunos para cada exercício, considerando o período em que cada um se encontra dentro do curso de Arquitetura e Urbanismo.

4.2.1 Exercício 1 - análise de terreno e edificação

Baseado nas questões de ocupação de lotes e parâmetros quantitativos de Plano Diretor, este exercício buscou provocar nos alunos a questão qualitativa do projeto, considerando a análise de um terreno e edificação.

Esta é uma questão importante para ser considerada quando trabalha-se com o mercado imobiliário, onde o investidor deseja obter o máximo de aproveitamento construtivo visando maior lucro financeiro. No entanto, pode ocorrer que os requisitos estabelecidos pelas leis municipais e a especulação imobiliária causem danos à qualidade arquitetônica, visto que essas variáveis podem limitar o processo criativo em função dos parâmetros quantitativos. Ao se discutir as melhores alternativas para a cidade do ponto de vista do espaço projetado e da qualidade espacial gerada, podem resultar situações que não sejam favoráveis ao mercado.

Os alunos dos períodos iniciais não possuem um conhecimento aprofundado sobre o processo de projetar e para trabalhar com normas. O início do curso promove uma liberdade criativa maior, fomentada pela exploração da percepção do aluno e pelo sentir o entorno, como pode ser percebido na resposta abaixo:

“Cada lote e edificação possuem suas particularidades devido ao entorno imediato, o solo e outros fatores. Dessa maneira, a partir da análise do local levando em consideração os parâmetros, a segurança, o conforto e a saúde das pessoas que irão circular no edifício é possível adequar o projeto com formatos e tamanhos para que se torne eficaz diante dos fatores citados.” (A2)

Ou então considerando o que descrito anteriormente, que a sensação que o mercado passa é a de que deve-se ocupar o máximo para não ocorrer prejuízo em relação ao investimento realizado:

“Dependendo da área de projeção podemos começar a trabalhar em taxa de aproveitamento, assim aproveitando o máximo nosso lote não só em largura, mas também em altura.” (A1)

Dentro da faixa intermediária do curso, os parâmetros quantitativos determinados pela lei são considerados, embora a criatividade ainda seja um ponto importante:

“O primeiro passo seria adicionar todos os recuos e ver qual a taxa de ocupação daquele espaço, para conseguir obter qual a área total em que poderá ser feita a construção. A partir desse dado, é possível deixar a criatividade agir, ir transformando a forma principal do terreno, até encontrar a que mais se adapte ao projeto, sempre pensando na maior utilização possível do espaço em estudo.” (A3)

Mesmo quando colocados como uma espécie de delimitadores (como no caso dos Planos Diretores, por exemplo), os parâmetros são úteis para o processo de concepção mesmo com alunos das fases iniciais. Talvez pela experiência ainda bastante embrionária com o processo projetual (e praticamente com a inexistência de um estilo próprio) os alunos necessitem de elementos que balizem e guiem suas decisões.

Na medida que avançam, entretanto, parecem existir outras convicções (que inicialmente parecem utópicos) que norteiam o processo.

“Partindo da perspectiva de uma edificação funcional [...] é possível variar tanto sua forma, fachada e composição, as quais podem transformar tanto a própria edificação quanto seu entorno. Fugindo dos padrões de ocupar toda a área possível no terreno, podemos utilizar de maiores recuos em determinados pavimentos, assim como avanços em outros, o que poderia favorecer a criação de novos pavimentos, já que não estaremos utilizando a área máxima construída. Além disso, é possível criar pavimentos vazados que permitam passagem de ventilação, dando uma nova cara

às edificações padrões [...] compor suas fachadas com novos materiais e tecnologias, com brises externos, painéis e jardins verticais.” (A4)

Percebe-se que questões relacionadas ao conforto ambiental aparecem com ênfase nas respostas dos alunos das fases finais. Mesmo existindo o conteúdo desde as fases iniciais do curso, é nesta etapa que tais requisitos são cobrados de maneira mais contundente e isto se reflete na concepção formal dos trabalhos.

“A coleta de dados dos parâmetros observados são de direta interferência ao traçado da proposta, assim é possível dar início à uma sequência de possíveis variantes de projeto, alternativas e opções [...] além desses buscaria levar em consideração fatores climáticos, topográficos e vegetações existentes, para observar diretrizes que podem ser totalmente relevantes na criação do projeto [...]” (A5)

As respostas obtidas com alunos que realizaram pesquisas de iniciação científica (principalmente no que se refere ao pensar paramétrico) foram mais completas. É provável que o fato de terem trabalhado com modelagem paramétrica no projeto de pesquisa tenha influenciado no pensamento e também na lógica para lidar com parâmetros. O trecho abaixo ilustra esta premissa:

“Esses parâmetros podem ser combinados entre si por meio de relações matemáticas simples e cada uma dessas combinações reflete em um resultado diferente na forma edificada, que pode ser obtido através de testes cruzando os dados dos índices urbanísticos.” (A7)

Neste outro trecho isto ficou ainda mais evidente, sendo considerado inclusive o *software* a ser utilizado:

“Tendo em vista o uso da modelagem paramétrica no planejamento urbano, as ferramentas de apoio são cada vez mais importantes para que o projetista consiga se deparar com inúmeras possibilidades e escolher a melhor opção para seu projeto. No caso do planejamento urbano, como se trata na maioria das vezes de grandes áreas, os softwares paramétricos têm a capacidade de calcular fórmulas rapidamente e abre um campo de experimentações onde se pode investigar formas mais complexas e modificá-las. No caso do lote mostrado no exemplo, seria necessário trabalhar com o software rhinoceros juntamente com o plugin ladybug, utilizado devida sua facilidade e capacidade de fazer variações nos mesmos comandos, alterando apenas os parâmetros e otimizando o tempo.” (A6)

Ainda na resposta de A6, parece existir um envolvimento ainda maior com a modelagem paramétrica dada a sequência descrita do pensamento para solução do problema apresentado:

“O primeiro passo seria a projeção do lote, com suas dimensões. Posteriormente seria necessário calcular um recuo e afastamento mínimo para que a construção não ultrapasse estes limites, o mesmo se aplica com a taxa de ocupação e o índice de aproveitamento. Finalizado os cálculos é dado início ao projeto pelo ladybug, implantando pilhas conectadas ao volume central acima do lote criado com o software rhinoceros [...] este volume representa o edifício que irá sofrer modificações paramétricas. O primeiro parâmetro a ser implantado são os recuos e afastamento [...] através da pilha que mostra as dimensões deste modelo, é possível delimitar um tamanho máximo e mínimo indicando a direção que pode aumentar e diminuir, selecionando as faces do modelo que deseja mudar. Feito isso, é possível replicar este modelo verticalmente, para calcular a altura do edifício. Na pilha deste parâmetro é implantada a variação máxima que este edifício pode alcançar em metros, utilizando como pé direito a altura de 3 metros. Estes parâmetros podem ser implantados tendo em vista diversos edifícios de uma vez só [...] basta selecioná-los e posteriormente conectar com os parâmetros já indicados pelo plano diretor da cidade, assim, todos os edifícios sofrem alteração simultânea e em tempo reduzido, aumentando a qualidade do projeto, visto que os parâmetros são exatos.” (A6)

Tal resposta poderia ser vista como alguém dependente do software por utilizá-lo como norteador do processo. No entanto, o pensamento está vinculado ao conhecimento e domínio da ferramenta, tanto como apoio quanto como definidor nas tomadas de decisões. Em outra resposta o software atua realmente como uma ferramenta de apoio ao processo projetual:

“[...] um edifício com o gabarito máximo provavelmente será mais estreito por conta do índice de aproveitamento, assim como um edifício mais baixo pode alcançar áreas maiores por pavimento, desde que não exceda a taxa de ocupação. Fazendo estudos dessa maneira pode-se chegar a variações da forma edificada e cabe ao arquiteto eleger qual melhor se adequa à situação e uso. Em relação à composição formal da edificação, no processo de concepção eu levaria em consideração a localização e o uso do edifício, premissas de conforto e desejos em relação à estética formal do mesmo. Os parâmetros dos índices urbanísticos ajudam a direcionar questões como recuos, gabarito e conseqüentemente área de cada

pavimento [...] essas decisões serão tomadas a partir do primeiro estudo com testes de combinações possíveis, em que são escolhidas fazendo um balanço das melhores opções.” (A7)

Fato curioso nas respostas do primeiro exercício, apenas um aluno considerou o programa de necessidades como parâmetro de concepção e o estudo por maquetes como elemento para compreender a forma e suas implicações diante de elementos definidores do projeto:

“O meu processo ao considerar os parâmetros de um plano diretor geralmente consiste em compreender, inicialmente, os afastamentos propostos em relação ao lote [...] a área gerada a partir deles e a sua relação com a taxa de ocupação do terreno. Em seguida, analiso as suas relações com o índice de aproveitamento. A partir disso, o programa de necessidades se faz necessário para compreender, mesmo que de forma ainda inicial, a área necessária para a edificação e as suas relações. Quando o processo de composição das formas e volumes é iniciado, também se inicia o processo de compreensão dos efeitos [...] luz, sombra, ventilação de acordo com os possíveis usos de determinado espaço. É nesse momento que também consigo imaginar algumas relações entre público e privado, massa vegetada como proteção [...] Durante esse processo, também é interessante o estudo de maquete para entendimento de luz e sombra.” (A8)

Neste caso específico, trata-se de aluno formando, com uma bagagem de conhecimento acumulado maior em relação aos demais. Possui um processo claro na concepção projetual, onde a utilização dos parâmetros é precisa e estes servem nitidamente como norteadores no processo.

4.2.2 Exercício 2 - biomimética e arquitetura

O exercício buscou relacionar o conceito de Biomimética com Arquitetura por meio de comparações de elementos da natureza com edificações construídas.

A pesquisa desenvolvida por Oliveira e Pires (2021), demonstra essa relação com o funcionamento do mundo natural para explorar formas arquitetônicas que incorporem características e atributos próprios da natureza, buscando imitar seu desempenho. A relação com os conceitos de arquitetura Tectônica (estrutura descontínua mas leve, como a da cabana, necessitando de artifícios para controle da luz que passa por pilares, vigas e treliças), e arquitetura Estereotômica

(arquitetura da caverna, maciça, pétrea e pesada, com um sistema estrutural contínuo e que necessita de perfuração da sua superfície para que a luz entre), foi descrita por meio de tabelas demonstrou o desenho analítico como um grande aliado na compreensão da natureza e de suas estruturas, juntamente com a parametrização atuando na modelagem das formas e estruturas complexas.

O exercício buscava extrair dos alunos a relação dos parâmetros utilizados nos projetos, a partir de determinados elementos da natureza utilizados como inspiração. Foram escolhidos quatro elementos que serão analisados de maneira individual, sendo o primeiro elemento os galhos das árvores, o segundo a casa do João-de-Barro, o terceiro a concha e o quarto elemento a asa da libélula.

Três alunos responderam o exercício de maneira geral, sem analisar cada elemento de maneira individual, mas abordando o exercício do ponto de vista da relação que existe entre Biomimética e Arquitetura. A resposta de um aluno das fases iniciais do curso foi bastante abstrata, visto que não foram considerados parâmetros mas sim a relação conceitual por si própria:

“[...] Se esses formatos e curvas suportam tais materiais de tamanho pequeno e médio, porque quando aplicados na arquitetura usando materiais adequados e estratégias estruturais não seria eficaz, esteticamente harmônico e belo.” (A2)

A relação entre a natureza e a arquitetura foi abordada na resposta de um dos alunos de Iniciação Científica, que enfatizou as formas orgânicas com padrões estruturais e o crescimento da tecnologia como fator importante na produção arquitetônica.

“O interesse do homem por formas mais orgânicas e que remetem à natureza são geralmente encontradas na arquitetura, mesmo em edificações construídas quando os processos ainda não eram tão tecnológicos [...] Alguns desses padrões estruturais podem ser considerados mais “simples” e mais “fáceis” de reproduzir na arquitetura, enquanto outros são mais delicados e exigem mais tecnologias. Por isso, acredito que o crescente desenvolvimento de softwares e ferramentas para projeto arquitetônico é um fator que influencia muito nas produções arquitetônicas dos últimos tempos, visto que é mais “fácil” compreender a forma e como isso se implica perante às outras áreas da edificação: estrutura, efeitos luz e sombra, relação com o indivíduo [...]” (A8)

Um dos participantes analisou o processo para relacionar os elementos com projeto amparando-o na utilização de ferramentas de apoio para isso. O método paramétrico foi citado como elemento articulador e também como facilitador dessa transição entre a natureza e a arquitetura:

“Em ambos os exemplos expostos no exercício dois, foram utilizados conceitos com formas da natureza. Porém, estes conceitos não foram simplesmente implantados de acordo com seu desenho inicial. Acredito que a princípio, foi escolhido o objeto conceito do projeto e posteriormente retirado um fractal deste desenho. Definido o fractal, foram implantados elementos de repetição das formas criadas. Um exemplo disso é o projeto que teve como conceito a concha. O fractal criado a partir do objeto foi o arco. Feito o modelo no software rhinoceros, este objeto foi replicado. O método de replicar pode ser implantado de diversas maneiras, vertical, helicoidal, circular (como foi o caso da concha), horizontal, entre outros. Além do parâmetro para replicar o fractal projetado a partir do conceito, é possível implantar pilhas que irão definir a quantidade de vezes que este elemento pode ser repetido tendo uma infinidade de possibilidades para o projetista.” (A6)

No entanto, é importante salientar que a resposta demonstrou equívoco na interpretação de conceitos de geometria, quando A6 fala do projeto que teve a concha como conceito e cita um arco como sendo um fractal, quando na verdade não são exatamente arcos, mas curvas parábolas (no caso um parabolóide hiperbólico cortado por planos, onde são vistas apenas as curvas formando seu contorno).

4.2.2.1 Galhos das árvores

A resposta de A1 demonstra, de maneira positiva, certa sensibilidade na correlação dos conceitos, visto que os relaciona a partir de percepções obtidas com os conhecimentos iniciais obtidos no início da graduação.

“Galhos das árvores: A minha percepção sobre um tronco e seus galhos vem da própria sustentação de todo o eixo e de como os galhos conseguem se expandir à medida que sobem. Na biomimética resolveria um problema de luz natural, ventilação e espaço quando uma edificação começa em um ponto fixo e se expande para os lados (como também uma planta se contorcendo à procura de sol).”(A1)

Como parâmetro principal, o aspecto estrutural foi evidenciado também em outras respostas, independente do período em que o aluno se encontra:

“Para a primeira imagem, acredito que a relação dos galhos das árvores com o prédio seja a partir da sustentação e dos elementos verticais.” (A3)

“Galhos - os galhos de uma árvore são sustentados pelo seu tronco [...] o que Frank Lloyd Wright fez foi se utilizar dessa eficiência estrutural para sustentar com um apoio central todos seus pavimentos.” (A4)

“Além de inspiração formal [...] os elementos da natureza serviram como exemplo estrutural e de funcionalidade. No caso da árvore, o fato de ter um apoio central imponente de onde saem todos os “galhos” e se distribuem de maneira assimétrica.” (A7)

Além do parâmetro identificado, pode-se perceber uma hierarquia dos elementos galhos e tronco no processo de compreensão do funcionamento estrutural, importante para a concepção do projeto.

Em uma linha mais conceitual do que técnica, a resposta de A5 explorou a questão estética e compositiva do elemento referenciada na edificação:

“[...] na edificação podemos perceber a referência dos galhos na textura escolhida na fachada, com linhas mais expressivas e o tom verde remetendo à árvore.” (A5)

4.2.2.2 Casa do João-de-barro

Quanto a este elemento as respostas foram muito variadas, sendo até confusas em relação ao que se desejava estabelecer. Isto fica claro em algumas respostas, quando é citado o conceito de proteção característico do ninho e a sensação de segurança que representa com seu acesso único e marcante:

“[...] analisando a casa do João-de-barro penso diretamente na questão de proteção e segurança.” (A1)

“Em relação à casa do João de Barro acredito que seja pelo seu formato esférico e funcionalidade das suas paredes espessas com uma porta de entrada imponente.” (A7)

Ou ainda em relação ao sistema estrutural, embora não fique claro o parâmetro mas sim a eficiência do sistema:

“[...] a casa do João de Barro, acredito que a relação seja feita a partir da entrada do elemento natural e da parte [...] estrutural.” (A3)

“[...] a casa do João-de-barro possui uma eficiência estrutural que aguenta os mais diversos climas; o panteão utiliza da forma de abóbada, como da casa do João-de-barro, para sustentar sua parte central sem precisar de mais colunas, apenas as das extremidades que proporciona um grande espaço livre interno.” (A4)

Contudo, no que se refere ao pensamento, as respostas são vagas e carregadas de aspectos conceituais e referenciais, que não demonstram como os parâmetros podem ser úteis no processo de projeto. Na resposta abaixo isso ficou ainda mais explícito:

“[...] com uma primeira impressão não é nítido a referência da casa do João de Barro, porém percebe-se a forma circular como uma forma ‘base’ para o projeto e a parte triangular representa a ‘entrada’ da casa do animal, as colunas em evidência representam os galhos onde ele se encontra na natureza.” (A5)

4.2.2.3 Concha

Para este elemento, foram elencados parâmetros como o conforto ambiental, a utilização como cobertura (espaço coberto) e o sistema estrutural:

“[...] Acredito que a ideia da concha e a utilização da sua característica de rigidez com curvaturas veio para solucionar problemas no conforto térmico. Nesse contexto, a ondulação na arquitetura varia conforme necessário para sua ventilação interna e variação da quantidade de luz natural na estrutura.” (A1)

“Para a concha, é possível ver as ondulações do objeto natural, que passa a ser espaços de cobertura para a obra arquitetônica.” (A3)

“A concha é um exemplo de estrutura curva onde os parâmetros de proporção são de extrema importância para manter a estrutura.” (A7)

A forma da concha foi, para os dois alunos do final do curso, o parâmetro fundamental na concepção do projeto apresentado. Reforça-se o caráter conceitual na definição dos parâmetros, fundamentalmente embasado pela estética e pelo caráter simbólico:

“[...] a concha traz um parâmetro pré-definido, utilizando-se a forma dela, a qual foi reproduzida na edificação.” (A4)

“[...] nitidamente percebe-se o formato da concha na arquitetura, suas bordas côncavas e até mesmo no tom mais claro escolhido no seu exterior.” (A5)

4.2.2.4 Asa da libélula

As respostas específicas para este elemento apontaram para parâmetros de estrutura, relacionando a anatomia da asa com a malha estrutural da cobertura do exemplo apresentado.

“Em relação a asa da libélula, podem ser vistas as ramificações da mesma sendo projetadas no teto da obra [...] como elementos regulares.” (A3)

“[...] as asas da libélula possuem uma malha que dá sustentação para ela voar, como na arquitetura da obra, onde essa malha tensiona a membrana.” (A4)

“[...] além da forma das estruturas da edificação há também a referência da asa da libélula nos detalhes do concreto, como hachuras [...] que são as ligações entre os mesmos.” (A5)

“A última imagem se assemelha às asas de uma libélula pelos “veios” que se distribuem a partir de alguns pontos de apoio principais.” (A7)

“[...] Pelos estudos anatômicos de uma asa, sabe-se que ela é formada por quitina e nervura por todo seu complexo, significando espaçamentos mínimos entre moléculas. Na questão biomimética, tanto a asa quanto a estrutura única em repetição (apresentada na imagem), possuem espaçamento mínimos entre si, com isso [...] a solução natural arquitetônica foi aderida para solucionar problemas com ventilação, estatura e luz.” (A1)

Analisando a estrutura da anatomia da asa de uma libélula, percebe-se que são alongadas e sulcadas por uma rede de nervuras, que parecem funcionar como linhas rígidas de suporte, semelhantes a uma estrutura formada por vigas projetadas a partir de um apoio central. Esta característica foi claramente identificada nas respostas acima.

4.2.3 Exercício 3 - maquete a partir de fotografias

A produção de uma maquete baseada em fotos, sem a necessidade de se fazerem medições e desenhos, é o foco deste exercício. Ao analisar as respostas,

percebeu-se que algumas acabaram por serem muito genéricas, sem uma descrição dos parâmetros, citados de maneira vaga, sem aparente certeza (e muito menos domínio) de como a tecnologia opera.

“As superfícies são digitalizadas e encaminhadas para a máquina de corte a laser, assim que impressas na impressora 3D. Então é realizado a montagem da maquete.” (A2)

“Por meio dessas imagens podemos utilizar de referências [...] objetos nas imagens conhecidas para tentar se aproximar das medidas reais.” (A4)

“Pensando em uma edificação já existente, creio que seria possível a produção de uma maquete da mesma a partir de fotografias captadas por Drone, como se fosse realizado um “Raio-X” na construção. Possibilitando coleta de medidas reais e assim digitalizadas para algum outro programa, para maiores especificações. Em seguida poderia partir para a conclusão tanto digital quanto física.” (A5)

“Acredito que a produção através de fotografias seja parecido com a produção através de uma forma criada exclusivamente no software, por exemplo. Pois, considerando que a nuvem de pontos é transformada em superfícies, o programa responsável pela produção da maquete consegue compreender os detalhes do objeto a ser reproduzido.” (A8)

As respostas acima evidenciam uma problemática na transmissão do conhecimento, em maior grau nos que advêm das novas tecnologias, técnicas ou temáticas. Leite (2004) cita a teoria da transposição didática de Chevallard para analisar o contexto do objeto de estudo, uma vez que os saberes condicionam o tempo dos estudantes em tempo do conhecimento (ajustado pelo objeto de estudo) e o tempo para didática (a transmissão do conhecimento). O aprendizado (sem a compreensão do que se está fazendo) torna-se uma reprodução de rotinas, práticas e suposições que geralmente não condizem com o verdadeiro propósito (SACRISTÁN; GÓMEZ, 1998).

Contudo, mesmo que de maneira resumida, o processo foi descrito de modo satisfatório em outras respostas. Percebe-se uma linha de pensamento mais lógica e considerando os parâmetros principais, como o processo fotográfico, o tamanho do objeto e a definição deste.

“Para o mapeamento de uma área com o uso da tecnologia digital, iniciaria a partir dos tópicos: - Medidas - [...] verificar todas as medidas e ângulos do cômodo,

com isso o sistema notificará a necessidade de fotografar cada parede para mapear o formato e tamanho inicial da maquete. Supondo que isso seja feito, o próximo tópico seria os – objetos - que constituem o ambiente, sendo assim mapeados da mesma maneira que o espaço. Finalizando a digitalização [...] o próximo passo e o final é a correção de erros e a escolha da escala e o material da maquete na qual a impressora 3D trabalhará dentro disso. Explicação melhor de como eu imagino o processo da fotografia para digitalização: - Fotografei uma parede com uma câmera ultra angular (pegando todos os detalhes). O sistema recebe isso e pede por medidas reais para (em um outro software) criar uma realidade virtual do ambiente, neste caso, apenas uma parede em dados de orientação norte.... - Terminei a rotação do complexo e já coloquei os detalhes estruturais no sistema e também já direcionei a orientação (para que a maquete venha no sentido correto da realidade). O próximo passo seria a própria impressão na escala da preferência [...]” (A1)

“A produção de uma maquete a partir de uma fotografia se dá a partir de algumas dimensões e ângulos já conhecidos, para que possa ter uma relação com o espaço em que o objeto está localizado, para que a partir disso seja mais fácil de visualizar as outras medidas que não são conhecidas. Após isso, iniciar o estudo do volume do objeto, fazer uma correlação com aquelas medidas já conhecidas (para que consiga formar o objeto como um todo) e dar início a produção da maquete.” (A3)

“[...] realizar a digitalização tridimensional para fazer o mapeamento de um objeto, eu imagino que estes equipamentos façam uma leitura da superfície do objeto a partir da lente de uma câmera onde capta o seu posicionamento, como se a distância entre os detalhes desse objeto indicasse a profundidade dele, resultando assim nessa leitura tridimensional. E para transformá-lo em maquete precisa transformar os dados obtidos na digitalização em um modelo para impressão.” (A7)

A resposta de A6 foi importante ao retratar seu processo: pensando de maneira paramétrica e baseado no conhecimento e domínio de um software digital. Ficaram claros os parâmetros escolhidos (como altura do objeto, a dimensão da face principal, dimensões laterais) e a tomada de decisões baseada no tipo de objeto fotografado.

“Acredito que a produção de uma maquete através de fotografias é feita a partir da criação de parâmetros gerados anteriormente, no qual são implantadas as dimensões retiradas através da digitalização tridimensional. Para gerar o modelo

após feito o levantamento das dimensões, é necessário implanta-los nos parâmetros já impostos pelo plugin de parametrização de acordo com a disposição de pilhas. Na pilha que diz respeito à altura da edificação, é fixada a dimensão de altura retirada na digitalização tridimensional por fotografia. A dimensão da fachada na pilha da face principal, as dimensões laterais no parâmetro reservado para estas informações, e assim por diante. Existe uma infinidade de parâmetros que podem ser implantados tendo em vista o estilo da edificação. Uma construção histórica com muitos detalhes na fachada, por exemplo, será muito diferente de uma construção modernista. Nestes casos, é necessário acrescentar pilhas e parâmetros de implantação para as diferentes dimensões levantadas pela fotografia.” (A6)

Cabe uma reflexão a respeito desta resposta em comparação com as anteriores: o fato de se ter domínio da ferramenta paramétrica facilitou a resposta sobre um processo de uma tecnologia diferente? Não conhecer a tecnologia evidentemente contribui para que não haja clareza na descrição do processo, mas não deveria invalidar a resposta se o pensamento por parâmetros fosse utilizado.

4.2.4 Exercício 4 - organização de cômodos

Este exercício permite inúmeras respostas, tanto quanto à organização do programa como para possíveis processos de solução. No entanto, ao questionar os alunos apenas sobre a descrição do raciocínio, permitiu-se uma análise mais clara da utilização do pensamento por parâmetros.

As respostas dos alunos das fases iniciais e finais evidenciaram a utilização de alguns parâmetros para resolução do problema, como ventilação e iluminação natural. A orientação solar foi nitidamente uma questão definidora, independente do período em que o aluno se encontra. As questões de conforto ambiental são exploradas desde o primeiro período do curso, antes mesmo da introdução dos métodos de projeto e noções de processo.

“Entraríamos pela porta principal sentido Sul/Oeste (porque acredito que haja uma rua na imagem referencial) onde a sala seria vista em um todo. Ao fundo (sentido norte), teríamos os dormitórios com mais ventilação e com acesso por meio de um corredor dividindo os ambientes sala/quartos. Com isso, dormitório 1, banheiro e dormitório suíte, seriam projetados para que os banheiros sejam para o mesmo lado, facilitando no sistema de tubulação. No sentido leste, com bastante

iluminação natural, estaria a cozinha dimensionada de frente para a sala com ilha e bancada para continuar tendo contato integrado sala/cozinha. Ademais, por meio da cozinha, chegaríamos até um cômodo divisório para a área de serviço.” (A1)

“Entrada principal uma sala de estar / jantar. Cozinha integrada com a sala e área de serviço para facilitar a praticidade, otimizar a circulação de ar por não ter divisórias de parede bloqueando a passagem e ficar esteticamente agradável. Corredor aos fundos dando acesso aos quartos e banheiro, assim as visitas terão acesso aos locais compartilhados de lazer logo que entrarem pela entrada principal e os quartos ficam camuflados.” (A2)

“Por serem áreas mais utilizadas, a sala e a cozinha ficariam viradas para norte, os dormitórios virados para leste, pegando o sol da manhã e os banheiros virados para oeste, por ter um sol que não é muito agradável.” (A4)

“Levando em consideração a incidência solar, faria como entrada principal a fachada leste, em seguida distribuiria banheiro e os dormitórios à direita com aberturas para norte com mais exposição solar, já na fachada sul seria para área de serviço e por fim na fachada oeste optaria pela possibilidade de um espaço integrado entre cozinha e sala de estar. Priorizaria também ambientes com ventilação cruzada.” (A5)

De maneira isolada, a resposta de A3 manifestou-se apenas do ponto de vista da organização espacial, independente de outros parâmetros ou variáveis. O raciocínio descrito caracterizou-se pela linearidade, sem se ater a outros fatores que não o que foi questionado na pergunta.

“Para esse espaço eu colocaria na entrada da residência a sala com a cozinha integrada, deixando um espaço bem aberto e de muita integração, e no final da cozinha reservaria um espaço para a área de serviço. Entre a sala e a cozinha colocaria um espaço de circulação que dá acesso ao dormitório suíte, que possuirá janela para os fundos da casa, logo em seguida o banheiro, e por fim o dormitório 01 que teria vista para a lateral do terreno.” (A3)

As respostas dos alunos que trabalharam com Iniciação Científica consideraram mais parâmetros e acabaram por entregar soluções mais completas. Diferentemente das demais, as respostas consideraram os índices urbanísticos e a relação de proximidade entre os cômodos, além das decisões baseadas nos aspectos de conforto ambiental.

“Antes de pensar na disposição interna, é necessário calcular elementos básicos, como recuos e afastamento frontal. Finalizado isso é possível analisar se a edificação terá largura e espaço suficiente para comportar sala e cozinha na fachada frontal, tendo em vista dimensões mínimas de circulação, bancada, distância do sofá até a TV, entre outros. Em uma situação em que a largura seja suficiente, é preferível que na entrada da casa seja implantada a área social (sala, cozinha, lavanderia próxima à cozinha). A área íntima (dormitório 1 e suíte) da casa é preferível que se encontre aos fundos do modelo dimensionado, pois é necessário que seja um local privado do morador. O banheiro social seria implantado em um local estratégico perto do dormitório, mas com fácil acesso para área social, possibilitando que visitantes possam utilizar também. Caso o plano diretor permita, é possível construir mais pavimentos, deixando a área social no térreo e direcionar a área íntima para o primeiro pavimento. Outro fator que pode ser considerado é a orientação solar. É [...] preferível que a ventilação e a luz solar incidam todos os dias nos quartos, deixando-os arejados e confortáveis. Além disso é preciso dispor aberturas e ambientes de modo que não recebam radiação indesejada dentro da casa. Todos estes parâmetros podem ser implantados nos softwares paramétricos, fazendo algumas modificações e criando diversos modelos, ajudando o projetista a encontrar a melhor solução projetual e formal do edifício.” (A6)

“Primeiramente faria uma análise dos índices urbanísticos do local, taxa de ocupação, recuos e afastamentos [...] depois faria um estudo de conforto para entender questões de insolação e ventilação no terreno e assim poder propor uma opção que atenda a esses dois aspectos iniciais. Levando em consideração que a fachada principal da casa é voltada para o sul, tentaria ao máximo aproveitar o terreno e dispor os cômodos de forma que os lugares de permanência fiquem localizados mais aos fundos do lote e o restante tenham janelas para leste ou oeste, podendo variar a disposição se a casa for térrea ou com mais pavimentos. Em relação ao programa, organizaria os cômodos dividindo basicamente em área social/serviço e área íntima, onde sala, cozinha e área de serviço ficariam mais próximas à entrada da casa e a parte íntima (dormitórios e banheiro) mais distante.” (A7)

“[...] inicialmente verificaria os afastamentos conforme o plano diretor e a sua relação com o terreno indicado. Em seguida, a carta solar e os índices relacionados ao conforto ambiental da localidade, bem como se há presença de

massas vegetadas que possam ser integradas ao projeto, criando relações arquitetônicas interessantes. Desta forma, para a construção do exercício, é considerado que o terreno é localizado no litoral catarinense, próximo a Florianópolis. Assim, o acesso principal aconteceria de forma quase centralizada ao terreno, com cozinha e sala integradas ao sul do terreno, por questões de acesso e conforto [...] Enquanto a sala ainda se estenderia também ao fundo do terreno (norte), podendo se relacionar com algum paisagismo ao fundo. Ao lado esquerdo da cozinha (noroeste), estaria a lavanderia (relação secar roupa x sol). Já a leste e nordeste do terreno, estariam os dormitórios, com o banheiro entre eles.” (A8)

Vale considerar a hipótese de que por terem utilizado *softwares* paramétricos e trabalhado durante um bom período com a modelagem paramétrica, então o pensamento paramétrico ficou em evidência diante das respostas dos outros participantes. É importante ressaltar que o aprendizado obtido com os trabalhos específicos da Iniciação Científica fazem parte de um sistema didático independente da grade curricular. A Teoria Antropológica do Didático (elaborada por Chevallard e descrita anteriormente) cabe nesta abordagem ao considerarmos a ampliação do conhecimento por meio das relações entre os objetos de ensino (BITTAR e FREITAS, 2022).

4.2.5 Exercício 5 - maquetes físicas geradas através da cortadora a laser

Este exercício abordou a relação entre a utilização de maquetes físicas como instrumento de ensino de arquitetura com a incorporação de novas tecnologias, como a prototipagem rápida.

A inclusão de novas tecnologias no processo de projeto arquitetônico de certa forma impõe que o ensino de projeto nas escolas de arquitetura absorva este movimento. Mesmo com o progresso dos sistemas CAD em arquitetura no Brasil desde os anos 80, métodos de ensino de projeto arquitetônico considerando práticas projetuais instrumentalizadas para o uso de CAD (como o projeto paramétrico) ainda são restritas (SEDREZ e CELANI, 2014).

Nesse contexto, a utilização da tecnologia de prototipagem rápida¹⁷, ainda pouco conhecida da grande maioria dos alunos na graduação (e mais ainda no contexto brasileiro), despertou certa curiosidade ao ser relacionada com um instrumento conhecido (como o é a maquete física). Apesar de não estarem familiarizados com tal tecnologia, as respostas elencaram alguns parâmetros importantes para a fabricação das maquetes, como a escolha das máquinas de impressão 3D, a escala utilizada na impressão e o tipo de material a ser utilizado.

“Acredito que os cuidados principais para que se fabriquem maquetes físicas a partir da prototipagem rápida sejam [...] uma retratação clara e precisa na hora de projetar no sistema CAD utilizando as configurações corretas.” (A1)

“Precisão no desenho, na configuração da impressora 3D e na máquina de corte a laser para evitar quaisquer imprevistos e erros nos processos de impressão e corte”. (A2)

“Para que seja fabricado maquetes físicas a partir da prototipagem rápida é necessário o cuidado com a escala do objeto, realizar conferência de acompanhamento durante o processo, observando se as medidas que estão sendo colocados no sistema CAD são condizentes com as medidas da realidade, e se a localização de cada objeto está conforme a realidade, para que não seja descoberto algum erro na fase da prototipagem rápida.” (A3)

“Investir em materiais de boa qualidade, utilizar de softwares recomendados, se necessário fazer adaptações no projeto e realizar a manutenção devida dos equipamentos.” (A4)

“Creio que a adaptação correta da escala é o ponto principal, com medidas ajustadas e correspondentes à realidade para melhor análise e experimentação. Seguir as instruções de acordo com o projeto.” (A5)

“A prototipagem rápida torna mais acessível a construção de maquetes diferenciadas e com geometrias mais complexas, que às vezes ao se construir pelo método tradicional seria mais difícil de colocar em prática ou até levaria muito tempo. Pensando no âmbito educacional, a possibilidade de testagem rápida pode ajudar o aluno a visualizar o resultado do seu trabalho e identificar possíveis erros ou pontos a serem melhorados em seu projeto. Para a fabricação dessas maquetes físicas é necessário que o desenho técnico e a modelagem sejam limpos, bem feitos e

¹⁷ A prototipagem rápida é uma tecnologia que permite fabricar objetos físicos tridimensionais a partir de um protótipo de acordo com os parâmetros de um arquivo digital criado em sistema CAD.

estejam bem alinhados, pois esta é a base do projeto para uma prototipagem detalhada. Deve-se atentar também ao tamanho da impressora e a escala da maquete física, pois dependendo das dimensões pode ocorrer de precisar dividir em peças a maquete.” (A7)

As respostas evidenciaram a questão do cuidado com o desenho do arquivo digital para que não ocorra nenhum erro no processo de transferência do arquivo para a impressora 3D. Por mais que este não seja um parâmetro a ser considerado (poderia ser colocado como um compromisso a ser realizado), esta preocupação se sobrepôs ao processo propriamente dito.

Nessa linha, a resposta de A6 elencou o entorno como parâmetro a ser considerado, utilizado principalmente em maquetes de implantação para que se possa analisar a localização da edificação no terreno, a interação da volumetria com o entorno e também a orientação solar.

“Para que a maquete tenha funcionalidade e sirva para fazer experimentações reais, é necessário que ela seja bem planejada e tenha em vista as dimensões exatas na hora do recorte a laser. Além disso é necessário prever a superfície da colagem para que as dimensões fiquem exatas no final. Uma ideia para ajudar na composição da maquete é imprimir, juntamente com o objeto projetado, o seu entorno imediato também, pois a maquete não se torna um objeto apenas de visualização, mas também de experimentação e estudos, como o impacto do entorno na insolação, ventilação, vegetação, escala, entre outros.” (A6)

A resposta de A8 foi mais abrangente partindo de pressupostos gerais, desde a importância desta técnica na produção arquitetônica, até o cuidado com equipamentos e ferramentas e manuseio de *softwares*. Logicamente que estas preocupações não podem ser desconsideradas, mas neste caso a resposta praticamente não considerou os parâmetros necessários e se ateve a uma linha mais geral, evidenciada inclusive pela afirmação de conhecimento escasso da tecnologia.

“Apesar do pouco contato que já tive com impressoras 3D, acredito que a fabricação de maquetes através desta é bastante benéfico no dia-a-dia dos processos que envolvem a criação arquitetônica, acelerando e possibilitando a produção de inúmeros protótipos para estudo, por exemplo. Os cuidados que acredito serem fundamentais envolvem, principalmente, as máquinas e os softwares que envolvem o processo... A compreensão e o bom manuseio dessas ferramentas

são necessários para que o objeto final seja realizado com precisão e qualidade, considerando que as medidas são muito mais precisas em maquetes realizadas por impressoras 3D.” (A8)

Este exercício mostrou, por meio das respostas analisadas, que a posição do aluno no curso não foi um fator determinante para a descrição do pensamento, uma vez que todos basicamente descreveram na mesma linha o raciocínio de produção de maquetes por prototipagem rápida. É muito provável que essa observação esteja relacionada ao avanço lento desta tecnologia no contexto brasileiro do ensino de arquitetura, tanto na infraestrutura das escolas quanto na utilização dos professores nas suas práticas de ensino.

4.2.6 Exercício 6 - estratégias para otimizar o ganho de luz natural

O objetivo deste exercício foi fazer com que os alunos pensassem a partir de uma situação pré-estabelecida. Colocando a descrição de parâmetros no enunciado procurou-se fazer com que os alunos avaliassem como esses parâmetros poderiam ser trabalhados para resolver o problema de projeto. Devemos considerar o fato de que este tipo de abordagem pode gerar respostas mais genéricas, visto que muitas variáveis estão ocultas (como a dimensão da abertura, o uso do espaço, sua profundidade) ou, por outro lado, porque os parâmetros descritos induzem a resposta mais direta. Isto pôde ser observado na resposta de A3:

“Para otimizar o ganho de luz em um ambiente, eu colocaria grandes aberturas com esquadrias de vidros fixos e não fixos, para que além da iluminação o ambiente também seja bem ventilado.” (A3)

Por outro lado, a existência dos parâmetros no enunciado do exercício despertaram a escolha de outras soluções, com mais parâmetros considerados e com maior variação na definição do projeto.

As respostas abaixo citam elementos de obstrução solar e outras estratégias para otimizar o ganho de iluminação natural no espaço. A ampliação da abertura também foi considerada, mesmo que o exercício não apresente as dimensões da mesma. Parâmetros como a orientação solar, escolha de materiais e cor foram citados:

“A partir do diagnóstico do local é possível otimizar a incidência solar com janelas e aberturas sem que o sol atinja diretamente, apenas para iluminar o edifício.

Também, o uso de brise-soleil permite manipular o acesso ou bloqueio dos raios solares, materiais e cores que refletem ou absorvem a luz solar. Existem várias estratégias para permitir a iluminação natural pensadas no conforto, cabe analisar as particularidades de cada edifício.” (A2)

“Utilizar de cores claras nos ambientes internos, aumentar os vãos de abertura e utilizar de sistemas, como bandejas de luz para que reflitam a luz natural no teto, permitindo uma melhor eficácia da iluminação natural.” (A4)

“Há a possibilidade de ampliar a abertura da janela ou até mesmo optar por paredes de vidro, [...] caso a incidência solar for muito alta pode-se controlá-la com o uso de brises verticais ou horizontais, móveis ou fixos proporcionando iluminação indireta e sem super aquecer o ambiente.” (A5)

“Para otimizar o ganho de luz natural em um ambiente é necessário primeiramente observar a sua orientação para analisar a frequência da incidência da luz solar direta nessa fachada. A distribuição e dimensionamento das janelas também é um fator importante quando se trata da incidência de luz natural, uma vez que janelas horizontais distribuem a luz de maneira mais uniforme no ambiente e seu posicionamento mais eficaz se dá de acordo com a orientação da fachada. Além disso, existem algumas estratégias de iluminação natural que podem ser aplicadas, como por exemplo o uso de prateleiras de luz, que aumentam a distância da penetração da luz no ambiente, e dependendo do caso, iluminação zenital também pode cumprir esse papel.” (A7)

“Algumas das alternativas que podem ser consideradas são: o cuidado com a largura da janela (visto que no desenho só é possível compreender a altura); inserção de brise horizontal que proteja externamente, mas que também crie uma prateleira interna de modo que, os raios solares sejam rebatidos para o teto, prolongando a entrada de luz (adicionado na imagem de exemplo do exercício); outras superfícies claras, como mesas e bancadas, encostadas na parede também podem reproduzir o mesmo efeito com raios solares de ângulos mais baixos.” (A8)

Percebe-se também que a descrição do raciocínio passa muito pelo conhecimento do fenômeno. Neste caso especificamente, entender como funciona a trajetória solar e suas implicações no projeto definitivamente facilita o pensamento para a solução do problema.

A resposta de A1 acaba por demonstrar este fato, uma vez que descreve seu raciocínio partindo da organização espacial da edificação e não abordando

estratégias de conforto ambiental. Na resposta o aluno considerou uma residência (talvez influenciado pela resposta do exercício 4) e acabou por analisar o seu programa:

“Otimizaria o ganho de luz natural nesse ambiente com [...] um ambiente integrado com bastante amplitude visual (janela grande pegando sala/cozinha por exemplo) - jardim interno com uma área de lazer (redes, mesas, churrasqueira...) - faria do lugar a área de serviço tornando-a extremamente útil no dia-dia de quem usa máquina e quer economizar na secadora.” (A1)

Partindo de uma resposta voltada para o raciocínio prático, A6 descreve como resolveria o problema a partir da utilização de softwares paramétricos. Novamente parece influenciado pelo conhecimento obtido ao trabalhar com tais programas, demonstrando que seu pensamento converge para o paramétrico.

“A incidência de luz solar no interior do ambiente passou a ser um elemento básico para ser levado em conta no projeto arquitetônico de edifícios residências, comerciais, corporativos, entre outros. Porém, é necessário impedir a radiação solar indesejada. Hoje em dia existem diversos elementos arquitetônicos que nos ajudam a criar a composição formal do edifício, como brises soleil, prateleira de luz, lanternins, shed, átrio.... Estas opções ajudam a otimizar o ganho de luz natural dentro do ambiente. Nenhuma das opções retira a importância do estudo da trajetória solar no local de implantação da edificação antes da concepção da forma. Para isso existem softwares de modelagem paramétrica juntamente com seu plugins solares para realizar estes estudos. Um exemplo disso é o software Rhinoceros com seu plugin grasshopper, juntamente com o plugin solar Ladybug. Neste último é possível calcular diversos parâmetros solares, como a trajetória solar (comando sunpath). É possível analisar também um período mais longo de tempo e não somente um momento específico do ano, com o comando analysis period. O Ladybug trabalha em conjunto com o website <https://energyplus.net/weather>. A partir deste é acessado o arquivo climático necessário para que sejam feitas as análises bioclimáticas do seu projeto. O site dispõe de arquivos do mundo todo, operando com 20 fontes meteorológicas diferentes.” (A6)

Além de evidenciar a otimização do ambiente com parâmetros, descreveu como utilizá-los no software e também como poderia otimizar os resultados.

4.3 4º CICLO DA FASE DE PROCESSAMENTO - FRAMEWORK / ESTRUTURA DE TRABALHO

Este capítulo apresenta o 4º ciclo de intervenção, buscando como contribuir para induzir o pensamento paramétrico nos alunos. Além disso serve como complemento aos exercícios propostos e aplicados.

A hipótese apresentada nesta tese discorre com a suposição de que se o pensamento paramétrico for estimulado por meio de estratégias que potencializem o modo de projetar, o aluno poderá identificar os principais parâmetros do que será projetado. Além disso, essas estratégias devem estar relacionadas com teorias, técnicas e tecnologias que irão auxiliar na estruturação do saber a ser ensinado e permitir que o aluno reconheça e relacione parâmetros.

Esse estímulo ao raciocínio, no caso desta pesquisa, foi elaborado por meio de perguntas e afirmativas que possam levar o aluno a pensar com parâmetros para resolver um problema de projeto. Nestas perguntas, à medida que o aluno responder, o seu raciocínio será instigado, provocando-o a pensar e demonstrar quais parâmetros que irão levá-lo a resolução desse problema.

Ao serem apresentadas no capítulo anterior, as análises das respostas dos alunos aos exercícios deixaram claro que existe a necessidade de provocar o pensamento paramétrico, visto que a grande maioria das respostas não remetem a um raciocínio claro quanto ao pensamento discutido, mesmo deixando claro aos alunos entrevistados a abordagem paramétrica, seus conceitos e definições.

Na estruturação do saber proposta por Chevallard (1998b), o conhecimento precisa passar por um processo de transformação para ser ensinado, com adaptações e adequações ligadas a intenções didáticas que podem ser formalizadas em objetos de ensino; este necessita estar dotado de uma estrutura para poder ser ensinado. Nesta tese, esta estrutura foi proposta por meio de um *framework*¹⁸ elaborado a partir da necessidade encontrada de estruturação dos exercícios aplicados, objetivando fornecer um estímulo ao raciocínio baseado no pensar com parâmetros.

¹⁸ Um *framework* pode ser entendido como um sistema de regras utilizado para planejar ou decidir algo, formando uma estrutura a partir de determinados princípios. Pode ser utilizado para resolver um problema de projeto ou de esfera específica. (CAMBRIDGE DICTIONARY, 2023)

Conforme mencionado anteriormente, foram analisados os trabalhos de Iniciação Científica de professores (no contexto brasileiro) que utilizam a modelagem paramétrica como tema de pesquisa. No entanto, algumas pesquisas não necessariamente induzem ao pensamento paramétrico (como visto nos trabalhos que tratam sobre impressão 3d e fotografia) e, portanto, optou-se por não gerar o estímulo do raciocínio nos exercícios que abordaram estes temas e priorizar o estímulo ao raciocínio por parâmetros nos que abordam outros temas.

Os exercícios advindos das categorias Processo de Projeto, Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído e Projeto e Tecnologia da Edificação, foram os que tiveram descritas sugestões de indução ao raciocínio. Além destes, o exercício que trata da Biomimética foi trabalhado de maneira diferente daquela apresentada aos alunos, buscando uma abordagem dentro de disciplina projetual.

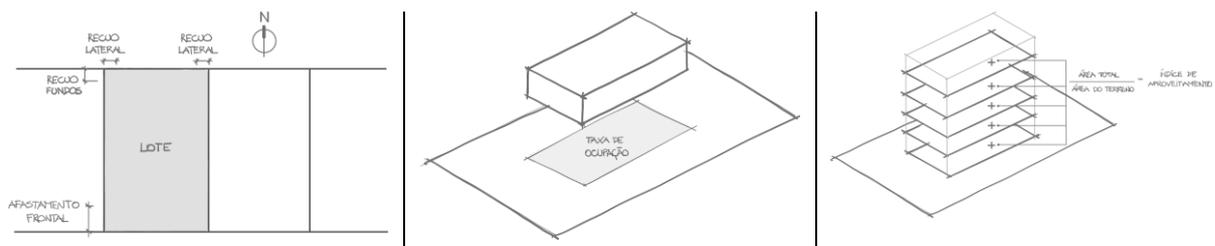
Como descrito anteriormente, o objetivo foi auxiliar o aluno a pensar com parâmetros, gerando um algoritmo em uma lista de instruções que facilitem o pensamento paramétrico. Dos três exercícios escolhidos para este 4º Ciclo, conforme percebido nas respostas do 3º Ciclo, o exercício que trata de Estratégias para otimizar o ganho de luz natural pode ser aplicado desde o início do curso de Arquitetura e Urbanismo da Univali, visto que o conforto ambiental já aparece na grade curricular no primeiro semestre, mesmo que de maneira introdutória. Considerando uma estruturação do exercício e a sequente indução do pensamento paramétrico para sua resolução, este poderia ser aplicado efetivamente desde as fases iniciais. A diversidade de soluções viria por meio do aprofundamento do conhecimento acumulado durante os semestres variando, em teoria, para os alunos dos semestres mais adiantados.

Os outros exercícios - análise de terreno e edificação e organização de cômodos - têm seus conteúdos iniciados a partir das disciplinas de ateliê de projeto urbano e ateliê de projeto arquitetônico, respectivamente no segundo e no terceiro semestres. Além disso, devem ser consideradas duas situações para estimular o raciocínio: a primeira supõe a aplicação dos exercícios em um *workshop*, independente do local; na segunda situação, os exercícios são adaptados para serem aplicados em diferentes momentos no curso de graduação, tendo em conta que a provocação para um aluno de primeiro semestre é diferente da que será feita para um aluno do final de curso.

Além disso, os trabalhos de Pires (2018), Santos e Menezes (2015) e do próprio Chevallard (1998b) deixam claro a importância do professor para gerir as mudanças no processo de produção do conhecimento; a partir dos objetos de ensino propostos o processo de transposição didática terá início.

Em seguida são apresentados os exercícios que foram aplicados com os alunos, introduzindo sugestões de etapas para a inclusão de um novo saber e indução do raciocínio. Importante ressaltar que os passos apresentados pressupõem que cada problema de projeto apresenta certas características que serão levadas em consideração durante o processo. Isso significa que o *framework* deve ser abastecido com dados relacionados às atividades que serão propostas pelos professores por meio de objetos de ensino, e que estes serão aplicados e posteriormente discutidos. Conforme analisado nas duas teorias educacionais propostas por Chevallard, a Teoria da Transposição Didática e a Teoria Antropológica do Didático, a identificação dos elementos que compõem o saber a ser ensinado é de grande importância para que exista uma transposição didática deste saber, considerando as tarefas, teorias, técnicas e tecnologias.

Os Planos Diretores dos Municípios definem índices urbanísticos para a construção das edificações. Esses índices são formados por um conjunto de normas que determinam os valores para determinados parâmetros, como os recuos laterais e de fundos, o afastamento frontal, o máximo de área de projeção da edificação no lote (taxa de ocupação), a variação de altura do edifício (gabarito) e o índice máximo de aproveitamento do lote (índice de aproveitamento). Considerando a ocupação de um lote, procure descrever como você pode trabalhar esses parâmetros buscando variações da forma edificada demonstrando o raciocínio utilizado.



Sugestão para estruturação do saber:

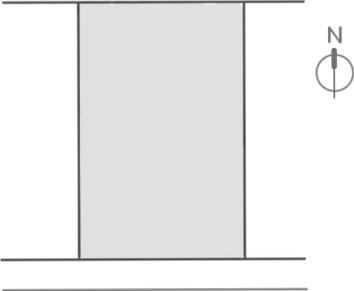
- Tema: vantagens da utilização de sistemas generativos e modelagem paramétrica em projeto arquitetônico;
- Teoria: interpretação de índices urbanísticos, projeto arquitetônico, sistema generativo, modelagem paramétrica;
- Técnica: considerar o envelope construtivo que o Plano Diretor prevê, conforme os índices Taxa de Ocupação, Índice de Aproveitamento e recuos; trabalhar o programa de necessidades para buscar variações na forma resultante;
- Tecnologia: *softwares* de modelagem paramétrica.

Sugestão para indução ao raciocínio para execução do exercício:

- considerar os recuos laterais e fundos e o afastamento frontal;
- identificar a área máxima de projeto em planta visando a taxa de ocupação máxima do lote (TO);
- identificar o número máximo de pavimentos conforme o índice de aproveitamento (IA);
- aplicar o programa de necessidades conforme o pré-dimensionamento;
- variar a forma buscando integrar todos estes parâmetros com o programa de necessidades.

Exercício: Organização de cômodos

Utilizando o mesmo lote do exercício anterior e o programa de necessidades apresentado abaixo, como você acredita que poderia organizar os cômodos de uma residência?

TERRENO	PROGRAMA
	Sala
	Cozinha
	Área de serviço
	Dormitório 1
	Dormitório suíte
	banheiro

Sugestão para estruturação do saber:

- Tema: organização espacial otimizada com projeto generativo;
- Teoria: geometria da insolação, organização espacial e layout;
- Técnica: minimizar área livre no terreno, orientação solar, buscar relações espaciais entre cômodos - maximizar área dos cômodos, minimizar área perdida;
- Tecnologia: *software* de modelagem paramétrica.

Sugestão para indução ao raciocínio para execução do exercício:

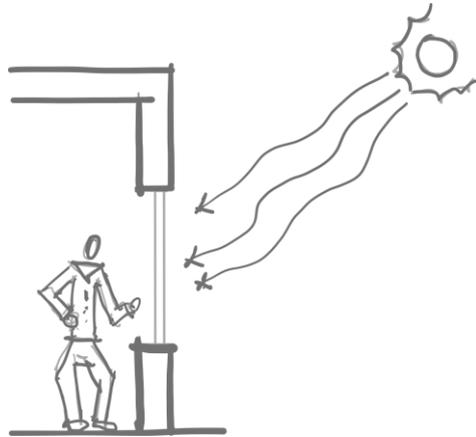
- identificar a hierarquia dos ambientes (serviço, social, íntimo);
- a partir da orientação solar, identificar os ambientes que necessitam de maior insolação;
- calcular o pré-dimensionamento de área dos ambientes;
- verificar a área possível de ocupação do lote para avaliar a organização em um ou mais pavimentos.

Exercício: Estratégias para otimizar o ganho de luz natural

A luz natural é uma ferramenta poderosa na concepção arquitetônica. A compreensão do fenômeno do movimento do Sol pode ser essencial para que possamos trabalhar com menor utilização de iluminação artificial e melhor qualidade nos ambientes projetados.

Deve-se considerar a posição do edifício, a utilização de estratégias arquitetônicas para ganho de iluminação natural, a integração dessas estratégias com as necessidades térmicas e acústicas do edifício e o uso a que se destina o

edifício. Considerando o desenho ao lado, procure descrever como você poderia otimizar o ganho de luz natural em um ambiente.



Sugestão para estruturação do saber:

- Tema: vantagens da modelagem paramétrica no aproveitamento da iluminação natural;
- Teoria: geometria da insolação, conforto lumínico, conforto térmico;
- Técnica: utilização da carta solar (trajetória aparente do Sol) para verificação da incidência solar na abertura, modelagem 3D, estruturas geométricas matemáticas;
- Tecnologia: *software* de modelagem paramétrica.

Sugestão para indução ao raciocínio para execução do exercício:

- verificar a orientação da abertura;
- identificar a necessidade da quantidade (e qualidade) do sistema de iluminação no ambiente;
- ajustar dimensões da abertura;
- identificar a existência de elementos externos que causam obstrução na abertura;
- verificar a necessidade de projeto de elementos de obstrução solar;
- verificar a necessidade de aplicação de estratégias de incidência de luz natural.

4.3.1 Diretrizes Gerais para aplicação do Framework

A montagem do *Framework* neste trabalho levou em consideração a estruturação do saber proposta por Chevallard, de maneira que possam ser incorporados outros elementos para permitir ao estudante pensar com parâmetros. Como colocado por Chevallard (1999), o conteúdo didático possui uma praxeologia que se constitui dos elementos do saber relativos às tarefas que serão realizadas, por meio da combinação destas com a técnica adotada, com tecnologias que garantirão a realização da tarefa e com teorias que possam sustentar o conteúdo didático e justificar sua utilização.

Para que os parâmetros possam ser definidos, o conteúdo associado a eles precisa ser aprofundado e explicitado, de maneira que o aluno possa identificar os parâmetros de cada problema e sua solução. Como descrito no capítulo de revisão bibliográfica, a escolha correta dos parâmetros é fundamental para chegar à soluções mais adequadas.

A seguir é apresentado o *framework* para elaboração de exercícios que possam explorar o pensamento paramétrico no aluno, tendo como base a estruturação do saber proposta por Chevallard, a definição dos objetivos pretendidos e a organização do exercício.

Framework

- Definir a estruturação do saber por trás do exercício proposto, expondo a tarefa que será realizada, a teoria que dará suporte, a técnica que será utilizada e a tecnologia adotada;
- Escolher um problema que mais se aplica ao tema de trabalho - como sugestão, utilizar a matriz de relações;
- Definir o objetivo por trás do exercício, de maneira que possa ser criado um quadro para resolução do problema - esse quadro pode conter introdução, relevância e contexto;
- Criar uma sequência de etapas que possa ilustrar os parâmetros principais envolvidos no problema;
- Definir a hierarquia destas etapas para que, conforme o aluno avance, ele possa interligá-las;

- Deixar claro que esta sequência sugerida não se trata de um *checklist*, mas uma maneira de organizar o pensamento na busca da solução.

A estrutura apresentada acima permite que o professor comande tanto a teoria quanto a prática, a partir da proposição de um novo objeto de ensino adequado, neste caso, ao ensino do pensamento paramétrico no contexto de sua disciplina. Com este *framework* apresentado podem ser montadas atividades para potencializar o pensamento paramétrico nos alunos, sendo que os temas estudados neste trabalho refletiram (de maneira geral) as pesquisas de Iniciação Científica que estão sendo realizadas no contexto brasileiro. Nestes trabalhos percebem-se temas semelhantes, configurando um cenário de pesquisa. No entanto, conforme levantado no capítulo da Revisão Bibliográfica, a modelagem paramétrica pode ser utilizada em vários campos da arquitetura, e outros exercícios podem ser pensados. Em um curso de Arquitetura e Urbanismo, temas que envolvem o processo de projeto arquitetônico e também urbanístico podem ser trabalhados.

As práticas didático-pedagógicas descritas no curso de Arquitetura e Urbanismo da Univali podem ter o acréscimo do pensamento paramétrico. O *framework* criado neste trabalho pode incorporar as atividades aplicadas no curso e propor variações para seu desenvolvimento, com novos temas e outras teorias que possam aprofundar o conhecimento dos envolvidos. A seguir, são apresentadas sugestões para dois exercícios com base nas diretrizes propostas no *framework*:

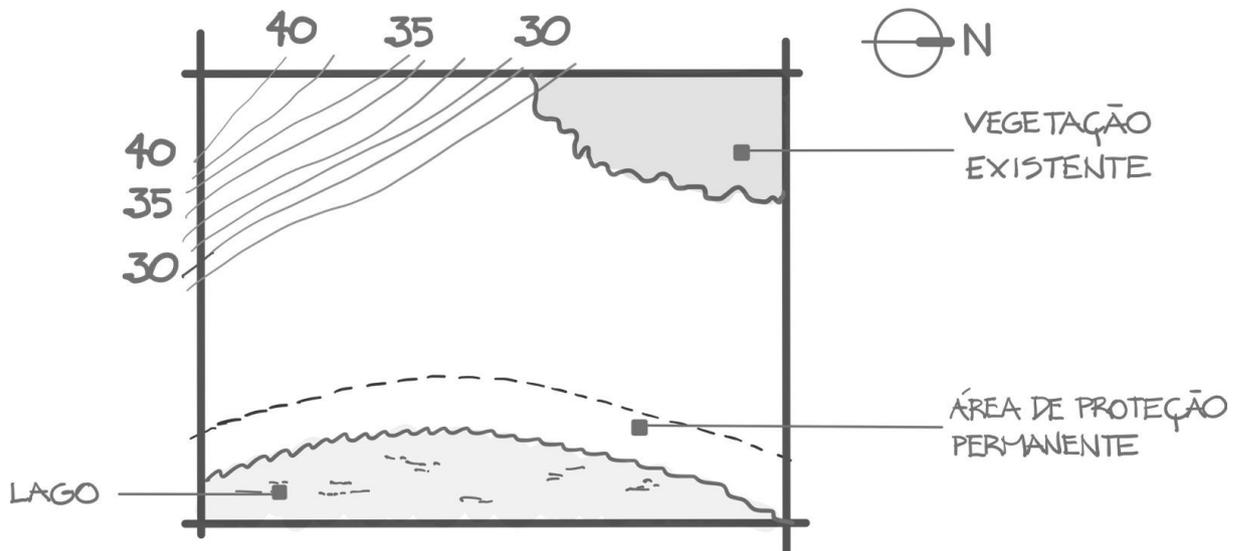
Exercício: Tomada de decisões de projeto

- Tema: vantagens da modelagem paramétrica na concepção de partido arquitetônico;
- Teoria: métodos de projeto arquitetônico, partido arquitetônico, modelagem paramétrica;
- Técnica: desenhos à mão, modelagem 3D;
- Tecnologia: *software* de modelagem paramétrica.

O projeto arquitetônico necessita da tomada de inúmeras decisões em um conjunto de etapas e procedimentos que buscam facilitar e orientar seu processo de elaboração. Neste contexto, o partido arquitetônico surge como a representação

gráfica de uma ideia inicial, um ato criativo de síntese que combina inúmeras informações básicas (diagnósticos, função, programa de necessidades, definição do usuário, análise climática) que favorecem as decisões de projeto (NEVES, 2012).

A figura abaixo representa um terreno localizado às margens de um lago e mostra informações relativas à topografia, vegetação existente e recuos exigidos. Neste terreno, localizado na cidade de Florianópolis, descreva como você poderia propor a localização de uma residência com áreas livres para lazer e recreação infantil, destinada a um casal com 3 filhos, com idades entre 2 e 10 anos, levando em conta o menor custo estrutural, as melhores condições para o conforto ambiental, o aproveitamento das potencialidades físicas do terreno e da vista para o lago.



Sugestão para indução ao raciocínio para execução do exercício:

- Identificar as áreas do terreno que podem ser ocupadas;
- De acordo com a vista para o lago, pensar na melhor disposição da forma da edificação;
- Conforme a orientação solar, verificar a implantação mais adequada;
- Utilizar as informações sobre os usuários para ocupação do lote, verificando o local mais adequado para implantar a área de lazer.

Exercício: Exploração formal

- Tema: utilização da Biomimética e da modelagem paramétrica na concepção da forma arquitetônica;

- Teoria: métodos de projeto arquitetônico, Biomimética, geometria, sistemas estruturais, modelagem paramétrica;
- Técnica: desenhos à mão, modelagem 3D, sistematização da relação entre a evolução da natureza e a geometria, estudos de caso, método de projeto;
- Tecnologia: *software* de modelagem paramétrica.

A Biomimética é uma ciência que estuda os princípios criativos e estratégias da natureza, visando criar soluções para problemas atuais, unido funcionalidade, estética e sustentabilidade. Este conceito pode ser explorado na arquitetura, pois além de inspiração estética é possível correlacioná-lo com estratégias de projeto e eficiência estrutural, com maior compreensão da estrutura dos objetos. A pesquisa de Oliveira e Pires (2021) aborda a Biomimética como alternativa para soluções arquitetônicas em conjunto com a representação paramétrica no processo de projeto, juntamente com teorias sobre geometrias complexas e abordagem regenerativa na arquitetura, que auxiliam os alunos na compreensão da relação da geometria da natureza com o processo de projeto e na compreensão de soluções estruturais para os seus trabalhos.

A partir disto, procure propor e explorar formas arquitetônicas que reproduzam o desempenho dos exemplos apresentados nas figuras abaixo, considerando o projeto de uma arquitetura efêmera, que possa ser desmontada e relocada.



Fonte: httpsbr.freepik.comfotos-premiumimagem-de-uma-grande-concha-de-caracol-oceanico-vazia-em-um-fundo-branco-animais-submarinos-conchas-do-mar_31278717.htm



Fonte: httpsbr.freepik.comfotos-gratisfeche-o-favo-de-mel-com-abelha-e-mel-ai-generative_41367674.htm#query=colmeia&position=29&from_view=search&track=sph



Fonte: httpsbr.freepik.comvetores-gratisfolha-de-frond-samambaia-isolada-no-fundo-branco_2582173.htm#query=samambaia&position=31&from_view=search&track=sph

Sugestão para indução ao raciocínio para execução do exercício:

- selecionar um elemento da natureza
- identificar o conjunto de propriedades do elemento
- identificar a estrutura base do objeto
- relacionar essa estrutura à uma forma geométrica
- a partir da compreensão do elemento analisado, determinar o objetivo que pretende com o projeto (uma cobertura, um plano de base, uma estrutura que crie espaços, um espaço fechado)

5 CONCLUSÕES

Este trabalho partiu do atual cenário de progresso da arquitetura paramétrica e o crescente uso de formas complexas e ferramentas computacionais nos processos de projeto arquitetônico da arquitetura contemporânea. No entanto, verificou-se que o contexto brasileiro ainda não está dispendo desta nova esfera da arquitetura de maneira concreta e que o pensamento paramétrico no processo de ensino-aprendizagem dos cursos de arquitetura brasileiros não é estimulado de maneira suficiente para que seja incorporado, sendo importante compreender como este pode ser aplicado de maneira mais efetiva na graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo.

Foi considerado o contexto do curso de arquitetura e urbanismo brasileiro na Universidade do Vale do Itajaí (Univali) localizado na cidade de Balneário Camboriú, Estado de Santa Catarina. Utilizando a pesquisa baseada em design a partir do método DBRIEF (DIX, 2007) foi desenvolvido um instrumento de pesquisa para promover o conhecimento no ensino. Composto por cinco fases principais (Exploração Fundamentada, Prenúncio, Processamento, Produto e Avaliação Estendida), este capítulo apresenta a fase de Avaliação Estendida, demonstrando o que contribuiu para a base teórica da tese e o quanto o aprimoramento do pensamento paramétrico pode auxiliar no desenvolvimento de projeto.

A consolidação dos resultados obtidos produziram um objeto de ensino que apoiou a criação de um *framework*. Foi elaborada uma matriz de relações de estratégias de pensamento, baseada em uma pesquisa em torno dos trabalhos de Iniciação Científica produzidos no Brasil que utilizaram a modelagem paramétrica como tema. Esses trabalhos foram analisados e divididos em categorias de acordo com os conteúdos das pesquisas.

Em seguida, baseado nestas categorias geradas pela matriz, foram criados exercícios para estimular a identificação de parâmetros e do raciocínio para resolver um determinado problema, com o objetivo de compreender se os alunos podem identificar os mesmos parâmetros, se o raciocínio é semelhante ou se é necessário induzi-lo.

Foram utilizadas duas teorias educacionais para apoiar a criação do *framework* e compreender como estruturar o saber: a Teoria da Transposição Didática e a Teoria Antropológica do Didático, ambas desenvolvidas por Yves

Chevallard. Enquanto a TD trata de analisar o contexto para que um novo conhecimento possa ser ensinado, a TAD analisa a preparação do conteúdo para que este possa ser ensinado em sala de aula.

O capítulo apresenta as conclusões obtidas com esta pesquisa, suas limitações e recomendações para trabalhos futuros, dividido em cinco partes:

- a. Resultados da matriz de relações de estratégias de pensamento - apresenta as conclusões obtidas com a organização da matriz e as categorias formadas;
- b. Resultados dos exercícios - apresenta as conclusões a partir da análise dos exercícios aplicados;
- c. Considerações finais;
- d. Limitações da pesquisa;
- e. Recomendações para trabalhos futuros.

5.1 ANÁLISE DA MATRIZ DE RELAÇÕES DE ESTRATÉGIAS DE PENSAMENTO

A criação de uma matriz que contemplasse a relação entre estratégias de pensamento adotadas em pesquisas de Iniciação Científica foi importante para explorar o avanço dos estudos relacionados à evolução do pensamento paramétrico no Brasil. As pesquisas acabam por se encaixar em áreas específicas devido aos seus temas, demonstrando um certo padrão de aplicação do pensamento paramétrico e demonstrando em quais disciplinas esse pensamento pode ser utilizado. As categorias resultantes da análise dos trabalhos acabam por contemplar uma grande área do conhecimento (de arquitetura), desde a concepção formal dos edifícios até o uso de ferramentas que podem auxiliar no processo de projeto arquitetônico.

Para a categoria Processo de Projeto foram abordados temas sobre organização espacial, modulação e lógica projetual (método). Como apresentado nos capítulos iniciais, o método na arquitetura é o instrumento guia que orienta o desenvolvimento do projeto e que pode ser repetido várias vezes (CASTELLS, 2012). Sendo assim, é pertinente associar as pesquisas que consideram modelagem paramétrica e sistemas generativos ao estudo da lógica projetual e utilização de parâmetros para projetar.

A categoria Ensino de Projeto mostrou trabalhos que abordam o processo ensino-aprendizagem, como o uso de maquetes físicas, a utilização de plataforma digital como objeto de aprendizagem e o uso de outras ciências e estratégias como forma de ensino. Sendo o ateliê de projeto um espaço dinâmico que necessita de reflexão e debate sobre temas variados e/ou frequentes, percebe-se que é possível inserir o pensamento paramétrico nas atividades de projeto, sejam elas reflexivas ou práticas.

Em Gestão e Tecnologia de Projetos, o trabalho sistemático exercido pode ser parametrizado visando automatizar processos e diminuir o retrabalho, de modo que se tenha ganho financeiro e otimização de tempo.

Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, como já descrito, considera a utilização de técnicas, métodos e estratégias para projetar tanto edificações quanto áreas urbanas, sendo que as pesquisas analisadas trabalharam com a análise de conforto ambiental no ambiente urbano e edificado. O uso de variáveis que lidam com fenômenos físicos (como a trajetória solar) facilita a inserção de parâmetros e abre caminho para o pensar paramétrico. Aliado a isto, as simulações computacionais - para situações de projeto que contemplam o uso de iluminação natural, ganho de calor nos espaços abertos e nos ambientes, e incidência de radiação solar em fachadas e espaços abertos - possibilitam que se experimentem mais soluções e alternativas de resposta aos problemas de projeto, considerando o pensamento paramétrico.

Na categoria Projeto e Tecnologia da Edificação os trabalhos abordaram essencialmente a área de conforto ambiental, tendo apenas um destes que tratou da fabricação digital para formas complexas. Esta pesquisa demonstrou a facilidade para trabalhar na criação de fôrmas de concreto a partir de parâmetros. Foi importante o uso de um protótipo para verificar a perfeita execução no processo de montagem para a fôrma final. As pesquisas na área de conforto ambiental focaram na produção de elementos de sombreamento e verificação da eficiência destes em determinado contexto. Conforme analisado na categoria anterior, o uso de parâmetros em situações de projeto que exigem variáveis específicas (por exemplo, as dimensões dos elementos de proteção solar e a trajetória solar) é mais facilitado devido a característica quantitativa dessas variáveis. No entanto, a compreensão do fenômeno e a capacidade intelectual do projetista continuam sendo determinantes no processo de tomada de decisões.

A utilização de ferramentas computacionais foi explorada em pesquisas que focaram na digitalização 3D e em ferramenta de projeto generativo. Considerando as características das ferramentas de apoiarem as decisões de projeto e facilitar o processo (principalmente ao tratar da celeridade em seu desenvolvimento), as pesquisas por novas ferramentas auxilia na aplicação do pensamento paramétrico, uma vez que parâmetros são o motor destas.

Por fim, a abordagem do Plano Diretor demonstrou a facilidade em lidar com os aspectos quantitativos impostos por esse mecanismo, uma vez que devem ser respeitadas certas regras e índices que favorecem a utilização do pensamento paramétrico. O diferencial, neste caso, é a busca na melhora da qualidade espacial, buscando parâmetros que favoreçam esse aspecto mesmo trabalhando com os índices exigidos pelo plano. De maneira geral, percebe-se que os trabalhos de Iniciação Científica aprofundam o conhecimento da modelagem paramétrica.

5.2 ANÁLISE DOS EXERCÍCIOS

Ao analisarmos os exercícios de maneira geral, percebe-se que o pensamento paramétrico está presente no processo e no raciocínio descrito pelos alunos, tanto das fases iniciais quanto nas intermediárias e finais do curso de graduação. A opção por não solicitar que os alunos criassem formas e desenhos a partir dos exercícios, permitiu que fossem descritos os raciocínios provenientes do conhecimento adquirido e trabalhado, buscando identificar intenções e possibilidades de projeto.

Deve-se considerar o fato de que o pensamento paramétrico não esteve diretamente relacionado ao período do aluno no curso, mas ao conhecimento sobre determinado assunto, que o fez ser utilizado em maior ou menor escala. Os alunos que fizeram trabalhos de Iniciação Científica na área da modelagem paramétrica foram mais enfáticos com a utilização de parâmetros, que inclusive forneceu base para o raciocínio deles.

No entanto, percebeu-se que isto não foi determinante quando o domínio do assunto tratado não era forte o suficiente. Chevallard (1988) reforça que um objeto de ensino existe somente quando uma pessoa ou instituição o reconhece como existente. Assim, o conhecimento sobre uma nova tecnologia ou técnica ainda não utilizada é fundamental para que o raciocínio tenha um ciclo fechado. Ao mesmo

tempo, a intensa (e constante) mudança que ocorre com tecnologia e com ferramentas de suporte ao processo de projeto, não pode ser limitadora do pensar projeto e sim facilitadora desse processo.

Além disso, nota-se que o pensamento paramétrico necessita de outra postura do projetista (seja ele estudante ou arquiteto): mais do que procurar pelas perguntas certas, deve pensar nelas para que múltiplas respostas possam surgir no processo. Esse saber fazer as perguntas certas pode começar a acontecer já na graduação, com o pensamento paramétrico presente desde o início da formação e ao longo do curso, encaixado em disciplinas como geometria descritiva, criatividade e inovação, ateliê de projeto integrado, ateliê de projeto (arquitetônico, urbanismo e paisagismo), lógica e raciocínio, representação digital (bidimensional e tridimensional), conforto ambiental, instalações hidráulicas e instalações elétricas. Essas disciplinas estão alocadas durante praticamente todos os períodos do curso; o pensamento paramétrico poderia evoluir a medida que o estímulo do raciocínio acontece.

A partir dos resultados e análises dos exercícios, percebeu-se que os alunos necessitam de algo a mais para pensar de maneira paramétrica, uma espécie de estímulo ao raciocínio, antes mesmo de ingressar no *software*. Esse estímulo pode ser dado por meio de exercícios dirigidos, que levem o aluno a pensar com parâmetros para resolvê-los.

Além disso, percebe-se a necessidade de disciplinas que incluam uma linguagem que se aproxime das novas tecnologias e que possam servir de base para a formação dos alunos. Como apresentado por Almeida, Brandão e Souza (2019), essas disciplinas devem atender às competências que incluem programação, matemática, geometria, vocabulário de modelagem digital e propriedades dos materiais, para então potencializar os futuros arquitetos no trabalho com ferramentas e tecnologias digitais. Embora as ferramentas digitais possam auxiliar no seu desenvolvimento, o pensamento paramétrico não depende do digital para ser fortalecido.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das reflexões e observações feitas, considera-se que o objetivo geral deste trabalho de investigar o pensamento paramétrico no processo de ensino-

aprendizagem de projeto arquitetônico, foi alcançado. A partir disto, uma análise dos objetivos específicos demonstra os resultados obtidos para que estes também fossem atingidos.

Para o primeiro objetivo específico, “Identificar em qual momento do ensino de arquitetura o pensamento paramétrico pode contribuir de maneira significativa”, os resultados demonstram que quando inserido no início do processo de formação do aluno de graduação, e em determinadas disciplinas, o pensamento paramétrico pode ser aprendido e praticado para gerar e potencializar decisões de projeto. Além disso, a introdução do *framework* também durante outras fases do curso colabora com a evolução da maneira de pensar com parâmetros e consequente produção da arquitetura paramétrica. Disciplinas que possuem um viés quantitativo ou possuam relações com a área da matemática ou da física, podem facilmente incluir o estímulo ao raciocínio com parâmetros em suas ementas. O início do processo de ensino-aprendizagem demonstrou ser o momento certo para pensar com parâmetros, visto que a escolha correta destes demonstra como o trabalho será conduzido.

O segundo objetivo específico é “Relacionar em uma matriz de relações como está sendo adotado o pensamento paramétrico no processo de ensino-aprendizagem na arquitetura”. Baseado nos resultados em instituições de ensino em outros países, o pensamento paramétrico (no caso aliado ao desenvolvimento da modelagem paramétrica) tem se mostrado uma fonte criativa e de otimização do tempo, materializado pelos *softwares* paramétricos, pois permite que mais tempo seja utilizado na busca por melhores soluções de projeto. No Brasil, a modelagem paramétrica ainda não é unanimidade quanto a ser utilizada como elemento projetual, seja nos escritórios de arquitetura ou na graduação. A introdução do pensamento paramétrico já nos estágios iniciais do curso de Arquitetura e Urbanismo pode iniciar um processo para seu melhor aproveitamento no contexto brasileiro.

No objetivo 3, “Propor um *framework* para o desenvolvimento de situações didáticas que utilizem o pensamento paramétrico nos cursos de graduação de arquitetura e urbanismo”, a criação de exercícios voltados para a utilização de parâmetros baseados na produção de trabalhos de Iniciação Científica em um contexto nacional, permite que o aluno possa desenvolver o pensamento paramétrico na medida que o exercita em situações que serão aplicadas, tanto durante sua formação acadêmica quanto profissionalmente. Na avaliação destes

exercícios, concluiu-se que o raciocínio deve ser estimulado, seja nas fases iniciais, intermediárias ou finais, e que esse estímulo pode ser dado por meio de um *framework* para orientar a produção de objetos de ensino e aprendizagem. A estruturação do saber demonstra que os objetos de ensino podem ser utilizados quando fornecidos os meios para que isso ocorra, seja como processo ou como pensamento.

A aplicação dos exercícios demonstrou que ainda existe um bom caminho a ser percorrido para a incorporação do pensamento paramétrico no processo de ensino-aprendizagem do aluno. Esse pensamento precisa ser estimulado para que o aluno consiga pensar com parâmetros, por meio de técnicas, ferramentas e conceitos (*framework*) que organizados poderão criar uma estrutura para esse novo saber e ser aplicado no processo de ensino-aprendizagem. Neste sentido, considerando a abordagem deste trabalho, a ferramenta é importante mas não é a mais relevante: a ferramenta vai executar o raciocínio, mas se ele não estiver claro ou se os parâmetros não forem identificados, qualquer ferramenta não será útil.

As teorias apresentadas por Chevallard (1999) demonstram a necessidade de objetos de ensino que possam ser a ponte para que o saber definido para ser ensinado pelo professor chegue ao aluno. No caso do escopo deste trabalho, este conhecimento se dá por meio das regras e parâmetros. Além disso, é importante ter em mente quais habilidades deverão ser desenvolvidas em conjunto por docentes e discentes ao longo do processo projetual, na medida que forem adotados processos e ferramentas paramétricas no ensino de projeto.

Voltando à hipótese deste trabalho, se forem aplicadas estratégias que ativem o pensamento paramétrico e potencializem o modo de projetar, associadas com uma estruturação do saber, que demonstre a relação entre teoria e técnica, então o aluno poderá identificar os parâmetros principais do que será projetado, constatou-se que o aluno de Iniciação Científica está conseguindo identificar os parâmetros principais mesmo sem a estruturação do saber (muito pelo trabalho específico entre orientador e orientando). Para os demais alunos, existe a necessidade de se aprofundar as teorias, técnicas e tecnologias para dar mais qualidade ao projeto, sendo que a proposta do *framework* permite que isto seja potencializado.

5.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho teve-se ao contato com professores que trabalharam com pesquisas de Iniciação Científica relacionadas com a modelagem paramétrica, reunindo um número limitado de pesquisadores. A pesquisa buscou atender o momento atual da arquitetura, com o crescente movimento da arquitetura paramétrica e seus desdobramentos, ciente de que o futuro ainda tem muito a acrescentar no avanço tecnológico.

A grande quantidade de cursos de Arquitetura e Urbanismo no cenário brasileiro acabou por definir como recorte do estudo o local de atuação do pesquisador, o curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Itajaí, na cidade de Balneário Camboriú. Neste contexto, o currículo do curso foi utilizado para trabalhar a inserção do pensamento paramétrico.

Mesmo com um alcance limitado, entende-se que o conteúdo e conhecimento produzidos foram importantes para que o tema possa ser desenvolvido e aprofundado em outras instituições de ensino.

5.5 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Outros trabalhos podem complementar o que foi desenvolvido nesta Tese. O avanço tecnológico apresentado no capítulo Revisão Bibliográfica deixa evidente que o processo é rápido e que novas maneiras de fazer arquitetura possivelmente aparecerão. Com isso, novos modos de incorporar o pensamento paramétrico e os outros tipos de pensamento poderão ser estudados. Vinculado a isto, o surgimento de novas ferramentas digitais (ou aperfeiçoamento das existentes) inevitavelmente levarão o arquiteto a desenvolver novos conhecimentos para utilizá-las.

Neste contexto, listam-se algumas sugestões de trabalhos que podem ser desenvolvidos:

- Uma pesquisa que avalie de maneira quantitativa o nível em que o pensamento paramétrico é exigido. A amostra poderia ser aplicada a um número maior de alunos, com exercícios mais objetivos que possam dar um panorama mais amplo sobre o tema;
- Aplicar exercícios em outros contextos que possuam a matriz curricular organizada com outra metodologia. Este estudo poderia gerar

comparações entre os cursos para que o processo de ensino-aprendizagem pudesse ser mais aprofundado;

- Ampliar a matriz de ensino para outros contextos, outros temas que estimulem outros tipos de pensamento e outras pesquisas de Iniciação Científica que abordem outros assuntos;
- Criar outros exercícios, considerando a metodologia aplicada nesta tese, que busquem estimular o raciocínio dos alunos para outros tipos de pensamento em outras áreas;
- Aplicar os exercícios em *workshops* que incentivem as pessoas a trabalhar dentro da modelagem paramétrica. Ao mesmo tempo, a avaliação pode ocorrer em dinâmicas dentro das disciplinas, de maneira que se possa avaliar o quanto o pensamento paramétrico pode contribuir em cada uma para que se possa mapear outras estratégias de ensino-aprendizagem;
- Propor a inserção de novas tecnologias nos processos de ensino-aprendizagem, considerando alterar os processos pedagógicos, atendendo tanto aos alunos quanto aos professores.

REFERÊNCIAS

AL-MAMOORI, Hamzah Salman; DAHER, Hanan Ahmad. "The Issue of Architectural Design Creativity and Computer Technique: Standards & Rules". In: **14th International Conference in Standardization, prototypes and quality: a means of balkan countries' collaboration**, September 21 - 22, 2018, Tirana, Albania.

AL-RQAIBAT, Sana'a. "**A Framework for the Implementation of Digital Technologies in the Concept Stage of the Architectural Design Process**". Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Architecture and Design Research - Blacksburg, VA, 2019.

AGIRBAS, Asli. "The Use of Metaphors as a Parametric Design Teaching Model". In: **Design and Technology Education: an International Journal**, [S.l.], v. 23, n. 1, p. 40-54, feb. 2018.

AISH, Robert; BREDELLA, Nathalie. "The evolution of architectural computing: from Building Modelling to Design Computation". In: **Architectural Research Quarterly**. 2017.v. 21, pp. 65-73.

AISH, Robert; WOODBURY, Robert. "Multi-level interaction in parametric design". In: A. Butz, B. Fisher, A. Krüger and P. Oliver (eds.) SmartGraphics, 5th Int. Symp., SG2005, **Lecture Notes in Computer Science**, Springer, Berlin, 2005.

ALEXANDER, Christopher. "Notes on the Synthesis of Form". New York: McGraw Hill, 1964.

ALMEIDA, Caio Augusto Rabite de; BRANDÃO, Guilherme Valle Loures; SOUZA, Jaqueline Leite. "Ensino de ferramentas paramétricas em arquitetura: um experimento didático". In: **Anais GRAPHICA 2019 – XIII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design**. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro, Colégio Pedro II, 2019. Disponível em: http://www.graphica2019.org/assets/doc/Anais_Graphica_2019.pdf.

ARRUDA, Felipe. "**A história dos Processadores**". TECMUNDO, 16 jun. 2011 - Disponível em <https://www.tecmundo.com.br/historia/2157-a-historia-dos-processadores.htm>. Acesso em 29 jan. 2020.

AUTODESK. "**O que é BIM?**". Disponível em <https://www.autodesk.com.br/solutions/bim>. Acesso em 29 ago. 2023.

BARDIN, Laurence. "**Análise de Conteúdo**". Trad. Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 2010. 281 p.

BERNARDI, Gabriela; GALAFASSI, Marcelo. "Aplicação prática de um fluxo de trabalho paramétrico em projeto arquitetônico para cidades com diferentes características bioclimáticas". In: **XV Encontro Nacional e XI Encontro Latino-**

americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC / ELACAC. João Pessoa, 18 a 21 set. 2019.

BERNARDI, Gabriela; GALAFASSI, Marcelo. “**Reflexões sobre o processo de projeto em edificações que utilizaram modelagem paramétrica - parte 2**”. Relatório final de pesquisa. Programa de pesquisas do Artigo 170, Balneário Camboriú - Universidade do Vale do Itajaí, 2020.

BERTHO, Beatriz Carra; CELANI, Gabriela. “A Prototipagem Rápida no Processo de Produção de Maquetes de Arquitetura”. In: **Graphica - VII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design e XVIII Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico**, Curitiba, 11 a 14 de novembro, 2007.

BINI, Carolina; GALAFASSI, Marcelo. “Estudo e comparação de *softwares* relacionado ao projeto climático para utilização no curso de arquitetura e urbanismo”. In: **XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC / ELACAC**. Balneário Camboriú, 27 a 29 set. 2017a.

BINI, Carolina; GALAFASSI, Marcelo. “Desenvolvimento de um fluxo de trabalho para dimensionamento de elementos de obstrução solar, utilizando *softwares* de modelagem paramétrica”. In: **XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC / ELACAC**. Balneário Camboriú, 27 a 29 set. 2017b.

BITTAR, Marilena; FREITAS, José Luiz Magalhães de. “Uma entrevista com Yves Chevallard sobre a Teoria Antropológica do Didático”. In: **Revista Paranaense de Educação Matemática - RPEM**. Campo Mourão. Vol. 11, n. 25, p. 11-22 - maio-ago. 2022.

BRAGA, Gabriela Mindas; MARTINO, Jarryer Andrade de. “Modulação dos CEMUNIS: estudo de caso a partir dos sistemas generativos”. In: **Anais GRAPHICA 2019 – XIII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design**. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro, Colégio Pedro II, 2019. Disponível em: http://www.graphica2019.org/assets/doc/Anais_Graphica_2019.pdf.

BRAIDA, Francisco; LIMA, Fernando Tadeu de Araújo. “Modelagem Digital, Prototipagem e Ensino de Arquitetura e Urbanismo: Impactos e Desdobramentos de uma Intervenção Curricular”. In: **SIGraDi 2013 - Proceedings of the 17th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**, Valparaíso, 20 a 22 nov. 2013. pp. 577-580.

BRANCO, Jeferson Luiz; GALAFASSI, Marcelo. “**Investigação acerca da lógica projetual em projetos arquitetônicos que utilizaram modelagem paramétrica**”. Relatório final de pesquisa. Programa de pesquisas do Artigo 170, Balneário Camboriú - Universidade do Vale do Itajaí, 2018.

BROADBENT, Geoffrey. “**Design in Architecture**”. New York: John Wiley & Sons, 1973. p. 504.

BRUALDI, Amy C. "Multiple Intelligences: Gardner's Theory". In: **ERIC Digest**. Washington, DC., 2009. Disponível em <https://eric.ed.gov/?id=ED410226>. Acesso em 30 set. 2021.

CAETANO, Inês; SANTOS, Luís; LEITÃO, António. "Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design". In: **Frontiers of Architectural Research**, Volume 9, Issue 2, jun. 2020. pp. 287-300.

CAMPOS, Filipe; CELANI, Maria Gabriela. "Estudo da otimização de coberturas responsivas à insolação através da parametrização". In: **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC**. Maceió, 12 a 14 nov. 2014.

CAM - **Computer Aided Manufacturing**. Disponível em <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/>. Acesso em 28 ago. 2021.

CAMBRIDGE DICTIONARY. Disponível em: <https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/framework>. Acesso em: 22 fev. 2023.

CARTANA, Rafael Prado; BERTÉ, Eduardo João. "Avaliação do aplicativo Ecotect Analysis para simulações de radiação solar empregando diferentes arquivos climáticos". In: **XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC / ELACAC**. Campinas, 15 a 17 out. 2015.

CARTANA, Rafael Prado; PEREIRA, Fernando O. Ruttkay; BERTÉ, Eduardo João. "Avaliação de desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica". In: **XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC**. São Paulo, 2016.

CARTANA, Rafael Prado; MORAES, Marina Teixeira. "Simulação da radiação solar incidente em fachadas e canyons urbanos na cidade de Balneário Camboriú". In: Seminário de Conforto no Ambiente Construído e Mudanças Climáticas: Clima urbano na dinâmica das cidades, SEMCAC, Palmas, 2017.

CARTANA, Rafael Prado; KASPER, Luiza de Aguiar. "**Análise da Admissão e Distribuição de Luz Natural em Edificações Localizadas em Cânions Urbanos na Cidade de Florianópolis**". Relatório final de pesquisa. Programa de pesquisas do Artigo 170, Florianópolis - Universidade do Vale do Itajaí, 2018.

CARTANA, Rafael Prado; KASPER, Luiza de Aguiar. "**Emprego de Algoritmos Evolutivos para Otimização da Admissão e Distribuição da Luz Natural em Edificações em Cânions Urbanos Considerando o Clima de Florianópolis**". Relatório final de pesquisa. Programa de pesquisas do Artigo 170, Florianópolis - Universidade do Vale do Itajaí, 2019.

CASTELLS, Eduardo. "**Traços e palavras: sobre o processo projetual em Arquitetura**". Florianópolis: Editora da UFSC, 2012. 182 p.

CATELLI, Marcelo Prado Amaral Rosa Francisco; PAULETTI, Roniere dos Santos Fenner Fabiana. “Penso, e todo o enigma do universo repassa-me...: Yves Chevallard e o ensino de química.” In: Prometeica: Revista de Filosofia y Ciencias, año IV, N° 10, 2015.

CATIA - **Computer Aided Tridimensional Interactive Application** - Disponível em <http://www.indiacadworks.com/blog/catia-a-cad-software-review/>. Acesso em 16 mar. 2020.

CELANI, Gabriela. “Beyond analysis and representation in CAD: a new computational approach to design education.” 202 f. Tese (Doutorado) - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2002.

CELANI, Gabriela; CANCHERINI, Laura. “Digitalização tridimensional de objetos: um estudo de caso [Scanning Three-dimensional Objects: A Case Study]”. In: **SIGraDi 2009 - Proceedings of the 13th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**, Sao Paulo, Brazil, November 16-18, 2009.

CELANI, Gabriela; SEDREZ, Maycon; LENZ, Daniel; MACEDO, Alessandra. “The future of the architect’s employment: To which extent can architectural design be computerised?”. In: Computer-Aided Architectural Design Futures Foundation, São Paulo, Brazil, 2015: CAAD Futures.

CHEVALLARD, Yves. “Pourquoi la transposition didactique?”. In: **Communication au Séminaire de didactique et de pédagogie des mathématiques de l’IMAG**, Université scientifique et médicale de Grenoble. Paru dans les Actes de l’année, 1982, p.167-194. Disponível em: <http://yves.chevallard.free.fr/>.

CHEVALLARD, Yves. “On didactic transposition theory: some introductory notes”. In: **Proceedings of the international symposium on selected domains of and development in mathematics education**. University of Bielefeld, Germany, and University of Bratislava, Slovakia, 1988. p. 51-62.

CHEVALLARD, Yves. “**La transposición didáctica del saber sabio al saber enseñado**”. Claudia Gilman (trad.), 3ª ed., Argentina, 1998a. Aique (psicología cognitiva y educación).

CHEVALLARD, Yves. “Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques: l’approche anthropologique”. In: **L’UNIVERSITE D’ETE**. p.91-118. Actes de l’Université d’été La Rochelle. Clermont-Ferrand, France: IREM, 1998b.

CHEVALLARD, Yves. “El Análisis de las Prácticas Docentes en la Teoría Antropológica de Lo Didáctico”. In: **Recherches en Didactique de Mathématiques**, Grenoble, Vol. 19, no 2, pp. 221-266, 1999. (Traducción de Ricardo Barroso, Universidad de Sevilla).

CÔCO Jr, Verley Henry; CELANI, Gabriela. “Algoritmização do projeto arquitetônico em BIM: uma aplicação na indústria de banheiros pré-fabricados”. In: **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v16, n2, 2021.

CROSS, Nigel. "Diseño y Tecnología". In: **Diseño, Tecnología y Participación**. Barcelona: Gustavo Gili, 1980. p. 90-184.

CUDZIK, Jan; RADZISZEWSKI, Kacper. "Parametric design in architectural education". In: **World Transactions on Engineering and Technology Education - Vol. 17, iss. 4, p. 448-453 - 2019**.

DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/parametro/>. Acesso em: 07 maio 2021.

DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/processo/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/algoritmo/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

DINIZ, Luciana Nemer; QUEIROZ, Joana Costa de Miranda. "Ateliê de projeto - superando o paradigma: do abandono da prancheta para a inserção das ferramentas digitais". In: **Anais GRAPHICA 2019 – XIII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design**. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro, Colégio Pedro II, 2019. Disponível em: http://www.graphica2019.org/assets/doc/Anais_Graphica_2019.pdf.

DINO, Ipek Gürsel. "Creative design exploration by parametric generative systems in architecture". In: **Metu Journal of the Faculty of Architecture**, 29 (1), 2012. p. 207–224.

DIX, Katherine L. "DBRIEF: A research paradigm for ICT adoption". In: **International Education Journal**, 8(2). 2007. p. 113-124.

DOMINGOS, Lucas; CARTANA, Rafael Prado. "Avaliação de desempenho de elementos de controle solar móveis". In: **XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC**. Foz do Iguaçu, 2018.

DUARTE, José P.; CELANI, Gabriela; PUPO, Regiane Trevisan. "Inserting computational technologies in architectural curricula". In: **Computational Design Methods and Technologies: Applications in CAD, CAM and CAE Education**. Edited by Gu, Ning, and Xiangyu Wang. pp. 390-411.

EIGBEONAN, Andrew B. "Sustainability and creativity methods: agents of change in teaching the Arch-Design Studio". In: **International Journal of Architecture and Urban Development**, Vol.5, No.3, 2015.

EL AHMAR, Salma; FIORAVANTI, Antonio; HANAFI, Mohamed. "A methodology for computational architectural design based on biological principles". In: **Proceedings of the 31st International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe**, Delft, 2010. eCAADe 2013, p. 539-548.

ERHAN, Halil; SALMASI, Nahal H.; WOODBURY, Rob. "ViSA: a parametric design modeling method to enhance visual sensitivity control and analysis". In: **International**

Journal of Architectural Computing, 2010, Volume 8, issue 4. pp. 461-483. Article first published online: December 1, 2010.

FLICK, Uwe. **“Uma Introdução à Pesquisa Qualitativa”**. Trad.: Sandra Netz. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 312 p.

FLORIO, Wilson. “Modelagem Paramétrica no processo de projeto em Arquitetura”. In: **Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído - IX** Workshop Brasileiro de gestão do processo de projeto na construção de edifícios. São Carlos, 2009. 12 p.

FLORIO, Wilson. “Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura”. In: **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, Brasil. V. 06, Nº. 2, p. 43-66, 2011.

GALAFASSI, Marcelo. **“Impacto do método prescritivo do RTQ-C no processo de projeto arquitetônico de edificações: a visão de arquitetos em Florianópolis”**. Dissertação (Mestrado). Área de Concentração: Comportamento Ambiental e Eficiência Energética nas Edificações, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Florianópolis - UFSC, 2012.

GARDNER, Howard. **“Intelligence Reframed. Multiple intelligences for the 21st century”**. New York: Basic Books, 1999. 176p.

GALLO, Giuseppe; PELLITTERI, Giuseppe. “Luigi Moretti, from history to parametric architecture”. In: **The 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia** - Tsinghua University, China: CAADRIA - 2018.

GEORGIU, Ion; HECK, Joaquim; MRVAR, Andrej. “The Analysis of Interconnected Decision Areas: A Computational Approach to Finding All Feasible Solutions”. In: **Group Decision and Negotiation**, 28: p. 543-563, 2019.

GERLOVINA, Zhanetta. **“Eureka: unraveling the mystery behind creativity”**. Thesis submitted to Psychology (Barnard College), 2011.

GERO, John S.; CHASE Scott; ROSENMAN, Mike. “Towards computer-aided support of associative reasoning in the early phase of architectural design”. In: **CAADRIA2001**, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, 2001, pp. 359-368.

GLANCEY, Jonathan. **“A história da arquitetura”**. Trad. Luís Carlos Borges e Marcos Marcionilo. São Paulo: Edições Loyola, 2001.

GOLDSCHMIDT, Gabriela. “The Dialectics of Sketching”. In: **Creativity Research Journal**, 4: 2, p. 123-143, 1991.

GULAY, Emrehan; LUCERO, Andres. “Understanding the Role of Physical and Digital Techniques in the Initial Design Processes of Architecture”. In: **C. Ardito, R. Lanzilotti, A. Malizia, A. Malizia, H. Petrie, A. Piccinno, G. Desolda, & K. Inkpen**

(Eds.), **Human-Computer Interaction – INTERACT**, 2021, p. 312-329. (Lecture Notes in Computer Science; Vol. 12933).

HARDY, Steve. “Introduction, Parametricism (SPC)”. In: **ACADIA Regional Conference Proceedings**, University of Nebraska, Lincoln, 2011. Architecture Program: Faculty Scholarly and Creative Activity. 21.

HEIDARI , Parvin; ÇIĞDEM, Polatoğlu. “Pen-and-paper versus digital sketching in architectural design education”. In: **International Journal of Architectural Computing**, 2019, Vol. 17 (3) 284–302.

HERNANDEZ, Carlos Roberto Barrios. “**Design Procedures: a computational framework for parametric design and complex shapes in architecture**”. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2006.

HERRINGTON, Jan; MCKENNEY, Susan; REEVES, Thomas C.; OLIVER, Ron. “Design-based research and doctoral students: Guidelines for preparing a dissertation proposal”. In: C. Montgomerie & J. Seale (Eds.), **Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications**, 2007 (pp. 4089-4097). Chesapeake, VA: AACE. This Conference Proceeding is posted at Research Online: <http://ro.ecu.edu.au/ecuworks/1612>.

HIPÓLITO, Fellipy Souza; PEREIRA, Alice Theresinha Cybis. “**Rede colaborativa sobre mídias e tecnologias para apoio ao processo de ensino e aprendizagem de projetos arquitetônicos**”. Relatório final de pesquisa. Laboratório de Ambientes Hiperídia para Aprendizagem (Hiperlab), Florianópolis - Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.

HYUN, Ah Choi; HAN, Jong Jun. “A fundamental study on analysis of interaction by sketches and acts of creative design in architectural design process”. In: **CAADRIA 2004** - Proceedings of the 9th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, Seoul Korea - 28-30 April 2004, pp. 133-144.

IRAQI, A. M. El; DALY, H. T. El. “Parametric Modeling Development Throughout Analogue and Digital Ages”. In.: **Journal of Al-Azhar University Engineering Sector**. 12. 597-611. 10.21608/aej.2017.19242 - 2017.

JASIOCHA, Júlia Azambuja; GALAFASSI, Marcelo; CARVALHO, Carolina R. “Aplicação prática de um fluxo de trabalho paramétrico em projeto arquitetônico”. In: **XVII Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC / ELACAC**. São Paulo, 30 e 31 de nov. e 01 de out. 2023.

JONES, J. Christopher. “**Design methods: seeds of human futures**”. John Wiley & Sons Ltd. 1970. 407 p.

JONNES, Denna. “**Tudo sobre arquitetura**”. Trad. André Fiker... [et al.]. Rio de Janeiro: Sextante, 2014.

KARLE, David; KELLY, Brian M. "Parametric Thinking". In: **ACADIA Regional Conference Proceedings**, University of Nebraska, Lincoln, 2011. Architecture Program: Faculty Scholarly and Creative Activity. 21.

KEPCZYŃSKA-WALCZAK, Anetta. "The act of design - beyond the digital?". In: **Architecturae et Artibus**, 1/2014.

KOLAREVIC, Branko. "Digital Morphogenesis and Computational Architectures". In: **4th SIGRADI Conference Proceedings**. Rio de Janeiro (Brazil): 25-28 sept. 2000, pp. 98-103.

KOLAREVIC, Branko. "**Architecture in the digital age: design and manufacturing**". New York: Taylor & Francis e-Library, 2009.

KLUTH, Verilda Speridião; ALMOULOU, Saddo Ag. "A teoria antropológica do didático: primórdio de uma trajetória direcionada à prática de ensino de matemática". In: **Educação Matemática Pesquisa**, São Paulo, v.20, n.3, pp. 1-25, 2018.

KOWALTOWSKI, Dóris C.C.K.; CELANI, Gabriela; MOREIRA, Daniel de Carvalho; PINA, Sílvia A.M.G.; RUSCHEL, Regina Coeli; SILVA, Vanessa Gomes da; LABAKI, Lucila Chebel; PETRECHE, João Roberto D. "Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico". In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, abr./jun. 2006.

LARROSA, Jorge. "A estruturação pedagógica do discurso moral: algumas notas teóricas e um experimento exploratório". In: **Educação e Realidade**, UFRGS, 2017. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/educacaoerealidade/article/view/71620>. Acesso em: 02 out. 2023.

LATIFI, Mohammad; MAHDAVINEZHAD, Mohammad Javad; DIBA, Darab. "Understanding Genetic Algorithms in Architecture". In: **The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication - TOJDAC - Special Edition**, 2016.

LAWSON, Bryan. "**Como arquitetos e designers pensam**". Trad. Maria Beatriz Medina. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 296 p.

LAWSON, Bryan. "Towards a computer-aided architectural design process: a journey of several mirages". In: **Computers in Industry**, Oxford, p. 47-57. fev. 1998.

LEITE, Míriam Soares. "**Contribuições de Basil Bernstein e Yves Chevallard para a discussão do conhecimento escolar**". Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação - Rio de Janeiro - PUC, 2004.

LEVY, Frank; MURNANE, Richard J: "How computerized work and globalization shape human skill demands". In: **Mit Industrial Performance Center - IPC Working Paper Series**, Cambridge (2005).

LUCKMAN, John. "**An Approach to the Management of Design**". *OR*, vol. 18, no. 4, 1967, pp. 345-58. JSTOR.

MALBURG, Luíza Cândido; GALAFASSI, Marcelo. “Análise de um fluxo de trabalho paramétrico com elementos de obstrução solar em fachadas para edificações com diferentes contextos climáticos”. In: **XVI Encontro Nacional e XII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC / ELACAC**. Palmas, 20 a 23 out. 2021.

MALBURG, Luíza Cândido; GALAFASSI, Marcelo. “**Reflexões sobre o processo de projeto em edificações que utilizaram modelagem paramétrica - parte 3**”. Relatório final de pesquisa. Programa de pesquisas do Artigo 170, Balneário Camboriú - Universidade do Vale do Itajaí, 2021.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. “**Fundamentos de Metodologia Científica**”. 8ª Ed. (2. Reimpr.) - São Paulo: Atlas, 2017.

MARIN, Philippe; BIGNON, Jean-Claude; LEQUAY, Hervé. “Evolutionary tooling of the creative design process”. In: **ELASA Environment**, Land, Society, 2013.

MARK, Earl; MARTENS, Bob; OSMAN, Rivka. “The Ideal Computer Curriculum”. In: **Architectural Information Management - 19th eCAADe Conference Proceedings**, Helsinki - aug. 2001. pp. 168-175.

MARTIN, John; BELL, Rosamund; FARMER, Eion; HENRY, Jane. “Analysis of interactive decision areas (AIDA)”. In: **Technique Library**, Milton Keynes, UK: Open University, 2010.

MASRY, Maher; KANG, Dong Joong; SUSILO, Imam; LIPSON, Hod. “A freehand sketching interface for progressive construction and analysis of 3d objects”. In: **Proc. AAAI Fall Symposium on Making Pen-Based Sketching Intelligent and Natural - Arlington County**, 2004.

MIRANDA, Juliana Torres de. “A relação entre teoria e prática na arquitetura e seu ensino: teoria reflexiva e projeto experimental”. In: **Projetar 2005 – II Seminário sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura - Rio de Janeiro**, 2005.

MONTANER, Josep Maria. “**Do diagrama às experiências, rumo a uma arquitetura de ação**”. São Paulo: Gustavo Gilli, 2017. 192 p.

MÜLBERT, Ana Luisa. “**A implementação de mídias em dispositivos móveis: um framework para a aplicação em larga escala e com sustentabilidade em educação à distância**”. 317 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

NATIVIDADE, Verônica Gomes. “**Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais**”. 302 p. Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Projeto de Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura - São Paulo - FAUUSP, 2010.

NAZIRI, Ahmad Faiz Hassan; ABAS, Salahuddin Abdul Hakeem; SAMSUDDIN, Ismail; AZIZ, Mohamed Nizam Abdul. “Learning from cognitive process of visionara malaysian architect on generativa creative, novel architectural design ideas”. In:

International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies, 2019. Disponível em: <http://TuEngr.com>.

NEVES, Laerte Pedreira. “**Adoção do partido arquitetônico na arquitetura**”. Salvador: EDUFBA, 2012, 3ª edição. 232 p.

NISZTUK, Maciej; MYSZKOWSKI, Pawel B. “Usability of contemporary tools for the computational design of architectural objects: Review, features evaluation and reflection”. In: **International Journal of Architectural Computing**. 2018, Vol. 16 (I), pp. 58-84.

NURBS. “What are NURBS?”. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/features/nurbs/>. Acesso em: 28 ago. 2021.

OLIVEIRA, Ludmila Cabizuca Carvalho Ferreira de. “**Características e particularidades das ferramentas BIM: reflexos da implantação recente em escritórios de arquitetura**.” Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Métodos e Técnicas aplicadas ao Projeto de Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Florianópolis - UFSC, 2011.

OLIVEIRA, Bruna Pereira de; PIRES, Janice de Freitas. “Biomimética e representação gráfica: abordagem integrada ao processo projetual em arquitetura”. In: **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**. 2021, Vol. 10, pp. 180-192.

PARK, Charlie; SCOTT, Sam; GEDDES, Alistair. “Snowball Sampling”. In: **SAGE Research Methods Foundations**, 2020.

PETERS, Brady; WHITEHEAD, Hugh. “Geometry, form and complexity”. In.: **D. Littefield (Ed.), Space craft: Developments in architectural computing** (pp. 20-33). RIBA Publishing, 2008.

PIRES, Janice de Freitas; PEREIRA, Alice Theresinha Cybis; GONÇALVES, Alexandre. “Taxonomias de geometria da arquitetura contemporânea: uma abordagem didática ao ensino da modelagem paramétrica na arquitetura”. In.: **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, Brasil. V. 12, Nº. 3, p. 27-46, 2017.

PIRES, Janice de Freitas. “**A constituição de uma rede de conceitos da geometria complexa da arquitetura contemporânea: das teorias a modelagem paramétrica das superfícies**”. 425 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Florianópolis, 2018.

PIRES, Janice de Freitas; PEREIRA, Alice Theresinha Cybis. “Aplicações didáticas em modelagem paramétrica de geometrias complexas da arquitetura contemporânea”. In.: **Educação Gráfica**, Bauru, Brasil. V. 24, Nº. 2, p. 06-24, 2020.

POLONINI, Flávia Biccias da Silva. “**A Modelagem Paramétrica na concepção de formas curvilíneas da Arquitetura Contemporânea**”. 286 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura da UFBA, Salvador, 2014.

RAGAZZI, Alexandre. “A invenção do artista moderno”. In: **Jornal da Unicamp**, Campinas, 11 de agosto de 2014 a 24 de agosto de 2014 – ANO 2014 – Nº 602.

REGO, Rejane de Moraes. “As naturezas cognitiva e criativa da projeção em arquitetura: reflexões sobre o papel mediador das tecnologias”. In: **REM: Revista Escola de Minas**, v.54, n.1, Ouro Preto jan./mar. 2001.

RIBA. “**Royal Institute of British Architects**”. Disponível em <<https://www.architecture.com>>. Acesso em: 26 ago. 2021.

ROCHA, Danilo Higa; CELANI, Gabriela; PUPO, Regiane Trevisan. “Fabricação digital e sua aplicação no corte de fôrmas de concreto: um exercício de produção”. In: **NUTAU 2010 - 8º Seminário Internacional. Design e Inovação: Mensagens e Produtos para Ambientes Sustentáveis** - São Paulo, 2010.

RODRIGUES, Luciana Iodice; PUPO, Regiane Trevisan; CELANI, Gabriela. “A digitalização 3D e a prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de edifícios históricos: o uso de técnicas de curto alcance para a produção de ornamentos arquitetônicos para maquetes”. In: **Arq.Doc.2010**, Salvador, FAUFBA - 09 e 10 dez, 2010.

ROMCY, Neliza Maria e Silva; TINOCO, Marcelo Bezerra de Melo; CARDOSO Daniel Ribeiro. “Reflexões sobre a introdução da abordagem paramétrica no ensino de projeto”. In: **VIRUS, Revista do nomads.usp**, São Carlos, n. 11, 2015. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus11/?sec=4&item=2&lang=pt>. Acesso em: 04 mar. 2021.

ROSA, Naomy Cristine Penha; MARTINO, Jarryer Andrade de. “**Auto-organização dos Edifícios do Centro de Artes: Estudo de Caso a partir dos Sistemas Generativos**”. Relatório final de pesquisa. Tecnologias Integradas ao Projeto (TIP), Vitória - Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.

RUNCO, Mark A.; ACAR, Selcuk. “Divergent Thinking as an Indicator of Creative Potential”. In: **Creativity Research Journal**, 24(1), 2012.

SACRISTÁN. J. Gimeno; GÓMEZ, A. I. Pérez. “Compreender e transformar o ensino”. Trad. Ernani F. da Fonseca Rosa – 4ª ed., Porto Alegre: ARTMED, 1998. 400 p.

SANTOS, Marcelo Câmara dos; MENEZES, Marcus Bessa de. “A Teoria Antropológica do Didático: uma Releitura Sobre a Teoria”. In: **Revista do Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)**. V. 8, Número Temático, 2015.

SARCAR, M.M.M.; RAO, M.K.; NARAYAN, Lalit. “**Computer Aided Design and Manufactuirng**”. New Delhi: Prentice-Hall of India, 2008. 728 p.

SÁRKÖZI, Réka; IVÁNYI, Péter; SZÉLL, Attila Béla. “Methods of Teaching Parametric Design for Architectural Students”. In: **Conference Proceedings V. International Architectural Design Conference Archdesign**, 18, p. 25-29 - 2018.

SAUNDERS, Mark N. K.; TOWNSEND, Keith. "Choosing Participants". In: Cassell, C, Cunliffe, A, and Grandy, G (eds) - **Sage Handbook of Qualitative Business and Management Research Methods**. London: Sage. Pp.480-494 - 2018.

SCHULTZ, Duane P; SCHULTZ, Sydney Ellen. "**História da Psicologia Moderna**". 10ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

SCHUMACHER, Patrik. "**Parametricism as Style - Parametricist Manifesto**". Presented and discussed at the Dark Side Club, 11th Architecture Biennale, Venice 2008. Disponível em:

<https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm>.

Acesso em: 24 fev. 2021.

SCHUMACHER, Patrik. "Parametricism: A new global style for architecture and urban design" In: **Architectural Design**, 79(4). 2009. p. 14-23. <https://doi.org/10.1002/ad.912>.

SCHVAMBACH, Mikaella; GALAFASSI, Marcelo. "**Aplicação prática e desenvolvimento de elementos de obstrução solar com o auxílio de softwares que utilizam modelagem paramétrica**". Relatório final de pesquisa. Programa de pesquisas do Artigo 170, Balneário Camboriú - Universidade do Vale do Itajaí, 2017.

SEDREZ, M.; CELANI, G. "Ensino de projeto arquitetônico com a inclusão de novas tecnologias: uma abordagem pedagógica contemporânea". In: **PosFAUUSP**, 2014. Vol. 21(nº 35), p. 78-97.

SEDREZ, Maycon; MARTINO, Jarryer A. "Sistemas Generativos". In: CELANI, M.G.C.; SEDREZ, M. (Organizadores). **Arquitetura Contemporânea e automação: prática e reflexão**. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 25 a 28.

SHEPHERD, Paul; HUDSON, Roly; HINES, David. "Aviva Stadium: a parametric success". In: **International Journal of Architectural Computing**. 2011, p. 167-186.

SILVA, Diego Jami Menezes da; MARTINO, Jarryer Andrade de. "Space Planning from environmental parameter ". In: **XXIV SIGRADI – International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics: Transformative Design**. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2020. Vol. 1, p. 223-228.

SILVA, Flávio Barbosa da; BARROS, Giulia Gonçalves de; ARAÚJO, Manoel Deisson Xenofonte; CAVALCANTI, Virgínia Carrazzone. "Bruce Archer: Método Sistemático para Designers". In: ANDRE NEVES. (Organizador). **Design como pensamento: uma breve história da metodologia de design**. Recife - Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Design, 2017. 167 f; il. color 30cm.

SNYDER, James C.; CATANESE, Anthony. "**Introdução à arquitetura**". Rio de Janeiro: Campos, 1984. 422 p.

SOUZA, Mariana Busarello de; GALAFASSI, Marcelo. “**Investigação sobre o processo de projeto em edificações que utilizaram modelagem paramétrica**”. Relatório final de pesquisa. Programa de pesquisas do Artigo 170, Balneário Camboriú - Universidade do Vale do Itajaí, 2019.

STALS, Adeline; CATHERINE, Elsen; JANCART, Sylvie. “Practical Trajectories of Parametric Tools in Small and Medium Architectural Firms”. In: **Computer-Aided Architectural Design Futures Foundation**, Istanbul, Turkey, 2017: CAAD Futures.

SUTHERLAND, Ivan Edward - Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Ivan-Edward-Sutherland>. Acesso em: 28 jan. 2020.

TRUJILLO, Jorge Hernán Salazar. “**Enseñanza de la técnica en arquitectura: reflexión pedagógica en torno a los métodos para la formación tecnológica en arquitectura y el diseño de estrategias didácticas para su mejoramiento**”. Primeira edição. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia - Vicerrectoría de Investigación. Editorial: Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Arquitectura, 2018. 164 p.

UNIVALI - PROJETO PEDAGÓGICO - Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Itajaí - Biênio 2020/2021. Disponível em: <https://www.univali.br/graduacao/arquitetura-e-urbanismo-balneario-camboriu/projeto-pedagogico/Paginas/default.aspx>. Acesso em 16 de jan. 2023.

VAHID, Mahdieh Abbaszadeh; SADEGHIAN, Shokoufeh Shayesteh; NIA, Hamed. “Investigating the position of the parametric architecture design process in linear and non-linear approaches”. In: **1st Proceedings of the First International Congress of New Horizons in Architecture and Urbanism**, Tehran, Iran, 2015.

VASCONSELOS, Tássia Borges de; BORDA, Adriane Almeida da Silva; VECCHIA, Luísa Félix Dalla. “A parametrização como experiência prévia para a estruturação de métodos projetuais em arquitetura”. In: **XVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - SIGraDi: Design in Freedom - Blucher Design Proceedings**, vol. 1, nº 8, 2014.

VELTEN, Maria Fernanda Varejão; MARTINO, Jarryer Andrade de. “**A parametrização no processo projetual: síntese do código**”. Relatório final de pesquisa. Tecnologias Integradas ao Projeto (TIP), Vitória - Universidade Federal do Espírito Santo, 2021.

VELOSO, Pedro Luís Alves; SCHEEREN, Rodrigo; VASCONSELOS, Tássia. “O ensino de projeto e o processo de design paramétrico: desafios e perspectivas”. In: **Bloco 13**, (Novo Hamburgo: Feevale, 2017. pp. 88-107.

VINUTO, Juliana. “A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto”. In: **Temáticas**, Campinas, v. 22, nº 44, p. 203-220, ago/dez. 2014.

VON TENNENBERG, Florença Fiedler Pichler; GALAFASSI, Marcelo. “Aplicação de um fluxo de trabalho paramétrico em projeto de *brise-soleil* com auxílio do *software ladybug*”. In: **XV Encontro Nacional e XI Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC / ELACAC**. João Pessoa, 18 a 21 set. 2019.

VOORDT, Theo J. M. van der; WEGEN, Herman B. R. van. “**Arquitetura sob o olhar do usuário**”. Trad. Maria Beatriz de Medina. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

WOLKART, Isabella Cardoso; MARTINO, Jarryer Andrade de. “**Análise da ferramenta Projeto Generativo do programa Dynamo/Autodesk Revit 2021**”. Relatório final de pesquisa. Tecnologias Integradas ao Projeto (TIP), Vitória - Universidade Federal do Espírito Santo, 2021.