



# FIXO

REVISTA DE  
ARQUITETURA, CIDADE E  
CONTEMPORANEIDADE

**projeto, parametria e tecnologia I**



**n.17, v.5**  
outono de 2021





REVISTA DE  
ARQUITETURA, CIDADE E  
CONTEMPORANEIDADE

**projeto, parametria e tecnologia I**

**n.17, v.5**  
outono de 2021





Rua Benjamin Constant, n. 1359, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil, Telefone: [53] 3284 55 11  
<http://cmaiscufpel.wixsite.com/cmaisc>  
e-mail: [revistapixo@gmail.com](mailto:revistapixo@gmail.com)

## apresentação

A Revista Pixo é uma publicação do Grupo de Pesquisa Cidade+Contemporaneidade (CNPQ), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb), do Laboratório de Urbanismo (LabUrb), da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

Revista digital disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/pixo/index>

ISSN 2526-7310

### Editores Responsáveis

Eduardo Rocha  
Fernando Freitas Fuão

### Editores Associados

Adriane Borda Almeida da Silva  
Carolina Frasson Sebalhos  
Eduardo Grala da Cunha  
Vanessa Forneck

### Comitê Científico e Conselho Editorial

Adriana Portella  
Adriana Goni Mazzitelli  
Ana Maria Albani de Carvalho  
Ana Paula Vieceli  
André de Oliveira Torres Carrasco  
Angela Raffin Pohlmann  
Bárbara de Bárbara Hypolito  
Beatriz Dorfman  
Carla Gonçalves Rodrigues  
Carmen Anita Hoffmann  
Carolina Clasen  
Carolina Corrêa Rochefort  
Celma Paese  
Cristine Jaques Ribeiro  
Cláudia Mariza Mattos Brandão  
Débora Souto Allemand  
Dirce Eleonora Nigro Solis  
Eduarda Azevedo Gonçalves  
Eliana Mara Pellerano Kuster  
Emanuela Di Felice  
Fábio Bortoli  
Fernanda Tomiello  
Francesco Careri  
Francisco de Assis da Costa  
Gisele Silva Pereira  
Gustavo de Oliveira Nunes  
Hartmut Günther  
Haydeé Beatriz Escudero  
Helene Gomes Sacco Carbone  
Iazana Guizzo  
Igor Guatelli  
José Carlos Mota  
Josiane Franken Corrêa

Juan Manuel Diez Tetamanti  
Julian Grub  
Laura Novo de Azevedo  
Laura Rudzewicz  
Lisandra Fachinello Krebs  
Lorena Maia Resende  
Luana Pavan Detoni  
Marcelo Roberto Gobatto  
Marc Weiss  
Márcio Pizarro Noronha  
Maria Ivone dos Santos  
Marlon Uliana Calza  
Markus Tomaselli  
Mauricio Couto Polidori  
Paola Berenstein Jacques  
Paulo Afonso Rheingantz  
Priscila Pavan Detoni  
Rafaela Barros de Pinho  
Raquel Purper  
Rita de Cássia Lucena Velloso  
Roberta Roberta Krahe Edelweiss  
Shirley Terra Lara dos Santos  
Susana de Araujo Gastal  
Sylvio Arnoldo Dick Jantzen  
Thais de Bhanthumchinda Portela  
Vicente Medina

### Equipe Técnica

Laís Dellinghausen Portela  
Taís Beltrame dos Santos  
Vanessa Forneck

### Suporte Técnico

Laís Dellinghausen Portela

### Revisão Linguística

Ana dos Santos Maia  
Martha Hirsch  
Pierre Moreira dos Santos

### Capa e Diagramação

Taís Beltrame dos Santos

### Imagens de capa

Celma Paese

A 17ª Edição temática “PROJETO, PARAMETRIA E TECNOLOGIA I” é dirigida por Adriane Borda Almeida da Silva e Eduardo Grala da Cunha e tem o propósito de discutir a parametria no sentido da compreensão e exploração de um mundo codificado, no qual tentamos tomar consciência e explicitar parâmetros envolvidos na complexidade que possa envolver o processo de projeto, para então modelar e simular. Pensar a parametria associada aos recursos tecnológicos tem ampliado possibilidades para considerar parâmetros de diferentes ordens, para muito além da forma. Como provocação foram formuladas questões como: de que maneira a parametria pode potencializar o processo de projeto e o quanto esta possibilidade tem exigido uma revisão do papel da tecnologia junto a este processo?

A “PIXO – REVISTA DE ARQUITETURA, CIDADE E CONTEMPORANEIDADE” é uma revista digital trimestral (primavera, verão, outono e inverno) e visa reunir artigos, ensaios, entrevistas e resenhas (redigidos em português, inglês ou espanhol) em números temáticos. A abordagem multidisciplinar gira em torno de questões relacionadas à sociedade contemporânea, em especial na relação entre a arquitetura e cidade, habitando as fronteiras da filosofia da desconstrução, das artes e da educação, a fim de criar ações projetuais e afetos para uma ética e estética urbana atual. A revista é uma iniciativa do Grupo de Pesquisa CNPQ Cidade+Contemporaneidade, do Laboratório de Urbanismo (LabUrb), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb) e do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

A revista é uma iniciativa do Grupo de Pesquisa CNPQ Cidade+Contemporaneidade, do Laboratório de Urbanismo (LabUrb), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb) e do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

Agradecimento aos revisores da edição: Adriane Borda, Carolina Clasen, Cristiane Nunes, Eduardo Grala, Eduardo Rocha, Gilfranco Alves, Janice Pires, Jarryer Andrade de Martino, Laline Cenci, Liziane Jorge, Lorena Maia Resende, Luana Pavan Detoni, Luciana Sandrini, Luisa Félix Dalla Vecchia, Maurício Couto Polidori, Paulo Afonso Rheingantz, Rafaela Barros De Pinho, Rafaela Bortolini, Roberta Edelweiss e Tássia Vasconcelos.

Adriane Borda Almeida da Silva, Eduardo Grala da Cunha e Eduardo Rocha  
Outono de 2021

## editorial

PROJETO PARAMETRIA E TECNOLOGIA .....10-13

*Adriane Borda Almeida da Silva e Eduardo Grala da Cunha*

## entrevista

PARAMETRIA E O DESEJO DE UMA COMPUTAÇÃO INTEGRADA EM PROJETO.....16-45

*André Procópio, Anja Pratschke, Camila de Oliveira Ghendov, Gilfranco Medeiros Alves, Gonçalo Castro Henriques, Jarryer Andrade De Martino, Marcelo Tramontano, Maria Gabriela Caffarena Celani, Mateus de Sousa Van Stralen, Vanessa Forneck, Bruna Silva Rodrigues, Gabriela Noremberg Pinto, Letícia Rodrigues da Cunha, Taís Beltrame dos Santos e Eduardo Rocha*

## artigos e ensaios

PROJETO, PADRÕES E TECNOLOGIA

Da linguagem de Alexander à programação e inteligência artificial.....48-63

*Giovanna Tomczinski Novellini Brigitte*

NÍVEIS DE COMPUTABILIDADE EM PROCESSO DE PROJETO

Casos e especificidades.....64-81

*Tássia Borges de Vasconcelos e David Moreno Sperling*

AS MUDANÇAS NA GÊNESE DA FORMA CONTEMPORÂNEA

Análise do processo de projeto na obra de Frank Gehry.....82-105

*Ana Elisa Souto*

PARAMETRIA COMO IMPULSO À METACOGNIÇÃO

Entre a aprendizagem formal e a autoaprendizagem para a prática de projeto de arquitetura.....106-125

*Fernando de Azevedo Valente*

MODELO PARAMÉTRICO PARA COMPATIBILIDADE

AMBIENTAL DE MUSEUS DE ARTE EM REGIÕES SUBTROPICAIS.....126-141

*Laline Cenci e Rodrigo Garcia Alvarado*

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO

POR MEIO DE JANELAS PARAMETRIZADAS.....142-157

*Victor Moura Bussolotti, Edna Aparecida Nico Rodrigues e Jarryer Andrade de Martino*

ANÁLISE DA OTIMIZAÇÃO SIMPLIFICADA

DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL.....158-179

*Thaís Carvalho Rodrigues, Kelly Fagundes Aires, Maria Augusta Guisso Gonzaga, Stifany Knop, Fabio Kellermann Schramm e Eduardo Grala Da Cunha*

CONSTRUÇÃO AUTOMATIZADA EM BLOCOS CERÂMICOS

Do processo paramétrico à aplicação robótica.....180-193

*Júlio César Pinheiro Pires, Laline Elisângela Cenci e Olavo Avalone Neto*

ENTRE O VIRTUAL E O TANGÍVEL

Parametria de mobiliário para promover processos colaborativos em contextos de habitação de interesse social.....194-213

*Adriane Borda Almeida da Silva, Cristiane dos Santos Nunes e Nirce Saffer Medvedovski*

USO DO APLICATIVO TALLY NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS

Estudo de caso com uma edificação multifamiliar brasileira.....214-237

*Raísa Machado Rinkevicius, Michele Ferreira Dias Morales e Alessandra Teribe*

ELEMENTOS DE AUTENTICIDADE GRÁFICA DESVELADOS POR PARAMETRIA

Aplicação ao caso do escudo da Universidade Federal de Pelotas.....238-259

*Eduardo Montagna da Silveira, Adriane Borda Almeida e Janice de Freitas Pires*

## parede branca

PARAMETRIZING TRADITIONAL ARCHITECTURE

a multi-disciplinary approach to strength cultural sensibility.....262-265

*Maycon Sedrez*

PROJETO PARA CONSTELAR

o uso do desenho paramétrico na produção do espaço .....266-269

*Thiago Guedes e Valentina Toaldo Brum*

VIDA EM CORREDOR.....270-275

*Ruíno Becker*

## resenha

TRAJETÓRIAS E NUANCES DA PERSONALIZAÇÃO EM SÉRIE

Diálogos interdisciplinares.....278-285

*Gabriela Celani e Raquel Magalhães Leite*



# PROJETO, PARAMETRIA E TECNOLOGIA I

**Adriane Borda Almeida da Silva<sup>1</sup>**  
**Eduardo Grala da Cunha<sup>2</sup>**

A obra que envolve a capa desta edição da Revista PIXO é uma expressão sensível de Celma Paese para anunciar a temática “PROJETO, PARAMETRIA E TECNOLOGIA”. Sob uma leitura, contaminada por tal abordagem, esta obra parece representar partes do cérebro, acessadas e (des)integradas para descortinar uma rede neural, para explicitar um mundo de conexões entre linhas, cores e texturas que se diluem para estampar algo difuso. Algo que advém de partes (in)acessíveis, manchas negras, que seguem o fluxo para encontrar a luz, para traduzir alguns circuitos neurais, sob a tomada de consciência da plasticidade e individualidade de uma instância do próprio organismo que representa. Por meio desta linguagem metafórica se quer aqui estabelecer uma conexão com o conceito de parametria, quando este faz referência à intenção de estabelecer um sistema capaz de representar um pensamento próprio de uma ação projetual, independentemente se este faz ou não uso das tecnologias digitais de representação.

Os trabalhos aqui reunidos apresentam diferentes interpretações e aplicações sobre a temática proposta, e com isto auxiliam a compreender e a ampliar as possibilidades para pensar o processo de projeto a partir da parametria e da tecnologia.

Esta 17ª edição da Revista PIXO inclui uma entrevista, a qual parte do propósito de introduzir o conceito de parametria, e, logo, reúne onze trabalhos, na sessão de artigos e ensaios, focados na escala do projeto de arquitetura e de design gráfico. O número contempla também três trabalhos, na sessão parede branca, e mais uma resenha. Entretanto, esta é apenas uma parte da produção da temática dividida em duas edições. Os trabalhos da 18ª edição ampliam a discussão, para abarcar, também, a escala do urbano.

A entrevista, PARAMETRIA E O DESEJO DE UMA COMPUTAÇÃO INTEGRADA EM PROJETO, muito mais do que introduzir o conceito de parametria, permite registrar, na primeira pessoa, diversas trajetórias de pesquisadores neste campo, muitos deles precursores no uso e na difusão do desenho paramétrico no contexto acadêmico brasileiro. Vanessa Forneck, Bruna Silva Rodrigues, Gabriela NoreMBERG Pinto, Letícia Rodrigues da Cunha e Taís Beltrame dos Santos e Eduardo Rocha, responsáveis por esta entrevista, promovem o acesso a ilustrativos recortes desta história que, em conjunto, oportunizam compreender a percepção de cada entrevistado sobre como o desenho paramétrico tem permeado o modo de pensar e de fazer Arquitetura. O grupo transcreve a fala de André Procópio (Metamoorfose Studio), Anja Pratschke (USP), Camila de Oliveira Ghendov (IMEX), Gilfranco Medeiros Alves (UFMS), Gonçalo Castro Henriques (UFRJ), Jarryer Andrade De Martino (UFES), Marcelo Tramontano (USP), Maria Gabriela Caffarena Celani (UNICAMP), Mateus de Sousa Van Stralen (UFMG), a partir das seguintes provocações: como define desenho paramétrico?; como percebe a introdução deste conceito no Brasil?; como

<sup>1</sup>Professora titular da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UFPEL). Pós doutora em Arquitetura na KULeuven/Bélgica. Doutora em Filosofia e Ciências da Educação - Universidad de Zaragoza (2001), reconhecido no Brasil pela UFRGS (Doutora em Educação), mestre em Arquitetura Conforto Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1993), graduação em Esquema I Complementação Pedagógica pela Universidade Federal de Pelotas (1987) e Arquiteta e Urbanista (UFPEL, 1983).

<sup>2</sup> Professor associado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UFPEL). Pós-Doutorado pela Universidade de Kassel, Alemanha (2008), Doutor (2005), Mestre (1999) e Especialista (1995) em Arquitetura (UFRGS). Arquiteto e Urbanista (URGS, 1994).

conheceu e como, hoje, se utiliza do desenho paramétrico?; qual projeto pode utilizar para exemplificar o uso de um processo paramétrico?; é possível parametrizar os desejos? As respostas, situadas no tempo e no contexto de cada um, ampliam as discussões sobre o tema e podem contribuir para instrumentalizar o leitor para dialogar com as demais produções que seguem.

A sessão de artigos e ensaios apresenta, inicialmente, quatro trabalhos de abordagens teóricas e reflexivas:

**PROJETO, PADRÕES E TECNOLOGIA:** da linguagem de Alexander à programação e inteligência artificial, é de autoria de Giovanna Tomczinski Novellini Brígite. Trata-se de um ensaio que propõe a retomada de questões apresentadas por correntes como o Design Methods (1960) e Design Thinking (1969), para que sejam integradas aos métodos que envolvem as tecnologias digitais já consolidadas (CAD, SGs) e ainda promissoras (BIM e AM). O estudo considera a possibilidade de integrar processos de concepção projetual digitais ao conhecimento qualitativo, não mecanizado, e a uma sistematização criativa, por meio de métodos e algoritmos de tomada de decisão. As reflexões indicam a conveniência de adoção de uma abordagem paramétrica sob um modelo gramaticalmente transformativo, para garantir a busca de soluções de qualidade para as relações ser humano – ambiente.

**NÍVEIS DE COMPUTABILIDADE EM PROCESSO DE PROJETO:** casos e especificidades, foi desenvolvido por Tássia Borges de Vasconcelos e David Moreno Sperling. O estudo, apoiado em abordagens de Rivka Oxman e Toni Kotnik, apresenta uma precisão terminológica para evidenciar as diferenças entre modos de uso do computador, como mídia ativa no processo projetual, junto à produção da arquitetura. Este modo é desdobrado em três níveis de computabilidade e cada um deles é exemplificado com um caso emblemático da arquitetura contemporânea: representacional/Guggenheim Museum Bilbao; paramétrico/International Terminal at Waterloo Station; algorítmico/Water Cube.

**AS MUDANÇAS NA GÊNESE DA FORMA CONTEMPORÂNEA:** análise do processo de projeto na obra de Frank Gehry, é de Ana Elisa Souto. O estudo está apoiado em reflexões de autores como Zygmunt Bauman (modernidade líquida) e Ignasi de Solà-Morales (arquitetura líquida), além de trazer para a discussão Vilém Flusser e Rafael Moneo, para adicionar conceitos de fragmentação e de desconstrução em arquitetura. Com este apoio, sustenta uma análise sobre a metodologia de integração de lógicas projetuais analógicas e digitais empregada por Gehry.

**PARAMETRIA COMO IMPULSO À METACOGNIÇÃO:** entre a aprendizagem formal e a auto aprendizagem para a prática de projeto de arquitetura, foi desenvolvido por Fernando de Azevedo Valente. O estudo trata de registrar uma reflexão, realizada por um estudante de arquitetura, sobre sua trajetória formativa em parametria, a qual inclui um estudo introdutório em desenho paramétrico, em disciplina de geometria, o desenvolvimento de um projeto para disciplina curricular e outro para a participação em um concurso dirigido a estudantes.

Os demais trabalhos desta sessão apresentam abordagens práticas em parametria. Os três primeiros tratam do estudo da geometria, implícita nas características de operação de elementos de arquitetura e do envelope de edificações, associada aos parâmetros climáticos, sendo eles: **MODELO PARAMÉTRICO PARA COMPATIBILIDADE AMBIENTAL DE MUSEUS DE ARTE EM REGIÕES SUBTROPICAIS**, desenvolvido por Laline Cenci e Rodrigo Garcia Alvarado; **METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO POR MEIO DE JANELAS PARAMETRIZADAS**, sob a autoria de Victor Moura Bussolotti, Edna Aparecida Nico

Rodrigues e Jarryer Andrade de Martino; ANÁLISE DA OTIMIZAÇÃO SIMPLIFICADA DE UMA EDIFICAÇÃO, desenvolvido por Thaisa Carvalho Rodrigues, Kelly Fagundes Aires, Maria Augusta Guisso Gonzaga, Stifany Knop, Fabio Kellermann Schramm e Eduardo Grala Da Cunha.

Os últimos quatro trabalhos tratam de aplicações que envolvem parâmetros formais e construtivos, entretanto, três deles seguem com a abordagem no campo da arquitetura e construção e a sessão é encerrada com uma aplicação da parametria no campo do design gráfico.

CONSTRUÇÃO AUTOMATIZADA EM BLOCOS CERMICOS: do processo paramétrico à aplicação robótica, trata-se de um trabalho desenvolvido por Júlio César Pinheiro Pires, Laline Elisângela Cenci e Olavo Avalone Neto. O estudo abarca a parametria para pensar e implementar procedimentos construtivos automatizados com tecnologias avançadas, por meio de experimentações com um braço robótico. ENTRE O VIRTUAL E O TANGÍVEL: Parametria de mobiliário para promover processos colaborativos em contextos de habitação de interesse social, é um estudo de autoria de Adriane Borda Almeida da Silva, Cristiane dos Santos Nunes e Nirce Saffer Medvedovski. O estudo explora as tecnologias digitais de representação por desenho paramétrico, a fabricação digital por impressão 3D e o uso de interfaces tangíveis para o desenho de um dispositivo que possa facilitar a apropriação da linguagem técnica de representação por pessoas leigas e se estabelecer como infraestrutura para a extensão universitária junto a contextos de habitação de interesse social.

USO DO APLICATIVO TALLY NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS: estudo de caso com uma edificação multifamiliar brasileira, foi desenvolvido por Raísa Machado Rinkevicius, Michele Ferreira Dias Morales e Alessandra Teribele. Este estudo explicita parâmetros que envolvem o processo de tomada de decisão durante a etapa de projeto, atenta à minimização dos impactos ambientais gerados pela construção civil, sob o foco da envoltória da edificação. Está apoiado na abordagem Building Information Modelling (BIM), por meio do aplicativo Tally associado ao software REVIT, como alternativa para realizar uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), sob o argumento de facilitar a associação de grande quantidade de dados de entrada relativos às edificações.

ELEMENTOS DE AUTENTICIDADE GRÁFICA DESVELADOS POR PARAMETRIA: aplicação ao caso do escudo da Universidade Federal de Pelotas, é um estudo realizado por Eduardo Montagna da Silveira, Adriane Borda Almeida e Janice de Freitas Pires. Este trabalho aborda a parametria no campo do design gráfico. Investiga os tipos de transformações decorrentes de processos de reprodução digital de uma obra de design gráfico produzida, originalmente, por meios tradicionais de desenho. Os ensaios de aplicação de técnicas de desenho paramétrico para compreender a obra original, subsidiam a reflexão sobre a efetiva tomada de consciência pelo projetista, junto a processos de redesenho, sobre a permanência ou perda de aspectos de autenticidade.

A sessão Parede Branca é apresentada, inicialmente, por duas produções, por desenho paramétrico. Ambas as produções envolvem a fabricação digital, advêm de ambientes de escolas de arquitetura, porém se diferenciam em escala de aplicação, em seus propósitos e contextos culturais que se inserem. A primeira, PARAMETRIZING TRADITIONAL ARCHITECTURE: a multi-disciplinary approach to strength cultural sensibility, foi apresentada por Maycon Sedrez e deriva de uma experiência didática, de exercícios de estudantes de uma escola de arquitetura chinesa. A segunda, PROJETO PARA CONSTELAR: o uso do desenho paramétrico

na produção do espaço, é o resultado de uma produção artística e reflexiva, por Thiago Guedes, enquanto mestrando da Universidade Federal de Pelotas, em processo colaborativo com Valentina Toaldo Brum, enquanto estudante de arquitetura na mesma universidade.

Logo, recebemos outro presente, de Rufino Becker, que traz uma interpretação de parametria de maneira provocativa e efetivamente transgressora. Sob o título VIDA EM CORREDOR, a sequência de imagens, composta por fotografias de cenários reais e editados explicitam parâmetros manipulados, por ele, por nós, por nossa cultura, para compor uma narrativa alarmante e retumbante. A reflexão, textual e imagética, envolve parâmetros de escala (de valores), de resolução de câmera (de olhar); de velocidade de captação de luz (tempo) e tantos outros que possam conformar os corredores próprios de cada leitor.

E, ainda esta edição, contempla uma resenha, produzida por Gabriela Celani e Raquel Magalhães Leite, intitulada TRAJETÓRIAS E NUANCES DA PERSONALIZAÇÃO EM SÉRIE: diálogos interdisciplinares. Trata-se da apresentação do livro Mass Customization and Design Democratization, editado por Branko Kolarevic e José Pinto Duarte, e publicado pela Editora Routledge, Nova York, no ano de 2018. As autoras oportunizam assim ampliar o tema, particularizado nas edições 17 e 18, com o discurso de pesquisadores que atuam neste campo junto ao cenário internacional. Por fim, registra-se aqui o prazer de termos participado deste movimento acadêmico de provocar a produção na temática PROJETO, PARAMETRIA E TECNOLOGIA e, com isto, usufruir deste generoso espaço, criado pelos editores responsáveis pela Revista PIXO, Eduardo Rocha e Fernando Fuão, e tão habilmente gerenciado por sua equipe técnica.

Agradecemos os diversos e qualificados olhares dos avaliadores que, em meio ao difícil momento em que vivemos, se dispuseram a pensar conosco e contribuir com a qualificação desta publicação.

Agradecemos a todos os autores que compartilharam suas reflexões e que talvez, como nós, conseguiram se refugiar, deslocar, subverter qualquer lógica de racionalidade frente às circunstâncias sociais e políticas que vivemos paralelamente aos momentos desta produção. Trata-se aqui de uma janela, propositalmente aberta para a manutenção de uma esperança de possíveis transgressões, como sugere o conceito de parametria, para vislumbrar outras realidades, mais democráticas e fundamentadas na ciência.

Desejamos poder juntos vislumbrá-las...

Uma excelente leitura a todos e todas!



# PARAMETRIA E O DESEJO DE UMA COMPUTAÇÃO INTEGRADA EM PROJETO

**André Procópio<sup>1</sup>, Anja Pratschke<sup>2</sup>,  
Camila de Oliveira Ghendov<sup>3</sup>, Gilfranco Medeiros Alves<sup>4</sup>,  
Gonçalo Castro Henriques<sup>5</sup>, Jarryer Andrade De Martino<sup>6</sup>,  
Marcelo Tramontano<sup>7</sup>, Maria Gabriela Caffarena Celani<sup>8</sup>,  
Mateus de Sousa Van Stralen<sup>9</sup>, Vanessa Forneck<sup>10</sup>,  
Bruna Silva Rodrigues<sup>11</sup>, Gabriela NoreMBERG Pinto<sup>12</sup>,  
Letícia Rodrigues da Cunha<sup>13</sup>, Taís Beltrame dos Santos<sup>14</sup>  
e Eduardo Rocha<sup>15</sup>**

A Revista PIXO tem o prazer de abrir sua 17ª edição com uma série de entrevistas com profissionais da área de Projeto, Parametria e Tecnologia do Brasil. Os entrevistados atuam em diferentes regiões do país: São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro e são reconhecidos pela proximidade e relevância de suas pesquisas e práticas sobre o tema. O objetivo das entrevistas foi suscitar e reunir conceituações, reflexões e exemplificações sobre o desenho paramétrico e sua utilização no Brasil. O material aqui apresentado foi provocado por quatro perguntas feitas a todos os entrevistados: 1-Como você definiria desenho paramétrico? Como percebeu a introdução do no Brasil? 2- Como conheceu o desenho paramétrico e como o utiliza atualmente? 3-Você poderia nos contar sobre um projeto destaque que usa processos paramétricos? 4- É possível parametrizar os desejos? Entende-se que diversificar e pluralizar as respostas sobre a temática, contribua para a construção do conhecimento e amplie as discussões sobre as formas de projetar em arquitetura e urbanismo. Desejamos uma boa leitura!

## Entrevistadoras

Vanessa Forneck, Bruna Silva Rodrigues e Gabriela NoreMBERG Pinto.

<sup>1</sup> Arquiteto e Urbanista pela Mackenzie.

<sup>2</sup> Doutorado sandwich/especialização em Hipermedias pela Université de Paris 8, pós-doutorado na Bartlett School of Architecture, University College of London.

<sup>3</sup> Arquitetura e Urbanista (Mackenzie) e especialista em Arquitetura Digital e Projetos Paramétricos no Centro Universitário Belas Artes de São Paulo.

<sup>4</sup> Doutor em Arquitetura e Urbanismo do IAU (USP), com período sanduíche em Delft University of Technology, na Holanda.

<sup>5</sup> Doutor em Arquitetura, Especialidade de Tecnologia na Arquitetura na Universidade Técnica Lisboa, FAUTL, Portugal.

<sup>6</sup> Doutor em Arquitetura, Tecnologia e Cidade pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

<sup>7</sup> Pós-doutor pela Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Malaquais, ENSAPM, França e tem Livre-docência pela Universidade de São Paulo, USP.

<sup>8</sup> Doutora em Architecture: Design & Computation no Massachusetts Institute of Technology (MIT) Estados Unidos, pós-doutorado pela Universidade Técnica de Lisboa (UTL) Portugal

<sup>9</sup> Doutor em Arquitetura e Urbanismo pela UFMG.

<sup>10</sup> Mestranda em Arquitetura e Urbanismo, na linha de pesquisa Urbanismo Contemporâneo do PROGRAU/ UFPel. Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela mesma universidade. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

<sup>11</sup> Graduanda em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal de Pelotas.

<sup>12</sup> Graduanda em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal de Pelotas.

<sup>13</sup> Graduanda em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal de Pelotas.

<sup>14</sup> Mestranda em Arquitetura e Urbanismo, na linha de pesquisa Urbanismo Contemporâneo do PROGRAU/ UFPel. Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela mesma universidade. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

<sup>15</sup> Professor Associado na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Pelotas. Arquiteto e Urbanista pela UCPel, Mestre em Educação pela UFPel, Doutor em Arquitetura pelo PROPAP/ UFRGS e Pós-Doutor pela Università Roma Tre.

## Roteiro

Eduardo Rocha, Vanessa Forneck, Taís Beltrame dos Santos, Bruna Silva Rodrigues, Gabriela NoreMBERG Pinto e Letícia Rodrigues da Cunha.

## Transcrição

Bruna Silva Rodrigues e Gabriela NoreMBERG Pinto.

## Revisão

Vanessa Forneck, Taís Beltrame dos Santos e Eduardo Rocha.

## Título

Gonçalo Castro Henriques

## Entrevistados

André Procópio - Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Sócio fundador do *Metamorfose Studio* em 2014, com sede em São Paulo-SP, juntamente com a arquiteta Aline D'Avola. Os projetos que o estúdio desenvolve pertencem a várias escalas: pequenos objetos, reforma de interiores, novas construções, espaços públicos e até projetos urbanos com variados programas. Dentro do contexto atual da arquitetura digital, o escritório procura abrir uma alternativa para pesquisas digitais e experimentações dentro das possibilidades formais, buscando encontrar respostas às preocupações contemporâneas.

Anja Pratschke - Pesquisadora alemã, mora no Brasil desde 1990, Professora Associada do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, na Universidade de São Paulo. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2. Co-coordenadora do grupo de pesquisa Nomads.usp - Núcleo de Estudos de Habitares Interativos. Graduada em Arquitetura pela Ecole d'Architecture de Grenoble, na França. Mestre em História da Arquitetura pela Escola de Engenharia da USP e Doutora em Ciências Computacionais pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo. Doutorado sandwich/especialização em Hipermedias pela Université de Paris 8, pós-doutorado na Bartlett School of Architecture, University College of London.

Camila de Oliveira Ghendov - Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, com Intercâmbio Acadêmico na Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. Tem especialização em Arquitetura Digital e Projetos Paramétricos no Centro Universitário Belas Artes de São Paulo e ensino técnico em Economia Criativa no Setor Audiovisual pela SPCine-Prefeitura de São Paulo. Pesquisadora de Ambientes de Trabalho Imersivos no programa de Mestrado Profissional em Arquitetura, Urbanismo e Design do Centro Universitário Belas Artes. É Técnica do Laboratório de Experiências Imersivas do Centro Universitário Belas Artes (IMEX) e professora, na mesma instituição, nos cursos de graduação em Rádio e TV e Mídias Sociais Digitais, e Pós-graduação em Arquitetura Digital e Projetos Paramétricos. Também desenvolve produções gráficas em fotografia e ilustração para O Estúdio Gráfico, e produz peças em realidade aumentada para redes sociais.

Gilfranco Medeiros Alves - Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas, RS. Tem especialização em Design de Interiores pela Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal (UNIDERP), mestrado em Estudos de Linguagens pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo do IAU (USP), com período sanduíche em Delft University of Technology, na Holanda. É Professor Adjunto na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e coordenador do grupo de pesquisa algo+ritmo.

Gonçalo Castro Henriques - Graduado em Arquitetura pela Escola Superior Artística

do Porto, ESAP, Portugal. Tem mestrado em Architecturas Genéticas na Universitat Internacional de Catalunya, na Espanha e doutorado em Arquitetura, Especialidade de Tecnologia na Arquitetura na Universidade Técnica Lisboa, FAUTL, Portugal. É pesquisador e professor adjunto na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, onde, também, coordena o Laboratório LAMO - Laboratório de Modelos 3D e Fabricação Digital (FAU-UFRJ).

Jarryer Andrade De Martino - Graduado em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário Moura Lacerda, São Paulo. Tem especialização em Design de Multimídia pela Universidade Anhembi Morumbi, mestrado em Desenho Industrial pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) e doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). É professor e pesquisador na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e coordenador do grupo de pesquisa Tecnologias Integradas ao Projeto.

Marcelo Tramontano - Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas e em Arquitetura pela Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, França. Tem mestrado em Arquitetura pela Ecole D'Architecture de Grenoble e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo. É pós-doutor pela Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Malaquais, ENSAPM, França e tem Livre-docência pela Universidade de São Paulo, USP. É pesquisador e professor Associado do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP. Coordenador do grupo de pesquisa Nomads.usp - Núcleo de Estudos de Habitares Interativos, membro titular da Congregação do IAU-USP e editor-chefe do periódico VIRUS.

Maria Gabriela Caffarena Celani - Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo, USP e mestre em Arquitetura e Urbanismo pela mesma instituição. Tem doutorado em Architecture: Design & Computation no Massachusetts Institute of Technology (MIT) Estados Unidos, pós-doutorado pela Universidade Técnica de Lisboa (UTL) Portugal e Livre-docência pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). É pesquisadora e docente do curso de Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, onde criou o Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (LAPAC) e o grupo de pesquisas Teorias e Tecnologias Contemporâneas Aplicadas ao Projeto.

Mateus de Sousa Van Stralen - Graduado em Arquitetura pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), tem mestrado em Arquitetura e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela mesma instituição. É professor adjunto na UFMG, pesquisador do LAGEAR e diretor da KUBUS4D. Foi pesquisador do Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC-MG). É membro da ASC (American Association of Cybernetics), revisor do periódico Kybernetes (Inglaterra) e membro do Comitê Científico da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital (SIGRADI).

### Revista PIXO: Como você definiria desenho paramétrico? Como percebeu a introdução no Brasil?

**Gabriela Celani:** O desenho ou projeto paramétrico (*parametric design*) existe há muito tempo. Ele consiste simplesmente em deixar alguns parâmetros do projeto em aberto, especificando intervalos de valores que podem ser atribuídos a cada parâmetro no momento de sua instanciação – ou seja, no momento em que o projeto será efetivamente realizado. Manuais de arquitetura, como os tratados de Alberti, Palladio e Durand, podem ser considerados exemplos de projeto paramétrico. Desse modo, podemos dizer que o primeiro caso de projeto paramétrico no Brasil foi o uso

do tratado de Alberti pelos jesuítas na construção de algumas das primeiras igrejas em nosso território (ver a tese de doutorado de Giovana Godoi da Unicamp<sup>16</sup>, e os artigos publicados por José Pinto Duarte e Mário Kruger no projeto Digital Alberti<sup>17</sup>).

Com relação ao projeto paramétrico implementado em computador, pode-se dizer que ao começarmos a usar softwares de desenho, provavelmente nos anos 1970, já começávamos a trabalhar parametricamente. Com relação ao uso explícito de algoritmos, o exemplo mais antigo que conheço no Brasil é de 1989, quando Waldomiro J. S. Leite publicou, pela Editora Érica, o livro *AutoLisp: guia da linguagem de programação do AutoCad*. No mesmo ano, a editora Ciência Moderna publicou a tradução do livro *Técnicas Avançadas em AutoCAD*, de Robert M. Thomas. Essas duas obras tinham como foco a programação em AutoLisp, e não o projeto paramétrico em si, mas já mostravam algumas maneiras simples de parametrização com o uso de algoritmos, como a parametrização de portas e de outros componentes de desenho. Em 2003 eu mesma publiquei, pela editora Campus-Elsevier, o livro *CAD Criativo*, que apresentava o conceito de projeto paramétrico de modo mais objetivo, introduzindo a linguagem VBA para AutoCAD. Mas foi só a partir de 2009, com o *workshop* de Grasshopper de Gonçalo Castro Henriques e Ernesto Bueno durante o congresso SIGraDi em São Paulo, organizado pelo professor Eduardo Nardelli, que o projeto paramétrico efetivamente se tornou mais conhecido no Brasil.

**Anja Pratschke<sup>18</sup>:** Eu queria agradecer pela entrevista, porque me permitiu lembrar de onde vem o uso do design paramétrico no ensino da Arquitetura e Urbanismo. Eu sou professora do ensino da computação para Arquitetura há 20 anos. Sou arquiteta e doutora em computação, que me diferencia de outros professores que ensinam computação para arquitetura. Sou arquiteta de formação e fiz o doutorado em computação, numa época em que a computação estava muito preocupada com a relação homem-máquina. Na época os computadores eram máquinas *stand-alone*, sem conexão em rede. Em 2001, o laboratório de computação do curso de Arquitetura e Urbanismo, tinha somente um computador, de vinte no total, ligado à internet. Observamos o desenvolvimento tecnológico da informação e comunicação nesses últimos vinte anos. Foram desenvolvidas redes, permitindo computadores de se interconectar por cabos ou wifi. Também foram desenvolvidos programas computacionais compatíveis, inclusive para a área de Arquitetura e Urbanismo e o sistema de armazenamento de informação foi revisto, com a possibilidade de salvar arquivos hoje em nuvens.

Para definir e aprofundar o conceito e contexto atrás do desenho paramétrico, sugiro a leitura do livro *Elements Of Parametric Design<sup>19</sup>* (2010), de um pesquisador e professor norte-americano Robert Francis Woodbury. O livro ensina o que o projetista precisa estudar de novos conhecimentos e habilidades. Gosto muito de uma metáfora que o autor usa na introdução do livro. Ele compara o processo que se usa no design paramétrico a produção de música, acredito, por causa da presença de uma indeterminação. Na produção da música tem três aspectos: os músicos, os instrumentos e a peça que você tem que apresentar. Além disso, tem o ambiente, que promove ou dificulta a recepção acústica dos três aspectos interagindo. Então,

16 GONÇALVES, Giovana de Godoi. Uma interpretação computacional do “De re aedificatoria” para igrejas históricas brasileiras. 2015. 147 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258034>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

17 KRUGER, Mário; et al. - Na gênese das racionalidades modernas II: em torno de Alberti e do Humanismo. Coimbra: [s.n.]. 506 p. ISBN 978-989-26-1014-6.

18 A pesquisadora foi entrevistada por vídeo chamada, e as respostas aqui apresentadas são transcrições.

19 Woodbury, Robert Francis. Elements of Parametric Design. New York: Routledge, 2010.

dependendo do músico, do instrumento e em que lugar é tocado, essa peça vai mudar. Podemos dizer que a seleção relacional entre os aspectos define o resultado. O design paramétrico é isso, tem essas indefinições que dependem de relações. Você tem um ponto A e você tem um ponto B, mas você tem a relação entre os dois. Essa relação pode alterar dependendo se o ponto A vai um pouco para frente ou um pouco para trás, mas a relação não se quebra.

O design paramétrico não é um *software* e não é uma técnica precisa, ele é um conceito de como fazer a organização de um processo de projeto. É ligado a um desenvolvimento computacional que tem a ver com a organização da informação e a comunicação dessa informação. O design paramétrico está por trás do BIM, do *Building Information Modeling*, que também é paramétrico. Nós esquecemos muito disso. E quem começa a aprender programas de BIM, deve estar consciente que atrás, encontra-se a programação visual, como o *Grasshopper*, *Dynamo* ou *GenerativeComponents*, que define as relações entre as partes.

A introdução do Design paramétrico como conceito norteador do processo de projeto em Cursos de Arquitetura e Urbanismo no Brasil, e no nosso Instituto em específico, se dá por volta de 2012, estimulado pelo crescente interesse em fabricação digital e o acesso educacional a programas computacionais. O desenvolvimento da rede, a aquisição de computadores de última geração para os laboratórios e a crescente autonomia dos estudantes através de computadores portáteis, impulsionou a introdução de programas e conceitos BIM e seus aspectos tecnológicos. A programação visual foi introduzida a partir de 2012 em laboratório, onde inicialmente foi usado para busca de formas, baseadas em geometria analítica. No início, quando o aluno não sabe usar, ele vai explorando curvaturas para telhados ou paredes, procurando volumetrias, que ele não consegue fazer em outros programas computacionais ou plataformas. O ensino das janelas de programação visual cedeu lugar ao ensinamento do conceito BIM no processo de projeto, usando o Programa Revit, focando na modelação das informações e na colaboração entre as informações.

Recentemente, o desenvolvimento projetual que inclui dados de simulação térmico,



de custo, entre outros, traz a necessidade de incluir de novo a programação visual no contexto de BIM. Inclusive os programas como Revit incluem janelas de programação visual. A montagem de um laboratório de fabricação digital em 2013, estimulou a revisão do processo de projeto de forma paramétrica. Foram adquiridas as máquinas como impressora 3D, cortadora a laser e fresadora. Esses laboratórios surgiram em várias Escolas de Arquitetura no Brasil e no mundo, nessa época. A fabricação digital, implica arquivos digitais, permitindo explorar a integração entre o design paramétrico e a fabricação digital. No nosso grupo fizemos o primeiro pavilhão paramétrico, chamado *Slice* (Figura 1). Ele foi projetado por programação visual, utilizando como material chapas de aço cortadas por uma cortadora industrial e construído no campus de São Carlos, IAU-USP. Foi um *workshop* em várias fases e construímos um protótipo para ver como funciona a integração de uma janela de programação visual para uma cortadora a *laser* industrial. Depois, as peças eram numeradas para a realização da montagem. Foi uma das primeiras experiências no Brasil, feita aqui no Instituto de Arquitetura e Urbanismo.

**Jarryer De Martino:** O desenho paramétrico registra um pensamento sistêmico, ou seja, um mecanismo composto por diferentes elementos que interagem entre si. Sendo assim, o paramétrico está diretamente ligado ao modo de pensar as articulações entre os elementos de um problema em solução. Isso gera demanda por uma representação não estática, abstrata e, que seja capaz de manter as propriedades topológicas dos corpos geométricos. Nesse sentido, a representação paramétrica utiliza diferentes linguagens como forma de registro (matemática, palavras ou símbolos). Por isso a substituição do termo desenho por representação. Acredito que o paramétrico está relacionado à criação de um mecanismo capaz de representar a articulação de um pensamento. Enquanto o desenho acaba sendo o resultado da manifestação de um determinado estado do mecanismo paramétrico citado anteriormente. Ao se alterar os valores das variáveis de uma representação paramétrica, coloca-se o mecanismo em um novo estado e, conseqüentemente, gera-se um novo desenho. Por isso, defino a representação paramétrica como uma forma de representação aberta e dinâmica, registrando a topologia de corpos geométricos e permitindo a sua atualização a qualquer momento.

Falar sobre a introdução da representação paramétrica no Brasil poderia provocar injustiças. No entanto, percebi que o tema ganhou evidência com as pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (LAPAC), fundado e coordenado pela Profa. Dra. Gabriela Celani desde 2006, na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Além da realização do XIII Congresso Anual da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital (SIGraDi), sob o título *Do moderno ao Digital: desafios de uma Transição*, na cidade de São Paulo, em 2009. Ambos contribuíram significativamente para a disseminação e a consolidação dessa discussão no Brasil.

**Mateus Van Stralen:** Eu definiria o desenho paramétrico como um processo no qual propriedades dinâmicas são incorporadas através de relações explícitas entre variáveis independentes – parâmetros. Esta visão está associada à como podemos trabalhar em um modelo paramétrico as relações entre funções, parâmetros e geometria de modo a acomodar variações – distúrbios – sem que se perca a consistência do todo.

Acredito que inicialmente a introdução do desenho paramétrico no Brasil se deu por parte de grupos de pesquisa focados no desenho computacional e pelos próprios alunos de arquitetura que tiveram contato com grupos de pesquisa e escritórios no Brasil e no exterior que exploram o tema. Muito desse contato foi possibilitado pelo

programa governamental *Ciências sem Fronteiras*.

**Camila Ghendov:** A parametria é quando utilizamos regras matemáticas para gerar objetos, formas ou padrões de repetição. O desenho paramétrico pode acontecer desde o projeto design de produto, como um mobiliário, até a concepção de um projeto arquitetônico de grande porte. Designs que seriam (quase) impossíveis de pensar e desenhar de forma manual, foram facilitados com os *softwares* de modelagem generativa, como projetos arquitetônicos assinados pela equipe do Frank Gehry e da Zaha Hadid. Mas também pode ser usada para modelagem de projetos repetitivos, como galpões, aeroportos, edifícios corporativos, residências multifamiliares e outros.

O desenho paramétrico traz aos projetistas a liberdade de mudar de opinião e readequar o modelo a qualquer momento sem perder muito tempo. Alguns exemplos que temos no Brasil são escritórios como *Aflalo & Gasperini* com BIM, *Estúdio Guto Requena* com arte e tecnologia, Andrea Macruz com Design de Produto e Biomimética... Temos também estudantes entrando nessa área fazendo pesquisas acadêmicas e desenvolvendo protótipos.

**André Procópio:** Gosto da analogia de pensar o desenho paramétrico como uma receita de bolo. Quando consultamos um livro de receitas para fazer um bolo ele possui uma série de passos que devemos seguir para termos o resultado mostrado na foto da receita. Os ingredientes desse bolo são nossos inputs, dados que iremos introduzir no começo para ter nosso resultado final. Cada ingrediente (input) irá percorrer um caminho, para ao final ter o nosso tão esperado bolo. Mas se quiséssemos alterar alguns ingredientes ou apenas trocá-los de ordem, o que aconteceria, como ficaria nosso bolo final? O desenho paramétrico é exatamente isso, uma receita de bolo que possui números ou dados variáveis e que podemos explorar suas combinações. Nos permite transitar entre variações, visualizando suas interações e adaptações no modelo paramétrico (bolo) e assim trabalhar de forma interativa fornecendo ao modelo respostas e análises em tempo real.

O design paramétrico faz parte do nosso instrumento de trabalho. Colabora no processo projetual e traz a informação para as etapas preliminares do projeto. Possibilitando dessa forma antecipar possíveis problemas, simular e também analisar diversas situações.

Como colocado por Artigas<sup>20</sup> em seu texto da aula inaugural da FAU de 1967:

*Não esperem que eu tome partido contra as técnicas. Muito ao contrário, julgo que frente a elas, os arquitetos e os artistas viram ampliado o seu repertório formal assim como se ampliaram seus meios de realizar. Alinho-me entre os que estão convictos de que a máquina permite à arte uma função renovada na sociedade.*

**Marcelo Tramontano<sup>21</sup>:** Eu dividi essa pergunta em duas, porque achei muito distintas as duas respostas. Antes de mais nada, eu queria dar uma visão de design paramétrico, que na verdade engloba todo tipo de projeto de arquitetura e urbanismo,

no nosso caso, envolvendo o uso de parâmetros e de programas computacionais que chamamos de paramétricos, incluindo os programas e processos de modelagem paramétrica de BIM, GIS e todos esses. Às vezes, algumas pessoas chamam de design paramétrico só a modelagem paramétrica, mas na verdade, todos esses modos de projetar lidam com parametria. O projeto de arquitetura e urbanismo sempre lidou com parâmetros, e o que temos de novo nesses programas e nessas formas de projetar, é que foram atribuídos valores numéricos a diversos parâmetros da arquitetura ou do projeto de arquitetura. Além disso, esses parâmetros foram associados, de maneira que quando você altera o valor de um deles, os valores de outros parâmetros também são alterados. O design paramétrico é basicamente isso, essa possibilidade de atribuição de valores aos parâmetros e sua manipulação, estabelecendo associações entre eles.

Em termos de processo de projeto, eu acho importantíssimo também lembrar, que ele altera a maneira como o projetista lida com o projeto, porque a programação é um intermediário computacional, diferente do AutoCAD, por exemplo, que reproduz as linhas e assim constrói um desenho. O programa paramétrico é um interlocutor do projetista, porque se estabelece um processo dialógico justamente por causa da associação de parâmetros. Você altera valores em certos parâmetros, ele altera valores em outros, e esses valores associados devolvem informações para que você as aprove ou não, seguindo para um outro passo e assim por diante. Acho, ainda, importante lembrar que o design paramétrico existe em estreita relação com a fabricação digital. É muito difícil falar de design paramétrico, sem falar de fabricação digital, pois ela constitui uma das principais possibilidades de realização do que se concebe com modelagem paramétrica. O que não seria possível de outra forma, e que também é uma fabricação paramétrica. Então, é fundamental ligar essas duas coisas.

Em relação à pergunta sobre a introdução do design paramétrico no Brasil, eu vou manter uma diferença entre o BIM e a modelagem paramétrica. Em 2016, o grupo que eu coordeno na USP, o Nomads.usp, organizou uma pesquisa para entender os principais obstáculos, naquele momento, para a implantação do BIM no estado de São Paulo. Entrevistamos quatro grupos de atores: escritórios, órgãos públicos, escolas e fornecedores. Um obstáculo era, por exemplo, que os escritórios precisavam de uma mão de obra, que a maioria das escolas se recusava a formar. Essas escolas são particulares, e teriam que pagar professores com uma formação específica, o que eles não costumam fazer. Além disso, teriam que equipar seus laboratórios e pagar a licença dos programas. Foi interessante perceber essas outras questões envolvidas. E também, por outro lado, desde 2008, existem grupos de trabalho na esfera federal trabalhando para a implementação do BIM, inclusive com consultorias do Bilal Succar e de pessoas importantes no mundo do BIM. Recentemente, foram aprovadas algumas legislações exigindo o uso de BIM para projetos públicos, o que é uma grande vitória.

Em termos de universidade pública, constantemente precisamos nos perguntar, sobre esse filtro que ajudamos a conformar. Porque tanto o BIM, como a modelagem paramétrica podem auxiliar processos muito interessantes, mas também são meios de manipulação e de controle, tanto pelas grandes empresas, como pelo próprio governo. Se imaginarmos que, sem nada disso, um arquiteto poderia desenhar à mão um projeto numa folha de papel e entregar para um pedreiro executar, teríamos uma interface mínima. É claro que não são processos comparáveis, mas temos que pensar sobre a real necessidade do suporte computacional, de redes, programas, dispositivos e de computadores. Temos que nos preocupar em auxiliar a instrumentação dos pequenos escritórios, porque os grandes produtores de *software*, como grandes fornecedores e empresas de construção civil não precisam de nós.

20 Vilanova Artigas. "O Desenho / Vilanova Artigas" 23 Jun 2016. ArchDaily Brasil. Acessado 17 Mar 2021. <<https://www.archdaily.com.br/790124/o-desenho-vilanova-artigas>> ISSN 0719-8906

21 O pesquisador foi entrevistado por vídeo chamada, e as respostas aqui apresentadas são transcrições.

Isso ficou muito claro nessa pesquisa, porque os fornecedores que, em 2016, já tinham todas as famílias da sua produção modeladas, eram fornecedores de coisas caríssimas. Então, se você quisesse fazer um projeto em BIM, ou você modelava famílias que não existiam ainda ou comprava desses fornecedores. É, portanto, uma responsabilidade nossa facilitar e incentivar a introdução do design paramétrico no Brasil, permitindo que o profissional sozinho consiga realizar trabalhos, para os quais eram necessárias grandes equipes. O BIM permite diversos níveis de precisão, e em projetos públicos, permite transparência no controle de gastos. Mas seu uso precisa ser feito com uma visão crítica, algo que prezamos bastante nas universidades públicas.

Com relação à modelagem paramétrica, queria lembrar que ela não se limita às formas curvas ou às geometrias complexas, que costumamos ver, por exemplo, em edifícios projetados pela Zaha Hadid. Na verdade, a modelagem paramétrica permite um monte de coisas, ao proporcionar um controle muito maior do projeto e da posição exata de todos os pontos de um objeto arquitetônico no espaço. E isso é muito novo e muito importante. A maior visibilidade de formas modeladas parametricamente, no Brasil, talvez tenha sido em alguns estádios da Copa do Mundo, de 2016. Eu destacaria o projeto Arena das Dunas, em Natal, do qual muita gente não gostou, mas que eu acho incrível. Eu li o relatório dos dois escritórios que trabalharam no projeto e dos programas usados, e realmente foi um trabalho surpreendente. Esses profissionais fizeram boa parte do processo à distância e conseguiram construir, em um lugar com pouquíssimos recursos e com muitas dificuldades.

E uma última questão. Quando falamos de fabricação digital possibilitando a concepção e materialização de formas complexas, às vezes temos a impressão de que a indústria da construção civil, no Brasil, não está pronta para produzir esses componentes. Talvez em termos gerais, não esteja mesmo. Mas nós também fizemos um levantamento no estado de São Paulo, e muitas indústrias já tinham partes da sua produção digitalizadas. Elas tinham comprado máquinas, que permitiam o corte e a dobragem de chapas, ou mesmo a impressão 3D, e as utilizavam em trechos de suas linhas de produção. Muitos destes fabricantes estavam abertos a novos projetos e novas demandas. Ficaram muito interessados, pois certas máquinas, que haviam custado caríssimo, estavam subutilizadas. Para alguns, era uma surpresa imaginar que poderiam produzir componentes construtivos. Então, acho que é uma parceria, nesse primeiro momento, entre arquitetos, talvez artistas, fabricantes e engenheiros, no sentido de explorar o que seria interessante e o que seria possível fazer com a tecnologia de que dispomos. E fazer.

**Gilfranco Alves:** O desenho paramétrico é uma estratégia projetiva em arquitetura e urbanismo que, a partir dos princípios da mediação digital, estabelece uma série de relações com o processo de projeto concebendo um objeto arquitetônico a partir da informação e dos dados que definem seus componentes (como forma, dimensão, materialidade, etc.). Essa parametrização traz a tomada de decisões, escolhas e especificações para uma fase mais inicial do projeto, permitindo sua posterior atualização com ajustes e modificações sem retrabalhos, apenas pela atualização dos valores numéricos de tais parâmetros. Na minha percepção, sua introdução no Brasil se deu no começo dos anos 2000, por meio de grupos de pesquisa importantes no cenário nacional como o LAPAC e o Nomads.usp, mas também a partir de workshops como os da *Architectural Architecture School of London*, mais conhecida como AA, e que vem ocorrendo no Brasil desde essa época em um programa regular denominado *Visiting School*. Vale lembrar também que os congressos internacionais de gráfica digital, como o SIGRADI, vêm promovendo a pesquisa e o debate sobre a chamada Arquitetura Digital e processos digitais de projeto desde o final dos anos

1990, quando o desenho paramétrico passa também a ser pesquisado e publicado com maior intensidade, com linhas específicas nos editais do evento.

**Gonçalo Henriques:** O tema da entrevista é oportuno, e as questões permitem alargar o tema à *Parametria e o desejo de uma computação integrada em projeto*. Agradeço o convite, e respondendo às duas primeiras questões - como percebi a introdução do desenho paramétrico e como o utilizo atualmente - partilho o meu percurso nessa área, fomentando o design paramétrico e algorítmico, no processo de projeto.

Fiz o curso de Arquitetura no Porto (Portugal), e após alguns anos trabalhando em escritórios de Arquitetura para ganhar prática, decidi fazer um mestrado em Barcelona (ESARQ-UIC 2004). Escolhi o *Genetic Architectures* porque o programa associava a arquitetura com a fabricação digital, dando acesso a novas geometrias. No final do curso alguns dos participantes do master pensaram nas possibilidades de usar programação em projeto, no entanto, nós não sabíamos como usar a programação, nem que ferramentas escolher. Andávamos à procura de um caminho por onde avançar. Quando terminei o mestrado em 2005 em Barcelona tal como os meus colegas, gostaria de poder trabalhar com programação em arquitetura. Mas além de não termos os instrumentos para o fazer, não havia essa oportunidade nos próprios escritórios de arquitetura. Então tivemos que procurar outras possibilidades para desenvolver a programação, pensando em como aplicar esses conhecimentos no contexto de projeto.

Nesse processo, regressei ao Porto, e comecei a organizar *workshops* sobre os temas que nos interessavam explorar. Utilizamos por exemplo campos de forças definidos por parâmetros que variavam ao longo do tempo, utilizando então um *software* de animação, o 3D Max. Depois, surgiu o RhinoScript que comecei a estudar com um colega do mestrado, o Carlos de La Barrera. O RhinoScript é um tipo de programação textual no Rhino, que se aproxima da linguagem *Visual Basic*, que permite implementar o design paramétrico explicitamente, o que aplicamos num *workshop* em 2007.

Para continuar a investigar estes temas, concorri a uma bolsa de doutoramento da Fundação para a Ciência e Tecnologia do Governo de Portugal, e convidei o Prof. José Duarte para meu orientador. Comecei a pensar em como usar programação aplicada à arquitetura. Tal não era comum na época (2008) e a primeira pergunta que me faziam era para quê. Por quê utilizar programação? Nessa época fui então procurar professores de programação da Faculdade de Engenharia do Porto. Pensei que ao envolvê-los no processo, os conseguiria convencer a programar para mim, ou pelo menos a me ajudar. Foi então que percebi uma mudança de paradigma: em várias áreas de conhecimento, se começava a ensinar a programar, para que cada área de conhecimento pudesse desenvolver a sua própria programação. Ou seja, dito de outra maneira, o impacto da programação em todas as áreas do conhecimento foi tão grande que os programadores precisaram ser criados dentro de cada área, porque os programadores do curso de programação não eram suficientes para suprir uma demanda exponencial. Como a revolução digital não tinha chegado à arquitetura, fui aprender as bases de programação por objetos numa disciplina de engenharia mecânica. Nessa época tive o conhecimento do livro *CAD Critativo*, que introduzia a programação em projeto utilizando o AutoCad com Visual Basic, escrito pela Prof. Gabriela Celani.

No início do doutorado, em 2008, voltei a Barcelona, e participei no congresso Internacional SIMAE (Organização Jordi Truco e Alberto Estévez). Nesse congresso,

inscrevi-me num *workshop* de RhinoScript com o David Rutten, em conjunto com outros arquitetos Interessados no Digital como o Ernesto Bueno, Evert Amador, Tobias Schwinn e Gabriela Celani, que conheci pessoalmente. No final do curso o David apresentou-nos um programa que no momento estava sendo desenvolvido por ele, chamado Explicit History. Esse programa veio a ser conhecido como Grasshopper.

O David Rutten é um arquiteto holandês que, em 2003, queria programar e que não foi entendido na sua Universidade (TU-Delft). A sua proposta foi olhada com desconfiança pelos seus professores e por isso David resolveu abandonar o curso para entrar em uma empresa como programador. Mais tarde voltou à universidade e terminou o curso. Entretanto desenvolveu o Grasshopper sendo um dos primeiros a utilizar a programação visual na arquitetura (Segundo o que tenho conhecimento, o primeiro aplicativo de programação visual na arquitetura foi o Generative Components desenvolvido por Robert Aish, em 2003, e lançado comercialmente em 2008). O Grasshopper tornou-se um sucesso mundial. Introduziu muitos arquitetos na programação visual, que não utilizariam programação ou design paramétrico de outra maneira. O grupo de participantes no *workshop* do SIMAE estava longe de saber que estávamos participando de um momento tão especial em relação à programação na arquitetura: alguns meses depois do curso foi lançado o Grasshopper.

Entretanto fui continuando a fazer experiências com design paramétrico e programação, em *workshops* no Porto. E em 2015 fui convidado pela professora Gabriela Celani para orientar o *workshop Geometrias Complexas e Desenho Paramétrico* incluído no XIX Congresso do SIGraDi, na Mackenzie, em São Paulo. Acredito que este foi o primeiro *workshop* de Programação Visual na América Latina. Para parceiro no *workshop* convidei o Ernesto Bueno, colega da UIC, que havia se mudado para o Brasil. A grande maioria dos nossos alunos seguiram pesquisa neste tema, como o Daniel Cardoso, o Pedro Veloso, a Verônica Natividade, o Vitor Calisto, entre outros e ficamos orgulhosos que tenham continuado com sucesso nessa área de pesquisa. A programação visual, e o Grasshopper em particular, abriram muitas possibilidades para o desenho paramétrico. Desde o primeiro contato com o Brasil, em 2009, as trocas foram fortes. Em 2014 também recebi um convite para visitar a Universidade Federal do Rio de Janeiro. Concorri então a uma vaga para Professor num concurso público. Desde então, tenho promovido o tema da integração digital em projeto.

### **Revista Pixo: Como conheceu o desenho paramétrico e como o utiliza atualmente?**

**Marcelo Tramontano:** Eu sempre tive um interesse muito grande em relação ao desenho por computador. Eu fiz graduação em arquitetura na França, nos anos 80, e nesse período, eu já tinha um interesse enorme por todos os projetos passíveis de serem gerenciados por computador. Era o início do uso do computador em projeto de arquitetura, e eu pensava, não exatamente no processo de informatização, mas em processos de seriamento, como, inclusive, a arquitetura moderna pressupunha, transportados para um processo informatizado.

Também, nos anos 80, na Europa, o Desconstrutivismo teve um papel muito importante no questionamento da arquitetura que vinha sendo produzida até então. Vários jovens arquitetos e arquitetas tornaram-se subitamente conhecidos, como, por exemplo, a própria Zaha Hadid. Ela era uma professora na Architectural Association, em Londres, e propunha formas muito novas, representadas em pinturas a óleo. Aquelas formas que ela propunha me faziam pensar que seria necessário reformular a produção de edifícios e componentes, até porque seria muito difícil produzir com os meios de que dispúnhamos naquele momento. Outros dois excelentes escritórios,

que também haviam sido colocados nessa mesma cesta do desconstrutivismo, eram o UNStudio, de Roterdã, na Holanda, e o Gehry Partners, em Los Angeles, Califórnia. Ambos trabalhavam com novas formas arquitetônicas, só que a partir de equações matemáticas. Inclusive, no UNStudio, um dos associados é também matemático e músico. Essa relação entre formas arquitetônicas complexas e cálculos matemáticos não era, portanto, nada intuitiva. Elas já apontavam para o uso de computadores. No escritório do Frank Gehry, eles começaram a desenvolver alguns programas, na época, que resultou, mais tarde, na criação da Gehry Technologies, que até hoje, produz programas paramétricos para arquitetura e construção.

Já vinham de lá essas sementinhas. O Nomads.usp foi criado em 2000, e desde o início, sempre trabalhamos sobre o uso de meios digitais em processos de projeto. O BIM e a modelagem paramétrica já existiam, mas eram invisíveis para nós. Eu me lembro que, em 2008, fizemos um treinamento de pesquisa com graduandos de várias escolas do Brasil, sobre design paramétrico. Queríamos entender do que se tratava, quais eram os principais programas, e produzimos um primeiro levantamento com graduandos.

A partir de março de 2010, começamos a utilizar o design paramétrico na disciplina de Projeto, que eu ministrei até hoje no terceiro ano de graduação do IAU-USP, voltada para equipamentos públicos. Desenhávamos, na época, abrigos de ônibus, e discutíamos muito com a Gabi Celani, porque ela também estava muito animada com o uso de formas complexas em abrigos. Foram vários anos em que fomos aprimorando esses procedimentos: no primeiro semestre, usávamos a modelagem paramétrica para esses abrigos e estações intermodais, e no segundo semestre, BIM para o desenho de escolas públicas. No estado de São Paulo, o projeto das escolas é coordenado pela FDE, que, já há alguns anos, fornece as famílias de componentes já modeladas para BIM. Isso foi no âmbito do ensino.

Em relação à pesquisa, entre 2011 e 2013, eu coordenei um projeto de políticas públicas FAPESP, o projeto Territórios Híbridos, no qual, pela primeira vez, usamos modelagem paramétrica. Participaram Gilfranco Alves, Cynthia Nojimoto, Jarryer De Martino, que eram doutorandos na época e hoje orientam pesquisas sobre o tema. Recebemos um grupo de pesquisadores e arquitetos em São Carlos para fazermos o pavilhão *Slice* (ver Figura 1). Este foi, provavelmente, o primeiro pavilhão de formas complexas, desenhado e produzido por parametria, realizado em uma universidade pública, no Brasil. Com o tempo, fomos acrescentando outras técnicas de fabricação ao nosso laboratório, e hoje temos também uma fresadora CNC, impressora 3D e cortadoras a laser. Foi assim que aproximamos a pesquisa e o ensino da graduação, o que foi muito bom.

**Camila Ghendov:** Engraçado como hoje parece claro, mas tudo foi uma sucessão de fatos. Eu sempre tive interesse pelas áreas de tecnologia, design e computação gráfica. Iniciei a graduação em 2009, e foi quando tive os primeiros contatos com softwares 3D, foi por curiosidade minha mesmo, pois ainda não os ensinavam dentro da faculdade de arquitetura. Também não entendia porquê os alunos “se matavam” para fazer vários cortes e elevações no AutoCAD.

O conceito de modelagem paramétrica mesmo só fui entender entre 2010~2012, quando tentei me aventurar no Revit pela primeira vez e também iniciei um curso rápido de Modelagem Generativa com Grasshopper aqui em São Paulo. Em 2013, estagiei na área de educação e treinamentos com metodologia BIM, então tive contato com projetistas e donos de escritório que queriam inovar e atualizar seus escritórios.

No ano seguinte, em um intercâmbio na Universidade de Lisboa, assisti disciplinas como Urbanismo Paramétrico, Fabricação Digital e Grasshopper. Fiz uma especialização em parametrização tempos depois. Agora já faz dois anos que comecei a desenvolver pesquisas com Experiências Imersivas (Realidade Virtual, Aumentada e outras tecnologias) e desde então, trabalho nessa área, associando modelos BIM, tecnologias imersivas, arte e prototipagem.

**Gilfranco Alves:** Conheci o desenho paramétrico como consequência de meu ingresso no doutorado em 2010 no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP, o IAU, em São Carlos. Fiz parte do grupo de pesquisa Nomads.usp, e a partir das pesquisas com o grupo pude experimentar também outras possibilidades, como participar de três edições do AA Visiting School, duas em São Paulo e uma no Rio de Janeiro, assim como cumprir um período de estágio de doutoramento (sanduíche) na TU Delft, junto ao grupo de pesquisa Hyperbody.

Posteriormente, apliquei algumas metodologias de ensino do desenho paramétrico em uma disciplina optativa na USP, como estagiário docente trabalhando com minha orientadora de doutorado, a professora Anja Pratschke. Em 2013, ingressei como professor efetivo no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMS, e aproveitando uma reformulação do projeto pedagógico do curso, criamos duas disciplinas para trabalhar especificamente com o tema, e assim vem sendo feito até hoje. Em paralelo, começamos as atividades do algo+ritmo, como um grupo de pesquisa interessado em processos de projeto mediados digitalmente, mas com grande ênfase em design paramétrico e prototipagem digital, dentre outras linhas de pesquisa ([www.facebook.com/AlgoRitmo.ufms](http://www.facebook.com/AlgoRitmo.ufms), @algo.ritmo\_). Então, basicamente utilizamos o desenho paramétrico nestas disciplinas mencionadas (Representação e Criação Digital 1 e 2), assim como nas pesquisas do algo+ritmo, que são tanto teóricas como também produzem alguns experimentos, na medida das nossas possibilidades - em um cenário de uma universidade pública brasileira distante dos principais centros de fomento e investimentos.

**Anja Pratschke:** Meu primeiro contato com o design paramétrico foi no ano de 2009, quando eu fiz meu pós-doutorado em Londres, e claro, eu vi muitos projetos paramétricos construídos na minha estadia na Europa. Vi também os alunos da *Bartlett School of Architecture* e da *Architecture Association* trabalhando com programas que usavam os conceitos do design paramétrico. Agora tenho que falar um pouco do que me interessa: como professora e pesquisadora, estou interessada em como é feito o projeto, e não em: *ah o projeto é isso, ele é lindo, ele é bonito, olha a forma*. O que me deixa curiosa, e acho que todo arquiteto deveria ter essa curiosidade, é pensar: *como foi feito esse projeto? O que o projetista ou os projetistas usaram de referências, de conhecimentos, de habilidades para ter esse raciocínio projetual, para chegar no objeto arquitetônico?* Essa é uma curiosidade que eu tenho desde sempre.

Quando eu fui para a Europa, em 2009, para fazer meu pós-doutorado, eu estava atrás da verificação e da validação de metateorias, que são usadas para guiar os processos de projeto. A metateoria que eu mais estudo é a cibernética. A cibernética é uma metateoria, no sentido maior que as outras teorias, sobre a organização e a comunicação das informações. Então quando você pensa no conceito BIM, seja a modelação da informação da construção, você percebe que lá atrás, na fundamentação, tem a cibernética. A cibernética vem dos anos 1945/1946-7 e vem junto com o desenvolvimento do computador e uma necessária mudança produtiva inerente ao meio digital. Quando eu estudei computação, não se ouvia muito falar de cibernética. A partir de 2003, tive contato com a cibernética e pensei: *eu tenho que*

*verificar se essa metateoria ainda está viva, se ainda é importante em arquitetura*. Por isso eu fui para Londres, trabalhar com professores da Escola de Arquitetura, a *Bartlett School of Architecture*, que também eram ciberneticistas e que aplicam esse método para o processo de projeto.

Em Londres, vi essa teoria muito viva. Perguntei para o meu supervisor do pós-doutorado Ranulph Glanville, que era ciberneticista e arquiteto, o que ele achava da relação entre cibernética e design paramétrico? Ele me falou na época: *Anja, não tem nada a ver* e eu falei: *não é possível, eu estou vendo uma ligação entre os dois*. Então, com uma pulga atrás da orelha, eu fui investigar a possibilidade de estabelecer a relação entre o design paramétrico e a cibernética. Escrevemos dois artigos para verificar se tinha relação: *Qual cibernética e a parametrização?*<sup>22</sup> em 2012, e um outro artigo em conjunto com um doutorando *Processos de criação, emergência e parametrização*<sup>23</sup>, para verificar se tem uma relação. E para mim tem.

**Jarryer De Martino:** O meu primeiro contato com a representação paramétrica ocorreu no *workshop* ministrado pelas professoras Regiane Pupo e Gabriela Celani, como parte da programação do simpósio *GRAPHICA: Linguagem e Estratégias da Expressão Gráfica: Comunicação e Conhecimento*, realizado em Bauru, em 2009. Embora o *workshop* estivesse voltado para a prototipagem e fabricação digital, a representação paramétrica também fez parte da apresentação e discussão sobre o uso das tecnologias no processo de projeto. Momento em que encontrei a possibilidade de investigar o uso da ferramenta computacional em sua potencialidade, não se restringindo apenas à representação gráfica ou ao seu uso como prancheta digital.

Dessa forma, ingressei em 2010 no programa de pós-graduação da UNICAMP, sob a orientação da professora Celani, integrando a equipe de pesquisadores do LAPAC. A intenção de pesquisa foi investigar um método de projeto que dependesse exclusivamente de recursos digitais, o que me conduziu a explorar como tema os algoritmos genéticos da computação evolutiva. Durante a pesquisa ficou nítido o quanto a representação paramétrica e a ideia de sistemas são fundamentais para a elaboração do algoritmo genético. Atualmente dou continuidade à pesquisa na Universidade Federal do Espírito Santo, onde sou docente e coordeno o grupo de pesquisa Tecnologias Integradas ao Projeto (TIP), investigando os processos de morfogênese na arquitetura que utilizam principalmente os recursos digitais. Para isso, a representação paramétrica é utilizada para a modelagem geométrica a fim de potencializar, no contexto do *form-finding*, a investigação e exploração do processo morfogenético.

**Gabriela Celani:** Tive o primeiro contato com o projeto paramétrico como aluna de doutorado no MIT, entre 1999 e 2002, inicialmente nas aulas de Gramática da Forma dos professores George Stiny e Terry Knight, e também ao ler alguns livros de meu orientador, o professor William J. Mitchell. Em especial, fui muito influenciada pelos livros *The Art of Computer Graphics Programming*<sup>24</sup>, de 1987, e *The Logic of Architecture*<sup>25</sup>, de 1990, que eu viria a traduzir e que foi publicado pela editora da

22 PRATSCHKE, Anja.; DI STASI, Mariah Guimarães. Quão cibernética é a parametrização? *VIRUS*, São Carlos, n. 11, 2015. [online] Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus11/?sec=6&item=1&lang=pt>. Acesso em: 17 de março de 2021.

23 ALVES, Gilfranco; PRATSCHKE, Anja. Processos de criação, emergência e parametrização em Arquitetura. *Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo*, São Paulo, v. 12, n. 1, 2012.

24 MITCHELL, William John. *The Art of Computer Graphics Programming: A Structured Introduction for Architects and Designers*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold Company, 1987.

25 MITCHELL, William John. *A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição*. Tradução: CELANI, Gabriela. Campinas, SP: UNICAMP, 2008.

Unicamp em 2008.

Atualmente, não apenas utilizo softwares de modelagem geométrica digital de maneira paramétrica, como passei a pensar de maneira paramétrica sempre que elaboro um diagrama de projeto. Na disciplina da Unicamp *CAD no Processo Criativo*, trabalho com esses conceitos desde 2004.

**Gonçalo Henriques:** O design paramétrico para poder ser útil, precisa ir para além da descrição de expressões paramétricas, como aquelas que são utilizadas para descrever os movimentos dos corpos ou geometrias curvas diferenciais. Quanto a mim, é preciso inserir inteligência no projeto e por isso é necessário, para além do design paramétrico, utilizar a programação. As bases do pensamento computacional começaram a ser definidas há algum tempo atrás pelo William Mitchell<sup>26</sup>, mas o fundador deste campo pode ser considerado o Christopher Alexander<sup>27</sup>. No seu livro *Notes on the Synthesis of Form*, Alexander destaca que para usar a programação em arquitetura, precisamos tornar os problemas mais explícitos e entender a aplicação no contexto do *Design Thinking*.

Em um determinado momento, Patrik Schumacher procurou impor o design paramétrico como um estilo, com o manifesto *Parametricismo*. No entanto, o que propôs foi um manifesto incompleto, em que, aos parâmetros, faltam os verbos, ou seja, os algoritmos. Nesse sentido o conceito de design algorítmico do Kostas Terzidis<sup>28</sup>, é uma proposta mais abrangente do fenômeno, sendo que o design algorítmico e paramétrico, se aproximam de maneira mais abrangente da ideia de aplicar a programação à Arquitetura.

Então, se o design algorítmico e paramétrico quer ser uma espécie de Inteligência artificial, neste momento penso que ainda estamos muito longe dessa inteligência artificial. Ainda utilizamos o design paramétrico de uma maneira pouco coordenada e ainda não desenvolvemos processos que possam extrair das condições iniciais de um problema, a análise, desenvolvimento e proposição de soluções, e que finalmente nos permitam aceder a soluções em massa personalizadas. O *Computational Design Thinking* para ser aplicado a projeto requer conhecimento interno de programação, para além do conhecimento dos problemas de design. Como tal, embora esteja no início, precisa ser desenvolvido por arquitetos. Como diz o Flusser<sup>29</sup>, só os arquitetos podem abrir essa caixa preta. Oxalá consigam.

**Mateus Van Stralen:** Meu primeiro contato com desenho paramétrico foi quando era monitor de pós-graduação nas disciplinas de Plástica e Expressão Gráfica e Informática Aplicada à Arquitetura. Atualmente, o principal foco da minha investigação como professor e pesquisador é pensar como a associação de desenho paramétrico e fabricação digital pode ser utilizada como uma estratégia de projeto que permite ao usuário participar do desenho do espaço. A capacidade do design paramétrico de gerar variações e produtos sob medida, associada à capacidade da fabricação digital de tornar essa variedade física sem comprometer a eficiência e economia da produção, aponta para a possibilidade de criação de sistemas arquitetônicos que estimulem um processo de conversação (cibernética) entre arquitetos e usuários que

26. *Ibidem*.

27 ALEXANDER, Christopher. *Notes on Synthesis of Form*. 7. ed. Cambridge: Harvard, University Press, 1973.

28 TERZIDIS, Kostas. *Algorithmic Architecture*. 1. ed. London: Routledge, 2006.

29 FLUSSER, Vilém; CARDOSO, Rafael. *O Mundo Codificado*. Por uma filosofia do design e da comunicação. S. Paulo: Cosac & Naify, 2007.

não se restringe ao processo de projeto. Uma questão importante neste contexto é criar complexidade no uso e não na forma.

Na minha prática no escritório é possível fazer uma diferenciação entre dois momentos distintos no uso do desenho paramétrico. No primeiro, exploramos o desenho paramétrico na geração de texturas e padrões para corte a laser, no desenvolvimento de estruturas generativas e na otimização estrutural. Todos estes processos estavam ligados a uma investigação formal do desenho paramétrico relacionado a sua capacidade de lidar com geometrias ou processos de desenho complexos. No segundo momento, entendemos que o processo de desenho paramétrico poderia ser integrado de forma mais ampla ao processo de análise, problematização e criação do escritório a partir do desenvolvimento de ferramentas paramétricas com finalidades distintas. Por exemplo no estudo de viabilidade, análise de terreno com geração de platôs, corte e aterro, estudo de insolação etc. Nestes casos o desenho paramétrico não é utilizado para se alcançar resultados formais específicos, embora algumas vezes exista alguma reverberação no resultado plástico e visual. Foi interessante pensar que podemos criar nossas próprias ferramentas de projeto a partir do desenho paramétrico.

**André Procópio:** Sempre gostei de computação e durante os anos que trabalhei em Paris no escritório Ateliers Jean Nouvel tive contato mais direto com projetos e aplicações paramétricas. Uns dos primeiros projetos foi o estudo de otimização no programa Grasshopper para resolver o forro externo do museu Quai Branly em Paris. O forro da área externa do museu apresentava uma alta variedade de chapas triangulares o que gerava um alto custo no projeto devido a grande variação de peças. Foram rodados estudos, no Grasshopper, para minimizar a variação de formas triangulares. No final foi encontrado um ótimo resultado de poucas variações triangulares e preservando a forma desenhada. Foi interessante perceber as diversas aplicações, não apenas como estudos da forma mas também para resolver problemas técnicos.

De volta ao Brasil, iniciamos no escritório alguns estudos e experimentações para entendermos como poderíamos utilizar o desenho paramétrico como ferramenta de projeto e de análises. Cada projeto demanda um tipo de solução diferente, mas a parametrização nos ajuda a otimizar os processos e por vezes criar soluções. Como foi o caso da cobertura do átrio para o Bar Hoegaarden em São Paulo. Foram rodados alguns estudos para entender o melhor posicionamento dos brises horizontais, protegendo de maneira mais efetiva das horas mais quentes do dia. Fizemos também



Figura 2 e 3: Bar Hoegaarden Greenhouse, Metamoorfose Studio. Fonte: Imagem Maira Acayaba. Disponível em: <https://www.metamoorfose.com/portfolio/bar-hoegaarden-sao-paulo/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

algumas análises geométricas da cobertura para ajudar a definir esteticamente o desenho. Atualmente as experimentações e investigações digitais fazem parte dos nossos processos e nos ajudam a antecipar informações que colaboram para a elaboração dos projetos.

### Revista Pixo: Você poderia nos contar sobre um projeto destaque que usa processos paramétricos?

**Anja Pratschke:** Meu interesse no processo de projeto traz o método de fazer entrevistas, como vocês estão fazendo, com os arquitetos envolvidos na realização de determinado projeto. Eu visitei em 2009 um museu em Stuttgart, que se chama Mercedes-Benz Museum (Figura 2), do UNStudio, dessa marca de carros de luxo, e o prédio deveria ser representativo para essa marca. É um prédio geometricamente muito interessante que trabalha com geometria analítica, que é a matemática própria do design paramétrico. No livro do Woodbury<sup>30</sup> tem um capítulo sobre matemática, um capítulo de 100 páginas (os outros são 40 páginas), onde ele explica que a matemática está por trás do design paramétrico. Você não usa o design paramétrico para fazer arquitetura dos anos 1920, você até pode fazer isso, mas as possibilidades que o design paramétrico disponibiliza, te permite trabalhar com uma matemática, a geometria analítica, que não é uma matemática que os arquitetos modernos aprenderam.

A geometria analítica parece arredondada, orgânica. Por exemplo, o anel de Möbius, muito usado em projetos paramétricos, que é tipo um *oitto* invertido, é feito por retas, o que é bem interessante. Quando você olha esses projetos curvos, por trás desses projetos, os arquitetos usam formas da geometria analítica combinadas. O livro do Woodbury tem várias leituras de projeto, a maioria usa duas ou três formas geométricas e faz variações. É muito interessante, os alunos olham e falam: *nossa é muito simples de fazer isso*. Não é nada misterioso e nada de: *a inspiração caiu em cima de mim*. É um trabalho matemático e rigoroso. O design paramétrico é muito rigoroso e ao mesmo tempo flexível, mas é organizado matematicamente. E a programação da computação também é rigorosa, porque ela trabalha com a ideia de algoritmo, e como vocês devem saber, é como uma receita de bolo. Ela tem que ser rigorosa nos ingredientes, nos passos, no que deve ser feito, em que momento. E ser rigorosa no entendimento do ambiente: *como eu tenho que regular o forno para que esse meu bolo saia como eu estava esperando?* Então, a computação é muito rigorosa nos seus algoritmos e, ao mesmo tempo, você tem essa matemática que vem junto.

O Mercedes-Benz Museum é um exemplo lindo dessa matemática. Ele é na verdade, a combinação de dois anéis de Möbius. Quando você visita o prédio, além de ser muito bem construído com materiais caros, estilo industrial, com elementos pré-fabricados e montados na obra, teve todo um processo de organização da construção. Por isso, a fabricação digital é muito importante. Por exemplo, se você vai fazer as coberturas na janela visual de programação, não tem mais sentido realizar esse desenho à mão. O design paramétrico vai mudar nossa maneira de fazer o projeto. A Mercedes-Benz Museum é um desses exemplos que eu falei: *uau, mudou mesmo*.

Eu tive a sorte de conhecer um dos arquitetos envolvidos no projeto, o Nuno Almeida (UNStudio) que veio ao Brasil, na Universidade de São Paulo. Eu perguntei: *como vocês fizeram esse projeto?* E ele me contou que eles usaram Grasshopper para

<sup>30</sup> Ibidem.

o projeto inteiro e eu fiquei: *nossa, essa complexidade, como ficam as janelas de programação!?* Se vocês têm um pouco de familiaridade, vocês sabem que a coisa vai ficando enorme nesses programas. Ele me contou também das dificuldades, porque foi um dos primeiros projetos. Ao chegar no canteiro de obras, tinha que ter uma organização com a numeração das peças, cada vidro desse projeto tem uma curvatura diferente. Como são dois anéis de Möbius, é tudo fechado, cada peça tem seu lugar exato em um grande quebra-cabeça. Então ele contou dessa dificuldade de transição da construção antes e depois da parametrização. Esse projeto me marcou muito e até hoje eu mostro, para que o estudante tenha clareza de quando observar um prédio assim, ele entenda que o processo de produção mudou, é diferente e isso é muito importante.



Figura 4: Mercedes-Benz Museum, UNStudio. Fonte: Imagem Brigida Gonzalez. Disponível em: <https://www.unstudio.com/en/page/12482/mercedes-benz-museum>. Acesso em: 18 mar. 2021.



Figura 5: Generator Project, Cedric Price. Fonte: Disponível em: <https://www.moma.org/collection/works/859>. Acesso em: 18 mar. 2021.

**Mateus Van Stralen:** Acredito que o projeto *Generator* (Figura 5) do arquiteto britânico Cedric Price pode ser um exemplo provocativo de projeto que usa processos paramétricos. O projeto é entendido como o primeiro a utilizar Inteligência Artificial (IA) na arquitetura e serviu como importante referência para a compreensão do potencial da computação no design. Os elementos-chave do sistema Gerador foram: (1) um kit de peças composto por cubos combináveis, passarelas, telas e calçadões que permitiam diferentes configurações espaciais; (2) um guindaste móvel para

mover as diferentes peças pelo local; (3) um jogo para que os usuários em potencial gerem diferentes arranjos, ou menus, como Price os chamou. Duas pessoas estariam envolvidas na dinâmica espacial: o *Polarizador* e o *Fator*. O primeiro encorajaria as pessoas a usar o Gerador de maneiras novas e o segundo seria responsável pela logística de operação do guindaste móvel; e (4) um sistema de computador que pudesse mapear o estado atual e indicar onde todas as partes estavam, e propor novas configurações à medida que ficava entediado (os sistemas ficariam entediados se as pessoas não mudassem a posição do kit de partes frequentemente). O projeto demonstra como podemos trabalhar em um sistema arquitetônico as relações entre parâmetros estruturais e geométricos de modo a acomodar variações. Este entendimento exige um deslocamento do conceito de parametria não só no processo de projeto, mas também na própria arquitetura. É uma arquitetura onde os parâmetros permanecem dinâmicos no uso.

**André Procópio:** Gosto do trabalho da Neri Oxman que consegue aproximar em seus projetos, estudos que relacionam o design com a sua materialidade. Usando como exemplo a própria natureza no qual o sistema funciona integralmente (William McDonough, 2002)<sup>31</sup>, o material colabora para a captação ou desenvolvimento do organismo. Chamado por ela de Material Ecology, a adaptação responsiva do material

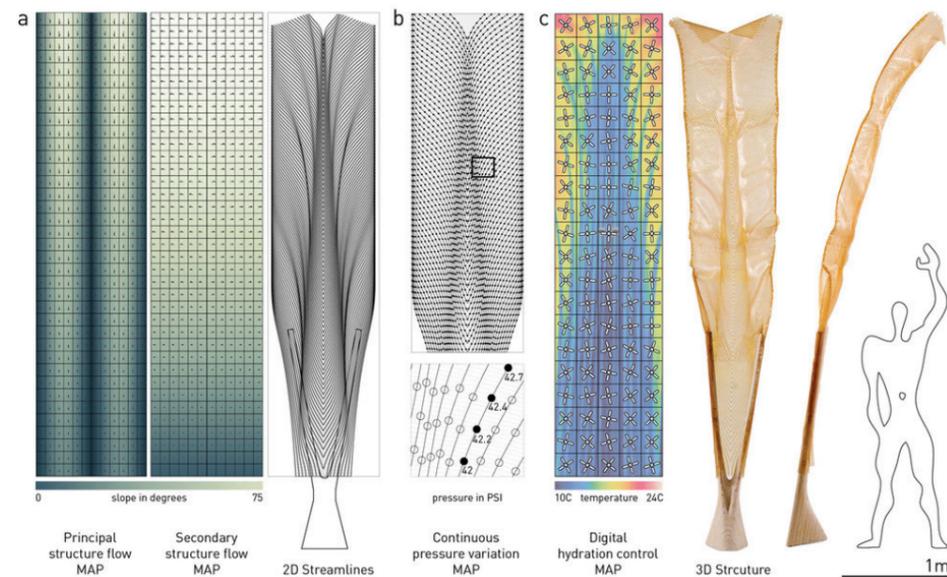
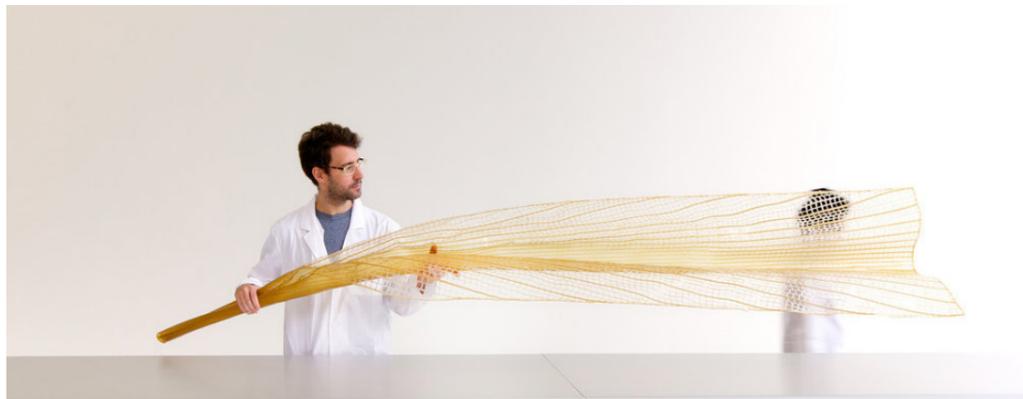


Figura 6 e 7: Goxman, Neri. *Material-based design computation*, Massachusetts Institute of Technology, 2010.

<sup>31</sup> McDONOUGH, William. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, Douglas & McIntyre Ltd., 2002.

está conectada desde da conceptualização até sua materialização. Um processo integrado de fabricação generativa é, segundo ela, a base para a aproximação dos conceitos da Naturalização na arquitetura e design.

Através da evolução das técnicas de engenharia materiais, como a robótica e fabricações aditivas de biomateriais, estamos vendo uma evolução no processo de fabricação, material-based design computation (Oxman, N. 2010)<sup>32</sup>. Inspirada pela natureza, Neri Oxman introduz uma nova abordagem do design que visa estabelecer uma relação mais profunda e mais científica entre o objeto de design e o um ambiente. Como por exemplo o projeto Water-Based Digital Fabrication Platform (figura 6) no qual os pesquisadores do MIT Media Lab desenvolveram um novo material e objeto feito de quitina, um dos polímeros mais encontrados na natureza em insetos e crustáceos. O material a base de água é totalmente biodegradável e seu arranjo geométrico foi parametrizado para se adequar às propriedades do material. Na fabricação a forma de adição do material permitiu controlar a deformação da peça.

**Gonçalo Henriques:** Nesta área, há alguns desenvolvimentos teóricos, mas menos exemplos práticos. Assim partilho o que temos desenvolvido nesse contexto no laboratório que coordeno, o LAMO-Prourb. No laboratório temos procurado associar o design algorítmico e paramétrico com a fabricação digital. De alguma maneira, a fabricação digital pode outorgar, ou validar os desenvolvimentos dos nossos algoritmos na prática de projeto. Temos vários exemplos de aplicação, na escala real, em pavilhões de média dimensão, como a Wiki-House (Figura 8), o Helicoidal Surfaces (Figura 9), ou o Pavilhão Tornado (Figura 10), que destacaria como expressão de um trabalho de grupo do LAMO. No laboratório começamos do zero, ensinando programação visual e fabricação digital aplicadas em projeto. Sobre este processo, recomendo que consultem uma publicação recente, uma monografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, a FAU Publica, que dedica o primeiro número ao tema dos *Workshops*. Os *workshops* tem sido a forma por excelência que temos utilizado para ensinar e testar aplicações do design algorítmico e paramétrico. Nesta publicação escrevi o texto *Projetar é Programar? O novo paradigma de projeto e o (an)alfabetismo digital*<sup>33</sup>, que é uma provocação, mas que nos leva ao meu projeto de maior destaque atual: a introdução de uma disciplina de programação em arquitetura, associando linguagem visual e linguagem textual em Python.

**Gabriela Celani:** De maneira geral, a parametrização tem sido usada com dois objetivos principais: (1) para gerar famílias de projetos com variações em seus parâmetros e (2) para gerar estruturas que possuem variações em seus elementos internos. Um bom exemplo do primeiro caso é a gramática de forma desenvolvida por José Pinto Duarte para descrever e gerar as casas do conjunto da Malagueira (Figura 11), projetadas pelo arquiteto Álvaro Siza. Já o segundo caso pode ser ilustrado com o estádio Aviva (Figura 12), em Dublin, projetado pelo escritório Populous.

**Jarryer De Martino:** Acho interessante exemplificar os processos paramétricos por meio de projetos que utilizam sistemas generativos evolutivos. Porque neste caso, a parametrização promove a integração e interação entre os diferentes elementos do sistema, contribuindo para a sua auto-organização e retroalimentando o mecanismo

<sup>32</sup> Oxman, Neri. *Material-based design computation*, Massachusetts Institute of Technology, 2010

<sup>33</sup> HENRIQUES, Gonçalo. Castro. *Projetar é programar? O novo paradigma de projeto e o (an)alfabetismo digital*. In: ENGEL, P.; POLIZZO, A. P.; CAPILÉ, C. (Eds.). *Revista FAU Publica 1 – Oficinas / Workshops*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020. p. 21–25.

Figura 10: Pavilhão Tornado, LAMO/FAU/UFRJ. Fonte: Imagem Stefan Kasmanhuber. Disponível em: <http://www.lamo.fau.ufrj.br/2017/10/18/pavilhao-tornado/>. Acesso em: 18 mar. 2021.



Figura 9: The Butterfly Gallery – Helicoidal Surfaces, Coordenação de Maria Angela Dias, Andres Pastor, parceria de fabricação LAMO/FAU/UFRJ. Fonte: Disponível em: <http://www.lamo.fau.ufrj.br/workshops/the-butterfly-gallery/>. Acesso em: 18 mar. 2021.



Figura 8: Projeto Wiki-House/Casa Revista, Clarice Rohde e LAMO/FAU/UFRJ. Fonte: Disponível em: <http://www.lamo.fau.ufrj.br/projetos/academicos/casa- revista/>. Acesso em: 18 mar. 2021.



Figura 13: Centro de Convenções Nacional do Qatar, Arata Isozaki. Fonte: Imagem Hisao Suzuki. Disponível em: <https://isozaki.co.jp/archives/projects/qatar/>. Acesso em: 18 mar. 2021.



Figura 12: Aviva Stadiumm, Populous. Fonte: Imagem: Populous Architects, Scott Tallon Walker Architects, Barrow Coakley Photography. Disponível em: <https://populous.com/project/aviva-stadium>. Acesso em: 18 mar. 2021.



Figura 11: Quinta da Malagueira, Álvaro Siza. Fonte: Imagem Flickr Ekainj. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/01-49523/classicos-da-arquitetura-quinta-da-malagueira-alvaro-siza>. Acesso em: 18 mar. 2021.



Figura 14: Casa CoBLogó, SUBdV. Fonte: Imagem Rodrigo Chust. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/874036/coblogo-subdv>. Acesso em 18 mar. 2021.

Figura 15: Shanghai Tower, Gensler. Fonte: Imagem Gensler. Disponível em: <https://www.gensler.com/projects/shanghai-tower>. Acesso em: 18 mar. 2021.



responsável pela evolução. O projeto do arquiteto Arata Isozaki para o Centro de Convenções do Qatar (Figura 13) é um exemplo. Ele utiliza durante o processo de projeto o método BESO (*Bi-directional Evolutionary Structure Optimisation*), método de otimização estrutural topológica, que se baseia na eliminação lenta e sucessiva de elementos ineficientes em uma estrutura, permitindo também a capacidade de adicionar material para reforçar as áreas onde ocorre a maior exigência estrutural. Dessa forma, cria-se um sistema parametrizado capaz de encontrar estruturas com o desempenho máximo, peso mínimo e com a máxima resistência mecânica.

**Camila Ghendov:** Existem diversos projetos que poderíamos destacar, sejam eles *high-techs* ou *low-techs*. Eu particularmente aprecio quando utilizam-se da computação gráfica, para projetar com materiais comuns e técnicas tradicionais, tem alguns profissionais chamando essa técnica de *High-Low*. A casa Coblogó (Figura 14) do estúdio SUBdV é uma referência interessante, onde utilizaram o design paramétrico com Grasshopper para elaborar uma fachada em blocos de concreto comuns com espaços vazados para ventilação natural. Eles utilizaram corte a *laser* também para fazer as fôrmas e preparar o posicionamento dos blocos.

**Marcelo Tramontano:** Posso, com grande prazer. Na verdade, trata-se de uma arquitetura que eu dificilmente daria como exemplo, porque é uma torre comercial, um arranha-céu. É a Shanghai Tower (Figura 15), o segundo arranha-céu mais alto do mundo. Eu estive na China, no ano passado, e tive a oportunidade de visitá-lo. Essa torre é linda, e é muito pertinente falar dela aqui, porque foi feita inteiramente em BIM. Foram necessárias muitas equipes trabalhando de maneira simultânea e síncrona para produzir esse edifício. Todos os arquitetos e engenheiros participantes foram unânimes em dizer que sem o BIM, seria impossível construí-lo. A totalidade de sua forma, de cada andar e de muitos dos seus componentes construtivos foi obtida através de modelagem paramétrica. Então, para mim, ela representa, talvez o máximo limiar ao qual a humanidade tenha conseguido chegar até hoje, em termos de uso desses programas. Todas as etapas construtivas foram previamente simuladas no BIM, envolvendo as empresas que posteriormente participariam da construção

real, para eliminar todas as possibilidades de erro. É um trabalho exemplar de muitos pontos de vista, tanto metodológico como formal.

**Gilfranco Alves:** Desenvolvemos vários projetos com processos paramétricos. Estamos preparando um livro apresentando algumas destas experiências, que deverá ser lançado no segundo semestre de 2021. Um projeto interessante, do ponto de vista conceitual, foi realizado especificamente para o SIGRADI. Em 2016 o comitê científico do congresso convidou 20 escritórios/grupos de pesquisa para reinterpretar os cartazes produzidos em 20 anos do congresso. O processo de projeto passou por várias etapas, tendo como pressuposto inicial a análise do material do evento que nos foi designado, o XI SIGRADI (La Comunicación en la Comunidad Visual / Comunicação na sociedade visual) realizado no México em 2007. Foram identificados elementos ligados à circularidade e à comunicação como eixos estruturantes para a proposta e a partir destes significados, alguns estudos foram elaborados no sentido de representar conexões e redes propondo uma espécie de diagrama tridimensional.

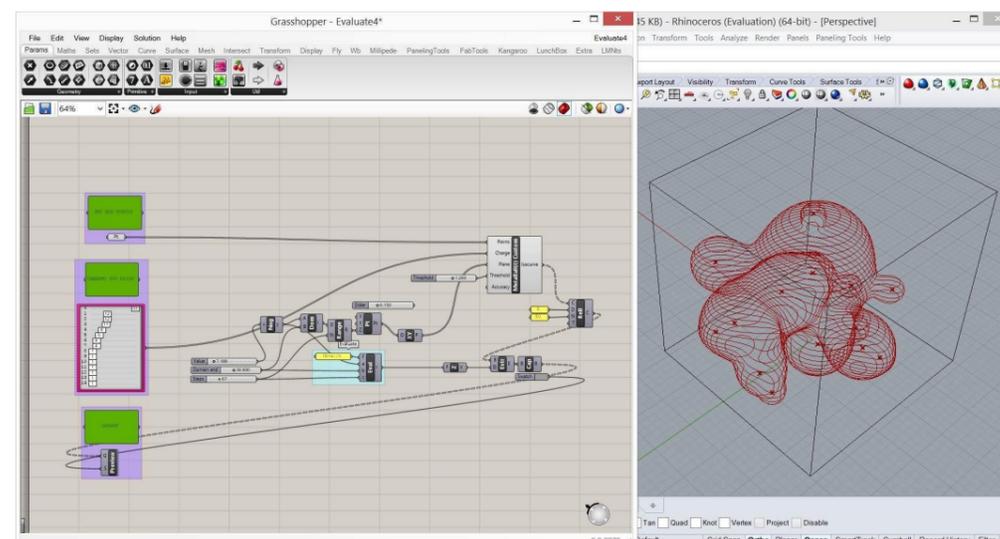


Figura 16: Metaball. Script produzido no Grasshopper/Rhinoceros. Fonte: Acervo Gilfranco Alves/algorithmfms.wixsite.com

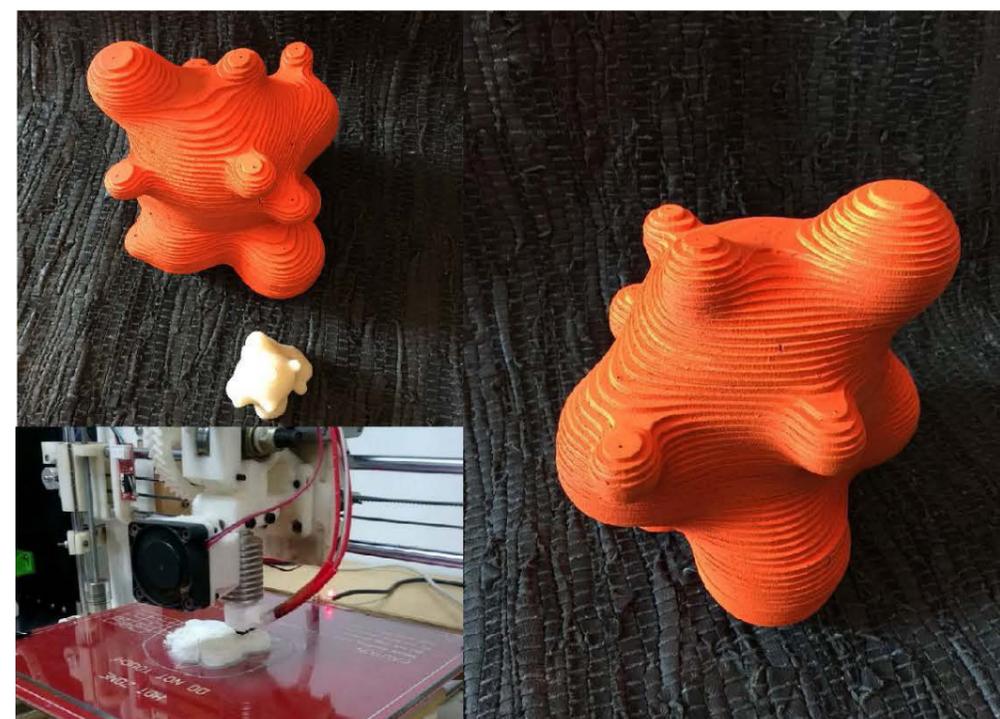


Figura 17: Metaball. Impressão 3D e volumetria final em HDF, cortada em CNC fresadora e pintada de laranja. Fonte: Acervo Gilfranco Alves/algorithmfms.wixsite.com



Um diagrama, para a Semiótica de Charles S. Peirce, é um tipo geral de signo que pode ser analisado como um elemento participativo de um determinado processo de pensamento. Portanto, um diagrama elaborado de modo escultórico, em 3D, permitiria a representação de uma ideia mais holística, onde as informações (inputs) tornaram-se, então, responsáveis pela forma final da espacialidade produzida. Analisando os artigos publicados no congresso de 2007, identificou-se a nacionalidade de cada autor, para que o quantitativo pudesse ser convertido em inputs para a programação. Da esfera, elemento geométrico básico e que remete à noção de comunicação não hierárquica em um sentido global, os estudos evoluíram para o conceito de uma metaball, onde cada esfera representou um país e os raios que geraram as esferas foram alimentados (inputs) pelo número de autores quantificados por nacionalidade. Acredita-se que a fusão proporcionada pelas características de uma metaball também representou a integração entre os países que o SIGRADI proporciona e fomenta em todas as suas edições. Do ponto de vista da produção, inicialmente foi feito o uso da impressora 3D para gerar protótipos volumétricos menores, porém as dificuldades em relação à capacidade de cálculo necessária para o envio dos arquivos para a impressora manifestaram algumas limitações. Assim, foi escolhido o uso da CNC Router, com corte em HDF, que favoreceu uma produção mais adequada às dimensões da obra e à finalidade à qual se destinava – o desafio de ressignificar o cartaz de 2007 a partir da espacialidade a ser produzida e enviada para a exposição em Buenos Aires.

#### Revista Píxo: É possível parametrizar os desejos?

**Gonçalo Henriques:** Esta pergunta alude a uma questão filosófica geral sobre

a natureza do conhecimento. Ou seja, sabemos que há questões que não tem resposta, ou as respostas não são cognoscíveis. Curiosamente a computação teve uma grande evolução a partir do momento que Alan Turing definiu quais são os problemas computáveis e os não computáveis, o que está associado com a base teórica do que é a computação. Ou seja, esta pergunta está associada com os limites do conhecimento, pelo que está também associado à questão de até onde pode ir a Inteligência Artificial, e por consequência o próprio conhecimento humano; se podemos considerar a AI como uma prótese humana, ou como algo verdadeiramente novo.

A questão sobre a parametrização dos desejos, está também associada a questões perceptivas humanas, que são difíceis de quantificar. No entanto, estas percepções subjetivas têm vindo a ser abordadas, por exemplo na estética, onde essa procura está associada com a escola da Bauhaus. Ou seja, foram encontradas maneiras de parametrizar alguns aspectos perceptivos e qualitativos da estética. Esta procura de como quantificar, teve desenvolvimentos também com a Teoria Geral dos sistemas e a cibernética.

Na cibernética, ganhou relevo o conceito de homeostase, quer seja em sistemas sintéticos ou vivos. A interação Físico-Digital dos mecanismos de autorregulação, está também associada aos desenvolvimentos da teoria da comunicação, sendo que todas estas áreas estão associadas com uma ideia de uma extensão da interação homem-máquina. Na cibernética o estudo da interação homem e máquina, permitiu abordar as emoções através de interfaces. O design paramétrico tem assim acesso a informação derivada de sensores, que podem captar tanto a visão, o tato, a luz ou som, ampliando de alguma maneira os sentidos na criação, o que estimula a cooperação homem-máquina. De certa maneira esta extensão dos sentidos pode permitir parametrizar os desejos, conceitualmente, de maneira física.

Mas essa pergunta nos leva a outras reflexões sobre as Ciências da Complexidade, como se é possível medir o grau de felicidade ou de outro tipo de condições qualitativas que inicialmente não eram consideradas pela computação, mas que de alguma maneira tem vindo a ser. A grande fronteira entre homem e máquina no sentido clássico tem a ver com esses problemas qualitativos e filosóficos. Como comentário final, eu argumento que sim, que é possível, até um certo limite, parametrizar os desejos. E que o inverso também é verdade, ou seja, que nesse momento há um desejo de parametrizar para expandir os nossos desejos.

**Gilfranco Alves:** Esta é uma boa pergunta. Tentando analisar de um ponto de vista bastante amplo, esta deverá ser uma das questões centrais nos próximos anos de desenvolvimento dos processos digitais de projeto. Com os avanços da inteligência artificial e do uso cada vez maior de estratégias envolvendo machine learning, a Cibernética de Segunda Ordem, prenunciada no final dos anos 1960 por Heinz von Foerster passa a ocupar uma posição importante no cenário dos conceitos filosóficos e desafios do campo da computação aplicada que se anunciam. Também a ampliação da capacidade da comunicação e da significação merecem ser cada vez mais pesquisada, uma vez que a programação é uma linguagem que, como qualquer outra, permite que as relações e fluxos entre diferentes sistemas se estabeleçam com melhor desempenho possível em busca de um objetivo específico. Deste modo, a Cibersemiótica, que venho pesquisando há algum tempo e que reúne ambos os conceitos (da Cibernética e da Semiótica Peirceana), constitui-se conseqüentemente em um campo do conhecimento que pode fornecer suporte teórico para estas compreensões. Em princípio, a primeira estratégia deveria ser identificar os desejos (ou necessidades, demandas, etc.) pelo maior número possível de players ou agentes

envolvidos nos processos de design, para que possam ser traduzidos em linguagens que, por sua vez, possam ser compreendidos pelos programas e pelas máquinas. Uma vez que estes desejos possam ser ressignificados por números, a partir de códigos, creio que possam perfeitamente ser traduzidos como valores qualitativos e assim processados por um algoritmo ou um conjunto de algoritmos. Acredito, porém, que mesmo com todo este desenvolvimento, por algum tempo ainda teremos a capacidade humana na tomada das decisões como a instância interpretativa predominante nas escolhas dos caminhos e soluções a serem adotados. O Prof. Kas Oosterhuis, criador e líder do Hyperbody, falava muito sobre a capacidade intuitiva dos seres humanos nas decisões e em como o design teria que assumir, muitas vezes, esse caráter emotivo. Penso que do ponto de vista do metadesign (do desenho das ações) o conceito cibernético de controle será sempre muito importante. Mesmo com processos cada vez mais do tipo bottom-up, como o desenho paramétrico pode ser e assim vem demonstrando seu potencial de incorporação de inputs colaborativos, o contraponto entre decisões técnicas e emotivas pode continuar a fornecer um aporte também do tipo top-down, e assim ajudar a regular o processo de projeto na direção do equilíbrio sistêmico. Deste modo, me parece possível também estreitar as relações entre projetistas e usuários, de modo a levar toda a potência do desenho paramétrico para cada vez mais pessoas e estabelecer uma agenda de desenvolvimento colaborativo no qual o desenho paramétrico possa se tornar menos elitizado e fechado em si mesmo.

Mesmo com processos cada vez mais do tipo *bottom-up*, como o desenho paramétrico pode ser e assim vem demonstrando seu potencial de incorporação de *inputs* colaborativos, o contraponto em decisões técnicas e emotivas pode continuar a fornecer um aporte mais do tipo *top-down*, e assim ajudar a regular o processo de projeto na direção do equilíbrio sistêmico. Deste modo, me parece possível também estreitar as relações entre projetistas e usuários, de modo a levar toda a potência do desenho paramétrico para cada vez mais pessoas e estabelecer uma agenda de desenvolvimento colaborativo menos elitizada e fechada em si mesma.

**Gabriela Celani:** Essa é uma excelente pergunta, e acho que faz muito sentido parametrizar nossos desejos, mas talvez mais ainda algoritmizá-los. Ao estipularmos intervalos de valores possíveis para eles, ou regras do tipo *if-then*, podemos ter maior controle sobre as incertezas e antecipar como iremos lidar com elas. Por exemplo, ao invés de dizer que desejo ter um milhão de amigos, eu poderia dizer que desejo ter entre um e um milhão de amigos, e associar a cada valor o que eu poderia fazer em cada caso. Acredito que naturalmente já parametrizamos e algoritmizamos diversos aspectos de nossa vida, estabelecendo valores de entrada e de saída para cada componente dela e regras internas para lidar com as diferentes situações. A única dificuldade é quantificar numericamente valores subjetivos, como a quantidade de amor ou de felicidade que damos ou recebemos.

**Marcelo Tramontano:** Nós nos fizemos essa pergunta, com uma certa prioridade, durante algum tempo, porque no Nomads.usp trabalhamos muito com tendências comportamentais e questões culturais. Ficávamos nos perguntando como seria possível inserir essas questões subjetivas nos processos de projeto, uma vez que estes programas lidam com parâmetros, e em processos tradicionais de projeto de arquitetura, estas questões constituem parâmetros de projeto. Teríamos que trabalhar com valores numéricos, porque a base da parametrização é a atribuição de valores a parâmetros associados.

Em 2017, fizemos um *workshop* em Belém, no Pará, com alunos de graduação e

pós-graduação, e resolvemos testar essa possibilidade. Três equipes desenvolveram projetos de trapiches na orla do rio, como plataformas avançadas sobre a água abrigo de estações de transporte fluvial. Definimos quatro parâmetros aos quais conseguiríamos atribuir valores numéricos: a velocidade da água do rio, os horários de pôr do sol ao longo do ano (nos solstícios e equinócios) e a presença de dois edifícios históricos muito importantes na área, que são o Convento de Nossa Senhora do Carmo e o Mercado do Porto do Sal. Foi um exercício muito interessante, porque vimos que era possível considerar essas informações, de maneira controlada, na produção da forma. Cada grupo trabalhou com um tipo de *script*, por exemplo, o pessoal que trabalhou com Tessellation, conseguia utilizar atratores, etc. Cada um incorporou esses procedimentos à sua maneira, mas percebemos que era – e continua sendo – extremamente subjetivo. Se seria interessante que ganhasse objetividade? Também não sei, porque, no fim das contas, a arquitetura é sempre bastante subjetiva.

Você tem um conjunto de demandas, que cada arquiteto responderia da sua maneira, com suas referências, com seus modos de fazer e procedimentos. Então, eu entendo que é possível modelar aspectos subjetivos sim, mas que precisamos desenvolver nossa relação com os programas. E isso envolve uma outra discussão que é muito polêmica: sobre o arquiteto poder escrever seus próprios *scripts*, desenvolver códigos para complementar e dialogar com esses programas. Significa criar algoritmos mais específicos para certas demandas, e, ao mesmo tempo, significa a realização de muitos e sucessivos testes, pois é deles que a inovação se alimenta.

**Jarryer De Martino:** Ao questionar se é possível parametrizar desejos, logo questiono e reflito sobre o significado de desejo. Se este for interpretado como intenção, vontade ou algo que se pretende conquistar ou atingir, acredito que esta prática já se configura como uma atividade constante daqueles que trabalham com a criação e planejamento do que é artificial. Desenvolver um projeto envolve a constante necessidade de tomada de decisões, um processo contínuo de negociações entre diferentes variáveis que precisam ser atendidas de maneira simultânea e satisfatória e, que de certa forma, envolve desejos. Logo, pensar de maneira flexível, permitindo os ajustes entre os diferentes parâmetros de projeto, já faz parte da nossa rotina. No entanto, não nos damos conta da complexidade deste processo, somente quando o traduzimos para um processo sistematizado, implementado computacionalmente por meio de uma representação paramétrica, como no caso de uma programação visual no Grasshopper ou Dynamo. É neste momento que percebemos a quantidade de relações, interações e operações são necessárias para se parametrizar os nossos desejos.

**Camila Ghendov:** Ótima pergunta! Nós, como seres humanos, temos valores, crenças e princípios. Ou seja, a nossa moral é quem cria as regras, e com isso adaptamos as variáveis para concretizar nossas ambições.

**André Procópio:** O Homem está por trás das máquinas. Os desejos vêm antes dos processos, antes das pesquisas e dos números. É importante para a humanidade preservarmos nossos desejos e por vezes deixar eles nos guiarem. Sem desejo, o homem não teria ido à lua e não estaria tentando ir à Marte. A técnica deve sempre estar à nossa disposição, com ela podemos ir mais longe.

**Mateus Van Stralen:** O desejo pode ser visto como algo em trânsito, um fluxo, um

estado intermediário, um processo. Refletir sobre a parametrização dos desejos passa então por pensar um processo dinâmico que resiste à objetificação. É pensar a parametrização em um processo contínuo do projeto ao uso, mantendo as relações entre as variáveis dinâmicas, mutáveis, no próprio espaço arquitetônico. É explicitar o uso e interação como processos de criação possibilitando variações espaciais que resistem a um estado final.

**Anja Pratschke:** Eu acho essa pergunta um pouco atrasada, desculpa, essas perguntas eram feitas em congressos em 2012. Tem um congresso da computação, em arquitetura se chama SIGraDI, que ocorre na América Latina e depois tem outros congressos irmãos, como Ecaade ou Acadia, mas eu tenho uma opinião sobre isso. Tem um arquiteto e designer, Guto Requena, formado pelo Nomads.usp, que faz esse tipo de investigação em projetos arquitetônicos e objetos de design, ele tem por exemplo uma luminária que se chama *Alma*. Ele vai criando um algoritmo que você alimenta com seus sentimentos, o algoritmo faz um cálculo e vai imprimir em 3D uma luminária única, ou um vaso, até acho que joias ele já fez.

Agora queria ampliar um pouco essa pergunta, porque sempre tem uma pergunta que nenhum entrevistado está gostando. Nós estamos observando essas dúvidas de como inserir na parametrização, valores ou parâmetros que não são visíveis. Eu acho que essa é a pergunta, não é o desejo, é o que é invisível. O que não é normalmente considerado no sistema, que deveria estar procurando se tornar visível para fazer parte das decisões projetuais, porque nós falamos aqui em parametrização, e é um sistema complexo, com várias entradas. E como eu vou alimentar esse sistema, por exemplo, com dados que não são estáveis?

Vamos pensar em uma coisa simples como proteção solar. Quando os arquitetos modernos faziam proteção solar, ela era fixa, certo? Bate o sol deste lado da fachada, então vou colocar uma proteção solar, uns para-brisas ou uns muxarabis que são fixos. Quando você entra nos sites de escritórios, como UNStudio, Zaha Hadid, Rem Koolhaas etc, tem uma área enorme que se chama pesquisa. Nesses escritórios eles pesquisam, por exemplo, possibilidades de variação da inclinação do pára-brisa quando o sol bate em um raio diferente, então o pára-brisa vai se adaptando. Ou, também, em épocas do ano em que o sol é mais alto ou mais baixo. Esses são, vamos dizer, parâmetros não-constantes, que mudam. E como eu vou introduzir isso no projeto? Então eu estou brincando lá com minha programação visual, mas eu estou pensando na construção desse objeto arquitetônico, que não é um objeto fixo, tem uma flexibilidade. Por isso talvez vocês falem desejo, como eu vou expressar desejo, porque o desejo não é uma constante, ele muda, então é uma inconstante. Como se trata uma inconstância?

Tem esses escritórios e existem também pesquisadores que trabalham com isso. Eu vi recentemente um especialista em BIM, Rafael Sacks, que é um professor israelense na Technion, em Haifa, Israel e também em uma universidade nos Estados Unidos. Ele é um dos editores do BIM Handbook e ele veio a São Carlos nos mostrar, por exemplo, como usar a programação visual para integrar individualidades dos futuros moradores para modificar as plantas de projetos de habitação. Ele vai começar a usar a inteligência artificial e a automação.

Temos três coisas muito promissoras no design paramétrico: temos o BIM como plataforma, temos os *plug-ins* de simulação e temos sistemas inteligentes. Aqui eu vou incluir a cibernética, porque esses que eu citei, não são suficientes para garantir a qualidade de um projeto arquitetônico. Eu preciso entender como essas diferentes maneiras de construir a minha proposta proporcionam uma resposta adequada no

local.

Ultimamente, falamos muito de sustentabilidade, ecologia e do termo comunicação ecológica. Então, o que está por trás dessas diferentes vertentes, que os alunos normalmente abraçam entusiasticamente: *ah! Vamos aprender Grasshopper! Vamos mexer com MEP! Vamos fazer colaboração entre diferentes especialistas*, existem muitas coisas para aprender. Mas eu tenho que ter em mente, por que estou fazendo isso? Qual o meu objetivo? Recentemente, vi uma mesa redonda muito interessante, que trouxe a discussão sobre a diferença da cibernética com a inteligência artificial. No lugar da inteligência artificial, poderia colocar design paramétrico também, o importante é que há diferença: a inteligência artificial trabalha com texturas, trabalha com reconhecimento, com aprendizagem da máquina etc. A compreensão da aplicabilidade da Inteligência Artificial é muito redutora, quando se observa a complexidade de um processo de projeto. O design paramétrico se preocupa com o quê? Por exemplo, é o que Woodbury está mostrando no seu livro, mas isso também é muito redutor para tratar aspectos específicos do processo de projeto.

A cibernética entra aqui como organizadora de informação e comunicação, integrando o todo e as partes, através dos diversos submodelos desenvolvidos nos últimos oitenta anos. Ela se preocupa com a ligação entre mente, corpo e ambiente, tendo uma amplitude de atuação muito maior que o design paramétrico, a inteligência artificial ou BIM podem ter. O que estamos aprendendo no uso da Inteligência Artificial ou de design paramétrico, desses aspectos redutores da organização da informação, nada me garante a integração da mente, do corpo e do ambiente. Eu vou explorando partes disso e posso usar um Revit ou um Grasshopper. Mas como eu falei, é um desperdício usar esses programas para fazer cubinhos, e atualmente são feitos muitos projetos de cubinhos. Existem outras possibilidades, mas eu só consigo extrapolar as limitações a que os programas computacionais nos obrigam, se eu tenho um modelo teórico maior por trás, que me motive na alimentação desse sistema que estou propondo.

Por trás desses programas, eu introduzo a cibernética e o pensar sistêmico na Graduação aqui no Instituto. As aulas da disciplina *Meios digitais*, lecionada no primeiro semestre, são organizadas em duas partes. Metade da disciplina é reservada para trazer os princípios teóricos ligados ao processo de projeto computacional: história da mídia, metateorias, leitura de projetos e como são produzidos. É muito importante ter esse tempo na nossa disciplina, porque não é só ir ao laboratório e aprender *software*. É aprender a entender o porquê do uso do computador, dos meios digitais e da cultura digital na produção arquitetônica. Percebo muito nas propostas dos nossos estudantes, que os projetos são bastante incompletos em relação à inserção no ambiente, em relação à consciência da materialidade e dos comportamentos. Justamente, isso que vocês falaram: os desejos estão ausentes, o invisível é ausente.



# PROJETO, PADRÕES E TECNOLOGIA

## Da linguagem de Alexander à programação e inteligência artificial

**DESIGN, PATTERNS AND TECHNOLOGY:  
From Alexander's language to programming and  
artificial intelligence**

**Giovanna Tomczinski Novellini Brígite<sup>1</sup>**

### Resumo

As principais tendências do projeto arquitetônico mediado por computador têm sido regidas pelo Design Computacional e a Modelagem da Informação da Construção (BIM). Se, como alternativa, o design computacional proporciona inúmeras alternativas durante o processo de projeto, em contrapartida, BIM pode ter uma importante repercussão em prol de decisões qualificadas tomadas ainda na fase de concepção, posto que promete o processamento e integração de informações em Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) associando informações geométricas e não geométricas. Este ensaio contribui para áreas de Processo de Projeto e Arquitetura Digital, reavendo e discutindo questões apresentadas por correntes como o *Design Methods* (1960) e *Design Thinking* (1969), estimulando sua integração às alternativas digitais, já consolidadas (CAD, SGs) e ainda promissoras (BIM e AM), oportunizando escolhas assertivas de soluções projetuais com diversidade e similaridade semântica, através de métodos e algoritmos de tomada de decisão. Palavras-chave: processo de projeto, arquitetura digital, design computacional, modelagem da informação, parâmetros de projeto.

### Abstract

*The main trends in computer-mediated architectural design have been governed by Computational Design and Construction Information Modeling (BIM). If, as an alternative, computational design provides numerous alternatives during the design process, in contrast, BIM can have an important repercussion in favor of qualified decisions taken even in the design phase, since it promises the processing and integration of information in Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO) associating geometric and non-geometric information. This essay contributes to areas of Design Process and Digital Architecture, reviving and rediscussing issues presented by currents such as Design Methods (1960) and Design Thinking (1969), stimulating their integration with digital alternatives, already consolidated (CAD, SGs) and even promising (BIM and AM), enabling assertive choices of design solutions with diversity and semantic similarity, through decision-making methods and algorithms. Keywords: design process, digital architecture, computational design, buildig information modelling, patters.*

<sup>1</sup> Arquiteta e Urbanista (UNICAMP-2010). Mestre e Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Tecnologia e Cidade (UNICAMP-2013/19). Tem experiência em incorporação, coordenação, planejamento e desenvolvimento de projetos com foco para a indústria da construção civil. Atualmente, desenvolve pesquisas sobre o futuro do ambiente construído e tecnologias disruptivas abordando os impactos no processo de projeto e ensino. Coordena o curso de Arquitetura e Urbanismo e o CIT - Centro de Inovação e Tecnologia em Cidade e Construção do Instituto de Pesquisa Facens. Membro do Diretoria da ABEA (20/21).

### Projetar em arquitetura

Os anos 60 foi um marco para os movimentos voltados ao processo de projeto, desde então, um esforço contínuo sobre a natureza do projeto arquitetônico tem envolvido diversos pesquisadores, de vários campos, à análise dessa questão sob diferentes prismas. Inúmeras definições revelaram-se demonstrando a complexidade envolvida. No entanto, mesmo em meio à pluralidade interpõe-se um consenso sobre a existência do contexto e da forma na atividade projetual.

Por este ângulo, o projeto em arquitetura, aflora do empenho em materilaizar a solução formal de um problema pré-estabelecido, aplicado a um contexto definido. Sendo assim, ao arquiteto cabe estabelecer diferentes delineamentos em busca de resultados funcionais na conformação entre o contexto e a forma. De acordo com Alexander (1964), a forma é a solução para o problema; o contexto define o problema. De outra maneira, quando nos referimos ao projeto, o verdadeiro objeto de discussão não é só a forma, mas o conjunto da forma e do seu contexto.

Moreira (2007) define o contexto como a situação que envolve o edifício e tudo aquilo que constitui o ambiente onde o edifício opera. Não apenas uma situação física, limitada por uma área, um terreno e suas características geográficas, mas todas as situações de uso, culturais, urbanas, estruturais e assim por diante. Ao mesmo tempo que a forma é a parte do mundo que pode-se criar, alterar e controlar. Isto posto, a definição do problema torna-se imprescindível na materialização da solução.

Raramente a materialização da solução para um mesmo problema será idêntica entre arquitetos distintos, dado que a resposta ao problema projetual encontra-se entre as fronteiras da criação associadas às técnicas de racionalização dos problemas, que não possuem métodos rígidos ou universais entre profissionais, muito embora possam ser atestados alguns procedimentos comuns entre projetistas (KOWALTOWSKI *et al.*, 2006).

Endossando esse pensamento, Andrade (2012) incorpora os obstáculos na descrição de procedimentos, por geralmente apresentarem-se de modo superficiais e indicarem a criatividade como preponderante no processo de projeto, interpretando-a ainda como uma prática estática; e, a variedade e complexidade do processo de projeto, que levam os profissionais a aplicarem métodos mais sistemáticos e explícitos, ou pouco sistemáticos e subjetivos.

Anuindo que a maior dificuldade no projeto arquitetônico equivale a descrever e responder objetivamente a problemas complexos, o que gera um grande conjunto de variáveis, Flório (2009) infere que somente quando se tem um método, com regras definidas, é que se pode sistematizar intencionalmente a investigação sobre o projeto que está sendo realizado. Assim sendo, é através da descrição de um procedimento cujo objetivo é orientar uma conduta, tanto de raciocínio quanto de experimentação, que a complexidade do processo de projeto pode ser suportada mediante a utilização de métodos de controle e planejamento do processo cognitivo (KOWALTOWSKI *et al.*, 2006).

De acordo com Rosso (1980), o projeto arquitetônico integra a família de processos de decisão, podendo assim utilizar a descrição verbal, gráfica ou simbólica, isto é, diversos instrumentos de informação, para prever analiticamente um modelo e sua performance.

Nessa perspectiva, diversas sistemáticas podem ser aplicadas objetivando redução de tempo e aumento da qualidade da solução. A tecnologia quando empregada ao

processo de projeto também contribui neste sentido, e pode ser reconhecida tanto no processo analógico quanto no digital. No entanto, distinguem-se, quanto ao propósito. No projeto analógico, relaciona-se exclusivamente à representação, ao passo que no digital, a todas as etapas do processo projetual.

Embora a representação seja incontestavelmente essencial ao arquiteto por estar associada diretamente à elaboração do pensamento de projeto, ou ainda por ser capaz de promover decisões através da informação que incorpora. A transformação provocada pela implementação de ferramentas computacionais no processo digital é ainda mais impactante que no processo analógico.

No processo analógico, que constituem a base de criação tradicional da arquitetura feita por intermédio de analogias ao objeto real através de esquemas, croquis, maquetes físicas e pela representação em várias escalas de planos bidimensionais da edificação (plantas, cortes e fachadas), as ferramentas computacionais são aplicadas para representação de um desenho analógico em meio eletrônico, ou ainda como apoio para a confecção de maquetes físicas por meio de equipamentos que contribuem na sua elaboração. Retrato do processo que prevalece entre a maior parte dos profissionais ainda hoje.

Em contra partida, o processo digital engloba não apenas a aplicação de ferramentas digitais, mas uma autêntica transformação no processo de projeto da concepção ao detalhamento da execução, principalmente por ser feita através de descrições matemáticas de relações entre objetos decodificados em linguagem computacional, capazes de permitir explorações algorítmicas.

Os produtos gerados pelo processo digital foram reconhecidos como “arquiteturas digitais” (ZELLNER, 1999) ou ainda, por “*arquitetura gerada por técnicas digitais ou nas quais se intervém as ferramentas digitais*” (BRUSCATO PORTELLA, 2006, p.3). As duas definições convergem para o “*digital design*” (OXMAN, 2006), onde digital está presente na concepção e intrínseco a ela, envolvendo o processo e não apenas a representação de seus produtos.

Independentemente do processo adotado, analógico ou digital, a solução projetual invariavelmente deverá responder aos critérios pré-estabelecidos mediante a variação dos parâmetros relevantes. Ainda que a palavra *parâmetros* atualmente remeta diretamente à parametrização, o projeto arquitetônico abrange tanto parâmetros dimensionáveis, passíveis de parametrização, como não dimensionáveis, que indubitavelmente serão sujeitos à escolha do arquiteto.

Como expõem Sedrez e Celani (2014), no processo digital a seleção das formas e dos parâmetros está sujeita a sensibilidade cognitiva do arquiteto. Tais habilidades cognitivas, nesse processo, são aguçadas pelo emprego de ferramentas e recursos matemáticos e geométricos, como os algoritmos.

### O computador no processo de projeto

Desde o princípio da arquitetura ocidental, no classicismo grego, o arquiteto não fez edifícios; ao invés disso, ele produziu representações que possibilitaram sua execução (PELLETIER, 1997).

As representações constantemente vincularam-se aos artefatos acessíveis historicamente para concebê-las. Tanto os desenhos, como os modelos tridimensionais, adiante, os modelos digitais manifestam o conhecimento científico

acerca da nossa habilidade de entendimento e representação espacial, por esta razão não são ferramentas neutras. O que muda e evolui são as visões artísticas e a nova forma de se apropriar das tecnologias sugeridas (NATIVIDADE, 2010).

O emprego do computador no projeto arquitetônico, desde o princípio, fomenta debates acerca das metodologias de projeto, devido a natureza distinta entre as linguagens presentes no modelo digital e desenho feito à mão. Enquanto, para alguns pesquisadores ele inibe a capacidade criativa do arquiteto, para outros, o computador pode auxiliar na síntese da forma arquitetônica (STEELE, 2001; KOLAVERIC, 2003; PIÑON, 2006).

Lawson evidencia que apesar da maior parte dos projetistas utilizarem o computador, muitos empregam a ferramenta meramente na produção de representações, e não para projetar. Evento interessante, visto que o desenho cumpre uma função primordial no processo criativo de projeto. Para o autor, é neste ponto que fundamentamos umas das principais críticas dos sistemas CAD, sua predisposição em assegurar a resolução e a manutenção de um modelo único do edifício, ao invés de promover a incerteza criativa da fase inicial do processo (LAWSON, 1997).

Este contraponto relaciona-se diretamente ao modo de utilização da ferramenta e não da tecnologia propriamente dita, como ressalta Helio Piñon (2006):

*[...] o computador, ao mesmo tempo em que oferece a um incompetente os meios para perverter definitivamente o projeto, proporciona os instrumentos para enfrentar a concepção e a verificação do projeto em condições inimagináveis até pouco tempo.*

Neste ensaio, acredita-se que o processo de projeto em arquitetura, por sua grande complexidade e diversidade, tem nas tecnologias computacionais incorporadas ao seu desenvolvimento um fator de relevância fundamental. Fator que acompanha proporcionalmente os níveis de produção arquitetônica, propostos por Steele (2001):

*Primeiro:* método tradicional de concepção analógica onde o computador é utilizado apenas para representação de produtos finais;

*Segundo:* fortemente embasado por princípios tradicionais, mas intrinsecamente dependente do computador para materialização;

*Terceiro:* espécie de “processo híbrido” de concepção. Diversas mídias digitais e analógicas são revezadas na geração da forma;

*Quarto:* mais radical, onde o computador é usado como “alter-ego” (STEELE, 2001) no processo de geração da forma através das investigações algorítmicas.

Entretanto, os debates acerca das metodologias associadas ao uso de computadores abrangem não apenas sua aplicação, como também o nível de interatividade com os usuários. Por isso, recentemente, a mídia de projeto e a interatividade têm sido exploradas como temáticas em projeto. Faz-se, portanto, importante nesta ocasião a conceituação e caracterização destes dois termos.

A *mídia* é conceituada por Ataman (2000) como um aparelho para selecionar, reunir, organizar, armazenar, e transmitir o conhecimento em formas representacionais. Mais especificamente, a mídia é uma ferramenta, ou combinação de ferramentas

utilizadas para gerar representações gráficas como desenhos, imagens ou modelos.

Já a *interatividade*, de acordo com Oxman (2006), pode ser apresentada em quatro níveis:

- (1) Interação com uma forma livre (representação baseada em papel – não digital): o projetista interage diretamente com uma representação do objeto visualmente através de um desenho ou modelo físico.
- (2) Interação com construção de representação digital: o projetista interage com CAD por meio de um desenho digital, Em formato 2D ou 3D.
- (3) Integração com uma representação digital gerada por um mecanismo: o projetista interage com CAD através de um conjunto de regras e relações (espaciais) para formar um mecanismo para gerar uma estrutura digital.
- (4) Integração com um ambiente digital que gera uma representação digital: o projetista interage com “a parte operativa de um projeto generativo”. Onde o projetista pode interagir com o mecanismo computacional que gera a representação digital.

### Evolução do uso do computador no projeto arquitetônico

O início da relação homem-computador remonta ao desenvolvimento das interfaces gráficas na década de 60. O primeiro programa de Desenho Assistido por Computador (CAD), surge em 1963 a partir da *máquina de desenhar* de Ivan E. Sutherland desenvolvido para sua tese de doutorado no MIT. A interface desenvolvida por Sutherland possibilitou a representação interativa de elementos geométricos em um monitor de computador, tornando-se inspiração para uma interface mais aprimorada desenvolvida por Newman, em 1966 (MITCHELL, 1977).

Mitchell (1977) evidencia *Notes on the Synthesis of Form* (1964) como um dos principais marcos na pesquisa de metodologia do projeto arquitetônico, pela inspiração que é despertada através da utilização de métodos sistemáticos fundamentados em computação. Por intermédio dessa publicação Christopher Alexander propõem a racionalização lógica em prol da tomada de decisão em detrimento ao processo arbitrário de projeto, associando a forma ao contexto. Posteriormente, seu trabalho tocou-se base conceitual promovendo importantes contribuições às arquiteturas digitais, como parametrização, os sistemas generativos e as gramáticas da forma (NATIVIDADE, 2010).

Embora o destaque da representação arquitetônica por meio do desenvolvimento das interfaces gráficas estar cronologicamente associado à introdução dos novos conceitos metodológicos, início da década de 60, apenas no final da década de 1970 que a prática da Arquitetura auxiliada por computador estabeleceu-se de fato, por intermédio da integração do projeto assistido por computador em programas pedagógicos (DOLLENS, 2002). Inicia-se neste período, o que Kalay (2004) identifica como a Primeira Geração dos sistemas CAD de projeto.

Em virtude da robustez imposta pelos primeiros computadores associado ao alto valor agregado, a utilização dos equipamentos restringia-se aos centros de pesquisa,

como por exemplo, o Institute for Physical Planning at Carnegie Mellon University, desenvolvedor do *Building Description System* (BDS), um modelador associado a uma grande base de dados e configura-se um dos termos precursores à Modelagem de Informação da Construção (BIM). Sucessivamente, o sistema foi alterado para *Graphical Language for Interactive Design* (GLIDE), baseando-se em uma linguagem de programação habilitada no suporte à manipulações geométricas por meio de descrições paramétricas. No Reino Unido, o desenvolvimento esteve associado a grandes projetos públicos, investindo na coordenação modular e componentes para edifícios industrializados (KALAY, 2004).

Conceitualmente a notável contribuição deste período corresponde à transformação do papel do computador no processo de projeto. Primeiramente tido como um sucessor, ele adquire o status de *assistente inteligente*, promovendo a realização de tarefas mais frequentes, desonerando o arquiteto para atividades mais significativas como a tomada de decisão (MITCHELL, 1977).

A proposta de colaboração através do diálogo entre o arquiteto e a máquina arquitetônica, é o debate central do livro *The Architecture Machine* (1970). Nele Negroponte fortalece o potencial presente na introdução dos métodos científicos e quantificáveis, como os identificados por Alexander, todavia exaltando a cooperação e não substituição, adverso ao posicionamento de Alexander:

*A machine, meanwhile, could procreate forms that respond many hereto un-manageable dynamics. such a colleague would not be an omen of professional retirement but rather a tickler of the architect's imagination, presenting alternatives of form possibly not visualized or not visualizable by the human designer* (NEGROPONTE, 1970 apud KOLAVERIC, 2003).

Marcada pelo surgimento dos computadores pessoais, a segunda geração, distingue-se pelo aumento advindo da redução dos custos das tecnologias agregadas. Nessa geração o significado do CAD associava-se mais ao Desenho assistido por computador (*Computer Aided Drawing*) de que ao Projeto Assistido por Computador (*Computer Aided Design*). De fato, durante a primeira geração os sistemas voltaram-se para o projeto arquitetônico propriamente dito, na segunda geração o destaque volta-se ao desenho e modelagem (KALAY, 2004).

Semelhantes à primeira geração, a terceira recupera os sistemas CAD designados ao apoio do processo de projeto, não somente à representação de edifícios. Entretanto, os progressos adquiridos ao longo das duas décadas de pesquisa propiciaram ferramentas CAD mais inteligentes, refletindo em pesquisas nas áreas de parametrização, programação de objeto orientado, inteligência artificial e sistemas de gerenciamento de banco de dados; corroborando e oportunizando processos de projeto digital (KALAY, 2004).

Concomitantemente ao desenvolvimento apresentado emerge a quarta geração, onde a investigação formal ocorre através do meio digital, demandando importantes transformações na metodologia do processo arquitetônico (OXMAN, 2006).

Como considera Kolarevic (2003), na quarta geração, o arquiteto ausenta-se da modelagem formal e passa a articular uma lógica para promover a geração da forma. Podendo assim produzir automaticamente inúmeras possibilidades formais, dentre as quais, deve-se escolher a mais adequada ao desenvolvimento.

Neste cenário, Oxman (2006) apresenta a necessidade da diferenciação conceitual

entre Projeto Assistido por Computador, essencialmente embasado em reproduzir o processo analógico baseado no papel, e Projeto Arquitetônico Digital (OXMAN, 2006).

Na investigação do Projeto Arquitetônico Digital Oxman (2006) apresenta cinco modelos como proposta de situar os novos paradigmas de projeto digital. Consequência da sua dedicação em prol da elucidação do termo: *projeto digital* e da busca por novos paradigmas de projeto, fundamentando-se na investigação de conceitos teóricos de arquitetura digital (STEFANI, 2014).

O relacionamento do arquiteto com as ferramentas digitais para o exercício da síntese projetual evidenciada pelos modelos de Oxman permite-nos identificar quatro modelos para o projeto digital: CAD descritivo com processo digital bidirecional, de Formação, Generativos e de Desempenho. Descartam-se os outros modelos CAD por apenas refletirem a evolução das tecnologias como assistentes ao projeto; e, os Modelos compostos por representarem somente uma intenção.

Para a autora, o arquiteto deve assumir o papel de desenvolvedor de ferramentas de personalização da mídia de projeto, principalmente devido ao crescente desenvolvimento da mídia de projeto digital e sua habilidade de operar de maneira integrada e interativa.

Sendo assim, entender os métodos, técnicas e ferramentas à luz de como os projetistas interagem com os componentes do projeto digital é uma maneira segura para a compreensão das estruturas de projeto digital (ANDRADE, 2012).

Baseado em Oxman, Andrade (2012) apresenta sete diferentes modos de representação dos múltiplos processos de projetos digitais. A Figura 1 apresenta o modelo analógico e os sete modelos de projetos digitais.

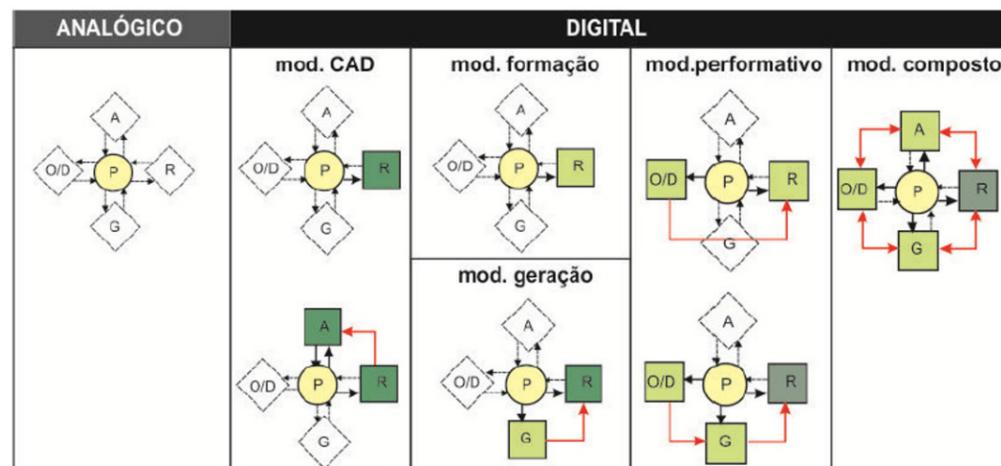


Figura 1. Classes e subclasses de modelos de projeto digital propostos por Oxman (2006). Fonte: ANDRADE, M. Processo digital de geração da forma baseada no desempenho e com suporte em building information modeling. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 399 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2012. p. 279.

Como forma de operacionalizar os modelos digitais expostos têm-se o Design computacional. Fundamenta-se que a arquitetura não mais é criada exclusivamente pelo arquiteto, mas sim por intermédio de ferramentas computacionais que o apoiam no processo de síntese.

Apesar do uso do computador ser inerente ao conceito apresentado, os padrões que retratam esse processo foram identificados em explorações que antecedem a existência deste, como demonstram Godoi (2018) e Neves (2015), já haviam investigações formais decorrentes da operacionalização de um ou mais algoritmos. Ainda que as edificações consideradas pelas autoras, Alberti (GODOI, 2018) e

Rittel (NEVES, 2015), representem a concepção analógica, refletem claramente um método de pensamento como aplicado no design computacional. Ou seja, o projetista, mesmo sem o auxílio do computador, assume a responsabilidade por identificar e estabelecer regras capazes de possibilitar a concepção.

Neves (2015) salienta que o projetista volta-se para a criação de espaço(s) de possibilidades, identificando o problema, decodificando-o e adaptando-o, e neste sentido, assume o domínio das regras e não da forma propriamente dita. A ferramenta computacional apenas amplia a capacidade de processamento de informações e dados, potencializando o número de variações destas regras.

Desta forma, os Sistemas Generativos (SGs), possibilitam a geração de múltiplas alternativas, podendo ser empregado como um processo exploratório analógico ou potencializado através de recursos digitais. As convicções aplicadas aos SGs derivam das ciências matemáticas e computacionais e têm os conhecimentos necessários para a geração de formas em geral associados à teoria da complexidade (SEDREZ, 2018), como por exemplo a gramáticas generativas (Gramática da Forma), auto-organização (Autômatos celulares) e geração e crescimento algorítmico (Fractais).

### Christopher Alexander e sua linguagem de padrões como método projetual

Como parte da 1ª geração de pensamento sobre metodologia projetual e legítimo representante do Design Methods Movement (1960) Christopher Alexander desenvolveu um processo de projeto sistemático, baseado na teoria de probabilidades e grafos, precisando de um computador para sua aplicação.

Concentrando-se no relacionamento estabelecido entre a forma e o seu contexto, empregou uma técnica de decomposição identificando quais questões num problema projetual podem ser consideradas como subproblemas embasado em uma análise pautada nas relações entre as variáveis integrais de projeto (LOVE, 1997). Este método foi saudado como um significativo progresso no debate acerca do projeto sistemático. Contudo, mesmo que aparentasse ser automático, estava subordinado à habilidade do arquiteto em reconhecer e distinguir as variáveis imprescindíveis e seu relacionamento aos elementos de projeto.

Reconhecendo as limitações epistemológicas e ontológicas implícitas ao seu processo de desconstrução, Alexander publica um novo método projetual mais sofisticado: *A Pattern Language: Towns – Buildings – Construction* (1977) e *The timeless way of building* (1979).

O livro *A Pattern Language* foi publicado como colaboração de Sara Ishikawa e Murray Silverstein, entre outros. A abrangência das discussões introduzidas repercutiu na época, e repercute até hoje, em diversas áreas, não apenas na Arquitetura, mas também na Matemática e Ciência da Computação.

A Pattern Language reúne 253 parâmetros, relacionáveis entre si, e que constituem uma rede constituída por uma lista explicativa de ocorrências recorrentes em situações projetuais, caracterizadas por meio de parâmetros, enriquecidas pelo arquetípico, na forma gráfica, que elucida o problema e a essência da solução (VAN DE VOORDT; VAN WEGEN, 2005). Os parâmetros apresentados almejam contribuir para atingir a “qualidade sem nome”, fenômeno identificado em “*The timeless way of building*” (ALEXANDER, 1979).

Face às relevantes críticas recebidas, voltadas ao questionamento científico

dos parâmetros ou ainda a negação da legitimidade de um pluralismo de valores em arquitetura, pesquisadores como Barros e Kowaltowski (2013) destacam a contribuição dos parâmetros ao demonstrar uma conexão direta à experimentação humana do ambiente construído, interpretada por um senso comum e entendimento natural.

A iniciativa pioneira constatada por Barros e Kowaltowski (2013) sobre *A Pattern Language* envolve a estruturação dos dados da associação ser humano-ambiente para prover soluções projetuais, almejando conectar, sistematicamente, elementos arquitetônicos ao comportamento humano. Atributo significativo para este ensaio, porquanto os parâmetros projetuais identificados podem colaborar como significativo material de referência na elaboração de algoritmos qualificados a explorar novas soluções projetuais com ênfase na associação ser humano-ambiente, através de tecnologias que permitem BIM.

A contribuição propriamente dita envolve a integração do conhecimento qualitativo no processo de projeto digital, através da aplicação do modelo gramaticalmente transformativo, para garantir que a busca de soluções de qualidade ser humano-ambiente no processo de projeto possa ser auxiliada pelo conhecimento existente sem, no entanto, mecanizá-lo a ponto de impossibilitar o afloramento de novas ideias. Pois, neste ensaio, acredita-se ser possível a aplicação de diversas ferramentas que proporcionem diferentes contribuições à concepção projetual, integrando processos digitais ao conhecimento qualitativo e sua sistematização criativa.

Retomar a metodologia, ou as soluções, apresentadas por Alexander permite-nos ressaltar reflexões e condutas atuais de projeto propostas por diversos pesquisadores em qualidade ambiental (BARROS; KOWALTOWSKI, 2013; OLIVEIRA E SOUSA; MOREIRA 2013).

Apesar da tradução para a língua portuguesa considerar *pattern* como *padrão*, o conteúdo e o caráter propositivo dos *patterns* indicam sua interpretação enquanto parâmetros de projeto, no sentido de serem elementos cuja variação de valor contribui e orienta a solução de um problema no todo sem lhe modificar a natureza (BARROS; KOWALTOWSKI, 2013).

Alexander *et al.* (1977) definem a linguagem apresentada como uma possibilidade e não a única, salienta ainda que linguagens refletem cada época por serem dinâmicas. Desta forma, destacam dois objetivos principais: o primeiro engloba a possibilidade de infinitas combinações; o segundo, a premissa de que o arquiteto deve considerar as condicionantes locais fomentando a adequação e/ou promoção de novos *patterns*, criando assim relevância e atemporalidade das contribuições feitas.

### ***A Pattern Language e Building Information Modeling***

Sequeira (2007) apresenta a concepção arquitetônica proposta por Alexander, desde o início, como a construção de uma linguagem de estrutura formal funcionalista, por isso programável e algorítmica, cuja discriminação varia da função focada sobre a concepção do objeto, produção-exigências, para a função focada sobre o sujeito, fruição-necessidades. Tendo a estrutura de processamento origem no conceito de *problem solving*, e como objetivo da efetiva programação daquilo que hoje é o trabalho criativo humano.

O autor comprova o fato de o sistema da *pattern language* ter uma utilização cada vez maior nas investigações informáticas desde a própria estrutura de programas

evolutivos, até aos *object oriented design* ligados à investigação da Inteligência Artificial, passando pelo conceito de *Patterns*, como uma disciplina de engenharia informática para a resolução de problemas (SEQUEIRA, 2007).

Enquanto originalmente a *pattern language* tenta modelar o conhecimento com informações, a maioria dos modelos orientados, bem como o BIM, simplesmente pretendem modelar informações de valor presumido em ambiente sem contexto (OZEL, 2007).

Neste sentido, muitos pesquisadores (EASTMAN, 1999; OZEL, 2000) têm se empenhado para definir modelos digitais, de edificações, no intuito de analisá-los tal como pertencem ao ambiente construído. Além disso, dedicam-se à padronização da modelagem, ao desenvolvimento do IFC (*Industry Foundation Classes*) e do IAI - (*Industry Alliance for Interoperability*), no intento de favorecer a integração e interoperabilidade entre os modelos.

A principal diferença entre os esforços relacionados à BIM e à *pattern language* é que enquanto o primeiro aborda a questão como um estímulo para modelar objetos do mundo real de maneira imparcial, Alexander et al. (1977) incluem suas experiências, como projetistas, sob a forma de *patterns*, abordando considerações sobre o problema e a solução, permitindo assim a incorporação do conhecimento tácito em ferramentas de projeto.

Desta maneira, podemos observar que o potencial da *pattern language* emerge relacionado à BIM e fomenta a possibilidade de incorporação do conhecimento da relação ser humano – ambiente à modelagem da informação.

### **BIM e Aprendizado de Máquina**

O conceito BIM envolve principalmente processos, tecnologias e pessoas. BIM objetiva uma prática de projeto integrada, de modo que todos os agentes de AECO alinhem seus esforços na elaboração de um “modelo único” de edifício (RUSCHEL, 2014).

Em BIM, o arquiteto trabalha a modelagem orientada a objetos por meio de relações paramétricas. Ruschel (2014) resalta dois benefícios da modelagem em BIM ser orientada a objetos. O primeiro vincula-se ao fato do modelo ser constituído por objetos inteligentes, com informação, forma e função, agregando desta forma regras capazes de garantir sua consistência. O segundo benefício é a possibilidade do reuso de modelos pelas ferramentas que permitem BIM. Todavia, a autora indica como desvantagem o fato de cada especialidade do projeto exigir um sistema específico de modelagem BIM.

O projeto concebido por intermédio de parâmetros impõe a organização de diversas regras aplicadas à criação do modelo, uma vez que os elementos geométricos são definidos por suas variáveis mutáveis. Assim sendo, o modelo paramétrico atua como um sistema de informação interligado que tem a capacidade de reagir às alterações específicas que ocorrem em suas partes. Ou seja, durante a geração da forma, a manipulação dos parâmetros incorporados oferece a possibilidade de obter diversos ajustes seguindo a mesma intenção inicial do projeto (BRÍGITTE, 2019).

No que se refere ao à concepção do projeto arquitetônico, novos progressos em inteligência artificial, envolvendo o Aprendizado de Máquina (AM), possibilitaram abordagens inovadoras mediante processos, métodos e algoritmos de apoio à

tomada de decisão em dois ramos da arquitetura digital: o design computacional e a modelagem da informação da construção.

Um modo de apoio aos projetistas durante a concepção do projeto arquitetônico, envolve a classificação de padrões por AM que combina um conjunto de métodos para identificar automaticamente padrões latentes de dados, com a intenção de presumir dados futuros ou efetivar decisões sob incerteza (RADZISZEWSKI; WACZYŃSKA, 2018). Diversas maneiras são capazes de classificar padrões através do AM, no entanto, cada uma está sujeita ao tipo de aprendizado: supervisionado, não supervisionado ou por reforço.

A Clusterização, é um exemplo, de classificação não supervisionada. Nessa classificação os dados são agrupados, através de um algoritmo, em subgrupos (clusters) por possuírem certa semelhança independente de classes pré-definidas.

Um dos algoritmos de clusterização mais tradicionais, chama-se k-means cujo nome expressa exatamente sua função, visto que o algoritmo identifica k clusters distintos num conjunto de dados. O algoritmo realiza de maneira interativa associações de cada dado ao centro de cada cluster considerando média dos valores neste conjunto; na sequência, incrementa a média entre todas as distâncias relacionadas ao cluster equivalente até que se estabilize. A qualidade dos agrupamentos obtidos pode ser aferida por duas análises específicas, a primeira pela caracterização dos agrupamentos, quanto maior a distância entre si, melhores, a outra, pela distância entre dos dados de cada subgrupo, quanto maior a proximidade, melhor. A operação desse algoritmo remete à proposição de Alexander em *Notes on the Synthesis of Form* (1964).

A clusterização hierárquica apresenta-se como outra forma de classificação, porém distinta do exemplo anterior, que estabelece conjuntos desarticulados, através do agrupamento hierárquico podemos dividir os dados em ordens, subordens, famílias, subfamílias, até que se determine uma instância individual.

A forma de representação mais comum ao agrupamento hierárquico corresponde à uma árvore, e é denominado dendograma, apresentando como os dados são agrupados. O dendograma é um dos tipos de estruturação de conjuntos apresentados por Alexander em *City is not a tree* (1966) onde a escolha de subconjuntos por si só dota a coleção de subconjuntos como um todo com uma estrutura geral (BRÍGITTE, 2019).

A Figura 2 ilustra a estrutura de conjuntos apresentadas por Alexander, à esquerda, expressa uma ordenação crescente, de maneira que sempre um conjunto contém outro, desta forma cria-se um caminho vertical levando de conjunto a outro, enquanto à direita, observa-se uma semitreliça na qual cada nó filho pode pertencer a mais de um nó pai, revelando interseções nos galhos das árvores e nos conjuntos.

A teoria de *A Pattern Language* advém da revisão de diagramas por Alexander implementando a substituição do conceito genérico de diagrama para o parâmetro de projeto cuja relativa independência possibilita lembrar outros sem comprometer sua ocorrência, indicando assim uma estrutura hierárquica em formato de cascata. Atualmente pesquisadores concentram-se no desenvolvimento de processos que permitam métodos voltados ao aprendizado de máquina tanto para o enriquecimento semântico dos projetos arquitetônicos em BIM como capazes de facilitar a revisão de modelos (SACKS *et al*, 2019).

Belsky *et al* (2016) apresentam um método de enriquecimento semântico para BIM

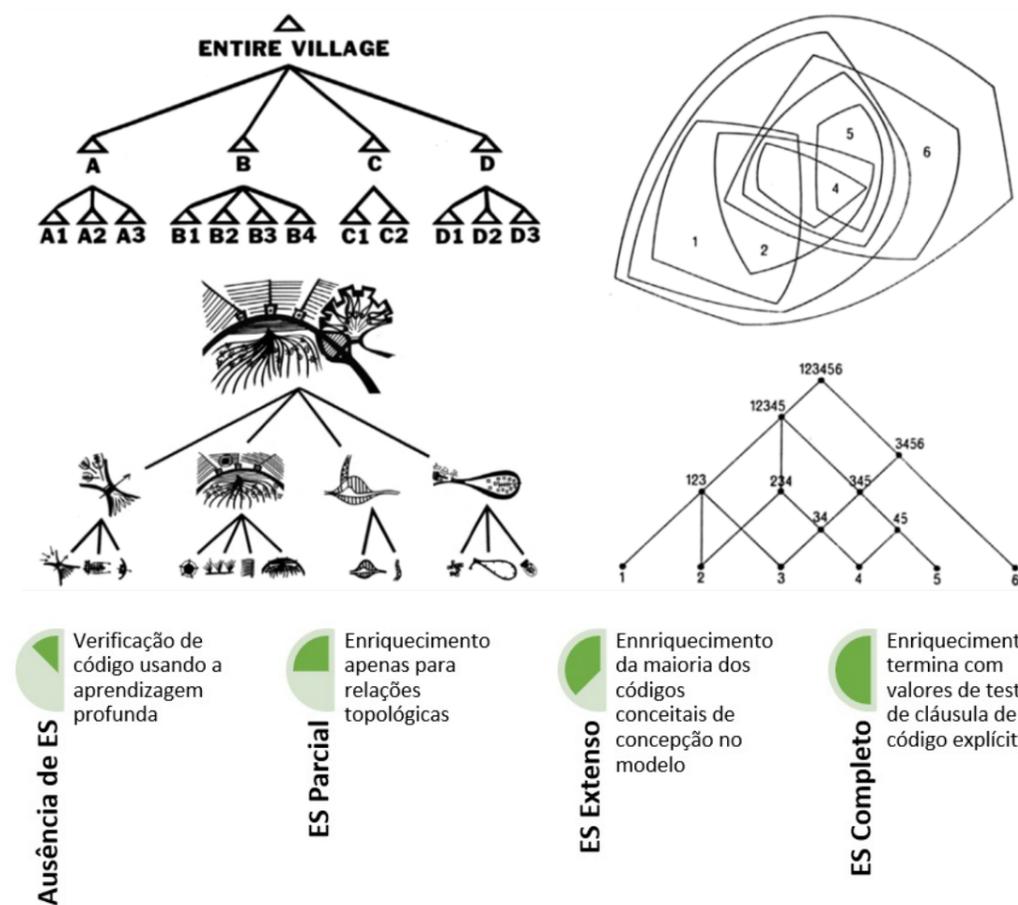


Figura 2. Diagramas de Análise e Síntese da Forma e Semitreliça (Alexander, 1964; 1966). Fonte: Esquerda: árvores de análise e síntese da forma, In: Alexander, C., Notes on the Synthesis of Form. Cambridge, Harvard University Press, 1964, 151 and 153. Direita: Semitreliça, In: Alexander, C., A City is Not a Tree, Design, 206, 1966.

Figura 3. Espectro de possibilidades para sistemas automatizados de análise de projeto AI BIM. Fonte: Adaptado de SACKS, R. et al. Automating Design Review with Artificial Intelligence and BIM: State of the Art and Research Framework. In: Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019. p. 353-360.

em busca da implementação de uma abordagem baseada em topologia e geometria voltada a criação de arquivos para modelos de construção semanticamente úteis baseados em informações implícitas e explícitas presentes na construção de uma edificação. O enriquecimento semântico para BIM acrescenta aos modelos de construção, em IFC, as propriedades semânticas necessárias.

Seja qual for o procedimento, tanto no enriquecimento semântico (ES) como na verificação de código, a definição do método de aprendizado de máquina ou baseado em regras dependerá do investimento no desenvolvimento, que por sua vez seguirá variáveis como o esforço necessário para formular conjuntos de regras, a complexidade da lógica, o grau de interpretação implícita necessário e a disponibilidade de dados para o aprendizado, como ilustra a Figura 3 (SACKS *et al*, 2019).

Evidencia-se que a aplicação da tecnologia ao ambiente construído contribui de diferentes formas no processo desde a concepção do projeto arquitetônico, como por exemplo, na síntese (AS, *et al*, 2018; NISZTUK; MYSZKOWSKI, 2019), passando pela verificação (HU, 2018; SACKS *et al*, 2019), gamificação (SAVOV *et al*, 2016), ou ainda na própria fabricação (TAMKE *et al*, 2018).

Exclusivamente em IA, o envolvimento da tecnologia ao ambiente construído tem avançado cada vez mais do auxílio eficaz para as etapas criativas dos projetos ao monitoramento da execução e gestão de facilidades através de rotulagem de dados (BRAUN; BOORMAN, 2019), além de proporcionar sistemas adaptativos, onde a interação com os usuários e o próprio meio proporcionam ambientes construídos responsivos amplificando o processo projetual ao longo do ciclo de vida da edificação. Como exemplares de arquiteturas responsivas podemos apresentar o projeto de fachada solar adaptável que reúne e associa técnicas de arquitetura sustentável,

robótica, computação onipresente e aprendizado de máquina, avançando em direção à sistemas arquitetônicos com capacidade de aprender com a experiência, ou seja, sistemas arquitetônicos adaptáveis (ROSSI *et al*, 2012), ambientes interativos e habilitados no fornecimento de respostas ambientais discretas com transições e suaves e contínuas em um contexto sensível, através do aprendizado de máquina, para o apoio a tomada de decisão a partir de avaliação de estado (OUNGRINIS; LIAPI, 2014); ou ainda como sistemas capazes de gerar projetos urbanos (MIAO *et al*, 2018).

### Considerações finais

A operacionalização para viabilizar o uso de parâmetros de projeto em modelos BIM para a análise e avaliação das alternativas promovidas por sistemas generativos ainda é um campo escassamente explorado. Ainda assim, a contribuição em possibilitar a algoritmização de dados da relação ser humano-ambiente para prover soluções projetuais, buscando conectar, de forma sistemática, o comportamento humano a elementos arquitetônicos, foi demonstrada por Brígite (2019) no auxílio a tomada de decisão frente as inúmeras derivações provenientes de sistemas generativo, apresentando-se assim como um importante campo a ser explorado.

Infere-se que a utilização de parâmetros de projeto em ambiente digital, ou parâmetros qualitativos, associados ao modelo de informação permitem a gestão das informações, sejam elas geométricas ou não, desde o início do processo projetual, fomentando a integração em sua completude no processo de projeto. Estimula-se desta forma o uso da tecnologia no subsídio a decisões qualificadas tomadas ainda na fase de concepção.

Por fim, entende-se que o Enriquecimento Semântico de BIM é indispensável para a avaliação de projeto em todo o ciclo de vida de uma edificação. Seja voltado às exigências do programa de necessidades; do próprio programa, dos requisitos e diretrizes de qualidade, voltado ao orçamento, normas e outras exigências (VOORDT; WEGEN, 2013).

### Referências

ALEXANDER, Christopher. *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press, 1964.

ALEXANDER, Christopher; ISHIKAWA, Sara; SILVERSTEIN, Murray. *A Pattern Language*. New York: Oxford Univ., 1977.

ALEXANDER, Christopher, *The Timeless Way of Building*. New York, Oxford University Press, 1979.

ANDRADE, Max. *Processo digital de geração da forma baseada no desempenho e com suporte em building information modeling*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 399 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2012.

AS, Imdat ; PAL, Siddharth; BASU, Prithwish. Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. *International Journal of Architectural Computing*, v. 16, n. 4, p. 306-327, 2018.

ATAMAN, Osman. Measuring the Impact of Media on Architectural Design In IV

*Congresso da Sociedade Ibero Americana de Gráfica Digital*, Rio de Janeiro, 2000.

BARROS, Raquel; KOWALTOWSKI, Doris. *Do projeto urbano ao detalhe construtivo A Pattern Language* finalmente traduzida. Resenhas online, v. 12, p. 137, 2013.

BELSKY, Michael; SACKS, Rafael; BRILAKIS, Ioannis A. Semantic Enrichment Engine for Building Information Modelling. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, p. 261-274.

BRAUN, Alex; BORRMANN, André. Combining inverse photogrammetry and BIM for automated labeling of construction site images for machine learning. *Automation in Construction*, v. 106, p. 102879, 2019.

BRÍGITTE, Giovanna. *Parâmetros de projeto, BIM e aprendizado de máquina no suporte à decisão projetual*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2019. 161p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2019.

BRUSCATO PORTELLA, Underléa. *De lo digital em arquitectura*. [tese de doutorado] – Barcelona: ETSAB / UPC, 2006. p. 278.

DOLLENS, Dennis. *De lo digital a lo analógico*. Editorial Gustavo Gili, 2002.

FLORIO, Wilson. *Criatividade, cognição e processo de projeto: uma reflexão sobre o ensino-aprendizagem*. 2009.

GODOI, Giovana. *Procedimentos algorítmicos: o método albertiano*. In: CELANI, Maria Gabriela C.; SEDREZ, Maycon Ricardo; CELANI, Gabriela. (Organizadores). *Arquitetura Contemporânea e automação: prática e reflexão*. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 29 a 40.

HU, Yuqing; CASTRO-LACOUTURE, Daniel. Clash Relevance Prediction Based on Machine Learning. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 33, n. 2, p. 04018060, 2018.

KALAY, Yehuda E. *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*. London: MIT Press, 2004. 536p.

KOLAREVIC, Branko. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. New York and London, Taylor & Francis, 2003.

KOWALTOWSKI, Doris. *et al. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico*. Ambiente Construído, v. 6, n. 2, p. 7-19, 2006.

LOVE, Terence. Annotated bibliography relating to definitions of the term 'design process' 1962-1995. *Social, Environmental and Ethical Factors in Engineering Design Theory: a Post-positivist Approach*, 1997.

LAWSON, Brayan; LOKE Shee Ming. Computers, words and pictures. *Design Studies* 18 (2), pp. 171–184, 1997.

MIAO, Yufan *et al*. Computational urban design prototyping: Interactive planning synthesis methods—a case study in Cape Town. *International Journal of Architectural Computing*, v. 16, n. 3, p. 212-226, 2018.

MITCHELL, William. *Computer-Aided Architectural Design*. Nova York: Van Nostrand-

Reinhold Company, 1997.

MOREIRA, Daniel. *Os princípios da síntese da forma e a análise de projetos arquitetônicos*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2007. 375 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2007.

NATIVIDADE, Verônica Gomes. *Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais*. Dissertação: Mestrado. Universidade de São Paulo. 302 p., 2010.

NEVES, Isabel Clara. Contribuição de Horst Rittel para a abordagem científica ao projecto no início da era computacional. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 6, n. 1, p. 39-55, 2015.

NISZTUK, Maciej; MYSZKOWSKI, Pawel B. Hybrid evolutionary algorithm applied to automated floor plan generation. *International Journal of Architectural Computing*, v. 17, n. 3, p. 260-283, 2019..

DE OLIVEIRA, Marcela Noronha Pinto et al. Aplicação da linguagem de padrões à avaliação de projetos de biblioteca pública. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 8, n. 2, p. 7-25, 2013. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v8i2.80946>.

OUNGRINIS, Konstantinos-Alketas; LIAPI, Marianthi. Spatial Elements Imbued with Cognition: A possible step toward the Architecture Machine. *International Journal of Architectural Computing*, v. 12, n. 4, p. 419-438, 2014.

OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(2006):229-265.

OZEL, Filiz. Spatial Databases and the Modeling of Dynamic Processes in Buildings, *Proceedings of the CAADRIA 2000 conference*, Singapore, Mai, 2000.

PELLETIER, Louise., 1997. *Architectural representation and the perspective hinge*. Cambridge: MIT Pres.

PIÑON, Helio. *Teoria do Projeto* / trad. Mahfuz Edson da Cunha. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto. p.227. 2007.

RADZISZEWSKI, Kacper; WACZYŃSKA, Marta. Machine learning algorithm-based tool and digital framework for substituting daylight simulations in early-stage architectural design evaluation. In: *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*. 2018. p. 1-7.

ROSSI, Dino; NAGY, Zoltán; SCHLUETER, Arno. Adaptive distributed robotics for environmental performance, occupant comfort and architectural expression. *International Journal of Architectural Computing*, v. 10, n. 3, p. 341-359, 2012.

ROSSO, Teodoro. *Racionalização da construção*. São Paulo: FAUUSP, 1980.

RUSCHEL, Regina Coeli To BIM or not to BIM? In: III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Anais...São Paulo: ENANPARQ, 2014.

SACKS, Rafael. et al. Automating Design Review with Artificial Intelligence and BIM: State of the Art and Research Framework. In: *Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation*. Reston, VA: American Society of

Civil Engineers, 2019. p. 353-360.

SAVOV, Anton; TESSMANN, Oliver; NIELSEN, Stig Anton. Sensitive assembly: gamifying the design and assembly of façade wall prototypes. *International Journal of Architectural Computing*, v. 14, n. 1, p. 30-48, 2016.

SEDREZ, Maycon; CELANI, Gabriela. Ensino de projeto arquitetônico com a inclusão de novas tecnologias: uma abordagem pedagógica contemporânea. Pós. *Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, v. 21, n. 35, p. 78-97, 2014.

SEQUEIRA, João Menezes de. A Concepção Arquitectónica Como Processo: o exemplo de Christopher Alexander. *Revista Lusófona de Arquitectura e Educação* nº 01, 2007.p.43-57. Disponível em: (<http://recil.grupolusofona.pt/handle/10437/375>), acesso: jan/17.

STEFANI, Alessandra Márcia de Freitas. *Paradigma ou campo: uma análise da produção acadêmica sobre o processo de projeto*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014.282p.

STEELE, James. *Architecture and computers: action and reaction in the digital design revolution*. Watson-Guptill Publications, Inc., 2001.

TAMKE, Martin; NICHOLAS, Paul; ZWIERZYCKI, Mateusz. Machine learning for architectural design: Practices and infrastructure. *International Journal of Architectural Computing*, v. 16, n. 2, p. 123-143, 2018.

VAN DER VOORDT, Dorotheus Johannes Maria; VAN WEGEN, Herman BR. *Architecture in use*. Routledge, 2005.

VAN DER VOORDT, Dorotheus Johannes Maria; VAN WEGEN, Herman BR. *Arquitetura sob o olhar do usuário: programa de necessidades, projeto e avaliação de edificações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ZELLNER, Peter. *Hybrid space: new forms in digital architecture*. London: Thames& Hudson, 1999.

# NÍVEIS DE COMPUTABILIDADE EM PROCESSO DE PROJETO

## Casos e especificidades

### LEVELS OF DESIGN COMPUTABILITY: Cases and specificities

Tássia Borges de Vasconcelos<sup>1</sup> e David Moreno Sperling<sup>2</sup>

#### Resumo

Diante de um cenário de utilização massiva do computador em processos de projeto, pretende-se apresentar e sistematizar três lógicas gerais do uso dos ambientes digitais no contexto de projeto na arquitetura contemporânea, a partir de definições propostas por Rivka Oxman (2006) e Toni Kotnik (2010). Articuladas a essas definições, estas lógicas são exemplificadas por meio de metodologia baseada em Estudo de Caso, com a explicitação de processos de concepção de obras contemporâneas emblemáticas como o *Guggenheim Museum Bilbao*, o *International Terminal at Waterloo Station* e o *Water Cube*; respectivamente categorizados sob os níveis de computabilidade representacional, paramétrico e algorítmico. Assim, procura-se evidenciar a potencialidade do uso do computador como uma mídia ativa no processo projetual, os quais trazem possibilidades e desafios distintos para o projeto e a produção da arquitetura.

Palavras-chave: Níveis de computabilidade projetual, projeto paramétrico, projeto algorítmico, arquitetura contemporânea, método de projeto.

#### Abstract

*Faced with a scenario of massive use of the computer in design processes, it is intended to present and systematize three general logics of the use of digital environments in the context of design in contemporary architecture, taking up definitions proposed by Rivka Oxman (2006) and Toni Kotnik (2010). Linked to these definitions, these logics are exemplified through a case study based methodology, by explaining the design processes of emblematic contemporary works as the Guggenheim Museum Bilbao, the International Terminal at Waterloo Station and the Water Cube. They were categorized respectively under the levels of representational, parametric and algorithmic computability. Thus, it seeks to highlight the potential of using the computer as an active medium in the design process, according to specific levels of computability, which bring different possibilities and challenges for the design and production of architecture.*

*Keywords: Levels of design computability, parametric design, algorithmic design, contemporary architecture, design method.*

#### O processo de projeto, da representação analógica à mídia ativa

Em arquitetura, tradicionalmente, o desenvolvimento do processo projetual está relacionado à uma linguagem gráfica e por conseguinte aos códigos e saberes incorporado no ato de representar. Desta forma, destaca-se a importância da representação, visto que muitas vezes ela é associada diretamente à própria profissão do arquiteto, e não distante, com o saber projetar, conforme apresentado por Lawson:

A imagem arquetípica do projetista é de alguém sentado à prancheta. Mas o que fica claro é que ele exprime as suas ideias e trabalha de modo muito gráfico e visual. Realmente, seria muito difícil tornar-se um bom projetista sem desenvolver a capacidade de desenhar bem<sup>3</sup> (LAWSON, 1980, p. 13, tradução dos autores).

Durand (2003) sistematiza as representações de um projeto segundo seus objetivos, dividindo-as em três tipos, a primeira voltada à concepção, a segunda ao convencimento da equipe de trabalho ou cliente e a terceira relacionada com as fases de execução. Neste artigo, estamos interessados no primeiro tipo, entendendo-o como um modo externalizado para introspecção, que auxilia o arquiteto a expressar a formulação do problema, explicitar as possíveis soluções, testar e verificar o atendimento a soluções, mesmo que estas sejam explorações de questões subjetivas.

Deve-se destacar que assim como expressado por Woodbury (2010), há décadas atrás a representação de um objeto em processo de concepção era compreendida apenas como o resultado da interação de um arquiteto com o desenho em papel, considerando variações, das representações menos às mais estruturadas. No entanto, surgem novos meios para a concepção diante da revolução digital que, conseqüentemente, modificam as relações estabelecidas na representação em arquitetura (KOLAREVIC, 2003).

Propiciados pela incorporação do ambiente digital e incorporando novas dinâmicas processuais, alguns destes desenvolvimentos estabelecem uma relação/interação menos direta entre o arquiteto e a representação figurativa do objeto em processo de concepção. Aqui encontram-se, portanto, as prerrogativas para o entendimento de uma prática projetual associada a lógica da incorporação da mídia ativa: “distinguir a representação como o modo lógico e operativo dominante da geração formal no design” (OXMAN & OXMAN, 2014, p. xxvii, tradução dos autores).

Olhando em perspectiva o cenário da incorporação das mídias digitais na produção de arquitetura pode-se ter uma aproximação histórica e outra do presente, que apresentam distintas modulações temporais. Se por um lado, tem-se uma vasta produção arquitetônica que foi constituída historicamente até a metade do século passado com extrema qualidade e complexidade sem a utilização do computador, por outro, passa a haver uma incorporação cotidiana do seu uso, e que não é mais uma novidade. Já estamos há quase 60 anos das primeiras implementações dos computadores na área, tornando-se cada vez mais essenciais em todas as fases projetuais, com potencialidades que tornam a sua negação inviável. Sendo uma novidade para a trajetória da arquitetura, não se pode, entretanto, interpretar como novidade para os arquitetos da atualidade.

<sup>1</sup> Mestre, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP) – São Carlos, Brasil

<sup>2</sup> Doutor em Arquitetura e Urbanismo, Docente do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo (IAU-USP) – São Carlos, Brasil

<sup>3</sup> The archetypical image of the designer is of someone sitting at a drawing board. But what is clear is that designers express their ideas and work in a very visual and graphical kind of way. It would be very hard indeed to become a good designer without developing the ability to draw well (LAWSON, 1980, p. 13).

No Brasil, a título de recuperação, em 1994 o currículo dos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo foi revisto e passou por diversas alterações, que pretendiam uma unificação da base curricular, definindo diretrizes e conteúdos mínimos. Uma destas diretrizes estava associada à obrigatoriedade da implementação da disciplina de Informática Aplicada, com suas especificidades apresentadas a seguir:

8º - O estudo da Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo abrange os sistemas de tratamento da informação e representação do objeto aplicados à arquitetura e urbanismo, implementando a utilização do instrumental da informática no cotidiano do aprendizado<sup>4</sup> (BRASIL, 1994, p. 20).

Diante desta obrigatoriedade, 15 anos após a divulgação das diretrizes, Duarte, Celani e Pupo (2011) sintetizaram dois discursos antagônicos comuns sobre a importância do computador no processo de projeto, tanto em âmbito acadêmico como profissional, e que ainda se fazem presentes. De um lado os que o entendem como imprescindível e, de outro, os que veem apenas reservas.

Entre o contexto das dicotomias verificado pelos autores há 10 anos atrás e o contexto atual, muito se avançou no debate, na disponibilidade de programas avançados para projeto e em sua exploração, seja no âmbito do ensino, seja no profissional. Neste intervalo, cresceu a compreensão social na disciplina de que a tecnologia pode contribuir para além da execução da representação. Uma questão chave, dentre outras, é a sua capacidade crescente de auxiliar a ampliação do conjunto de respostas possíveis e sua avaliação segundo critérios explícitos ao longo do processo de projeto. Permite, assim, agilizar a transição para novas alternativas projetuais, como a exploração de formas e cenários complexos, dando suporte à análise preditiva de aspectos importantes para o arquiteto e à investigação dentro de um espaço de soluções viáveis.

Mas, em meio à ampliação das possibilidades computacionais para projeto de arquitetura, reafirma-se o papel central do arquiteto, que passa a conceber explicitamente o próprio processo projetual a ser operacionalizado por meio de interfaces homem-máquina. Altera-se a função da representação gráfica, pois a linguagem de comunicação com o computador vai além de representações simbólicas, conforme explicitado em Mitchell (1975). Retomando Woodburry (2010), pode-se considerar a função primeira do ambiente digital em processo de projeto não é o da representação, mas o de mediação ativa:

Pessoas fazem projeto. Planejar e implementar mudanças no mundo que nos rodeia é uma das coisas-chaves que nos torna humanos. Linguagem é o que dizemos; projetar e confeccionar é o que fazemos. Computadores são simplesmente um novo meio para este antigo empreendimento. Verdade, eles são as primeiras mediações ativas. Como símbolo geral de processadores, computadores podem apresentar tipos quase ilimitados de ferramentas. Com trabalho e cuidado, nós podemos programá-los para fazer muito do que chamamos de projeto. Mas não tudo<sup>5</sup> [...] (WOODBURRY, 2010, p. 7, tradução dos autores).

<sup>4</sup> <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/DOU/1994/12/23>, acessado em março de 2020.

<sup>5</sup> "People do design. Planning and implementing change in the world around us is one of the key things that make us human. Language is what we say; design and making is what we do. Computers are simply a new medium for this ancient enterprise. True, they are the first truly active medium. As general symbol processors, computers can present almost limitless kinds of tools. With craft and care, we can program them to do much of what we call design. But not all. [...]" (WOODBURRY, 2010 p. 7)

Diante das potencialidades das mediações ativas que vêm se apresentando à arquitetura, este artigo tem interesse em focar alguns processos de projeto em ambiente digital, e que claramente fazem uso de suas potencialidades, segundo sistematização que será apresentada a seguir. Para isso, retomaremos autores que se dedicaram à constituição de um campo de investigação sobre os processos e metodologias de projeto no ambiente digital, e que de alguma forma buscaram explicitar e/ou sistematizar procedimentos dentro de um contexto tão complexo e singular que é o processo de projeto.

Como o enfoque deste artigo parte de conhecimentos específicos, emergentes a partir do desenvolvimento da utilização da mídia digital na área de Arquitetura e Urbanismo nestes últimos 60 anos, e principalmente nas últimas décadas, compreende-se pertinente um aprofundamento teórico inicial. Assim apresentaremos um termo importante na construção dos saberes que aqui serão explicitados, no caso, "parâmetro". E posteriormente apresentaremos a classificação que organiza os casos de estudos que serão apresentados.

### Parâmetro

O termo *parâmetro* está em ascensão, e é onipresente no discurso da arquitetura da era digital, em suas inúmeras derivações. Tem-se a partir deste: *parametricismo*, *arquitetura paramétrica*, *desenho paramétrico*, *modelagem paramétrica*, dentre outros. No processo de interação com o computador, cada vez mais é necessária a aproximação de uma linguagem algébrica, a qual inclui saberes advindos da matemática. Tem-se, portanto:

Parâmetro: Algo que decide ou limita a maneira que algo pode ser feito (OXFORD, 2015 s. p., tradução dos autores)

Parâmetro: <sup>a</sup> MATEMÁTICA Denominação dada a uma variável de caráter secundário, com alguma função especial, que tem como finalidade os objetos de um conjunto ou de uma família.<sup>b</sup> MATEMÁTICA Todo elemento em que sua variação de valores modifica a solução de um problema, sem, contudo, modificar sua natureza.<sup>c</sup> Elemento variável que participa da elaboração de um conjunto e que também constitui um todo. [...] <sup>d</sup> INFORMÁTICA Informação que define os limites ou as ações de alguma coisa, tais como uma variável, uma rotina ou um programa (MICHAELIS, 2019, s. p.).

A partir das definições acima, parâmetro, no contexto da matemática e por conseguinte da informática, é colocado em segundo plano em relação ao conjunto que faz parte. E principalmente, identifica-se que o cerne da equação paramétrica não é a presença de parâmetros, mas sim como estes mesmos parâmetros se organizam e se relacionam entre si de maneira a gerarem resultados por meio de funções explícitas.

Para além da associação direta amplamente realizada em arquitetura, entre equações paramétricas, desenho paramétrico e exploração formal de complexidades geométricas, deve-se identificar quais são as questões realmente fundamentais a partir das conceituações anteriores sobre equações paramétricas. Assim, para uma abordagem focada na área de arquitetura traz-se o argumento de Daves, para quem o foco estaria na associação lógica e explícita entre as partes do objeto resultante e não no resultado:

Eu argumento que existe a propensão em definir um modelo paramétrico a partir dos resultados, no entanto, a característica definidora de um modelo paramétrico não são os resultados, mas sim a necessidade de construir e manter relacionamentos e associações no modelo<sup>6</sup> (DAVES, 2013, p. 15).

Assim, a exploração mais consciente das potencialidades do computador perpassa a utilização do desenho paramétrico. Rivka e Robert ressaltam a importância dos sistemas paramétricos lançados na primeira década do milênio indicando esta alteração:

O projeto paramétrico tem sido muito produtivo para a pesquisa e para o projeto arquitetônicos, que agora é possível falar de forma paramétrica, ou dos atributos formais intrínsecos à geração e gerenciamento de formas com parâmetros<sup>7</sup> (Oxman & Oxman, 2014, p. 57).

### A interação entre e computador e o projetista - Níveis de computabilidade

Primeiramente considera-se importante compreender o significado da palavra interação como “a ocasião em que duas pessoas ou coisas comunicam-se entre elas ou reagem uma com a outra” (CAMBRIDGE, 1995). A origem da palavra vem do Latim: *inter* (entre) e *ação* advém de agere (realizar, fazer). Principalmente a partir dos processos comunicacionais, pode-se compreender a existência de uma relação, a qual pode ser estabelecida em apenas um sentido ou nos dois sentidos.

Com o foco no processo de projeto dentro do contexto de arquitetura e urbanismo, muitos autores abordam o feito de Ivan Sutherland em 1963 indicando como a primeira demonstração de interação do homem com um computador. No início do século XXI, a pesquisadora e professora Rivka Oxman em um contexto de ensino de Arquitetura e Urbanismo, a partir da abordagem explicitada no artigo *Theory and design in the first digital age*, compreende ser pertinente uma reflexão sobre teorias e metodologias projetuais, dando a devida importância para a expressão *interação*. Esta reflexão guia este artigo e é estruturada principalmente por estar diante de uma produção crescente de práticas de projeto/design digital no âmbito da arquitetura, a qual é amparada pela evolução da tecnologia, apontando ser necessário rever as teorias frente às novas possibilidades da utilização do computador.

Em Oxman (2006) são reexaminadas as teorias sobre o processo projetual no ambiente digital, e para ampliar esta compreensão, a autora propõe quatro componentes a serem considerados como inerentes ao design digital: representação, avaliação, performance e geração; e organiza-os em torno da figura do arquiteto, de modo que, dependendo como as conexões são estabelecidas, e se as informações que transitam entre estes componentes são implícitas ou explícitas, têm-se diferentes tipos de interações entre o arquiteto e a representação.

A preservação do papel central do arquiteto nos processos de projeto em ambiente digital, preservado nas taxonomias de Oxman (2006) nas implementações menos ou

<sup>6</sup> I argue that there is a propensity to define parametric modelling in terms of the model's outputs even though the defining feature of a parametric model is not the outputs but rather the need to construct and maintain relationships associated with the model (DAVES, 2013, p.15)

<sup>7</sup> Parametric design has been so productive for architectural research and design that it is now possible to speak of parametric form, or the formal attributes intrinsic to form generation and management with parameters. (Oxman & Oxman, 2014, p. 57)

mais conscientes das potencialidades do computador, é importante para subverter a ideia que o computador é o sujeito/agente centralizador neste processo.

Oxman (2006) sistematiza formas de interação do arquiteto com a representação no ato projetual. Deste modo, tendo como base as possibilidades desta interação, a autora propõe a distinção de quatro tipos de interação, as quais permitem diferenciar quatro modos distintos de processos de projeto. Assim foram propostas por Oxman (2006): a) *interaction with paper-based representation* (Interação com o papel: baseada em representação) b) *interaction with digital constructs* (Interação com constructos digitais) c) *interaction with a digital representation generated by a mechanism* (Interação com a representação digital gerada por um mecanismo) e d) *interaction with digital environment that generates a digital representation* (Interação com o ambiente digital que gera a representação digital).

Logo, considera-se que a primeira, interação com o papel: baseada em representação, estabelece-se no ambiente físico e não requer a utilização do ambiente digital. A autora destaca que o modelo tradicional de concepção projetual é baseado em conhecimentos implícitos, e o processo de geração e avaliação não são formalizados. Como o foco desta pesquisa é dirigido apenas a processos que se estabelecem no ambiente digital, a interação com o papel não será abordada.

Interessa, portanto, a sistematização que faz a autora de uma taxonomia do projeto digital, exemplificando-a com projetos desenvolvidos com esses tipos de interações. Tendo sido já abordado e esquematizado graficamente os tipos de interação em artigo anterior (VASCONSELOS & SPERLING, 2017), no presente artigo serão focadas especificamente as diferentes interações sem que sejam exploradas as subcategorias entre esses tipos.

A partir da sistematização realizada por Oxman, o pesquisador e professor Toni Kotnik apresentou, em 2010, os níveis de computabilidade no processo de projeto, com uma abordagem mais direta em relação às diferentes interações. Assim os *tipos de interação* propostos por Oxman tem as seguintes equivalências com os *níveis de computabilidade* de Kotnik:

a Interação com constructo digital é definida como nível de computabilidade representacional, a Interação com a representação digital gerada por um mecanismo como nível de computabilidade paramétrico e Interação com o ambiente digital que gera a representação digital como nível de computabilidade algorítmico.

Compreende-se que as sistematizações feitas por Oxman (2006) e Kotnik (2010) permanecem válidas e permitem elucidar claramente as lógicas gerais do uso dos ambientes digitais no contexto contemporâneo de projeto. Fazendo-se apenas uma observação sobre os termos utilizados, visto que com o passar do tempo e avanço da tecnologia alguns termos são revistos, o emprego do termo *Digital Architectural Design* (Oxman, 2006) (Oxman, 2008), foi substituído por *computational design*, termo corrente em publicações posteriores, como Oxman & Oxman (2014), Picon (2014) e (Oxman, 2017), dentre outras. Considera-se que este termo retrata uma compreensão mais adequada ao momento de reflexão sobre a produção na “era digital” claramente vinculada aos níveis de computabilidade.

Este artigo tem, portanto, o propósito de explicitar como se estrutura, em termos gerais, um processo projetual em cada um dos níveis de computabilidade, utilizando-se do acervo sobre o processo projetual de obras de arquitetura emblemáticas já construídas.

## Metodologia

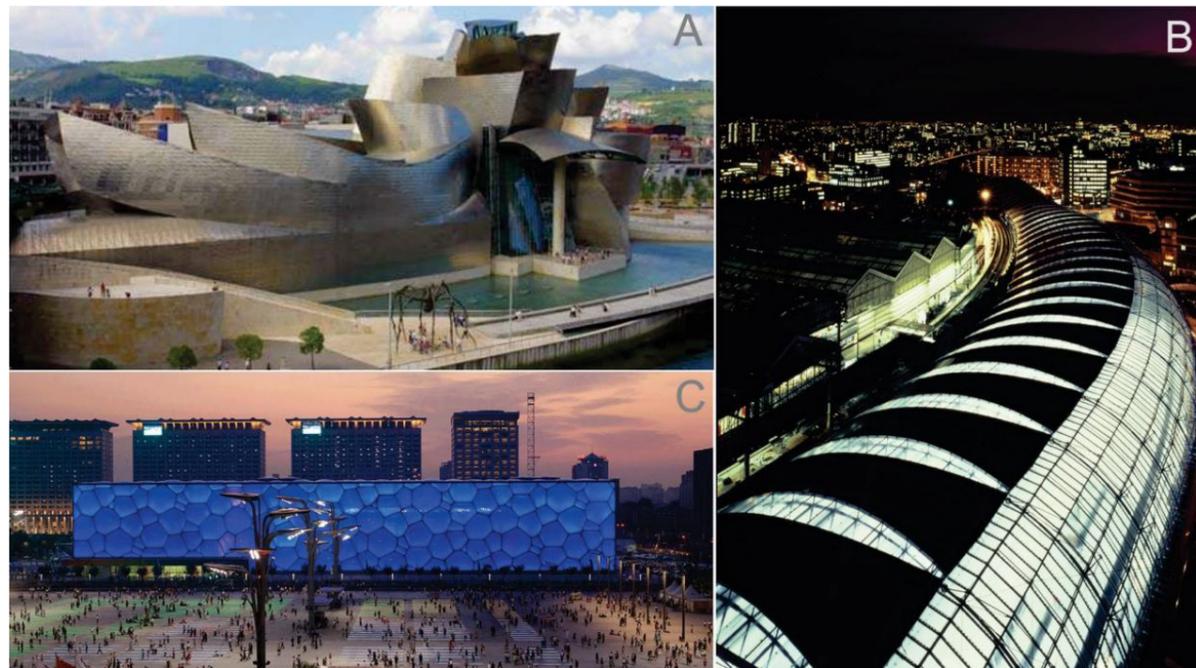
Para este desenvolvimento foi utilizada a metodologia baseada em Estudo de Caso realizada a partir da compreensão de um fenômeno contemporâneo (Yin, 1993; Groat & Wang, 2011), com o objetivo de visualizar detalhadamente alguns exemplos de experimentações de processos projetuais que utilizam o ambiente digital como instrumento deste desenvolvimento.

O Estudo de Caso define-se como pesquisa qualitativa, que se debruça no aprofundamento do conhecimento sobre parte de uma determinada realidade, em relação a qual se infere que este caso possua características elucidativas. Neste estudo, o critério fundamental da seleção dos casos foi terem sido referenciados em artigos científicos de autores reconhecidos e a disponibilidade de registros dos processos projetuais dessas obras, para análise.

O desenvolvimento do Estudo de Caso partiu, portanto, da seleção de alguns dos exemplos anteriormente identificados por Oxman (2006) ou Kotnik (2010), os quais não tiveram suas especificidades evidenciadas pelos mesmos autores para que recebessem determinada categorização. Para desenvolver o aprofundamento sobre as obras, partiu-se principalmente do discurso dos arquitetos e engenheiros responsáveis por meio de coleta de material sobre as obras, tanto em entrevistas quanto na apresentação dos projetos nos próprios sites dos escritórios. Ainda, as imagens selecionadas são relativas aos processos de projeto e seus resultados (obras construídas), com as quais busca-se preencher lacunas no discurso analisado. Diante da grande maioria do material coletado ser proveniente do acervo dos escritórios, identifica-se que é uma pesquisa com um recorte de narrativa direcionada pelos próprios autores das obras.

Sendo assim, busca-se aqui apresentar diferenciações entre os níveis de computabilidade, abordando aspectos de processos projetuais, do *Guggenheim Museum Bilbao*, para o nível de computabilidade representacional; do *International Terminal at Waterloo Station*, para o nível paramétrico; e do *Water cube*, para o nível algorítmico, apresentados na Figura 1 (A), (B) e (C).

Obras apresentadas: A) Guggenheim Museum Bilbao, B) International Terminal at Waterloo Station C) Water Cube. Fonte: Respektivamente disponível em: <https://www.britannica.com/place/Bilbao>, <https://grimsshaw.global/projects> e <http://www.ptw.com.au/>. Acessado em: outubro de 2020.



## Nível de computabilidade representacional - *Guggenheim Museum Bilbao*

Em um processo de projeto baseado em um nível de computabilidade representacional, o arquiteto interage diretamente com a representação. Dentro desta dinâmica existe um espectro de possibilidades, iniciando em desenvolvimentos realizados com a lógica da transposição de uma abordagem de projeto convencional em papel para o espaço digital, estabelecendo-se a partir de um esboço, desenho ou modelo digital. É muito associado a um modelo tradicional de utilização do CAD por meio de desenhos 2D e 3D.

Dentro do mesmo nível, ainda existem desenvolvimentos com estratégias de utilização da ferramenta mais arrojadas, podendo-se identificar dinâmicas de análise do modelo desde que estas não o modifiquem ou restrinjam automaticamente diante de resultados insatisfatórios, por exemplo. Oxman (2008) e Kotnik (2010) indicam que este nível, como metodologia de projeto, difere dos níveis de computabilidade paramétrico e algorítmico pelo menor grau de consciência, por parte do arquiteto, do fundo computacional envolvido no processo.

Nas abordagens do nível de computabilidade representacional, o projetista não tem possibilidade de modificação facilitada, pois a linguagem estabelecida com o computador não é baseada em um controle explícito. Para descrever esta semelhança com o projeto convencional em papel, Kotnik utiliza a expressão “ferramenta de desenho eletrônica” (2010, pag. 8). Podemos identificar objetivamente o que ocorre pela seguinte função descrita por Kotnik:  $F(in) = F(out)$ . Cada alteração faz uma modificação, cada informação incluída gera apenas uma possibilidade de resultado.

Ainda no mesmo nível, tem-se explorações que utilizam as mídias digitais para transferir informações entre os ambientes físico e digital, sem que com isso se altere a lógica  $F(in) = F(out)$ . Um processo de projeto com significativa exploração do nível de computabilidade representacional é o do *Guggenheim Museum Bilbao* desenvolvido pelo arquiteto Frank Gehry, obra inaugurada em 1997<sup>8</sup>.

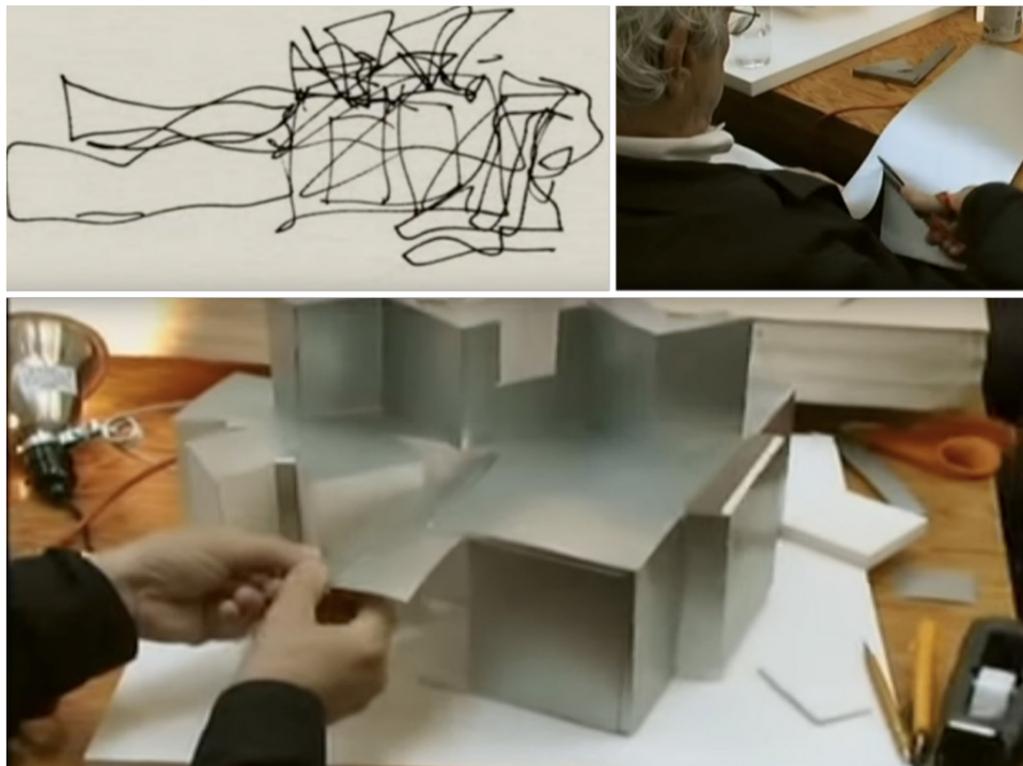
O foco aqui é conferido às primeiras etapas do projeto, quando se fez presente o nível representacional no processo criativo, não se considerando as etapas seguintes nas quais houve a incorporação de parametrização para ajuste na fabricação desta obra, condizente ao terceiro tipo de representação previamente apresentado de acordo com a sistematização de Durand (2003).

As primeiras etapas, como apresentadas no Documentário *Sketches of Frank Gehry* (Figura 2) foram realizadas por meio de croquis e maquetes no ambiente físico, em ações orientadas à investigação escultural de superfícies curvas. Essa tônica de trabalho já havia sido indicada pelo discurso do arquiteto quando recebeu, em 1989, o Prêmio Pritzker “*I approach each building as a sculptural object [...]*” (GEHRY, 1989, s. pág.). Conforme aborda Kolarevic (2003), as maquetes passam, em seguida, por um processo de digitalização, por meio de escaneamento por varredura de pontos, pelo qual a informação do ambiente físico é transportada para o ambiente digital (Figura 3) e vice-versa, do digital ao físico, com o uso da fabricação digital, para a verificação e apreciação das formas por parte do arquiteto.

Embora a posteriori exista um tratamento destes dados pelo escritório como um todo,

<sup>8</sup> É importante ressaltar, que esta análise se dirige especificamente a este projeto realizado na década de 90 e aos modos de investigação projetual presentes no escritório naquele período, pois sabe-se que posteriormente acompanhou o desenvolvimento das tecnologias digitais, inclusive com a co-criação de softwares.

Figura 2: Imagens do processo sem exploração do ambiente digital de Frank Gehry. Fonte: Imagens retiradas do Documentário: <?> Sketches of Frank Gehry. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VYt2SQPqTh0> acessado em: 12 de novembro de 2020.



entende-se que o processo de projeto e o desenvolvimento dos conceitos que resultam no objeto está vinculado diretamente ao arquiteto principal e seu processo de projeto. Mesmo que em escritórios estruturados de forma similar existam arquitetos com um entendimento mais claro sobre a potencialidade do computador, eles não modificam o processo de projeto propriamente dito.

Este entendimento parte de certa generalização, pois sabe-se que existem muitos escritórios com uma proposta de criação horizontal baseada na colaboração de diferentes agentes. No entanto, o que se perpetua, normalmente, é a centralização do papel criador aos *seniors* dos escritórios, não tão habituados a esta interação mais avançada com o computador. Diante desse tipo de arranjo produtivo dos escritórios, Picon indaga “Até que ponto esta produção, que segue conectada à intuição e às ideias dos empregadores, é realmente digital?” (PICON 2014, p. 47, tradução autores). Oxman (2008) aponta, em contrapartida, o papel relevante que uma primeira geração de experimentações teve para mudanças de paradigmas:

As novas relações entre a forma digital e os processos digitais estão contribuindo hoje para o surgimento de novo vocabulário conceitual e ao domínio do conhecimento. Estão caracterizando o que podem legitimamente ser considerados os primeiros estágios formativos de uma mudança de paradigma<sup>10</sup> (Oxman, 2008, pág 106, tradução autores).

Sendo esta questão ainda muito debatida atualmente (PICON, 2014), interessa avançar em direção aos níveis seguintes de computabilidade, demarcando que,

<sup>9</sup> “To what extent is their production, which closely follows the intuition and ideas of their employers, really digital?” (Picon, 2014, p. 47).

<sup>10</sup> “The new relations between digital form and digital processes are contributing today to the emergence of new conceptual vocabulary, and domain knowledge. It characterizes what might legitimately be considered the early formative stages of a paradigm shift” (Oxman, 2008, p. 106)

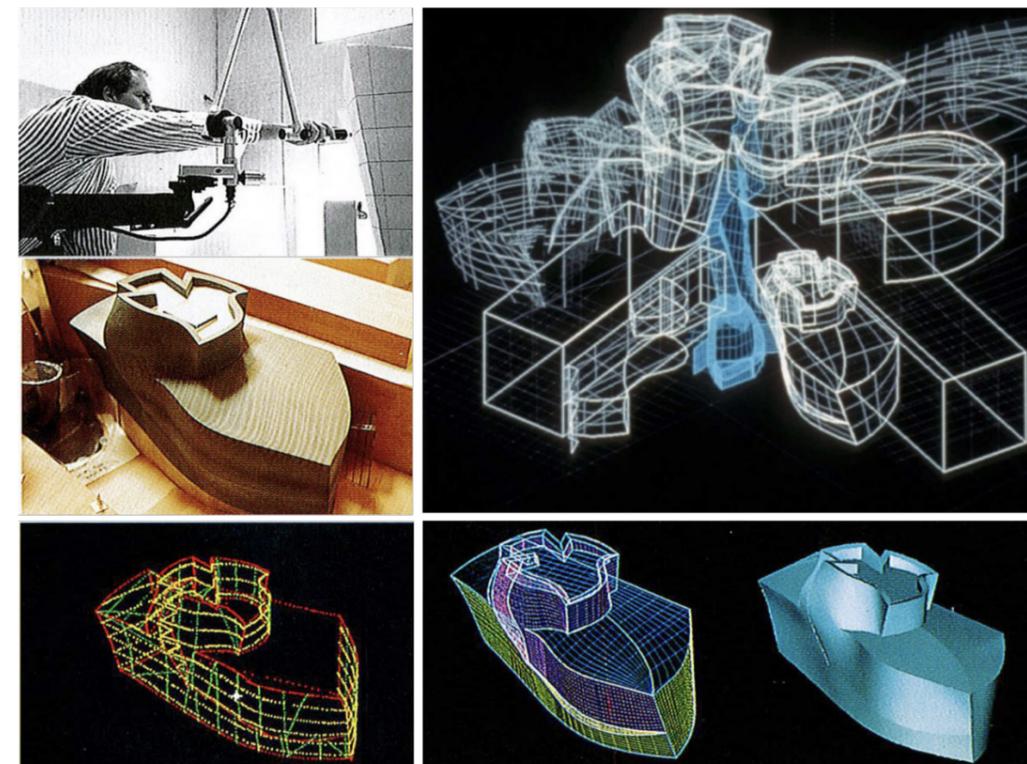


Figura 3: Composição do processo de exploração das conexões entre o ambiente físico e o digital de Frank Gehry. Fonte: Imagens retiradas de Kolarievick (2003), e disponível em: <http://www.professionistuniti.it/>. Acessado em: maio de 2018

segundo Kotnik (2010), existe uma ruptura entre o nível de computabilidade representacional e o nível de computabilidade paramétrico, que representa o limite do projeto digital - *Digital Design threshold*.

### Nível de computabilidade paramétrico - *International Terminal at Waterloo Station*

Parte-se do entendimento que o nível de computabilidade paramétrico é uma representação digital estruturada por informações que se organizam diante regras pré-definidas, na qual as possibilidades podem ser diferenciadas dentro de um espectro de variações contínuas dos parâmetros. Os *inputs* estabelecidos pelo arquiteto e as relações de fluxo desta informação podem afetar em como serão realizadas as variabilidades (Woodbury, 2014).

A variabilidade pode estar condicionada a fatores externos já analisados, sendo diretamente lançados pelo arquiteto ou por uma ferramenta de análise que possibilita uma compreensão mais complexa da situação, de modo que existam impeditivos específicos para o desenvolvimento do objeto criado, ou o *output* de informação. Um exemplo bastante simples desse funcionamento seria a definição de condicionantes para o formato de uma peça, ao se estipular um poliedro regular com 6 faces, e como definição de projeto, o impeditivo de que as faces não poderiam ser quadradas.

Lógicas similares podem estar associadas à performance climática, estrutural ou estética, sempre com a possibilidade da variação. Imagine-se um projeto tendo como critério sombrear totalmente uma janela em um período do dia a partir de elementos horizontais (brise-soleil), sendo um modelo organizado a partir de duas variáveis, o tamanho e a quantidade dos elementos horizontais. Com acesso à escolha de valores das duas variáveis, o arquiteto pode decidir por uma resposta dentro do espectro de possibilidades que atendem à performance desejada, *sombrear a janela*. Deve-se compreender que as variáveis aqui estão inter relacionadas, como em qualquer

projeto paramétrico. No caso dos brises, quanto maior a quantidade de elementos menor pode ser o tamanho dos mesmos, e vice-versa, resultando em um mesmo objetivo, o sombreamento total em um dado horário específico.

Esses dois exemplos tentam ao máximo simplificar problemas encontrados para apresentar a situação. No entanto, o processo torna-se interessante a partir da complexificação da informação carregada, o *input*. Nesta mesma direção, alguns parâmetros podem inviabilizar outros e, quanto mais os problemas e o gerenciamento de soluções forem explicitados para o computador, mais agregador será o processo.

Neste nível de computabilidade todos os parâmetros são explícitos e estão organizados segundo uma hierarquia de associações geométricas (Burry, 2007) para a efetivação de uma exploração formal. No momento em que o modelo é gerado, variações contínuas podem ser produzidas, transformadas e manipuladas pelo controle dos parâmetros, permitindo um espectro de possibilidades entre a entrada (*input*) e a saída (*output*) de informações (Kotnik, 2010).

Kotnik (2010) cita como exemplo de um projeto que se desenvolve por meio de um nível de computabilidade paramétrico a obra do International Terminal at Waterloo Station projetada pelo arquiteto Nicholas Grimshaw e seus associados, situada na cidade de Londres e inaugurada em 1994.

Por meio das imagens apresentadas na Figura 4, pode-se perceber que a síntese formal é composta de um elemento estrutural que conforma a cobertura, o qual se repete 36 vezes ao longo do terminal, apresentando algumas distorções de tamanho, inclusive com modificações angulares de implantação.

O que configura este desenvolvimento como um nível de computabilidade paramétrico é a equação estabelecida para deformação com o apelo estético do segmento configurado para uma função estrutural: são 36 segmentos geometricamente distintos, mas “topologicamente idênticos” como menciona Kolarevic (2003 p. 18).

Figura 4: Esquema elaborado a partir de planta, corte e foto. Fonte: Planta, corte e foto retiradas de site do escritório, disponível em: <https://grimshaw.global/projects/international-terminal-waterloo/>. Acessado em: agosto de 2020.

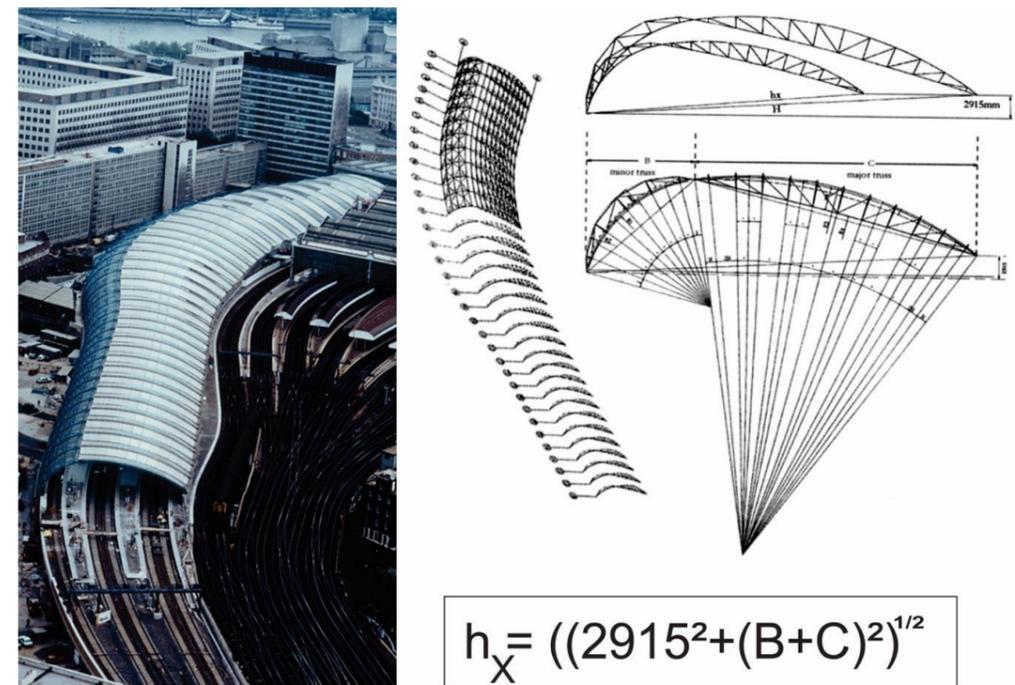
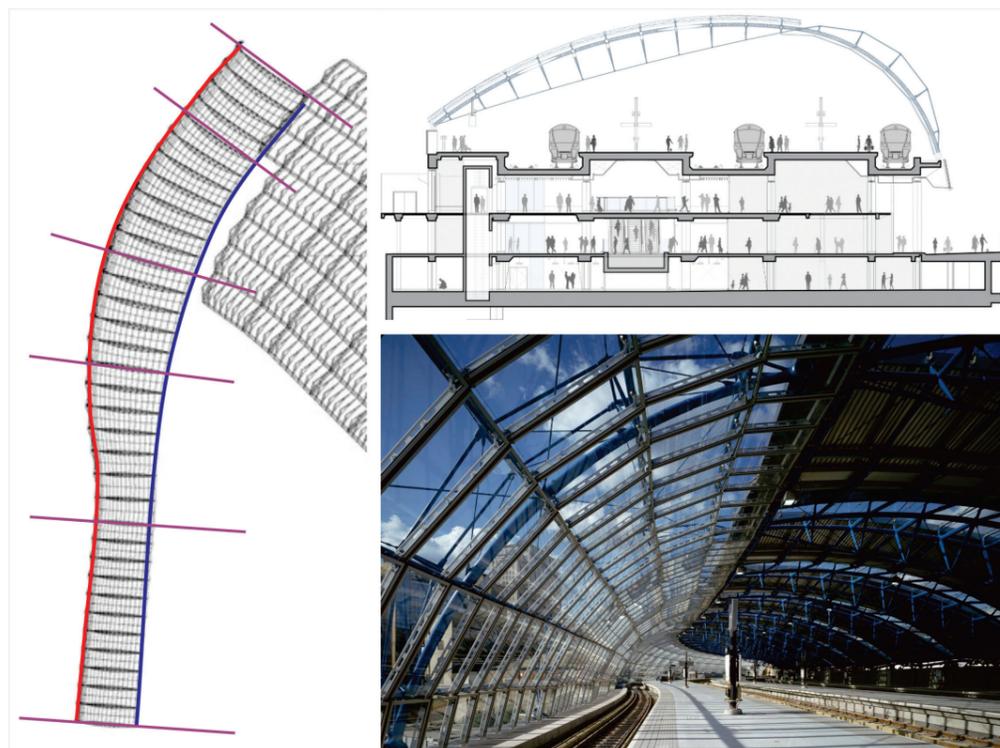


Figura 5: Explicitação formal do International Terminal at Waterloo Station. Fonte: (KOLAREVIC, 2003 p. 19) e disponível em: <https://grimshaw.global/projects/international-terminal-waterloo/>. Acessado em: agosto de 2020.

As perspectivas exploradas nas fotos apresentadas nas Figuras 4 e 5 já evidenciam claramente que estas estruturas além de diferentes não são paralelas entre si. A forma arquitetônica é desenvolvida a partir da geratriz (primeiro elemento estrutural), percorrendo as duas diretrizes, que no caso são diferentes, demarcadas em vermelho e azul à esquerda da Figura 4, e explorando a necessidade de ajustes de tamanhos.

As modificações dimensionais podem ser visualizadas geometricamente na parte superior direita da Figura 5, a qual corresponde à equação apresentada na parte inferior da mesma figura. A estrutura é composta de duas treliças, que mantêm relações dimensionais associativas entre si a partir da equação em questão, na qual o tamanho horizontal da treliça menor é dado por “B”, e o da maior é dado por “C”.

Geometricamente pode-se analisar que os dois arcos concordantes são de treliças diferentes, compostos pelo arco interno da treliça menor e pelo arco externo da treliça maior. O arco externo da treliça menor é dimensionado a partir da relação de um triângulo, cuja hipotenusa varia a partir do espaço disponibilizado entre as duas diretrizes. As alturas dos pontos da base das treliças são diferentes entre si, mas mantêm-se fixas ao longo das diretrizes. Isto é, cada diretriz tem uma altura fixa no eixo Z.

#### Nível de computabilidade Algorítmico - *Water Cube*

De início, é importante destacar que os níveis de computabilidade paramétrico e algorítmico partem da utilização do desenho paramétrico, ou seja, devem existir parâmetros que possam variar. Porém, o que difere as duas interações é que a segunda contém um processo generativo, no qual as variáveis iniciais não são diretamente proporcionais às variáveis finais (KOTNIK, 2010).

Nomeada por Oxman (2006) como interação com o ambiente digital que gera a representação digital, o nível de computabilidade algorítmico (KOTNIK, 2010) é caracterizado pela descrição formal gerada como uma estratégia de projeto,

sendo desenvolvida por meio de operações algébricas, analíticas e geométricas que resultam em uma forma arquitetônica. Nessa interação, os arquitetos têm que identificar e explicitar os critérios que deverão ser atendidos para o processo generativo ser desenvolvido. A operação neste processo é realizada por meio de um sistema generativo, assim, seu desenvolvimento parte da concatenação destas operações, que emergem em uma forma arquitetônica.

Celani, Vaz e Pupo (2013) apresentam o conceito de sistemas generativos de projeto, excluindo a ideia do vínculo obrigatório com o computador, demonstrando exemplos históricos como as *Villas Palladianas*, que espacializam uma série de regras sistematizadas por Palladio para o desenvolvimento de composições que considerava adequadas, utilizando-se de conceitos como simetria e proporção. Assim, o sistema generativo é uma aproximação que busca resolver um tipo de problema de projeto - e não um projeto específico - como no exemplo dado, no qual foram construídas diferentes *Villas* com a mesma regra, sem que elas fossem iguais entre si.

Processos de projeto que fazem uso da interação com nível de computabilidade algorítmico são, portanto, sistemas generativos mediados computacionalmente. Nestes, tanto os condicionantes do processo de projeto são explicitados por parte do arquiteto, quanto os critérios de avaliação das variantes geradas são por ele definidos.

Como o sistema generativo tem a capacidade de gerar muitas soluções, deve estar atrelado a avaliações objetivas. Essa questão pode ser delineada recuperando Mitchel (1975), que apresenta um esquema para evidenciar as possíveis relações entre três conjuntos: (U) soluções potenciais, todos os tipos de soluções, (S) soluções geradas pelo sistema, (G) goal, objetivo definido, soluções boas.

O primeiro conjunto sempre será maior ou igual aos outros. Por exemplo: quando um sistema gera todo o espaço de soluções, (U) = (S), quer dizer que foi um processo sem critérios, logo o sistema irá gerar soluções desejáveis e indesejáveis, e será necessária uma ferramenta de análise, com critérios explícitos, para encontrar as soluções boas (G).

Pode-se se entender o nível de computabilidade paramétrico como um sistema generativo no qual o arquiteto opera por meio da manipulação das variações de soluções, estando o poder de decisão colocado na manipulação direta de um sistema pelo arquiteto. Em contrapartida, o nível de computabilidade algorítmico está condicionado a articulações indiretas, dependentes das regras definidas e análises realizadas.

Para exemplificar esta abordagem de maneira simples traz-se este exemplo: tem-se um terreno amplo (200m por 300m) com declives que variam, e se quer escolher o local da implantação de uma edificação (8m por 10m) baseado em uma exploração algorítmica utilizando-se de uma lógica de evolução. Os critérios de *evolução da espécie* correspondentes à implantação são: eixo especificado que não poderia variar mais de 10° para cada lado no plano (xy), que garanta a menor quantidade de aterro possível, e que o vento advindo da região sul seja atenuado pelo terreno. Assim o processo gerará inicialmente algumas propostas aleatórias, quantas o arquiteto explicitar inicialmente, e elas serão analisadas de acordo com os critérios estabelecidos. Em seguida, as “x % melhores” propostas serão cruzadas, quantas vezes o arquiteto entenda como necessário, de forma a chegar em um resultado que compatibilize da melhor forma possível as condicionantes elencadas.

Kotnik (2010) indica o projeto do Water Cube, desenvolvido pelos escritórios PTW Architects, CCDI Group, CSCEC e ARUP, ganhador do concurso para o

desenvolvimento do centro aquático dos Jogos Olímpicos de Pequim 2008, como um exemplo deste nível de computabilidade.

A partir do processo de desenvolvimento dos croquis que compõem a Figura 6 e do depoimento de um dos engenheiros da ARUP responsáveis pelo projeto (CARFRAE, 2006), verifica-se que o projeto inicia com um poliedro regular de 6 lados, os quais são respectivos ao fechamento horizontal superior, às laterais do espaço e ao piso. Este poliedro contém um poliedro menor, que realiza uma operação de subtração conforme a lógica apresentada no croqui central inferior da Figura 6. Representações dos estágios subsequentes do projeto (Figura 7) mostram ainda outras operações formais, com utilização do subsolo e subtração de mais volumes poliédricos, inclusive o de acesso.

A maior parte do programa, no caso, parque aquático, arquibancadas, e serviços está localizada neste espaço de intersecção entre os poliedros (imagem superior esquerda da Figura 7). No processo de desenvolvimento e detalhamento, este espaço foi subdividido em três grandes áreas, tendo como divisor esta malha estrutural. O espaço restante da borda foi desenvolvido como um elemento estrutural e de vedação termo acústica, concebido como uma malha tridimensional (Figura 7 – esquerda inferior e direita).

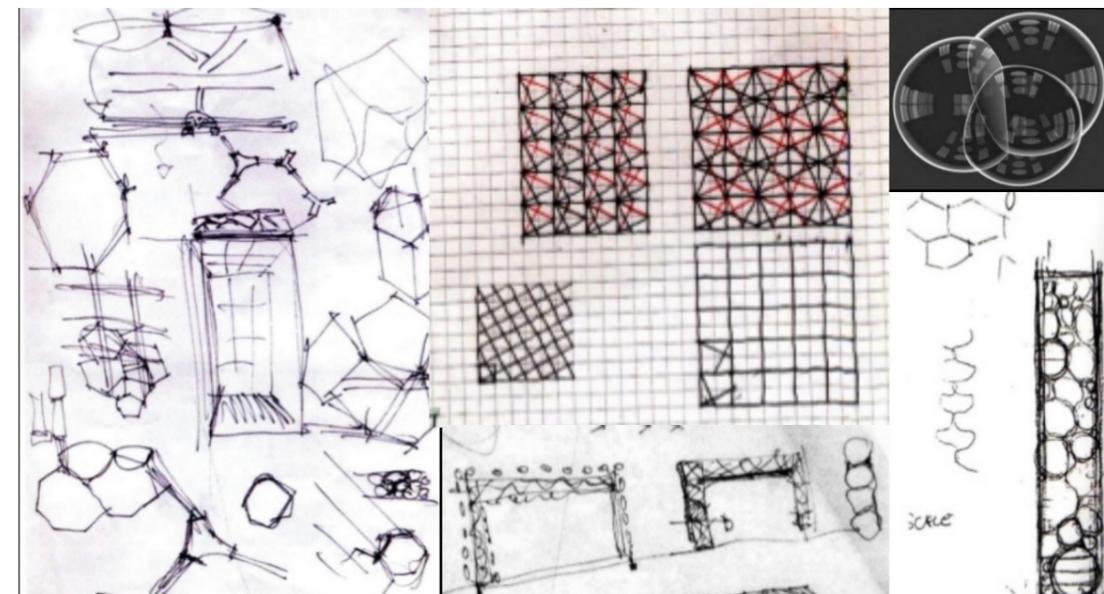


Figura 6: Croquis Water cube. Fonte: <https://es.slideshare.net/compo3T/composicion-iii-centronacional-denatacion-pekín-water-cube-isabel-martinsandonis-g42>. Acessado em: outubro de 2020.

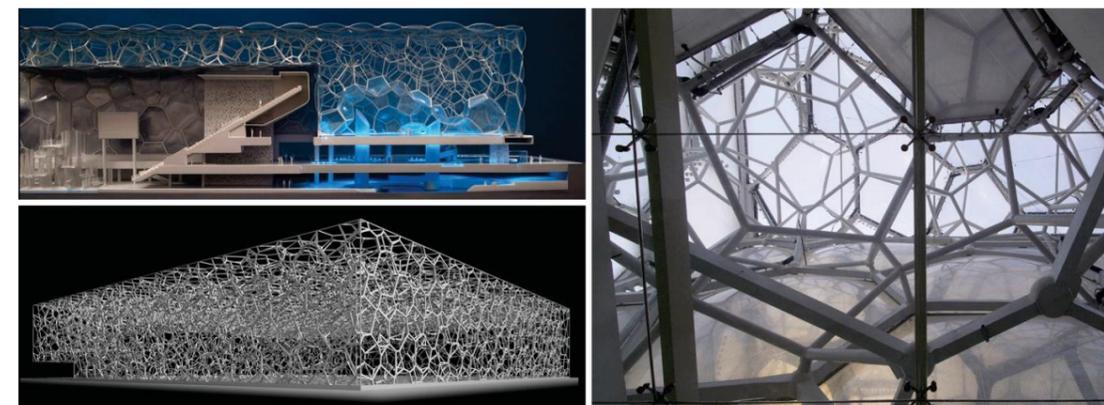


Figura 7: Imagens para apresentação do projeto com o foco na malha estrutural. Fonte: Imagens retiradas de site do escritório, disponível em: <https://www.ptw.com.au/> Acessado em: outubro de 2020.

Nas propostas esquematizadas inicialmente, a organização do espaço configurava-se a partir de malhas regulares que já indicavam uma função estrutural, como podem ser visualizadas a partir dos croquis à esquerda e na parte superior central da Figura 6, em seguida, passou-se a investigar o conceito de bolhas. Com elas foi possível trazer a irregularidade na percepção visual da fachada desta estrutura (Figura 7), e deixar passar uma luminosidade difusa para as piscinas, além de incorporar um aspecto simbólico relevante. Com esses objetivos, buscaram-se experimentações no espaço tridimensional que simulassem esta aparência a partir de uma regra. Os arquitetos encontraram nos estudos dos físicos Denis Weaire e Robert Phelan com simulações de espumas com bolhas de mesmo tamanho, realizados em 1993, um módulo composto de dois poliedros, com igual volume. O primeiro é um poliedro com 14 lados, sendo duas faces com formato hexagonal e 12 faces com formato de pentágonos (com tamanhos distintos, distinguidos com cores, na Figura 8). E o segundo, com 12 lados, é composto apenas por faces pentagonais (STOCKING, 2009).

O sólido envolvente do objeto arquitetônico já estava decidido, assim como a malha estruturadora do espaço. No entanto, a relação angular dos eixos da malha com os eixos que estruturavam o poliedro envolvente do objeto final foi desenvolvida a partir de um nível de computabilidade algorítmico.

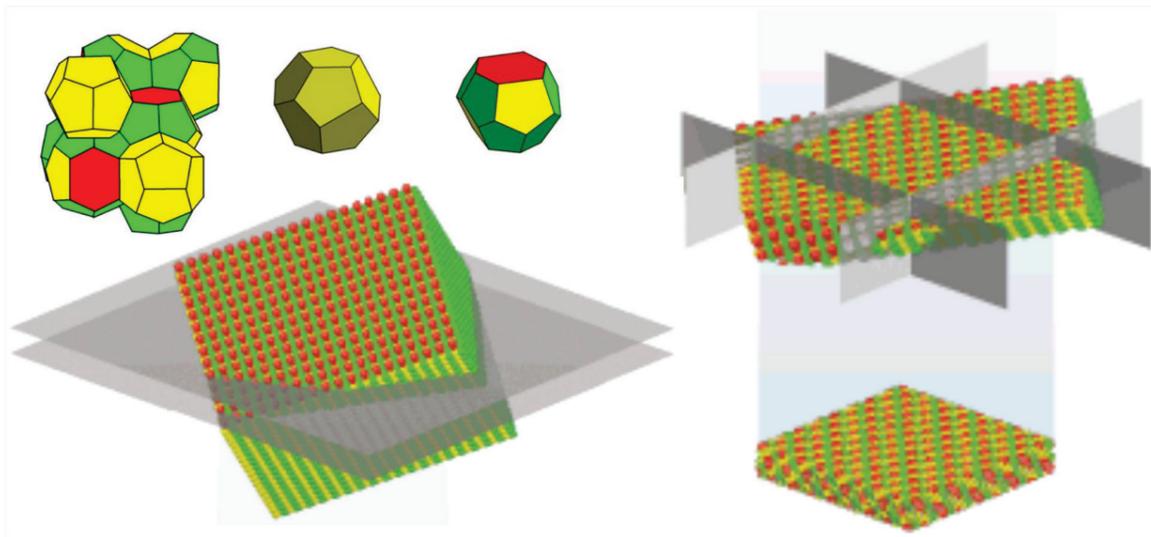


Figura 8: Esquema da organização da malha tridimensional e da lógica formal no processo de projeto. Fonte: (CARFRAE, 2006 s. p.).

O nível de computabilidade algorítmico buscou, neste caso, a solução a partir de um processo generativo baseado em desempenho estrutural. Neste modelo foi associado um tipo de material e espessura às arestas dos poliedros, desenvolvidas posteriormente como partes das estruturas metálicas. Não foram encontradas informações na literatura se o tamanho do módulo foi tomado como uma variável estática ou dinâmica ao longo do processo, mas sabe-se que os arquitetos colocaram como restrição que o eixo da malha e do poliedro envolvente não poderiam ser iguais para trazer à fachada um aspecto de imprevisibilidade reforçando o aspecto de bolhas (STOCKING, 2009).

### Discussão e Considerações Finais

Os modos de utilização do computador em processos de projeto foram sendo modificados a partir das novas tecnologias e do aumento da capacidade de processamento de informação dos computadores pessoais. No entanto, compreende-

se que esta incorporação faz parte de um processo de mudança gradual, e que leva tempo, de fato, a repercutir na arquitetura construída, por fatores diversos que escapam ao foco deste artigo.

Normalmente, tem-se o entendimento, não sem fundamento, de que os processos projetuais que incorporam níveis de computabilidade mais avançados são orientados a obras de exceção. Em contrapartida, ações de elucidação de incorporações de níveis de computabilidade mais avançados em projetos já construídos, e que trazem visibilidade às metodologias de projeto, podem repercutir em interesse, aprendizado, apropriação e implantação em incorporações mais simples, como o exemplo das explicações brevemente apresentadas.

É importante destacar que durante o desenvolvimento deste Estudo de Caso, teve-se muito claro que a narrativa foi conduzida pelo discurso dos arquitetos e engenheiros, o qual aparenta um processo linear conduzido ao resultado final. No entanto, sabe-se que um processo projetual é mais rizomático, no qual existem várias entradas de informações (inputs) em diferentes tempos guiando a diferentes possibilidades de saídas (output) que são excluídas por questões objetivas e/ou subjetivas, e que em nenhum momento foram apresentadas ou discutidas. E, inclusive, acredita-se que estas saídas equivocadas ajudam a construir o caminho para saída final.

Observando, por exemplo, o processo de projeto do *Water Cube* pode-se perceber que o desenvolvimento da questão central se explicita desde o início, já nos primeiros croquis divulgados, indicando pela complexidade do problema a necessidade de sua resolução por meio do nível de computabilidade algorítmico de projeto. Este é um caso emblemático de que tais incorporações não precisam necessariamente estar presentes em todas as etapas de um processo de projeto. Neste caso, foram implementadas para resolver problemas específicos, como a questão estética pretendida, relativa à variabilidade formal da fachada, e conectada à uma questão de performance estrutural.

Diante da realidade contemporânea, onde existe a necessidade de enfrentamento a problemas de projeto com alto grau de complexidade, evidencia-se a potencialidade do computador como uma mídia ativa, a partir da exploração de níveis de computabilidade mais avançados. Seu potencial se mostra claramente na facilitação dos processos de geração de alternativas e de tomada de decisão, baseados em questões objetivas previamente explicitadas pelo arquiteto. Se alguns processos podem ainda ser conduzidos segundo a lógica representacional, ou processos paramétricos simples podem ser implementados analogicamente, outros seriam extremamente demorados e custosos de serem realizados dessas formas. Abrem-se, portanto, a partir da exploração do computador como mídia ativa, outras possibilidades de articulação e organização da informação em prol de resultados aprimorados, e até possivelmente não imaginados, quer para resolução de problemas específicos, quer globais de uma obra.

Tem-se claro que novas ferramentas, principalmente as que alteram modos de fazer historicamente estabelecidos, trazem desafios ao trabalho - e conseqüentemente à formação - do arquiteto, assim como à toda a cadeia produtiva da arquitetura. Nesta direção, acreditamos que um passo importante, é desmistificar esta produção, e investigações como a deste artigo podem auxiliar neste processo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de financiamento que suportam esta investigação

assim como ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo onde está sendo desenvolvida esta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e por meio da bolsa de produtividade (CNPQ Processo 304071/2019-6).

## Referências

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO. Gabinete do Ministro. PORTARIA Nº 1.770, DE 21 DE DEZEMBRO de 1994, Brasília, 1994. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/DOU/1994/12/23> Acessado em: março de 2020.

BURRY, Jane. Mindful Spaces: Computational Geometry and the Conceptual Spaces in which Designers Operate. *International Journal of Architectural Computing*, v.5, n.4, p. 611-624, 2007.

CARFRAE, Tristram. Engineering the water cube. *Architecture Australia*, July, 2006.  
CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos PUPO, Regiane. Sistemas generativos de projeto: classificação e reflexão sob o ponto de vista da representação e dos meios de produção. *Revista Brasileira de Expressão Gráfica*. v. 1; n.1, 2013.

DICTIONARY. *OXFORD Advanced American Dictionary*. Oxford University Press: Oxford, 2015.

DUARTE, José; CELANI, Gabriela; PUPO, Regiane. Inserting computational technologies in architectural curricula. In *Computational Design Methods and Technologies: Applications in CAD, CAM and CAE Education*. Hershey: IGI Global, 2011, Cap. 9, p. 390-411.

Davis, Daniel. *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*. 2014, 122f. Thesis of Doctor en philosophy. School of Architecture. RMIT University.

DURAND, Jean-Pierre. *La représentation du projet*. Paris: Éditions de la Villette, 2003.

GROAT, Linda; WANG, David. *Architectural Research Methods*. 2th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.

KOLAREVIC, Branco. *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. Abingdom, Oxon: Taylor & Frances, 2003.

KOTNIK, Toni. Digital Architectural design as Exploration of computable Functions. *International Journal of Architectural Computing*, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2010.

LAWSON, Bryan. *How designers think: the design process desmystified*. Oxford: Architectural Press, 1980.

MITCHELL, William John. *The theoretical foundation of computer-aided architectural design*: Mitchell, W. J. Environment and Planning B, v. 2 n. 2, p. 127-150, 1975.  
OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. *Theories of the Digital in Architecture*. New York: Routledge, 2014.

OXMAN, Rivka. Performance-based Design: Current Practices and Research Issues.

*International Journal of Architectural Computing*, v. 6, n. 1, p. 01-17, 2008.

OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, v. 27, Londres: Elsevier, p. 219 – 265, 2006.

PICON, Antoine. The Seduction of innovative geometries. In: OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert (Org). *Theories of the Digital in Architecture*. New York: ROUTLEDGE, 2014, Cap. 3, p. 47-54.

VASCONSELOS, Tassia Borges; SPERLING, David Moreno. From representational to parametric and algorithmic interactions: A panorama of Digital Architectural Design teaching in Latin America. *International Journal of Architectural Computing*, v. 15 n. 3, p. 215-229, 2017.

WOODBURY, Robert. *Elements of Parametric Design*. New York: Routledge, 2010.

WOODBURY, Robert. How designer use parameters. In: OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert (Org). *Theories of the Digital in Architecture*. New York: ROUTLEDGE, 2014, Cap. 10, p. 153 -170.

# AS MUDANÇAS NA GÊNESE DA FORMA CONTEMPORÂNEA

## Análise do processo de projeto na obra de Frank Gehry

**CHANGES IN THE GENESIS OF CONTEMPORARY FORM:  
Analysis of the design process in the work of Frank Gehry**

**Ana Elisa Souto<sup>1</sup>**

### Resumo

O artigo apresenta uma reflexão sobre a definição de modernidade líquida de Zygmunt Bauman e a conceitualização de arquitetura líquida de Ignasi Solà-Morales. O texto também relaciona os conceitos de Vilém Flusser e o artigo de Rafael Moneo, que trata da fragmentação e da desconstrução em arquitetura. A metodologia de projeto de Frank Gehry revela que o arquiteto integra as lógicas projetuais analógicas e as digitais. Seu trabalho inclui tendências artísticas transpostas em sua essência formal nos croquis iniciais e exequíveis através de softwares de última geração. O aporte teórico é fundamental para compreender as alterações na gênese das formas possibilitadas pela tecnologia na produção arquitetônica contemporânea, através da análise da obra de Frank Gehry.

Palavras-chave: práticas discursivas, tecnologia, processo de projeto, Frank Gehry .

### Abstract

*The article presents a reflection on the definition of liquid modernity by Zygmunt Bauman and the conceptualization of liquid architecture by Ignasi Solà Morales. The text also relates the concepts of Vilém Flusser and the article by Rafael Moneo, which deals with fragmentation and deconstruction in architecture. Gehry's design process reveals that the architect integrates analog and digital media. Its production incorporates the relationship between art and architecture that are transposed in the preliminary analog sketches and possible to be executed through the latest software. The theoretical contribution is fundamental to understand the changes in the genesis of the form made possible by technology in contemporary architectural production through the analysis of the work of Frank Gehry.*

*Keywords: discursive practices, technology, design process, Frank Gehry*

<sup>1</sup>Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1998). Mestre em Tecnologia da Construção e Urbanização (PROPAR/UFRGS, 2002). Doutora em Arquitetura na área de Teoria História e Crítica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PROPAR/UFRGS, 2010). Professora universitária desde 2000. Docente do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, área de Projeto de Arquitetura e Urbanismo /Adequação Ambiental /Teoria da Arquitetura, Universidade Federal de Santa Maria, campus de Cachoeira do Sul, (UFSC/CS). Coordenadora do projeto de pesquisa: Laboratório de Investigação projetual e Habitar moderno em Cachoeira do Sul (L.I.P). E-mail:anaearq@gmail.com

### Introdução

Nas últimas décadas do século XX é possível identificar uma alteração de paradigma na arquitetura. As produções contemporâneas passaram a se caracterizar pela cultura da indefinição quanto à forma e a reagir contra a utilização explícita da geometria euclidiana, muito diferente da corrente anterior do pensamento moderno. Talvez isso ocorra devido à diminuição da relevância da forma ou da cultura do objeto formal para tentar redescobrir novas práticas projetuais individuais.

Cavaliere (2016) afirma que estamos em meio a um pensamento contemporâneo flexível, aberto e ilimitado, mas muitas vezes não projetamos como tal. A ordem do projeto ainda é a lógica determinista, fechada e cartesiana, proveniente do pensamento moderno, que atua na estrutura cognitiva do indivíduo contemporâneo. Para muitos profissionais, o computador é mais uma ferramenta de representação, tal como a perspectiva foi para o Renascimento.

Os recursos tecnológicos têm uma relação direta com as novas práticas arquitetônicas contemporâneas. Os softwares são utilizados para auxiliar o arquiteto no processo projetual e não apenas na representação do desenho técnico. O uso de algoritmos e softwares paramétricos ocasionou profundas mudanças às práticas projetuais e ao ensino de arquitetura. Ocorrem alterações significativas na interação entre o arquiteto, a informática e nos procedimentos projetuais. Vivemos em um universo complexo e cheio de informações e imagens. Nesse sentido, Flusser define:

O universo das imagens técnicas emerge desse gesto: de centenas que negam o universo dos objetos. O novo interesse emerge da negação do campo precedente de interesse. Por certo, para nós, os predecessores, tal inversão de interesse é terrificante, como o é tudo que emerge. Não obstante, a inversão é fascinante. Porque inversão é negação, e negação é sinônimo de liberdade (FLUSSER, 2008, p. 190).

O espaço construído e a definição formal sempre se fizeram presentes na produção arquitetônica historicamente datada. Para comprovar esta afirmação, basta analisar os textos de Bruno Zevi, Leonardo Benèvolo e Sigfried Giedion. Observa-se que a produção arquitetônica que está associada ao espaço edificado e a edificação continuou até o século XX (ALMEIDA, 2011).

A produção arquitetônica, na atualidade, é sinalizada por uma considerável diversidade de abordagens teóricas. Essa diversidade é anunciada por Montaner (1993, 1997, 2002, 2008), Biseli (2011), Moneo (1999), Solà-Morales (2002), entre outros autores, como diferentes verdades intrínsecas aos distintos movimentos na arquitetura presentes nas obras atuais. A atividade teórica desses autores ajuda a entender muitas decisões tomadas no campo projetual simultaneamente, que oferecem uma interpretação da arquitetura contemporânea.

No artigo de Rafael Moneo (1999), *Paradigmas fin de siglo: los noventa, entre la fragmentacion y la compacidad*, a definição de modernidade líquida do sociólogo Zygmunt Bauman e de Arquitetura líquida de Ignasi Solà-Morales (2002), além das relações estabelecidas pelo filósofo Vilém Flusser (2007), são fundamentais para compreender as alterações geradas pela tecnologia na produção arquitetônica contemporânea.

Propõem-se aqui uma interpretação da arquitetura contemporânea segundo as práticas discursivas dos autores citados. Relacionando as teorias às possibilidades

da tecnologia e da informática na prática projetual do arquiteto Frank Gehry.

Hitner (2005), declara que Gehry ocupa um lugar muito pessoal na arquitetura contemporânea porque sua obra de assemelha diversas vezes à escultura pela justaposição um tanto livres dos volumes. Stungo (2000), afirma que Gehry apresenta prédios com uma assombrosa desarmonia, uma experiência de todos os ângulos ao mesmo tempo e que faz quase três quartos de século que ele projeta prédios de aparência esquisita. As críticas apontam a experimentação com geometrias oblíquas e volumes desarticulados sem uma abordagem metodológica (Zaera-Polo, 2016). O trabalho de Gehry evidencia um esforço enorme em construir diferenças, em evitar uma ordem crescente no edifício, não existe em sua obra um sistema que coordene tudo (Zaera-Polo, 2016). O nome de Frank Gehry geralmente se associa a arbitrariedade, a colagem, a aleatoriedade, a experimentação e a desconstrução. Raramente é referida a alta sensibilidade visual e artística do arquiteto, sua consciência das condições do entorno, o rigoroso controle geométrico e visual presente em suas obras. Não é mencionada a busca pela unidade através da utilização de um único material para todo o edifício. Rocha e Silva (2017), afirmam que o arquiteto utiliza um preciso controle formal através de um método de abordagem geométrica que facilita a construção de hipóteses sobre as estratégias projetuais frequentemente utilizadas para dialogar com o tecido urbano, ações facilitadas pelos meios digitais.

Os autores e textos relacionados são fundamentais para interpretar as diferenças e transições, pois tentam estabelecer e identificar as mudanças ocorridas. Lévy (1999) afirma que em tempos de mudança é primordial que se determinem novas maneiras de pensar, de absorver e refletir sobre as questões contemporâneas e os processos projetuais.

### A expressão do movimento e do tempo na arquitetura líquida de Zygmunt Bauman

Segundo Bauman (2001), a sociedade atual nos apresenta amplas dúvidas existenciais. Frequentemente desabam verdades e certezas que amparavam o entendimento do mundo atual, destituindo assim vários paradigmas que conformavam a civilização ocidental moderna. Essa época de flexibilização, instabilidade, de excessos, transformações, de quebras de convenções e paradigmas é o que Bauman denomina de modernidade líquida. A pós-modernidade é líquida porque vem diluindo os sólidos e dotando a sociedade atual de grande mobilidade, fluindo através das fronteiras geográficas de forma incontida. Trata-se de procedimentos de descorporificação e desterritorialização, nos quais o tempo apresenta instantaneidade e urgência.



Bauman (2001) afirma que a instabilidade, a ação e a fluidez evidenciam-se como características essenciais da modernidade líquida, que se contrapõem à solidez da modernidade passada. São as mesmas particularidades que definem as ponderações a respeito da liquidez na arquitetura. A aplicação dessa conceituação em arquitetura não é simples, especialmente, no que concerne à materialidade, à estabilidade e à permanência, que continuamente foram atributos essenciais da arquitetura:

[...] os líquidos, diferentemente dos sólidos, não mantêm sua forma

com facilidade. Os fluidos, por assim dizer, não fixam o espaço nem prendem o tempo. Enquanto os sólidos têm dimensões espaciais claras, mas neutralizam o impacto e, portanto, diminuem a significação do tempo [...], os fluidos não se atêm muito a qualquer forma e estão constantemente prontos (e propensos) a mudá-la; assim, para eles, o que conta é o tempo, mais do que o espaço que lhes toca ocupar (BAUMAN, 2001, p. 8).

A definição de Bauman de modernidade líquida tem ressonância nas questões espaciais na arquitetura. Nos auxilia a entender o significado dessa modernidade dinâmica, instável, e que considera o tempo na arquitetura contemporânea.



Figura 02: Diagrama que compara os atributos da modernidade passada e da modernidade líquida preconizada por Bauman (2001). Fonte: Diagrama elaborado pela autora, 2020.

Grillo e Júnior (2010) declaram que o dinamismo na utilização, tanto do espaço quanto do tempo, bem como a habilidade de se adaptar às circunstâncias, a flexibilidade para abranger funcionalidades ou programas, a transformabilidade espacial e de materiais, são questões relacionáveis à liquidez, mas que recaem na arquitetura de forma mais abrangente.

Esses conceitos deveriam se materializar para gerar arquiteturas mais flexíveis, modificáveis, se não nas formas, mas no espaço e na apropriação. Arquiteturas que fossem mais abertas às várias maneiras de interação, mas que cumpram as demandas funcionais técnicas da sociedade contemporânea. Para compreender essa arquitetura, deve-se entendê-la a partir do referencial teórico apresentado e mudar os padrões da crítica tradicional, limitada ao julgamento de geometrias ortogonais e a uma lógica de premissas determinantes.

Cavaliere (2016) afirma que a criação arquitetônica leva à representação, e esta conduz à construção que direciona à utilização dos espaços em uma relação de causa e efeito, em uma relação linear. De certa forma, o produto desta vinculação linear é de origem sólida, um espaço edificado com requisitos definidos pela tríade vitruviana. A arquitetura até a modernidade sempre foi gerada e representada a partir deste processo linear.

Conforme Grala (2010), a produção de qualidade está voltada à resolução de projeto comprometida com a busca da sedimentação de uma identidade arquitetônica, tendo, portanto, um compromisso equilibrado e maduro com relação ao programa, ao lugar e às técnicas ou materialidades, ou seja, os aspectos internos ao problema de concepção.

Bronstein (2013) diz que a definição formal, sua inserção, método construtivo,

contexto e programa constituem pautas de análise nas quais o objeto arquitetônico está comprometido. Esses elementos permitem seu entendimento e verificação. Durante o processo projetual essas premissas são relacionadas, associadas e verificadas em todos os aspectos envolvidos. A forma é o resultado da arquitetura, portanto a definição formal sempre foi uma questão presente na arquitetura moderna. Nos textos de Helio Piñón (2006), o formal sempre relaciona-se à estrutura relacional ou sistema de relações internas e externas que configuram um artefacto ou episódio arquitetônico e determinam a sua identidade. Montaner (2002) entende a forma como uma estrutura essencial, interna, abstrata e atemporal, que deve ser relacionada aos períodos históricos e contextos culturais.

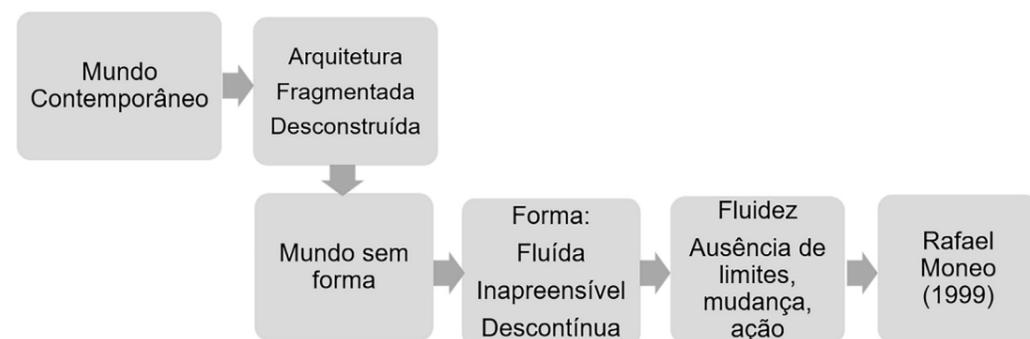
O texto relaciona à solidez presente na arquitetura moderna em contraposição ao tema da liquidez, da fragmentação e da desconstrução presentes na arquitetura contemporânea. Enquanto os sólidos têm forma definida, são estáticos, estáveis, os líquidos são maleáveis e movimentam-se, são imprecisos e incompreensíveis dentro de um padrão geométrico regulador de leitura da forma.

### A fragmentação como expressão da arquitetura contemporânea

Rafael Moneo (1999) declara que na década de 1990 foi explícito o assunto da fragmentação e da desconstrução na arquitetura, assim como da fluidez, da ausência de limites, do dinamismo e da ação. O autor afirma que essas características definem uma existência sem forma. Na produção contemporânea, a forma passa a se definir, então, como fragmentada, rompida, quebrada, descontínua ou mesmo oposta, como fluida, inapreensível, instável e sem formato definido.

Moneo transfere a importância da forma para a ação quando lança o argumento do mundo contemporâneo sem forma. Uma vez que tanto a matéria quanto a forma são próprias da arquitetura, não tem cabimento falar de projeto sem forma e matéria. Mas, Moneo reconhece o problema nessa definição:

A dificuldade que consiste pensar na imanência da forma e, portanto, a viabilidade de considerar um processo de criação mediante arquétipos, é algo que aprendemos e aceitamos. No entanto, a presença da forma é necessária para qualquer construção (MONEO, 1999, p. 22).



Almeida (2011) declara que Rafael Moneo relaciona à forma a aquilo que torna a matéria consistente, sólida. A forma vincula-se com o permanente, que reduz as suas alternativas. Moneo (1999) também confere à imagem virtual o desapego à forma e sua representação, que é justamente o que Vilém Flusser (2007) afirma quando relaciona a matéria, a forma e o projeto.

A produção contemporânea incorpora no projeto dos espaços a experiência, a ação, os acontecimentos, e as obras interagem com os usuários. A arquitetura contemporânea busca, através de softwares, não apenas a representação da edificação, mas a geração e a transformação formal. O que Kolarevic (2003) chama de morfogênese digital, onde os softwares apresentam habilidade para cálculos e definição de parâmetros.

O processo projetual contemporâneo busca ser mais dinâmico, alterando a gênese da forma e as geometrias topológicas. A ausência da constituição material na arquitetura ocorre na realidade virtual, e Moneo (1999) não faz referência a uma arquitetura sem matéria, mas abre um caminho para se interpretar um mundo criptografado por números e parâmetros.

### A definição de arquitetura líquida segundo Solà-Morales

Para Solà-Morales (2002), a definição clássica da arquitetura tem se realizado com base na tríade vitruviana: *utilitas*, *firmitas* e *venustas*. *Firmitas* refere-se à solidez e às questões construtivas na arquitetura; *utilitas* diz respeito à adequação e ao programa funcional; e *venustas* diz respeito à beleza e à harmonia. *Firmitas* expressa a consistência física, a constância que desafia a passagem do tempo. A arquitetura permanentemente vinculou-se ao espaço edificado e à definição formal. Essa consistência física relaciona-se com as soluções formais, as leis da gravidade e a atuação dos agentes externos. Ignasi de Solà-Morales afirma:

Uma arquitetura firme e estável é também uma arquitetura sólida cujas características dimensionais e formais não mudam em função das mudanças de temperatura, umidade e ventos. Os tratados sempre apresentam considerações materiais e construtivas. É a condição material, fisicamente consistente, construtivamente sólida, delimitadora de um espaço que tem feito com que a arquitetura seja um saber e uma técnica ligados à permanência (SOLÀ-MORALES, 2002, p. 126).

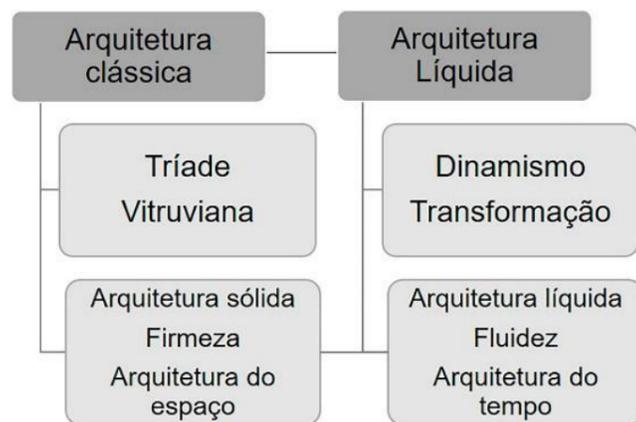
Ignasi de Solà-Morales (2002) questiona se existe a viabilidade de se refletir sobre uma arquitetura do tempo contrariamente a uma arquitetura do espaço. Hoje se assume o movimento, a troca, a transformação e os processos que o tempo estabelecem. Já não podemos pensar em definições e fechamentos realizados por materiais duradouros, mas sim através de formas fluidas, que se transformam e são aptas a incorporar o entorno. O autor define a arquitetura líquida como:

Uma arquitetura líquida, em vez de uma arquitetura sólida, será aquela que substitua firmeza pela fluidez e a primazia do espaço pela prioridade do tempo. Essa troca, o deslocamento dos paradigmas vitruvianos, não é realizado tão simplesmente e necessita de um processo que estabeleça todos os estados intermediários (SOLÀ-MORALES, 2002, p. 127).

Grillo e Júnior (2010) afirmam que o movimento e a inserção do tempo são aspectos aplicados à arquitetura na definição de liquidez para Solà-Morales (2002). O autor pondera sobre o uso dos espaços e não investe na desmaterialização nem na instabilidade da forma. A atuação humana instaura a ideia de fluidez, alterando o paradigma do espaço para o tempo. A produção arquitetônica necessita trabalhar a mudança ao invés da estabilidade, assimilando assim a fluidez que existe na realidade, libertando-se da condição de permanência.

Figura 03: Diagrama que relaciona o mundo contemporâneo ao mundo sem forma realizado a partir das reflexões de Rafael Moneo (1999). Fonte: Diagrama elaborado pela autora, 2020.

Figura 04: Diagrama que compara a definição clássica da arquitetura com a arquitetura líquida a partir das conceituações de Solà-Morales (2002). Fonte: Diagrama elaborado pela autora, 2020.



Para Solà-Morales, a forma não se desmaterializa, mas não tem uma matriz geométrica conhecida ou definida. As características principais dessa arquitetura são a fluidez e o tempo. Quanto ao aspecto formal da liquidez, Solà-Morales define:

Uma arquitetura líquida, fluida, não é voltada para a representação ou o espetáculo. Uma arquitetura que abarque fluxos humanos em conexões de tráfego, aeroportos, terminais, estações de trens não pode se preocupar com aparência ou imagem. Tornar-se fluxo significa manipular a contingência dos eventos, estabelecendo estratégias para a distribuição de indivíduos, bens ou informação. Produzir formas para a experiência do fluido e torná-las disponíveis para análise, experimentação e projetos urbanos, ainda hoje são mais um desejo do que uma realidade alcançável. Dar forma à experiência sinestésica do fluxo no movimento da metrópole, distanciando-se do planejamento programático puramente visual e das regulações preestabelecidas, de modo a experimentar outros acontecimentos, outras performances, é um dos desafios fundamentais da arquitetura que visa o futuro (SOLÀ-MORALES, 1977, p. 47-48).

Para Almeida (2011), Solà-Morales permuta a firmeza pela fluidez, e o tempo supera o espaço. Essa modificação não aconteceu de uma hora para outra, mas ocorreu um processo por meio do qual as principais circunstâncias assumidas pela arquitetura ao longo do tempo são classificadas como: sólida, viscosa e líquida. Esses três modos distintos de materialidade próprios da arquitetura têm como consequência: o espaço, o processo e o tempo.

Essas definições rompem com a tríade de Vitruvius, na qual a arquitetura perde sua condição de estabilidade para assumir um espaço tensionado pela flexibilidade e estabilidade. Solà-Morales relaciona a firmeza e a estabilidade ao que é sólido e aos atributos formais e dimensionais. E utiliza o termo líquido em oposição ao que é sólido.

Almeida (2011) afirma que é impossível pensar em uma arquitetura sem matéria. As diversas variações formais, a flexibilidade dos materiais e a ação estão relacionadas ao movimento dinâmico e mutável, e por isso plástico. Relacionando as definições de Solà-Morales:

Arquitetura líquida significa, sobretudo, um sistema de acontecimentos em que o espaço e o tempo estão simultaneamente presentes como categorias abertas, múltiplas, não redutivas,

organizadoras desta abertura e multiplicidade; não apenas de um desejo de hierarquizar e lhes impor uma ordem, mas como composição de forças criativas, como arte (SOLÀ-MORALES, 2002, p. 130).

Moneo e Solà-Morales evidenciam uma tentativa de sinalizar os atributos da arquitetura no final do século XX. Na realidade, ambos tratam da mesma questão: a alternância da hierarquia da forma para a ação. Ambos sinalizam o tema da desmaterialização arquitetônica, da flexibilidade da forma e da associação com a ação, o dinamismo e as transformações. Os recursos tecnológicos geraram alternativas diferenciadas, o processo projetual transformou-se em algo mais dinâmico e plástico.

Almeida (2011) relaciona a forma final ao processo projetual, e à maneira como os materiais são utilizados na arquitetura contemporânea. Os materiais necessitam ser flexíveis para adaptarem-se às formas fluídas. Trata-se mais de esculpir do que compor, ocorre uma relação dialética entre modelar e projetar. O projetar relaciona-se aos princípios compositivos de adição e subtração relacionados aos sólidos primários. As formas fluídas necessitam de materiais e processos construtivos, que acompanhem e se moldem.

A tecnologia possibilitou inovações formais e de utilização de materiais não convencionais, gerando novas alternativas para a arquitetura. Diferentemente do que ocorria em períodos anteriores, quando o arquiteto se rendia aos materiais convencionais, agora ocorre uma inversão desse processo. Os projetos que surgem na década de 1990, período de difusão dos computadores, exploram a busca por materiais, a complexidade geométrica e a diferenciação formal.

#### Vilém Flusser: o mundo codificado de números e formas

Segundo Vilém Flusser (2007), o design resultou de uma confluência entre a arte e a tecnologia, que culminou no final do século XIX com o surgimento de uma nova cultura. Para Flusser, o atual conceito de imaterialidade é utilizado de forma distorcida. Flusser esboça algumas questões que se relacionam ao campo da arte, da computação sob uma ótica filosófica. Alguns pontos relacionam-se ao entendimento das mudanças ocorridas nas formas contemporâneas e à codificação dos objetos.

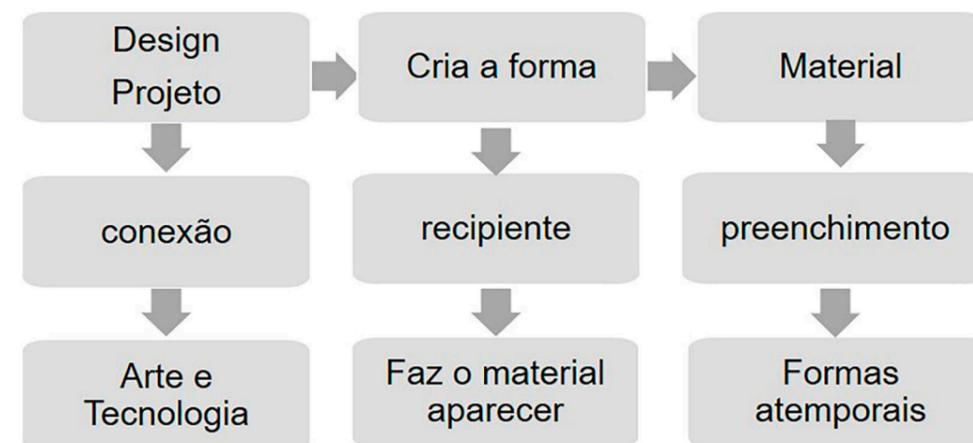


Figura 05: Diagrama que relaciona o surgimento do design como uma confluência entre a arte e a tecnologia, gerado a partir da filosofia de Vilém Flusser (2007). Fonte: Diagrama elaborado pela autora, 2020.

No capítulo Forma e Material, o autor explica a origem e a definição de material traduzida do termo grego *Hylé*. “Onde *hylé* representa madeira e o termo matéria deve ter designado algo semelhante, a designação espanhola *madera*. A partir do momento que os gregos começaram a utilizar a palavra *hylé*, estavam buscando um significado oposto para a palavra forma (*morfe* em grego). Desse modo, *hylé* é algo amorfo”. Flusser explica:

A ideia fundamental aqui é a seguinte: o mundo dos fenômenos, tal como o percebemos com os nossos sentidos, é uma geleia amorfa, e atrás desses fenômenos encontram-se ocultas as formas eternas, imutáveis, que podemos perceber graças à perspectiva supra sensível da teoria. A geleia amorfa dos fenômenos (o mundo material) é uma ilusão. E as formas que se encontram encobertas além dessa ilusão (o mundo formal) são a realidade, que pode ser descoberta com o auxílio da teoria (FLUSSER, 2007, p. 23-24).

No texto, Flusser (2007) explica que essa oposição *hylé-morphé*, ou matéria-forma, fica ainda mais clara se interpretarmos a palavra matéria (*Materie*) por estofado (*Stoff*). A palavra estofado é o substantivo do verbo estofar (*stopfen*). O mundo material é aquilo que garante as formas com estofado, que é o recheio (*Füllsel*) das formas. O mundo do estofado só se concretiza ao se transformar no preenchimento de alguma coisa:

Com o desenvolvimento das ciências, a perspectiva teórica entrou numa relação dialética com a perspectiva sensória (observação-teoria-experimento), que talvez seja interpretada como a opacidade da teoria. E assim se chegou a um materialismo para o qual a matéria é a realidade. Mas, hoje em dia sob a influência da informática, começamos a retornar ao conceito original de matéria como um enchimento de formas atemporais (FLUSSER, 2007, p. 24).

Para Flusser (2007), a matéria é invisível, exceto quando é informada, desse modo, quando informada, se manifesta (converte-se em fenômeno). A matéria no projeto são as maneiras pelas quais as formas se revelam. Quanto a discutir o projeto situado entre o material e a imaterialidade, não é totalmente sem sentido:

[...] existem de fato dois modos distintos de ver e de pensar: o material e o formal. Pode-se dizer que o modo predominante no período barroco era o material [...]. Hoje em dia, é o modo formal que prevalece [...] (exatamente por se tratar de um modo formal não é imaterialista). Esses dois modos de ver e de pensar levam a duas maneiras distintas de projetar: a material e a formal (FLUSSER, 2007, p. 29).

Desde Platão, ou mesmo antes dele, o que importava era configurar matéria existente para torná-la visível, mas o que está em jogo é preencher com matéria uma torrente de formas que brotam com base em uma perspectiva teórica e de nossos equipamentos técnicos, com a finalidade de materializar essas formas (FLUSSER, 2007).

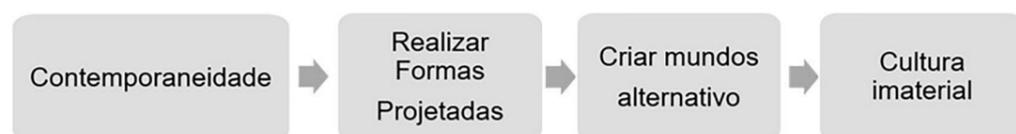


Figura 06: Diagrama que relaciona a contemporaneidade e a cultura imaterial, gerado a partir da conceituação de Vilém Flusser (2007). Fonte: Diagrama elaborado pela autora, 2020.

Segundo Flusser (2007), anteriormente, a ordenação formal do mundo e da matéria, era uma prioridade, mas agora o relevante é converter um mundo altamente codificado em números e formas. Agora passamos a considerar as formas não mais como descobertas, nem como ficções, mas como modelos. Seja qual for o significado da palavra material, só não pode exprimir o oposto de imaterialidade. Pois a imaterialidade, ou, no sentido estrito, a forma, é precisamente aquilo que faz o material aparecer. A aparência do material é a forma:

Antes, o objetivo era formalizar o mundo existente; hoje o objetivo é realizar as formas projetadas para criar mundos alternativos. Isso é o que se entende por “cultura imaterial”, mas deveria na verdade se chamar “cultura materializadora” (FLUSSER, 2010, p. 31).

A questão da mudança dos estados da matéria possibilita uma nova imagem do mundo, na qual a matéria se realiza em campos energéticos de possibilidades que se entrecruzam. O autor postula que há um despropósito no abuso do conceito de imaterial e um entendimento equivocado do termo informar.

A tecnologia computacional tem um papel muito importante, pois permite mostrar nas telas os algoritmos em forma de imagem em movimento. Para Flusser, se antes era relevante a ordenação formal do mundo aparente da matéria, na contemporaneidade, a questão é converter em aparente um mundo codificado em números, um mundo de formas que se multiplicam incontrolavelmente (FLUSSER, 2007).

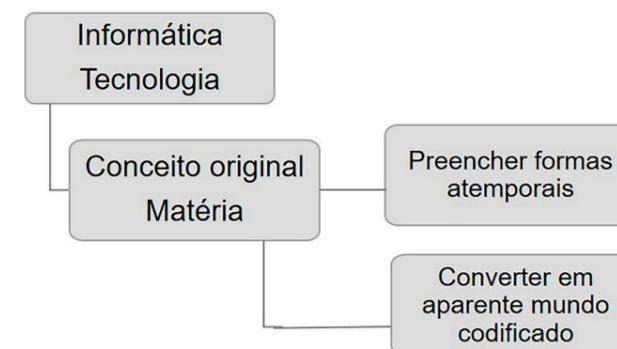


Figura 07: Diagrama que relaciona a tecnologia, a matéria e a conversão do mundo codificado a partir dos conceitos de Vilém Flusser (2007). Fonte: Diagrama elaborado pela autora, 2020.

A tecnologia permite uma interpretação das formas como recipientes, modelos para a ocorrência dos fenômenos contemporâneos. Alguns arquitetos contemporâneos como Marcos Novak, Grupo Nox, Bernard Tschumi, Frank Gehry entre outros, sugerem a participação do processo e da experiência alterando este fluxo, quebrando o paradigma da relação causal e linear no processo projetual contemporâneo. O processo projetual passa a ser cíclico, imprevisível, com inúmeras possibilidades, e a forma assume outras dinâmicas e experiências sensoriais. As novas práticas arquitetônicas contemporâneas atuam reduzindo a hierarquia da forma material das construções em favor da experiência do usuário. Estamos imersos em um mundo intrincado, dinâmico, muito diferente da corrente anterior do pensamento moderno. Não podemos analisar e validar a produção atual da arquitetura a partir dos mesmos parâmetros do passado.

### Frank Gehry: uma trajetória de experimentações formais e materiais

Para Nogueira (2009), é possível verificar na arquitetura contemporânea a presença de múltiplos conceitos, métodos projetuais e um contínuo processo de experimentações formais que abandonam a geometria euclidiana e a racionalidade geométrica. Os sólidos platônicos deixam de ser referência geométrica para o reconhecimento dos

partidos. Existe uma complexidade no pensamento contemporâneo vinculado a um incessante processo de experimentação individual. Para a autora:

As novas metodologias projetuais mostram que o arquiteto deve estar ciente da complexidade dos eventos contemporâneos, considerando todos os conceitos que permeiam o novo viver, entendendo que estes interferem diretamente no modo de fazer arquitetura, uma vez que os ritos cotidianos modificam e pedem novas conformações espaciais mais coerentes com a realidade vivida (NOGUEIRA, 2009, p. 01).

Existe uma natureza ativa, de ação e transformação, preconizada por Bauman (2001) e depois por Solà-Morales (2002), que incorpora novos elementos, geometrias cada vez mais complexas e materiais antes nunca utilizados. O emprego de geometrias irregulares e complexas é uma marca do arquiteto contemporâneo, através da exibição volumétrica fragmentada e decomposta. Moneo (1999) já mencionava a questão da fragmentação e da decomposição na década de 1990. Nesse panorama plural e complexo, Rauterberg (2009) afirma que Frank Gehry se coloca ao lado de Frank Lloyd Wright, Philip Johnson, como um dos mais conhecidos arquitetos americanos do século XX.

Moneo (2008) declara que a arquitetura de Frank Gehry exerceu maior influência sobre seus colegas de profissão nos anos 1980. Nascido em 1929, abriu seu primeiro escritório em 1962, sua obra é ampla e extensa. Tornou-se conhecido mundialmente no final da década de 1990, com o Museu Guggenheim, em Bilbao.



Figura 08: Museu Guggenheim, em Bilbao, (1991-1997). Fonte: STUNGO, Naomi, (2000, p.66 e p.67).

Segundo Ramos (2016), a obra de Frank Gehry pode ser separada e analisada em distintos períodos, conforme os diferentes enfoques dos projetos. Os períodos evidenciam as mudanças na gênese da forma, a utilização de um vocabulário próprio e uma sintaxe desenvolvida ao longo da sua trajetória. Desta forma:

Após 1978, quando finaliza a reforma de sua casa em Santa Mônica, largamente fotografada por revisas da época, nota-se que

Gehry passou a ser considerado pela crítica especializada como um dos mais sensíveis representantes de um reduzido grupo de artistas estadunidenses que trabalhavam sob uma nova perspectiva (RAMOS, 2016, p. 148).

Segundo Ramos (2016), após 1986, com a disseminação de livros, textos críticos e entrevistas com o arquiteto, fica claro que Gehry tinha alicerçado uma proeminente posição no panorama da arquitetura internacional, muito em função da sua produção nesses anos. Nesse sentido:

As obras que foi projetando e construindo nos anos 1970 revelavam rasgos de uma personalidade inquieta e inovadora: uma imagem associada à do pioneiro, à do homem livre disposto a conquistar uma nova arquitetura (MONEO, 2008, p. 234).

Ramos (2016) divide a produção de Frank Gehry, primeiramente até 1975; depois entre 1976 e 1980; e, finalmente, de 1981 em diante, período que evidencia uma mudança na metodologia projetual apoiada pela tecnologia. A primeira fase tem uma clara inspiração em Frank Lloyd Wright, Richard Neutra, Rudolf Schindler e Rafael Soriano.

Um exemplo desta fase é a casa Steeves (1959), que apresenta influência de Wright e que resulta da sobreposição de dois volumes iguais com implantação cruciforme. Uma obra com geometria rigorosa e simetria. Segundo Moneo (2008), a casa Steeves é uma residência californiana, cuja leveza, sempre presente nas construções em madeira, revela seu parentesco com a tradição construtiva que teve como modelo a arquitetura de Schindler e Neutra.

Dois projetos desta fase parecem insinuar o que Frank Gehry desenvolveria depois: o projeto do celeiro de forragens para Donna O'Neil, em San Juan Capistrano (1968), e a casa e ateliê do artista plástico Ron Davis, em Malibu (1972). No projeto do

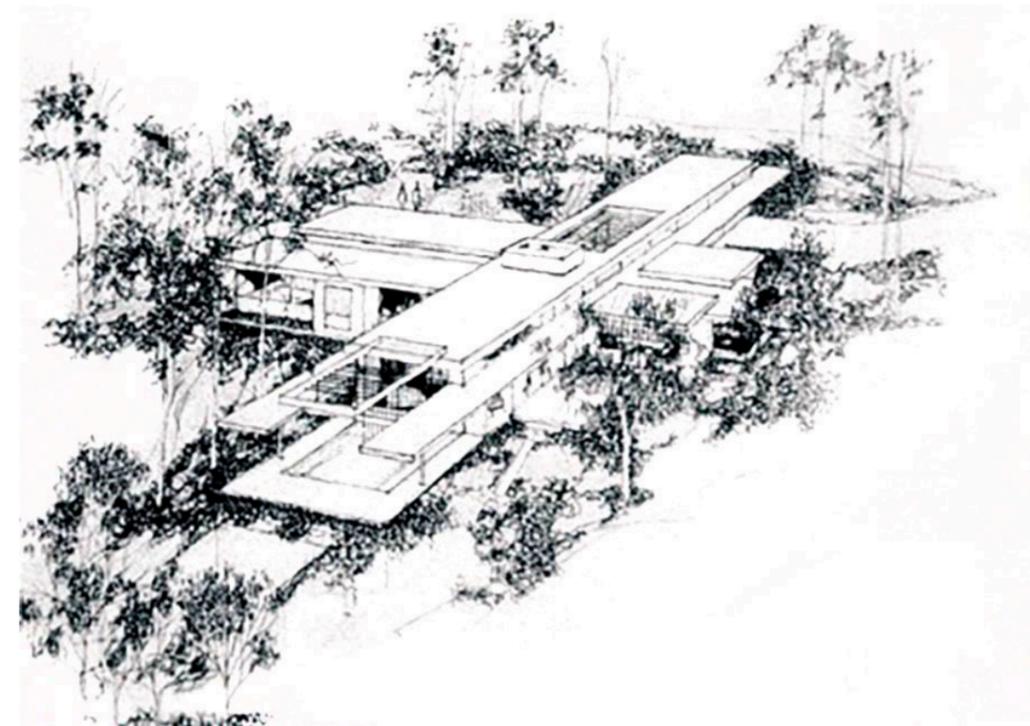


Figura 09: Casa Steeves, projeto do Frank Gehry (1958-1959). Fonte: MONEO, Rafael (2008, p. 243).

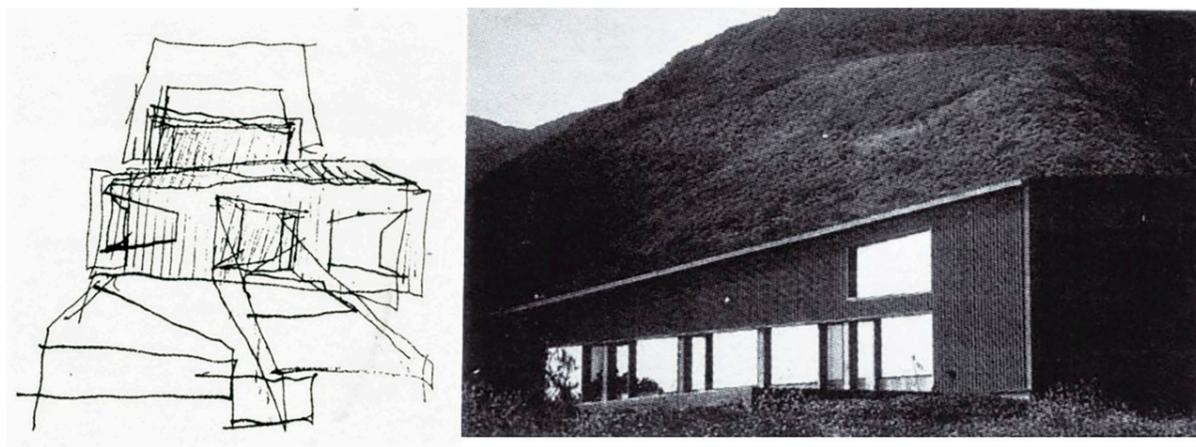
Figura 10: Celeiro de forragem para Donna O'Neill, Califórnia (1968). Fonte: STUNGO, Naomi, (2000, p.24).



celeiro de forragens para Donna O'Neill em San Juan Capistrano, em 1968, Gehry utiliza materiais modestos como chapa de metal corrugado e formas não ortogonais, em um plano inclinado de cobertura, criando um espaço indiferenciado.

O outro projeto desta fase é a casa e ateliê do artista plástico Ron Davis e de sua esposa, em Malibu, em 1972. O projeto do celeiro (1968) parece ser um precedente. O arquiteto leva em consideração a profissão do dono da casa, um artista vinculado à abstração geométrica e ao ilusionismo gráfico. Nesse projeto a mudança da ortogonalidade para a perspectiva veio do proprietário que estava experimentando a técnica em seus quadros. Gehry afirma que ficou fascinado com a ideia de que Ron podia desenhá-las, mas não construí-las; ele não podia convertê-las em objetos tridimensionais. O volume da casa resultou de uma negociação entre as vistas do lado de fora e as visuais do interior (Zaera-Polo, 2016). A cobertura ficou paralela à inclinação do terreno, de modo que fosse possível olhar para cima da casa e em direção a entrada de automóveis. A aparente aleatoriedade oculta uma preocupação com as percepções visuais, a escala, e o acolhimento do usuário ao acessar o projeto. Parece valer-se de efeitos anamórficos para lograr concordâncias e paralelismos (Rocha e Silva, 2017).

Figura 11: Casa e ateliê Ron Davis, Malibu, Califórnia (1968-1972). Fonte: MONEO, Rafael (2008, p. 243).



Davis, em seus quadros, dispõe os objetos em amplos espaços abertos e distorcidos. Gehry tenta fazer com a arquitetura algo semelhante. Um telhado oblíquo e contínuo unifica os diferentes ambientes e nele se produz uma série de recortes e fissuras. Muito diferente da máquina de morar, a casa reflete o trabalho do proprietário. Moneo afirma:

Gehry se esforça em descobrir e explorar materiais que a indústria produz e que a construção ainda não fora capaz de assimilar. Estamos em 1972, e ele nos mostra nesta casa o quanto se sente atraído pelas possibilidades oferecidas pelos materiais mais diversos: para ele a arquitetura estará sempre ligada à materialidade da construção (MONEO, 2008, p. 242).

Segundo Zaera-Polo (2016), uma das características mais polêmicas do trabalho de Gehry, especialmente no começo, como na casa Ron Davis, é a utilização de materiais baratos, produzidos em massa, industrializados e uma aspereza intencional nos detalhes. Uma estética do inacabado.

Entre 1976 e 1981, os projetos recriam uma nova maneira de projetar, na qual o valor formal do prisma puro é constantemente questionado. Gehry é um apaixonado por arte e pelos artistas plásticos de sua época. A necessidade de rompimento da ortogonalidade, da caixa prismática, e a procura pela justaposição, evidenciam a busca de um estilo ainda sem definição. As várias formas presentes nos projetos questionam a ideia de um volume único e composição compacta. Esses projetos parecem insinuar a antecipação de um processo de fragmentação e desconstrução que viria a seguir:

O que mais gosto é de fragmentar o projeto no maior número possível de partes. Em vez de entender uma casa como uma coisa única, eu a vejo como se fossem dez coisas diferentes (GEHRY *apud* MONEO, 2008, p. 236).

É importante situar sua obra no contexto de Los Angeles, cidade na qual se assentou. Uma cidade em contínuo movimento. A modernidade líquida de Bauman (2001) faz-se presente em Los Angeles. Essa dinâmica de mutações e transformações favorece um clima de liberdade de normas, numa cidade diversa, onde não existem referências fixas. Nesta situação, o arquiteto encontra-se sem o suporte que o lugar geralmente proporciona, o que significa que suas obras dificilmente vão se relacionar diretamente com o contexto. Se nas cidades tradicionais a continuidade reside no meio construído, em Los Angeles está fundada no movimento. O meio construído expressa esse pluralismo e acentua a presença do efêmero. A arquitetura de Frank Gehry começa pela aceitação de Los Angeles como uma cidade em constante metamorfose.

Se você anda pelas ruas, há muitas paredes sem sentido. Mas se você olha para a atmosfera da rua como um artista, os seus olhos começam a ver cenas, você as edita e então encontra a beleza. Somos narradores desta beleza, do que está ao nosso redor. E esta coisa chamada design é um tipo de atitude forçada e cheia de valores errados. Ela exige que se façam coisas a partir de aparências, não da realidade (GEHRY, 2006, p. 17).

Para Moneo (2008), Gehry propõe-se a construir como Los Angeles. Sua arquitetura ignora o tipológico, é alheia ao monumental e leva a marca do efêmero. O arquiteto respeita seus procedimentos projetuais:

Frank Gehry atua sobre o solo sem preconceitos, sabendo que, quando coloca a primeira pedra de um edifício, trata-se da origem de um organismo que crescerá no futuro, um futuro que ninguém poderá controlar (MONEO, 2008, p. 234).

Gehry afirma que todos os seus prédios se relacionam com o local em vez de serem friamente construídos. Ele declara que seus edifícios não são condescendentes, e sim ponderados. Um exemplo é o projeto para Dusseldorf, para o qual ele assegurou que a vista para o rio Reno não fosse bloqueada por nenhum outro prédio nas proximidades (RAUTERBERG, 2009, p. 61). Gehry declara:

Meu trabalho é contextual, mas as pessoas não enxergam isso. Penso de forma muito contextual. Se meu trabalho é surpreendente para algumas pessoas, é porque tento evitar essas concepções prévias e construir com base na realidade das coisas (ZAERA-POLO, 2016, p. 227).

Nesse projeto, Frank Gehry não fez um bloco monolítico, mas sim três pequenas torres a fim de deixar espaços intermediários para as linhas de visão.



Figura 12: Frank Gehry, Dusseldorf, Alemanha, 1999. Fonte: Imagem disponibilizada em: <https://br.pinterest.com/pin/462604192946533507/>, acesso em 01 fevereiro de 2020.

Para Nogueira (2009, p. 03), “a expressão volumétrica fragmentada considera a questão da observação do todo e das partes, em um primeiro momento, onde o todo é a paisagem e a parte é a obra de Gehry, em um segundo momento, o todo é a obra e as partes são seus fragmentos formais.” A aparente contradição das partes e do todo derivam da justaposição de escalas que se verifica na sua produção. Para Gehry:

Eu não sujeito meus prédios ao pensamento tacanho que é prevalente no ramo da arquitetura. Muitos colegas querem objetivar suas decisões. Qualquer um que tenha que lidar com formas e materiais, não tem uma autoridade mais alta a quem apelar. Você

precisa decidir por si mesmo na sua intuição e se lançar para a frente (In: RAUTERBERG, 2009, p. 61).

No método projetual de Frank Gehry não há uma ideia preliminar, uma visão antecipada da construção. O edifício é entendido como a evolução no tempo da sua primeira abordagem, com o diálogo entre as diversas formas, os materiais, o tecido existente e os elementos da paisagem. As obras de Gehry evidenciam a atuação do homem frente à cidade, atuando como marcos em um ambiente. O vocabulário próprio e a sintaxe dominada a partir da década de 1980 traduzem a realidade como uma marca pessoal do arquiteto.

O despreendimento em relação às formas elementares demonstra o talento para conceber obras escultóricas e dinâmicas, nas quais os valores plásticos e visuais assumem uma relevância. Instabilidade, dinamismo e fluidez são atributos da sua arquitetura já preconizados por Bauman (2001) na definição da modernidade líquida. A ruptura da unidade, o abandono da composição compacta permite ao arquiteto uma análise mais livre do programa. Frequentemente o programa de necessidades é fragmentado em elementos independentes, membros de organismos separados que são colocados juntos. O desmembramento é a origem da construção, e a abstração é uma palavra que define a sua arquitetura:

Eu gosto quando um prédio pode ser interpretado de sete milhões de formas diferentes. Mas isso também significa que ele não deve se destacar como apático e formalista como o Partenon ou outro qualquer templo grego (GEHRY In: RAUTERBERG, 2009, p.63).

Até 1975	1976- 1980	1981- 1990	1991-
<b>Precedentes:</b> Frank Lloyd Wright Richard Neutra Rudolf Schindler Rafael Soriano	<b>Marca pessoal arquiteto:</b> Vinculação arte e arquitetura Novas perspectivas compositivas Arquitetura como Inovação	<b>Marca pessoal arquiteto:</b> Estilo sem definição Procedimentos projetuais próprio Valores plásticos e visuais	<b>Marca pessoal arquiteto:</b> Arquitetura como expressão da liberdade individual do arquiteto
<b>Características:</b> Definição Geométrica Composição compacta Volume único Simetria Arquitetura sólida	<b>Características:</b> Ruptura Ortogonalidade Assimilação novos materiais Procura Justaposição Planos inclinados Arquitetura sólida Materiais industriais Separação programa funcional	<b>Características:</b> Fragmentação formal Desmembramento-recomposição Movimento Mutações Liberdade de normas Pluralismo Sobreposição de escalas	<b>Características:</b> Fragmentação formal Movimento-Mutação Pluralismo Arbitrariedade Fluidez Liberdade formal Arquitetura líquida
<b>Processo de Projeto:</b> Croquis Maquetes físicas Softwares gráficos	<b>Processo de Projeto:</b> Croquis Maquetes físicas Softwares gráficos	<b>Processo de Projeto:</b> Croquis Maquetes físicas Softwares gráficos	<b>Processo de Projeto:</b> Croquis Maquetes físicas Escaneamento 3D/ CATIA
<b>Projetos:</b> Casa Steeves (1959) Casa Danzier (1965)	<b>Projetos:</b> Celeiro Forragens Donna O' Nell (1968) Ateliê Ron Davis (1968-72) Casa em Santa Mônica (1979) Casa Gehry (1977-78)	<b>Projetos:</b> Casa Tract (1982) Aerospace Museu / Teatro(1982-84) Loyola Law School (1978-84) Casa Winton (1987) Turtle Creek (1985-86) Vitra Design Museum (1987-90)	<b>Projetos:</b> Walt Disney Concert Hall (1988-91) Natiolane Nederlanden (1992-96) American Center, Paris (1988-94) Weiman Art Museum (1990-90) Museu Guggenheim (1991-97)

Figura 13: Quadro resumo que evidencia as características presentes no processo de projeto e obras de Frank Gehry de 1975 até 1997. Fonte: Quadro síntese desenvolvido pela autora, 2020.

Moneo (2008) afirma que é mais fácil pontuar o que Gehry ignora do que explicar como ele trabalha. Ele desconsidera a representação tradicional, o edifício não é pensado com base em plantas, cortes e axonométricas. Diferentemente de Peter Eisenman, que relaciona diretamente a representação ao projeto, e há momentos em que a representação e a arquitetura se transformam em um elemento só. Gehry tem o desejo de sentir a fisicalidade, a realidade do edifício construído. Assim, explica-se a contínua exploração das texturas em seus projetos. O olhar sobre a construção e os materiais converte-se em fonte de inspiração para uma nova arquitetura. É possível perceber que Gehry já vinha desenvolvendo e construindo formas cada vez mais complexas, desde a década de 1980. A massa geométrica irregular e as curvas cada

vez mais artísticas que Gehry almejava alimentavam a dificuldade de construí-las e representá-las sem a utilização da tecnologia.

### O papel da tecnologia na exploração de conceitos na obra de Frank Gehry

A década de 1990 marca o início da incorporação dos recursos tecnológicos na arquitetura e altera a forma de conceber ativa durante quinhentos anos, afetando a gênese da forma arquitetônica. Embora o Autocad tenha sido comercializado desde 1982, só poderemos considerá-lo como uma ferramenta relativamente utilizada pelos arquitetos a partir da distribuição da versão 12, lançada em 1992 (RAMOS, 2009). Ainda que arquitetos como Frank Gehry já tivessem desenvolvido antes desta data trabalhos com programas sofisticados para a época.

É a partir do programa tipo CAD que os arquitetos entraram no mundo digital, inicialmente em substituição à prancheta de desenho, sem uso efetivo no processo criativo. A tecnologia digital permitiu aos arquitetos contemporâneos a exploração de novas possibilidades formais, construtivas, abordagens pluralistas e o desenvolvimento de caminhos individuais. Progressivamente, os recursos digitais auxiliam o arquiteto na tomada de decisões, e não apenas na representação gráfica, são parte indispensável do desenvolvimento projetual. Ocorre uma clara ruptura de paradigmas e uma necessária adaptação e diferenciação desta arquitetura assistida:

Frank Gehry fugiu à limitação de uma específica forma de pensar-representar, apropriando-se de uma tecnologia que permite desenvolver configurações fora do alcance da mente e da mão do homem (NOGUEIRA, 2009, p. 02).

Dollens (2002) afirma que Gehry identificou o potencial da tecnologia para a construção, visualização e quebra de convenções de seus projetos. Primeiramente, utilizou os computadores, não como um elemento potencial para as renderizações, mas como agentes de desenho através da digitalização de suas maquetes físicas e cálculos tridimensionais.

Frank Gehry inicia o processo projetual através dos croquis analógicos que representam a essência do edifício. Nos desenhos, as formas não são reconhecíveis, mas transmitem a ideia do arquiteto para o projeto em desenvolvimento. Na etapa seguinte, o arquiteto utiliza as maquetes físicas, onde a percepção é similar ao objeto real. Nos modelos físicos o arquiteto realiza uma conexão com a escala humana e o domínio formal. Vários modelos são realizados e ajustados. É nessa etapa que ocorre a definição da solução projetual. Somente após a conclusão das etapas analógicas é que a tecnologia é inserida no processo de projeto.

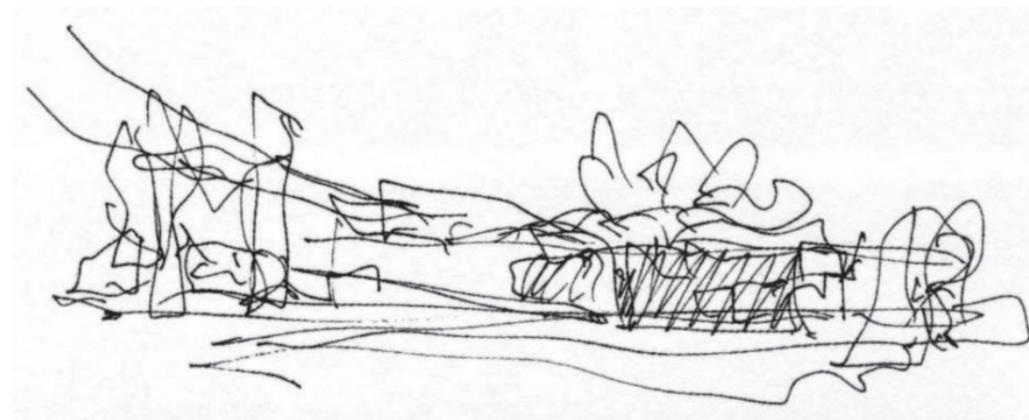


Figura 14: Croqui de concepção do Museu Guggenheim (1991-1997), arquiteto Frank Gehry. Fonte: MONEO, Rafael (2008, p. 276).

Dollens (2002) afirma que para Gehry, construir maquetes é um dos meios de visualização do espaço e da forma. Os modelos funcionam como extensão do pensamento racional e da experimentação irracional. O fato de construir modelos físicos põe em manifesto as formas icônicas. As maquetes físicas são um modo primário de comunicação e constituem um jogo de formas, símbolos e materiais que esculpem o espaço e transmitem ideias e emoções. Nas maquetes, o arquiteto realiza uma conexão entre a escala e o domínio formal:

As maquetes de grande escala permitem ver melhor as percepções do objeto real. Gehry costuma dispor os modelos no nível dos olhos e se mover em torno delas para corrigir os ângulos, as proporções, quase como um arquiteto renascentista. É uma das etapas mais importantes do seu método projetual (ZAERA-POLO, 2016, p.220).

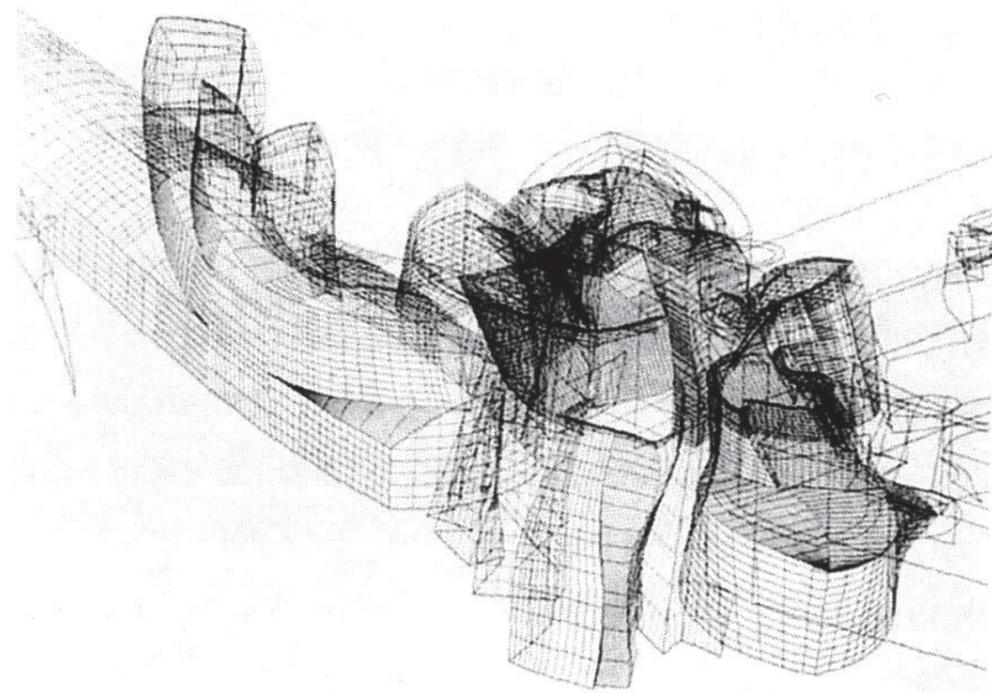
As maquetes físicas e os modelos digitais não representam simplesmente a geometria do projeto. Ambos simulam atributos físicos dos materiais que serão empregados na construção. As características dos modelos e maquetes mantêm certa relação de representação com as qualidades do material em escala real e com os aspectos do processo de fabricação. Parece um tanto paradoxal que com o advento dos computadores e vários softwares gráficos e possibilidades de explorar e modelar o espaço, ainda se fale de maquetes físicas e croquis analógicos no processo projetual em um mundo digital, uma vez que as construções podem ser projetadas por modelagem tridimensional, prototipagem e implementação de softwares.

Esse modo de criação, marca pessoal do arquiteto, encontrou dificuldades em função da complexidade formal da arquitetura de Gehry. A comunicação do projeto com todas as fases legais de desenvolvimento faz-se através da representação bidimensional. A tecnologia desempenha um papel significativo, pois permite as representações dos projetos de Gehry que desafiam o sistema tradicional bidimensional da arquitetura através das técnicas de projeção ortogonal: planta, cortes e fachadas.

Gehry percebe que o mundo informatizado devolve a posição de controle do construído ao arquiteto (DOLLENS, 2002). Uma das questões relativas a isso é a precisão da representação e a definição exata dos componentes construídos. A tecnologia computacional gráfica desenvolveu-se junto com experimentações ora auxiliando ora sendo aperfeiçoada em um amplo processo de desenvolvimento. Alguns projetos que fizeram uso dessa tecnologia têm sido caracterizados como portadores de uma estética digital: esse é o caso de Frank Gehry. O arquiteto investiu na adaptação de programas não arquitetônicos na idealização de formas capazes de virar arquitetura (RAMOS, 2009):

Não é a inovação formal o que conta aqui, ainda que seja admirável. A opção pela incorporação de uma tecnologia que potencializa os desejos do arquiteto permitindo-lhe delegar a invenção de formas a uma máquina altera definitivamente o processo projetual (RAMOS, 2009, p 03).

O trabalho de Gehry leva a arquitetura a um passo além, como um desafio em evolução e arte criativa. O que pode parecer arbitrário para alguns, uma geometria abstrata e desconcertante do lado de fora, revela-se dentro uma série de relacionamentos incomuns e convidativos alcançados por meio de uma análise cuidadosa do programa em termos de um conceito multidimensional de espaço sensualmente orquestrado. O projeto do Guggenheim de Bilbao (1991-97) permitiu que Gehry refinasse e aperfeiçoasse o uso que vinha fazendo do computador em suas obras. O software CATIA e o escaneamento 3D permitem que ele utilize qualquer forma:



A extensão do que entendemos como linguagem arquitetônica a um mundo infinito de formas que não precisam, necessariamente, ser descritas pelas geometrias convencionais destrói os limites do território onde o arquiteto pode se mover. O plano e os sólidos platônicos são esquecidos, enquanto as superfícies se agitam em uma dança animadíssima (MONEO, 2008, p. 278).

Longe de ser um procedimento aleatório, o Guggenheim de Bilbao foi um projeto que justificou o emprego de técnicas de controle paramétrico das formas, para harmonizar práticas clássicas de organização formal de arquitetura com a lógica fractal. A conexão com esse tipo de geometria se fez para garantir um diálogo da obra com a cidade em seus elementos naturais e construídos. Por mais que pareça um tumulto de formas, o grau de ocupação do espaço, em termos visuais, parece corresponder com o da paisagem preexistente (ROCHA; SILVA, 2017, p.8).

As edificações deixam de ser passivas e se tornam ativas, parte do movimento urbano e da dinâmica dos fluxos contemporâneos. Se recusando a utilizar as tipologias existentes como precedentes projetuais, Gehry lança-se como um novo inventor de formas. Com o apoio de Jim Glimph, que entrou no escritório em 1989, e de Rick Smith, indústria aeroespacial, como consultor, dentre vários outros profissionais, Gehry aprimorou sua metodologia projetual digitalizando os modelos tridimensionais físicos por meio de um scanner 3D. Essa forma é gerada no computador onde pode ser também prototipado e calculado. CATIA é o nome do software desenvolvido para a indústria aeroespacial francesa na produção de Boeing, utilizado também pela NASA e que é usado no estúdio de Gehry. O CATIA fornece ferramentas de análise da curvatura das superfícies e possibilita a planificação.

A tecnologia permite ao arquiteto uma liberdade nunca antes conquistada, sua arquitetura se converte em uma expressão pessoal e direta. Os recursos digitais e o

software CATIA proporcionam a informação necessária para a finalização do processo projetual. O programa desenvolve simultaneamente as formas tridimensionais e a construção geométrica, dando especificações construtivas. Os sistemas modelares baseados no NURBS (Non - *Uniform Rational Bézier Spline*) funcionam através de fórmulas algorítmicas por meio das quais as linhas, superfícies e objetos em desenvolvimento são ajustados e recalculados continuamente, permitindo certa dinamicidade (NOGUEIRA, 2009, p.3).

Observa-se nas obras de Gehry após o Guggenheim de Bilbao, considerado a primeira arquitetura digital edificada, o aparecimento de curvas mais suaves, muito em função do aperfeiçoamento e contínuo desenvolvimento da equipe de modelagem do Gehry Partners (DOLLENS, 2002). Jim Glimph afirma que na escolha da ferramenta digital que seria introduzida no escritório foi pesquisada a que melhor se ajustaria aos processos de *design* de Gehry. As ferramentas foram adaptadas à metodologia projetual que já era utilizada antes da introdução dos computadores. O computador é utilizado para dar vazão às ideias já concebidas pelo arquiteto e não como estratégia de geração formal, como ocorre com outros arquitetos digitais. Por outro lado, o projeto é desenvolvido em três dimensões desde as etapas iniciais, através dos modelos físicos, muitas vezes em escala real (Peixe em Barcelona) ou quase. O computador auxilia na eficiência, na construção e custos da obra (El Croquis, 1995).

Do desenho ao modelo físico e das maquetes ao modelo digital do edifício, Gehry evidencia uma capacidade de materializar seus desenhos através da coordenação entre a construção de uma imagem mental em uma forma real. A maior contribuição de Gehry para a prática projetual é a capacidade de integrar os processos analógicos ao modelo digital e ao edifício em uma sequência de atos já definidos e adaptados por décadas. Gehry afirma:

Minha maior contribuição para a prática da arquitetura é conseguir uma coordenação entre mãos e olhos. Fui me tornando muito bom em levar a cabo a construção de uma imagem ou de uma forma que estou procurando. Sou capaz de transferir um croqui para uma maquete e daí para um edifício (ZAERA-POLLO, 2016, p.221).

Dollens (2002) declara que existe uma interação perfeita entre mídia analógica e digital, e o computador é uma parte importante do processo de projeto de Gehry. São utilizadas também técnicas de prototipagem rápida, onde partes dos modelos são conectados diretamente à máquina CNC. Como essas técnicas são caras e demoradas, são reservadas para a etapa final de verificação (LINDSEY, 2001).

O computador funciona como um dispositivo de notação, traduzindo os modelos do mundo físico para o digital. Gehry trabalha próximo aos extremos, aliás, ele empurra esses limites para além de todas as possibilidades. Arquitetura e escultura encontram-se em um confronto ansioso e inquieto. A tecnologia promoveu mudanças no imaginário do arquiteto e incorpora-se ao limite do que é calculável.

## Conclusão

Frank Gehry é um admirador do peculiar e está sintonizado com a natureza transitória da cultura contemporânea. É difícil interpretar a sua obra e de enquadrá-la em parâmetros e definições. Observa-se um repertório reduzido de elementos e um rigoroso controle formal e geométrico. Envolvido pessoal e profissionalmente com o mundo da arte, traduz na arquitetura essa paixão, por meio de uma obra escultórica. Seu processo de projeto é metódico e o processo criativo é essencialmente analógico

e intuitivo. Esse tipo de obra é possibilitada apenas por tecnologias sofisticadas e de última geração, que relacionam a definição formal à representação e à viabilidade construtiva precisa.

Dollens (2002) afirma que em 1988, Gehry percebeu o potencial que possui a tecnologia digital para transformar imagens em edifícios. Os recursos tecnológicos auxiliaram no processo de visualização, pois foi possível modelar fielmente, calcular e transferir essas imagens às propriedades físicas reconhecíveis. As ferramentas digitais trouxeram uma renovação nas formas plásticas que têm introduzido no panorama atual um novo vocabulário de curvas e deformações, marcados pela relação entre arquitetura e tecnologia digital. Uma arquitetura de superfícies, definição material e texturas, que provoca, instiga, questiona e insinua possibilidades.

O início do processo de projeto de Frank Gehry é muito pessoal, e evoluiu muito com o uso da tecnologia. Gehry idealiza as possibilidades de utilização de vários materiais convencionais. A ideia de ornamento foi transposta para a pele da edificação, que também é deslocada de dentro para fora, subvertendo a ideia de estrutura e materialidade. Através da introdução do meio digital na arquitetura, o reino físico recebe um novo momento, seus projetos foram além do que era possível em arquitetura. Ele construiu o que era inimaginável, irrepresentável, em suma, o que antes era inacessível. E, paradoxalmente, o que parece incalculável e geometricamente incompreensível torna-se realizado através de cálculos e parâmetros. O modelo digital liga o projeto à construção e é o que possibilita tanto a representação quanto a execução das arquiteturas de formas livres.

No Guggenheim, Gehry transitou entre o emprego de procedimentos clássicos, como simetrias e proporções que espelham a paisagem do entorno e o uso de lógicas recursivas da geometria fractal, desde a escala do urbano ao detalhe, por meio de efeitos anamórficos (Rocha e Silva, 2017). O arquiteto se valeu dos avanços tecnológicos para garantir o controle formal, utilizando-se de parametrização. As relações propostas buscam estabelecer uma harmonia com o lugar.

A produção de Gehry evidencia a questão do uso de ferramentas analógicas em concomitância com as ferramentas digitais através de um método projetual único e nada arbitrário contrariando muitas críticas. Não há limitação de ideias com o uso do computador. A única limitação é como podemos entender e usar essa ferramenta. A realidade virtual e os hologramas marcarão outra mudança no futuro da arquitetura e sua capacidade de desenvolver uma nova imagem do interior e do exterior de um edifício. Nesse sentido, verifica-se a necessidade de redefinição das bases teóricas, conceituais e metodológicas das arquiteturas digitais. A aparência da arquitetura contemporânea mudou, portanto, a forma de pensar e analisar essa arquitetura deve mudar também. Existe uma clara necessidade de compor novos quadros teóricos e conceituais mais específicos, aplicáveis às arquiteturas digitais.

## Referências

Almeida, Marcela Alves de. O desejo de desmaterialização da arquitetura: a plasticidade como processo. *Risco Revista De Pesquisa Em Arquitetura E Urbanismo* (Online), 2011, (14), 63-71. <https://doi.org/10.11606/issn.1984-4506.v0i14p63-71>

BAUMAN, Zygmunt. *Modernidade líquida*. Rio de Janeiro: Zahar, 2001.

BRONSTEIN, Laís. Acerca da crítica aos objetos arquitetônicos. *Arquitextos*, São Paulo, ano 14, n. 160.03, Vitruvius, set. 2013. Disponível em: <https://7.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.160/4879>.

[br/revistas/read/arquitextos/14.160/4879](https://7.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.160/4879).

CAVALIERI, Márcia Maria. Uma nova possibilidade arquitetônica para além da desmaterialização. *In: CONGRESSO INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA, INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO*, 1., Belo Horizonte, 2016. *Anais [...]*, Belo Horizonte: Centro universitário Metodista Izabela Hendrix, 2016. Disponível em: <http://izabelahendrix.edu.br/pesquisa/anais/arquivos2016/tc-31-47.pdf>.

CRUZ JÚNIOR, Adilson Assis; GRILLO, Antônio Carlos Dutra. *Arquitetura Líquida*. *In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO*, 1., Rio de Janeiro, 2010. *Anais [...]*, Rio de Janeiro: ANPARQ, 2010. Disponível em: <http://www.anparq.org.br/dvd-enanparq/simposios/186/186-832-1-SP.pdf>.

DOLLENS, Dennis. *De lo digital a lo analógico*. Gustavo Gili: Barcelona, 2002.

EL CROQUIS. Frank Gehry. 1991-1995. Madrid: El Croquis Editorial, n. 74+75, 1995.

FLUSSER, Vilém. *O universo das imagens técnicas: elogio a superficialidade*. São Paulo: Annablume, 2008.

FLUSSER, Vilém. *Forma e Material*. *In: FLUSSER, Vilém. O mundo codificado: por uma filosofia do design e da comunicação*. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

GRALA DA CUNHA, Eduardo. Discussão sobre o papel da tecnologia no processo de concepção arquitetônica contemporânea: o caso Norman Foster. *Arquitextos*, São Paulo, ano 10, n. 118.00, Vitruvius, mar. 2010. Disponível em: <https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/10.118/3369>.

HITNER, Sandra Daige Antunes Corrêa. A teoria da Catástrofe aplicada à elaboração arquitetônica do Museu Guggenheim de Bilbao. *Arquitextos*, São Paulo, ano 07, n. 074.00, Vitruvius, jul.2005<<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/07.074/339>>.

KOLAREVIC, Branko. *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Spon Press, 2003.

LÉVY, Pierre. *Cibercultura*. São Paulo: Ed. 34, 1999.

LINDSEY, Bruce. *Digital Gehry*. Basel: Birkhauser, 2001.

MONEO, Rafael. Paradigmas fin de siglo: los noventa, entre la fragmentación y la compacidad. *Arquitectura Viva*, Madrid, n. 66, maio/jun. 1999, p. 17-24.

MONEO, Rafael. *Inquietação teórica e estratégia projetual na obra de oito arquitetos contemporâneos*. São Paulo: Cosac Naify, 2008.

MONTANER, Josep Maria. *As formas do século XX*. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

NAOMI, Stungo. *Frank Gehry*. São Paulo: Cosac Naify, 2000.

NOGUEIRA, Sandra Maria Antunes. O comportamento artístico e a tecnologia na metodologia de projeção de arquitetos contemporâneos - estudo de caso de uma interface: Frank O. Gehry. *In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA*

DE GRÁFICA DIGITAL, 13., São Paulo, 2009. *Anais [...]*, São Paulo: SIGRADI, 2009. Disponível em: [http://itc.scix.net/paper/sigradi2009\\_997](http://itc.scix.net/paper/sigradi2009_997).  
PIÑÓN, Hélio. *Teoria do Projeto*. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2006.

ROCHA, Luciana Sandrini; SILVA, Adriane Borda Almeida. Os diálogos (geométricos) que Gehry estabelece com a cidade de Bilbao. *V!RUS*, São Carlos, n. 14, 2017. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus14/?sec=4&item=14&lang=pt>. Acesso em: 18 Fev. 2021.

RAMOS, Fernando Guillermo Vázquez. Frank Gehry: da construção da desconstrução à fragmentação, 1975-1985. *Cadernos PROARQ*, n. 26. jul. 2016, p. 144-162. Disponível em: <https://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/pt/paginas/edicao/26>.

RAMOS, Fernando Guillermo Vázquez. *Do analógico ao digital? In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL*, 13., São Paulo, 2009. *Anais [...]*, São Paulo: SIGRADI, 2009. Disponível em: [http://itc.scix.net/paper/sigradi2009\\_730](http://itc.scix.net/paper/sigradi2009_730).

RAUTERBERG, Hanno. *Entrevista com arquitetos*. Rio Janeiro: Viana & Mosley, 2009, 168p.

SOLÀ-MORALES, Ignasi de. *Arquitectura Líquida*. In: SOLÀ-MORALES, Ignasi de. *Territorios*. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

STUNGO, Naomi. *Frank Gehry*. São Paulo: Cosac & Naify Edições, 2000.

ZAERA-POLO, A. *Arquitetura em Diálogo*. São Paulo: Ubu Editora, 2016.

# PARAMETRIA COMO IMPULSO À METACOGNIÇÃO

## Entre a aprendizagem formal e a auto aprendizagem para a prática de projeto de arquitetura

### **PARAMETRY AS AN IMPULSE TO METACOGNITION** *Between formal learning and self-learning for architectural design practice*

**Fernando de Azevedo Valente<sup>1</sup>**

#### **Resumo**

Este estudo problematiza o emprego da parametria junto ao projeto de arquitetura a partir de um relato de experiência formativa. Para abordar este tema, parte-se do exemplo do método empregado por Bjarke Ingels para projetar o Serpentine Pavilion, Londres. Logo, é relatado um processo de aprendizagem formal em desenho paramétrico junto a disciplinas de graduação em arquitetura e um processo paralelo de autoaprendizagem, os quais motivaram a participação no Concurso Parklet 4.0/ Portal Projetar. O exercício de metacognição é realizado com apoio em uma análise qualitativa dos projetos sob parâmetros que caracterizam um sistema generativo. Acrescenta-se uma análise quantitativa das propostas enviadas ao concurso, para contextualizar a experiência relatada. As reflexões derivadas situam tal experiência frente à prática profissional e acadêmica de arquitetura, e podem contribuir, quando somadas a outros relatos, para a construção de um panorama brasileiro, sobre a abordagem na aprendizagem do tema parametria no projeto de arquitetura. Palavras-chave: desenho paramétrico, aprendizagem, metacognição, metodologia de projeto.

#### **Abstract**

*This study deals with problematizing the use of parametric drawing techniques applied to architectural design based on an experience report with the formative process. To address the subject of parametrics, we use the example of the process used by Bjarke Ingels to design the Serpentine Pavilion, in London. Therefore, a formal learning process in parametric design is reported associated with the teaching of undergraduate courses in architecture and a parallel process of self-learning, which resulted in the participation of the Parklet's 4.0 architecture contest, from Portal Projetar. A metacognition exercise is carried out, supported by a qualitative analysis under parameters that characterize a generative system. A quantitative analysis of the proposals sent for the competition is added, in the aim of understanding the meanings attributed to the techniques used in connection with the experience reported here. The reflections derived from this study allow us to situate such an experience in the face of professional and academic architecture practice, with the pursue of contributing to the construction of a broader brazilian background, when added to other reports of approach to learning the subject of parametry and training for the architectural design. Keywords: parametric design, learning, metacognition, design methodology.*

<sup>1</sup> Graduando do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas. Graduação em Comunicação Social: habilitação em Publicidade e Propaganda pela Universidade Católica de Pelotas.

#### **A parametria no exercício da arquitetura**

Ao longo de uma formação acadêmica em arquitetura e urbanismo, os estudantes deparam-se com diversas disciplinas de caráter prático e teórico para servir como suporte para o desenvolvimento de projetos de diferentes níveis de complexidade. Entretanto, faz-se recorrente a percepção, sobre a dificuldade do sistema formativo em dar conta de abarcar conhecimentos tão amplos como os que envolvem o campo da arquitetura, em suas conexões entre a ciência e a arte.

Jantzen *et al.*, (2009) abordam a teoria do capital cultural no contexto da formação acadêmica e profissional no exercício da arquitetura. Os autores trazem essa teoria do filósofo e sociólogo Pierre Bourdieu, a qual se refere a este capital como tudo o que é herdado ou aprendido por um indivíduo ou grupo social. Por um lado, caracteriza o capital cultural incorporado, que consiste nas habilidades e competências que são transmitidas através do meio cultural e familiar. Por outro, particulariza o capital cultural institucionalizado, por meio de habilitações e títulos acadêmicos e profissionais. Ao comparar essas duas maneiras de apropriação de uma cultura, os autores referidos observam, ao pensar um contexto formativo de arquitetura, que as escolas que valorizam projetos pautados pelo capital cultural incorporado (levando em consideração o caráter imaginativo sem um embasamento de critérios para fundamentar as tomadas de decisões projetuais) se distanciam de um modelo igualitário e nivelador do ensino. E sob esta abordagem, consideram que quanto maior o aporte de ferramentas projetuais adquiridas ao longo da formação, mais aperfeiçoados e embasados serão os projetos realizados pelos acadêmicos e futuros profissionais.

Ao pensar o repertório de abordagens constituído no âmbito dos currículos de arquitetura poder-se-ia realizar uma leitura sobre os tipos de parâmetros, envolvidos no campo da arquitetura, que advém de cada disciplina, e, logo, para compreender a síntese da formação, identifica-se a lógica de manter um exercício contínuo e crescente na sequência de disciplinas de projeto.

Há uma narrativa formalizada por meio de disciplinas como teoria, história, representação, geometria, conforto, estrutura, materiais, etc. Trata-se assim, ao longo da formação, de cada vez mais inserir novos parâmetros, de distintas naturezas, sociais, econômicos, culturais, comportamentais, ambientais, mas, acima de tudo, de compreender as associações entre eles, percebendo o projeto de arquitetura como um modelo paramétrico e, portanto, essencialmente associativo e colaborativo. Além disto, a ação projetual de arquitetura é caracterizada por um processo criativo, único para solucionar sempre um projeto particular, por se situar no tempo e no espaço, por tratar de condições mutáveis, social e culturalmente. Nesse sentido, Donald Schön (1987) reconhece a particularidade da formação do arquiteto enquanto *profissional reflexivo*. De acordo com o teórico, as disciplinas de projeto permitem uma organização de diferentes patamares de compreensão pelo aluno no pensar arquitetônico. Essa dinâmica se desenvolve através de uma espiral de complexidades dividida entre a *reflexão-na-ação*, e a *reflexão-sobre-a-ação*, ou seja, o pensar arquitetônico implica em um repertório de saberes que são acionados de acordo com as complexidades da ação exigidas em cada projeto.

Lima filho e Bruni (2015), estudam o conceito de metacognição. Identificam John H. Flavell, como um dos primeiros autores a referir-se à metacognição, na década de 1970, a partir de seus estudos sobre memória e aprendizado, quando definiu o termo como o domínio que o sujeito tem sobre o seu próprio conhecimento. Consideram que a definição mais comum de metacognição é a que está associada ao conhecimento e à regulação do próprio sistema cognitivo, apresentada em Brown,

(1987). E, acrescentam que este conceito pode ser mais facilmente entendido, a partir de Gourgey (2001), por estar apresentado como sendo a consciência de como se aprende; consciência de quando se faz; o conhecimento de como usar as informações disponíveis para alcançar um objetivo; capacidade de julgar as demandas cognitivas de uma determinada tarefa; e conhecimento das estratégias a serem utilizadas.

Rocha e Malheiro (2018) determinam que a metacognição é um processo que envolve procedimentos e atitudes na formação crítica científica, no qual os indivíduos monitoram e controlam seu funcionamento cognitivo. Ela permite a tomada de consciência sobre o próprio conhecimento adquirido. Com a metacognição são geradas as estruturas do saber de maneira a garantir que todas as tomadas de decisão projetual possuam um objetivo coerente, afastando o projetista da causalidade na materialização de sua proposta. Dessa forma, a associação entre o capital cultural incorporado e a metacognição torna-se necessária na racionalização do processo de projeto amparado por uma metodologia do processo criativo.

Ao deparar-se com o desafio de propor uma solução arquitetônica para abrigar atividades humanas e atribuir qualidades ao espaço, é comum que a grande maioria dos arquitetos parta das premissas estabelecidas pela tríade Vitruviana conhecida como *Firmitas, Utilitas e Venustas* (RUA, 1996) como principal meta para seus projetos. Porém, ainda que a estrutura, utilidade e beleza do objeto arquitetônico sejam de fato a combinação desejada no produto final, qual seria o melhor processo de trabalho para materializar uma concepção? Ainda que não exista uma fórmula única, linear e racional para se projetar, o desenho paramétrico se apresenta como uma ferramenta emergente na prática científica e profissional e já está permeando contextos formativos de arquitetura.

O desenho paramétrico se insere em um conceito mais amplo, de sistema generativo, o qual compreende um conjunto de sistemas de geração da forma, e teve seu fomento como discussão de método de projeto na década de 60. Segundo Mitchell (1975), o fundamento básico para que a metodologia possa ser implementada é o problema de arquitetura, que irá gerar uma solução (concepção de projeto) guiada por um sistema operativo de intenções de quem realiza o projeto (*apud* MARTINO, 2015). Em outras palavras, o sistema generativo existe como um conjunto de diretrizes para guiar o fazer da arquitetura a partir das limitantes de projeto e dos objetivos do projetista.

Para que se possa compreender o funcionamento geral do desenho paramétrico, faz-se necessário o entendimento de que ele se desenvolve a partir de restrições, ou parâmetros, que irão regular sua forma (KOLAREVIC, 2000). Para isto, é estabelecido um raciocínio lógico que pode ser combinado com diversas variáveis em um mesmo projeto, gerando uma família de soluções que irá resultar em inovação. Essa é uma das grandes potencialidades encontradas em um sistema generativo, uma vez que trabalha com um conjunto de características próprias que determinam identidade ao produto final, algo de extrema importância na construção da representação do espaço arquitetônico e urbano. Além disso, um sistema deste tipo, que projeta um processo de gerar produtos e não um único produto, diferencia-se por deixar rastros que permitem visualizar uma coerência na concepção da forma, algo que os métodos tradicionais dispensam, visto que são, normalmente, focados na produção de desenhos diretamente voltados para o objeto final.

Embora o enfoque de discussão esteja direcionado para a exploração do desenho paramétrico, e portanto um sistema generativo, no âmbito da arquitetura contemporânea, cabe ressaltar a consideração de que se trata de uma ferramenta de uso atemporal. A ser interpretada, conceitualmente, como um modo intrínseco ao processo de projeto, a parametria é utilizada por arquitetos de todas as gerações,

diferenciando-se pela exigência da explicitação detalhada do sistema envolvido. Entretanto, tem-se na história casos em que há registros capazes de explicitar boa parte destes sistemas. É o caso do projeto não construído de Antoni Gaudí para a igreja de *Colònia Güell*, no qual foi utilizada a parametrização analógica (DAVIS, 2013). Para sua concepção, o arquiteto construiu um modelo físico através de cordas presas ao teto com diferentes pesos atrelados a cada uma, de acordo com a figura 1. Com a ação da gravidade, cada corda formava uma curva catenária diferente, onde os pesos representavam os parâmetros ajustáveis representando as colunas e intersecções das paredes do projeto. Através da metodologia de Gaudí, arquiteto que revolucionou a arquitetura de sua época através da inovação plástica e irreverência, nota-se o quanto que os desenhos por processos generativos da forma podem ser também aliados da criatividade dos arquitetos na resolução de suas propostas. Na mesma proporção que o arquiteto espanhol estipulava regras e procedimentos racionais para materializar suas concepções, apresentava um trabalho coeso, inovador e com uma identidade que existe como referência na paisagem urbana de seu país de origem.

Já no campo de um sistema generativo acompanhado por processos computacionais, a inteligência artificial e a programação figuram como elementos-chave predominantes para o desenvolvimento do projeto. No ambiente virtual, as formas são obtidas através de cálculos automatizados por meio de algoritmos, mas que dependem da mesma lógica de trabalho da parametrização, determinada pelo projetista, para processar os dados e surgir com um objeto resultante. Para que se possa gerar um quantitativo de dados suficiente para que os algoritmos possam ser calculados, os parâmetros de



Figura 1: maquete idealizada por Antoni Gaudí no projeto da Colònia Güell. Fonte: studiomstf, 2020.

projeto existem como um sistema de comunicação (SCHUMACKER, 2011). Nele, os dados partem da alimentação de informações a respeito das intenções do projetista (*inputs*) para acarretar em respostas lógicas originadas pelo computador (*outputs*).

Com o auxílio das máquinas e a ferramenta do desenho paramétrico, o exercício da arquitetura pode ser potencializado. Torna-se agora possível que o projetista trabalhe em co-autoria com as inteligências artificiais, e isso acrescenta uma camada complexa acerca dos desdobramentos futuros dessa interface de trabalho. Ainda que o aperfeiçoamento das tecnologias esteja se dando em uma velocidade cada vez maior, e os processos estejam adquirindo uma otimização diretamente proporcional, a sensibilidade e criatividade (tão necessárias na proposição de novos espaços) são predicados que seguem sendo atribuídos exclusivamente à capacidade humana. Estes predicados estão mais bem associados à capacidade de transgressão para além do que possa ser programado, codificado.

### Sistemas generativos e o desenho paramétrico

O estudo de Celani, Vaz e Pupo (2013) apresenta, de maneira sistêmica e ilustrada, os principais tipos de processos generativos, apoiado em uma revisão que considerou diferentes abordagens para categorizá-los. O estudo aborda, fundamentalmente, dois grupos de sistemas, um baseado na lógica e o outro baseado na biologia, totalizando oito tipos que estão categorizados por uma lista de critérios relativos às seguintes abordagens: método de modelagem (análogo, icônico ou simbólico), advindo de Mitchell (1975); inspiração (tradicional, lógica ou biologia), advindo de Knight (2009); automação (por computador ou manual); controle pelo projetista (alto, médio e baixo); previsibilidade (determinista e não-determinista); permite emergência (sim ou não); espaço de busca (heurística, aleatória ou exaustiva); procedimento de avaliação (subjetivo ou objetivo). A parametria aparece listada junto aos tipos de sistemas baseados na lógica, como a simetria, a combinatória, os grafos e a gramática da forma. Por tanto, se difere dos sistemas baseados na biologia, como são considerados os fractais, os autômatos celulares e os algoritmos genéticos.

Frente aos critérios sugeridos pelos autores referidos, a parametria, em relação ao método de modelagem, não se enquadra em um processo icônico, no sentido visual de partir da definição de plantas e cortes. Também não trata de representar o comportamento de um sistema de maneira análoga, mas adota um método simbólico, associado aos modelos matemáticos. Em relação à possibilidade de automação, a parametria, nos termos dos autores, está associada à implementação por computador. Quanto ao nível de controle que o usuário tem sobre o projeto, é considerada de nível médio, comparativamente, por exemplo, a um sistema altamente controlado pelo projetista, como o da gramática da forma, ou a um pouco controlado, como os algoritmos genéticos. A parametria, quanto a sua previsibilidade é considerada determinística e não permite a emergência de soluções. Quanto ao espaço de busca de soluções de projeto é do tipo exaustiva, diferindo-se por tanto do modo heurístico (tradicional) ou ainda do aleatório. E, em relação aos procedimentos de avaliação geralmente utilizados em processos paramétricos, são do tipo objetivos, por exemplo, apoiando-se em simulações de desempenho.

Contudo, a parametria, nos termos apresentados, refere-se ao campo do projeto digital. Ao particularizar o contexto brasileiro, e observar o tipo de abordagem que está sendo desenvolvida junto aos currículos de escolas de arquitetura, como realizado em Vasconcelos e Sperling, 2018, compreende-se que ainda são poucas as experiências empreendidas para o desenvolvimento do processo de projeto digital propriamente dito. Entretanto, foi observado por estes pesquisadores que, nos

últimos dez anos, o investimento em iniciativas formativas para o estabelecimento de processos projetuais efetivamente digitais, foi incrementado principalmente por meio de práticas caracterizadas como workshops. Esta modalidade propõe atividades de formação continuada ou no campo da pesquisa e extensão.

No âmbito deste estudo, parte-se da observação de um caso de projeto, em concreto, que permitiu uma aproximação a uma prática de arquitetura que envolve o emprego de um sistema generativo. Para, mais adiante, relatar um processo de aprendizagem para a experimentação, em projeto, com o uso das técnicas de desenho paramétrico, promovida, em um primeiro momento, no âmbito de disciplinas curriculares de graduação. Desta maneira, difere-se das experiências mais frequentes que se dão no campo da pesquisa e da extensão.

### A lógica projetual do Serpentine Pavilion, de Bjarke Ingels Group

Para exemplificar o uso dos conceitos previamente explicitados, relativos ao desenho generativo como ferramenta para a prática de projeto, aborda-se aqui o *Serpentine Pavilion* de Londres (Figura 2), projetado pelo *Bjarke Ingels Group (BIG)* no ano de 2016. A partir de depoimentos advindos do *BIG* em entrevista concedida por vídeo para a plataforma digital da Serpentine Galleries, compreende-se que este projeto foi concebido para existir como uma estrutura temporária, e o pavilhão deveria atender aos preceitos da tríade Vitruviana, mencionada anteriormente. Entre os principais objetivos, deveria trazer uma estrutura de baixo impacto, viável e sustentável, ter uma multifuncionalidade de usos e existir enquanto um marco visual da paisagem, atribuindo identidade ao local.

A partir das limitantes do terreno e inspirado pela organicidade da natureza do parque de inserção do projeto, o arquiteto Bjarke Ingels propôs uma combinação da materialidade principal, composta por blocos de fibra de vidro, com a fluidez das ondulações das curvas para criar uma forma poética e escultural, em harmonia com o entorno. Uma vez determinados os parâmetros da parede de blocos e das ondulações, o escritório pode então utilizar-se do desenho generativo digital para testar diferentes combinações formais e extrair a forma final. Nesse projeto, os algoritmos da inteligência artificial foram capazes não somente de possibilitar infinitas possibilidades formais de maneira instantânea, mas também de viabilizar o dimensionamento e posição de cada bloco no processo de fabricação e execução do projeto. No ano de inauguração do pavilhão, foi disponibilizado um modelo interativo *online* com parâmetros de altura, largura, comprimento, espessura, posição e cor dos blocos para que qualquer pessoa tivesse a possibilidade de gerar uma forma personalizada. A interface deste aplicativo está ilustrada com a imagem da Figura 3.

O projeto do pavilhão segue uma metodologia de trabalho do escritório *Bjarke Ingels Group*, comprovando que o desenho generativo e os experimentos de manipulação da forma acompanham todas as suas propostas. No livro de sua autoria *Yes is more* são demonstrados diversos projetos que partem das mesmas premissas de parâmetros como no projeto aqui ilustrado. Ainda que cada projeto por eles elaborado apresente uma solução com abordagens plásticas e funcionais contrastantes, é possível notar uma coerência na linha de raciocínio geral que agrega a identidade dos arquitetos aos objetos gerados. Como dito por Bjarke Ingels, “*a arquitetura surge a partir da colisão da política, economia, função, logística, cultural, estrutura, ambiente e interesses sociais, bem como de interesses ainda não nomeados e imprevistos. Como contar uma história tão complexa de uma maneira simples?*” (BIG, 2009, p.21). Nota-se que esses profissionais exercitam a metacognição indutiva, visto que estabelecem associações e realizam transposições que envolvem diversos

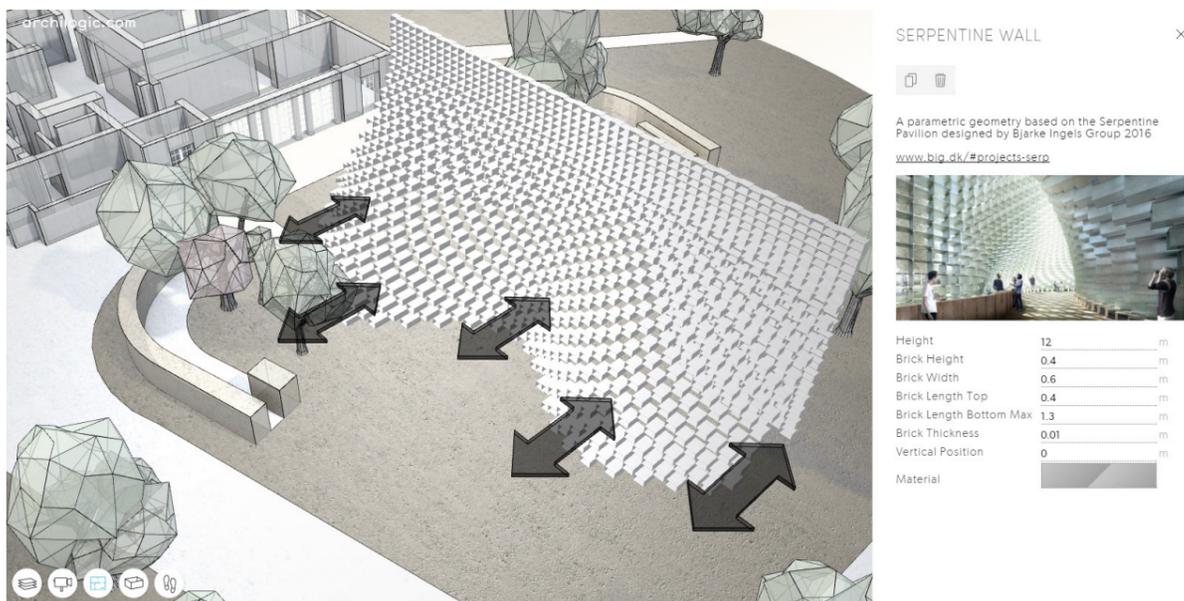
domínios de seu repertório intelectual para estruturar uma metodologia de trabalho por meio do desenho generativo. Com isto, apresentam um processo documentado por narrativas que buscam compreender e justificar cada decisão de projeto, própria de cada problema e por isso consideram que produzem uma arquitetura inovadora e pregnante.

A arquitetura transforma o meio quando vai além de simplesmente disponibilizar espaços de proteção e abrigo para oferecer uma experiência em forma de narrativa que possibilita a imersão, interação e reflexão das pessoas com o lugar. É no momento do projeto em que são realizadas as tomadas de decisão e a materialização das ideias que irão interferir diretamente na vida do usuário final do objeto arquitetônico.

Figura 2: Serpentine Pavilion, BIG architects, 2016. Fonte: Laurian Ghinitoiu, 2016.



Figura 3 - experiência interativa de geração da forma através dos princípios do desenho generativo, 2016. Fonte: Archdaily, 2016.



Portanto, quanto maior o aporte de ferramentas que os projetistas possam utilizar nesse processo, mais assertiva será a combinação entre os materiais e as geometrias mais adequadas para cada proposta. Nesse sentido, o ambiente computacional se apresenta como elemento-chave por permitir uma combinação de sistemas generativos capazes de trazer uma resposta formal às necessidades do operador.

Com o exemplo do aplicativo ilustrado pela Figura 3, pode-se perceber ainda a possibilidade apontada pelo BIG de estabelecer um processo colaborativo, e, compreendendo a potencialidade do método, em adicionar parâmetros de diversas naturezas, pode-se pensar no estabelecimento de processos mais democráticos e transparentes de discussão das soluções projetuais, agregando o quanto se queira de informação advinda de todo o contexto que envolve a situação do projeto.

Nessa dinâmica, existe de um lado da tela o indivíduo, e do outro, a inteligência artificial. O primeiro é dotado de um repertório formal e do discernimento sobre como a arquitetura interage com os seres humanos e não humanos em uma escala sensível. A segunda atua com a capacidade de otimizar processos e realizar operações formais complexas e criativas. No entanto, o enfoque deve estar na manipulação do processo projetual pelo operador. Caso contrário, o resultado do projeto perde sua potencialidade de embasamento e está fadado à casualidade. Seja através de meios digitais ou analógicos, o projetista deve ser capaz de justificar todas as etapas de projeto e condicionantes por ele estipuladas na obtenção do resultado final.

Considera-se que o caso exemplificado facilitou a associação, no campo da prática profissional de arquitetura, entre o emprego da parametria e a provocação de exercícios de metacognição. A seguir relata-se a experiência acadêmica particularizada e problematizada neste estudo.

### A formação junto a um do ateliê de projeto paramétrico

Através de uma disciplina de projeto, nomeada atelier vertical: processos projetuais generativos ofertada no nono semestre do curso de arquitetura e urbanismo da UFPel, foi realizada a primeira experiência com o uso de ferramentas de desenho paramétrico para o exercício de projeto de arquitetura propriamente dito. Esta experiência se deu no primeiro semestre letivo de 2019.

O exercício atendeu à proposta da disciplina para o projeto de uma nova sede para o Museu de Ciências Naturais Carlos Ritter em Pelotas, RS, órgão suplementar do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas. Este Museu encontra-se situado em uma sede provisória que não atende grande parte de sua demanda.

Como proposto na ementa pedagógica, deveriam ser compreendidos e experimentados métodos de projeto envolvendo sistemas generativos, por meio de tecnologias digitais. Para tanto, foram desenvolvidos exercícios ao longo do semestre que possibilitaram revisões acerca de conhecimentos já introduzidos, relativos às técnicas de desenho paramétrico, por disciplinas de geometria gráfica e digital para possibilitar então a aplicação ao projeto. Dessa maneira, muitos conceitos que estavam adormecidos, pela descontinuidade de seis semestres desde as disciplinas de geometria, de primeiro ano, e também por uma falta de conexão interdisciplinar, foram retomados, somados a uma nova camada de complexidade exigida através do exercício projetual. Para esta retomada e exercício com as ferramentas (Rhinceros + Grasshopper<sup>2</sup>)

<sup>2</sup> Grasshopper é um plugin inserido no software Rhinceros com foco no emprego de

foram realizadas oficinas ocorridas em um dos dois encontros semanais presenciais da disciplina de projeto. A disciplina compreendeu seis horas/aula semanais, cada encontro de três horas/aula. Com isto foi promovido um embasamento teórico-prático no desenvolvimento das atividades com o uso de sistemas generativos. Os temas das oficinas compreenderam, por exemplo, o controle de efeitos anamórficos, gramática da forma, diversos exercícios de composição formal por simetria, recursão, forças atratoras, planos seriados, e produção de modelos por meios tradicionais e por fabricação digital envolvendo a escala do mobiliário e do edifício.

A oficina de anamorfismo trabalhou conceitos da arquitetura como construção da paisagem, na manipulação de elementos bi e tridimensionais (como desenho de piso e mobiliário) com estratégias de desenhos perspectivados com distorções para causar um efeito estético na observação do objeto sob determinado ponto de vista. Neste caso, foram envolvidos parâmetros como altura e distância do observador em relação ao objeto. E, ajustes formais para determinar figuras específicas como resultado do processo projetivo (percepção da forma do objeto).

Na oficina de gramática da forma, foram delimitados os conceitos de operações formais em um raciocínio lógico da arquitetura como construção do vocabulário de projeto e de relações espaciais dos elementos. Primeiramente, foi realizado o exercício de manipulação formal de acordo com a lógica de transformação geométrica utilizada pelo arquiteto Santiago Calatrava. A partir de parâmetros pré-determinados, deveriam ser realizadas operações como as de translação, rotação e recursão de um elemento em torno de um determinado eixo espacial (Figura 4).

Em outra oficina, o exercício envolvia a imposição de regras de composição, a partir da exemplificação de regras empregadas em lógicas das janelas tradicionais chinesas. Este tipo de lógica foi também aplicada para a geração do traçado de uma malha, conduzida por parâmetros pré-estabelecidos (visuais do lugar, acessos, setorizações necessárias pelo uso), sobre o terreno utilizado para tal exercício de projeto. Os tipos de lógicas e de resultados envolvidos nesta Oficina estão ilustrados na Figura 5. Pode-se observar assim que tais treinamentos foram tanto conceituais como também já houve a tentativa de aplicação diretamente ao projeto.

Nas oficinas dirigidas ao desenho paramétrico, propriamente dito, foram revistos conceitos de parametria e realizada uma sequência de exercícios orientados a partir das ferramentas digitais já referidas (Rhinceros e Grasshopper) havendo também a liberdade dos estudantes utilizarem ferramentas de similar propósito (Revit e Dynamo), para a produção de desenhos generativos. Dentre os exercícios com o desenho paramétrico foram realizados treinamentos com a técnica de planos seriados, aplicados à produção de mobiliário.

A oficina de maquetes foi desenvolvida com enfoque na elaboração de protótipos para experimentação analógica das lógicas de projeto, e, por fim, as de fabricação digital com enfoques no desenvolvimento de coberturas, mobiliários ou passarelas em ambiente digital com lógica de produção para otimização do processo e materiais.

Sendo assim, houve, no âmbito da disciplina, uma aproximação ao uso da parametria. Em grande parte das atividades associadas propriamente ao projeto, a parametria foi abordada de maneira conceitual.

linguagens de programação para a construção de modelos paramétricos, mediante o suporte à programação oferecido pelas ferramentas de desenho amparado pelo computador (POLONINI, 2014).

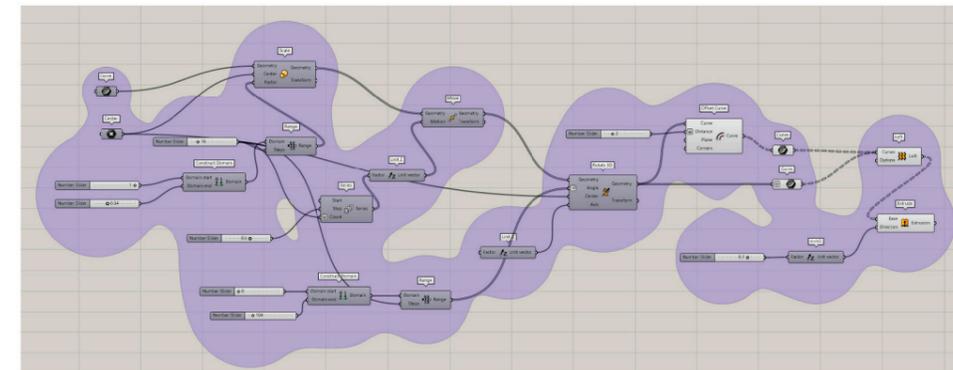
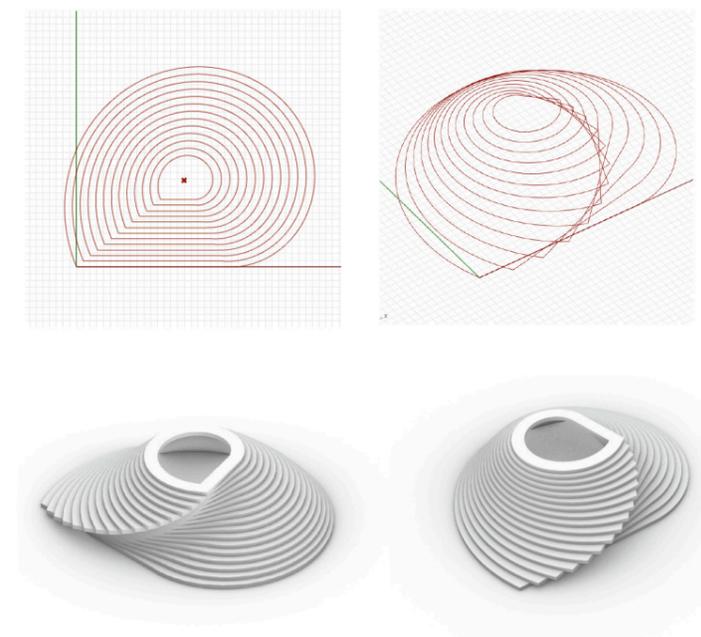


Figura 4: exercício da gramática da forma, de acordo com a metodologia de Santiago Calatrava, com amparo de ferramentas digitais. Realizado na oficina de processos projetuais generativos. Fonte: autoria própria, 2019.

Figura 5: exercício de gramática da forma com a metodologia das janelas chinesas. Parâmetro de divisão do terreno de projeto a partir de 1/4 das diagonais. Realizado na oficina de processos projetuais generativos. Fonte: autoria própria, 2019.

Baseado na visita para ambientação e levantamento no terreno de implantação da proposta foi possível observar quais parâmetros estavam implícitos no local para elaboração da forma arquitetônica. Por se tratar de um museu de ciências naturais inserido em uma área de banhado, foi escolhida uma vegetação característica do local como peça-chave do conceito. A planta taboa typha domingensis possui folhas alongadas e estreitas que trazem movimento e leveza ao entorno por sua movimentação com o vento. A mesma poética deveria ser traduzida no espaço

edificado e mobiliários, de forma a proporcionar harmonia na paisagem edificada. Assim, foram determinados os parâmetros de uma única folha da vegetação e de uma curva inspirada no traçado orgânico do terreno como determinantes para a obtenção do desenho generativo (Figura 6).

De acordo com as oficinas oferecidas na disciplina, foi estabelecida uma utilização direta no produto final a partir da oficina de gramática da forma (utilizando os preceitos de Santiago Calatrava de operações formais dos elementos), a oficina de planos seriados (na repetição dos elementos a partir de um determinado eixo) e da oficina de desenhos generativos (para geração dos desenhos a partir da parametria digital), de acordo com as Figura 7. A oficina das janelas chinesas foi importante para o reconhecimento da relação entre as poligonais irregulares do terreno e o entorno imediato, bem como para seu posterior zoneamento, ainda que não tenha exercido uma influência direta no produto final do edifício e do mobiliário. Ainda que as outras oficinas não tenham obtido uma aplicação prática no projeto final, devido a complexidade de assuntos a serem abordados para aplicação da proposta em um curto período de tempo, foram essenciais para a compreensão da metodologia de projeto paramétrico como um todo.

Figura 6: Parâmetros de projeto estabelecidos para geração da forma. Realizado na disciplina de processos projetuais generativos. Fonte: autoria própria, 2019.

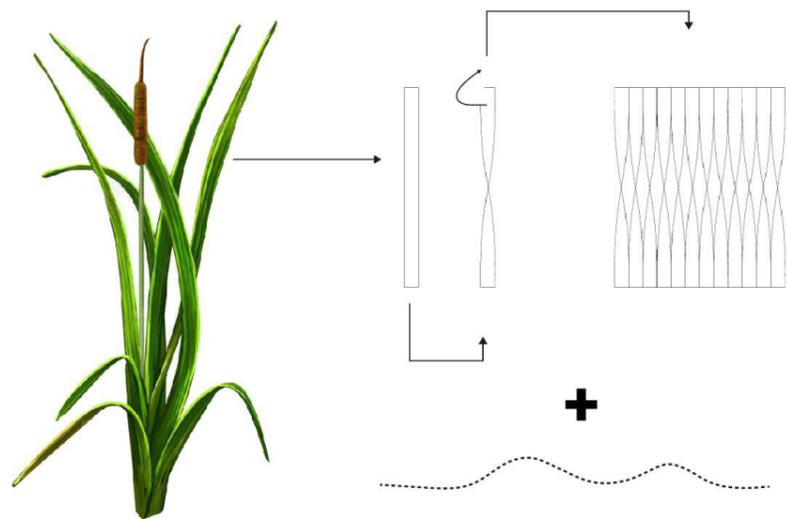


Figura 7: Produtos obtidos através do desenho paramétrico; acima: vista frontal do painel cortina das fachadas do edifício; abaixo: vista em planta baixa do mobiliário externo. Realizado na disciplina de processos projetuais generativos. Fonte: autoria própria, 2019.

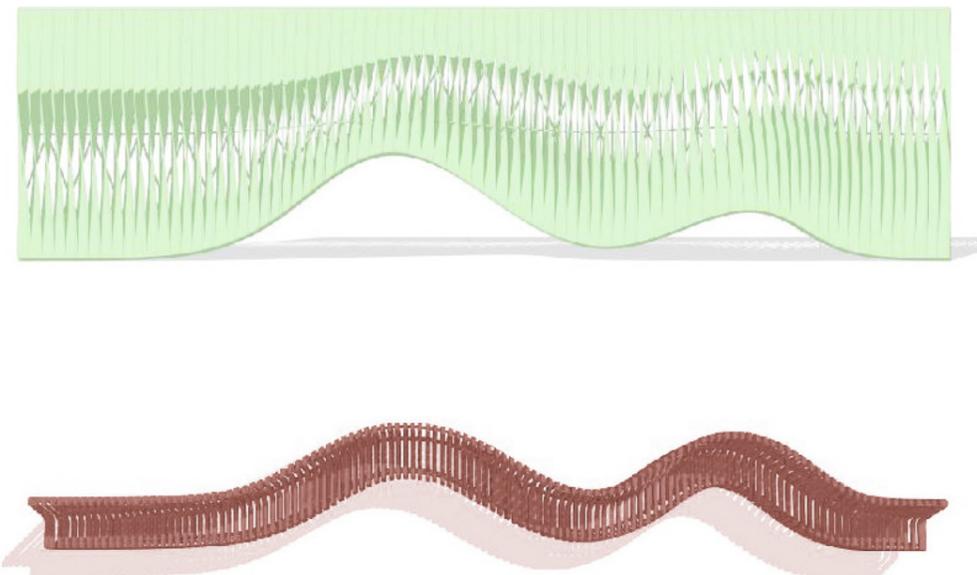


Figura 8: Perspectiva geral da proposta. Realizado na disciplina de processos projetuais generativos. Fonte: autoria própria, 2019.

Uma das qualidades atribuídas ao projeto do museu realizado na disciplina foi o apelo plástico. A aplicação da metodologia paramétrica permitiu o controle de todas as etapas projetuais para garantir uma inovação formal, fato pertinente na elaboração do equipamento em questão. No entanto, as condicionantes de desempenho térmico (também necessárias no programa estabelecido) foram de difícil implementação na questão paramétrica do projeto.

A experiência obtida na disciplina de processos projetuais generativos proporcionou uma reflexão e uma mudança de postura no que diz respeito à construção da narrativa do fazer arquitetônico. A adoção de diretrizes e restrições projetuais, a um olhar menos observador, podem parecer como barreiras criativas que irão limitar as potencialidades de sucesso do produto final. No entanto, uma delimitação de parâmetros vinculados ao lugar como as análises da geometria espacial, topografia, marcos visuais, elementos do entorno imediato, conformação de fluxos, etc., permitem a formação de um sistema otimizado que, além de possibilitar a solução dos problemas usuais encontrados no exercício de projeto, trazem inovação vinculada ao DNA do lugar. Como visto anteriormente, houve uma metodologia de processo generativo icônico (CELANI, VAZ e VUPO, 2013) no projeto, devido ao alto grau de controle na geração e manipulação das curvas em que se constituem as superfícies topológicas dos produtos obtidos. Porém, a utilização da parametria foi essencial na composição dos planos seriados em que se constitui a fachada inspirada nas folhas da vegetação utilizada no conceito do projeto. Um mesmo sistema generativo é capaz de apresentar soluções formais que abrangem desde a escala do edifício, à do paisagismo e mobiliário agregando unidade ao conjunto e controle do projetista sobre os resultados alcançados.

#### A participação junto ao concurso 034 Parklet 4.0 do Portal Projetar

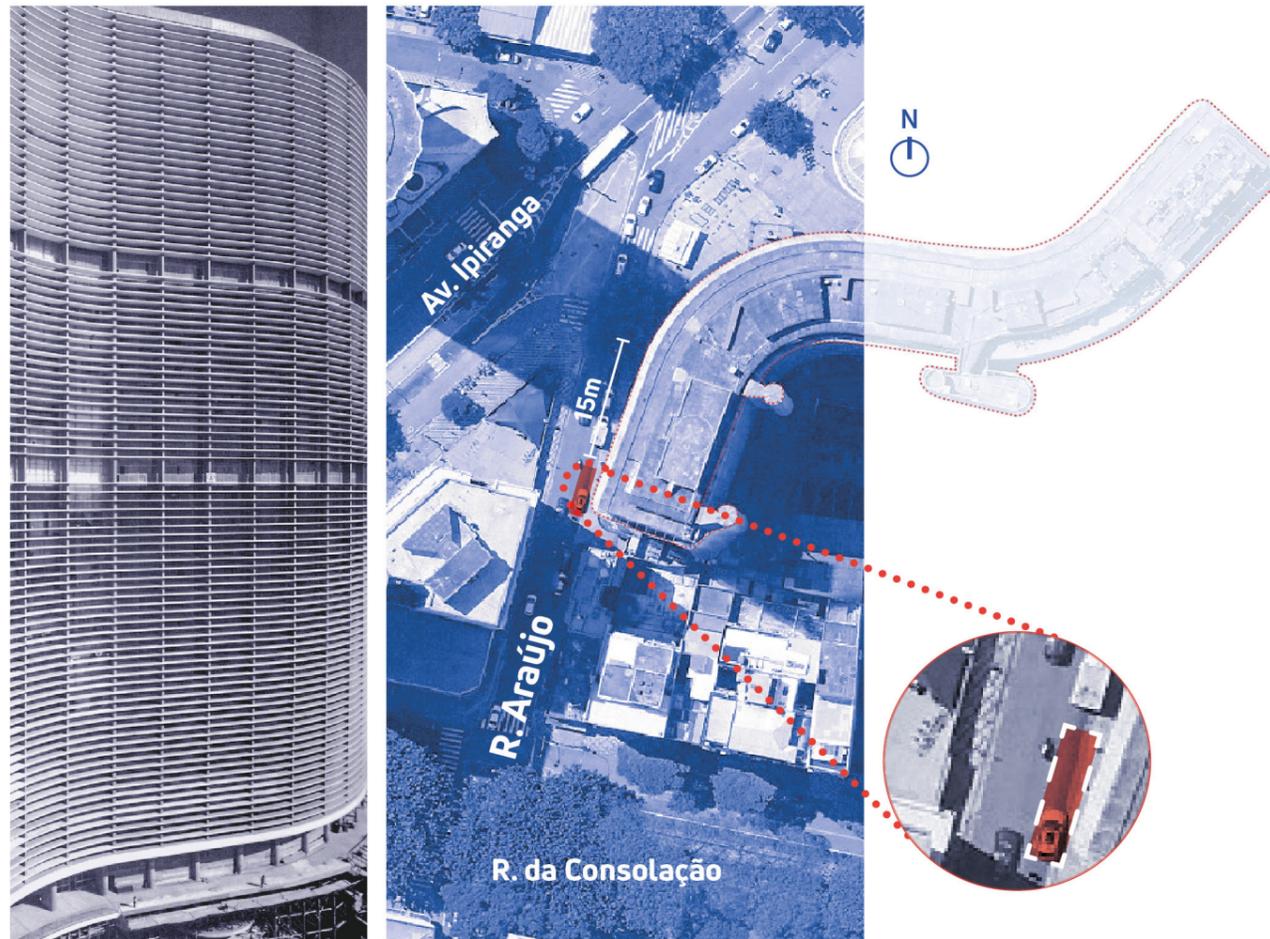
Com o objetivo de transpor os conhecimentos exercidos na disciplina de projeto no âmbito da autoaprendizagem, fora do amparo da sala de aula, foi realizada uma proposta projetual vinculada a um concurso nacional de ideias de arquitetura. Organizado pelo portal projetar, foi direcionado a alunos de graduação em arquitetura e urbanismo, ou profissionais recém-formados, com o desafio de um parklet pensado para o contexto da indústria 4.0. Nesse sentido, o projeto deveria existir como um catalisador social na malha urbana, de forma a realizar uma conexão entre o presente e o futuro no sentido da inovação. As participações deveriam ser individuais e sem a participação de um professor orientador. Ainda, deveria constar entre as premissas

do concurso a apresentação de soluções tecnológicas seja no âmbito analítico (com softwares na geração de inputs para o conceito do projeto), projetual (com ferramentas que contribuam para as soluções funcionais, morfológicas e estéticas), ou urbanístico (com soluções para potencializar a conexão entre as pessoas e a cidade).

O concurso apresentou-se como uma plataforma em potencial para a aplicação da metodologia de projeto voltado ao desenho generativo, uma vez que era voltado ao desenho paramétrico e lidava com a interação entre a escala arquitetônica e urbana com foco em inovação. Nesse sentido, foi escolhido o centro da cidade de São Paulo, SP, como cenário para a narrativa do projeto a ser desenvolvido. O parklet (que consiste em uma plataforma desmontável disposta sobre as vagas de automóveis para uso exclusivo dos pedestres) existe como elemento-chave ao refletir o senso de comunidade, criatividade e comprometimento da cidade com as novas dinâmicas da vida contemporânea. Em meio a este contexto efervescente da tecnologia em sua inserção urbana, a capital paulista se destaca por amadurecer sua identidade arquitetônica agregando novas interfaces de acordo com as necessidades das novas gerações. O edifício de uso misto copan, projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer na década de 50, destaca-se na paisagem edificada como ícone da arquitetura nacional abrigando diversas atividades ao longo do tempo, fato que colaborou para a escolha do local de inserção do projeto.

A arquitetura existente do copan serviu como fonte principal para a extração do vocabulário formal do projeto, de maneira a garantir que os elementos propostos no parklet (localizado em frente à construção) dialogassem em uma mesma identidade

Figura 10: À esquerda: fotografia do edifício copan. à direita: local de implantação da proposta. Fonte: <https://arquivo.arq.br/projetos/copan>, 2020. <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br> modificado pelos autores, 2020.



formal em uma relação de intimidade com os usuários do edifício. Assim, os aspectos compositivos, formais e construtivos utilizados por Oscar Niemeyer no projeto do edifício copan foram utilizados como referentes na concepção do parklet. Para o desenho paramétrico dos elementos propostos, as curvas da forma e os brise-soleils foram os elementos parametrizados a partir do vocabulário formal utilizado no edifício de inspiração. O banco, peça central do parklet, busca traduzir a fluidez dos traços de Niemeyer, além da plasticidade material de seu trabalho. Para tanto, foi utilizada a mesma parábola da planta baixa do edifício para o desenho do mobiliário. A partir disso, foi possível formar diferentes perfis para moldar sua forma ao longo da curva. Assim, o banco convida a diferentes formas de estar e sentar, além de se transformar em bicicletário. O guarda corpo, outro elemento do parklet, acompanha as mesmas curvas do mobiliário e traz os planos seriados dos brise-soleils vistos no edifício.

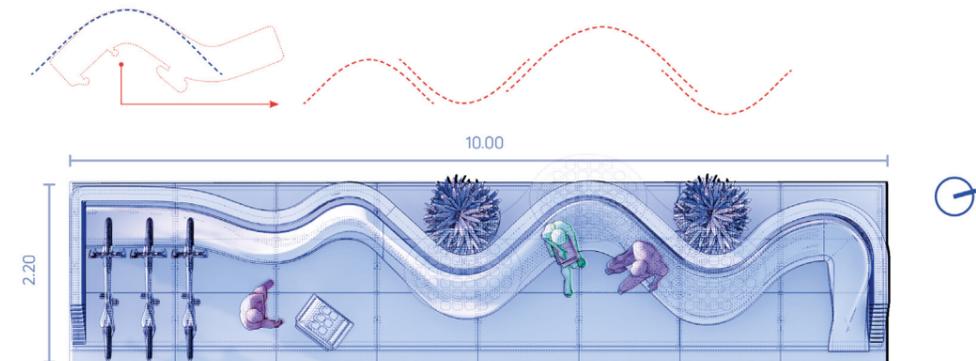


Figura 11: Acima: extração da curva a partir da planta baixa do edifício copan; abaixo: planta de layout mobiliário da proposta. Fonte: autoria própria, 2020.



Figura 12: Perspectiva de implantação do parklet copan. Fonte: autoria própria, 2020.

Realizando um comparativo entre as metodologias de trabalho utilizadas tanto na disciplina de projeto de processos generativos quanto na proposta desenvolvida para o concurso de ideias de arquitetura, pode-se observar que ambas seguiram a mesma lógica projetual de desenvolvimento, embora o produto final obtido em cada possua uma linguagem formal distinta. Em ambos os casos, a forma desenvolvida parte de outro elemento previamente existente no local de implantação, servindo como parâmetro principal de estruturação do desenho. A partir dos *inputs* estabelecidos, foram realizadas operações através da gramática da forma, com o auxílio das tecnologias digitais, para a obtenção de um desenho generativo com foco em inovação, mas pautado em um conceito estruturante que permitiu um produto final coerente com o meio inserido. Além de otimizar e ampliar as possibilidades da prática de projeto, a metodologia empregada nos sistemas generativos também permite que

o projeto seja comunicado de forma facilitada, apresentando assim todas as etapas envolvidas em sua materialização para um melhor entendimento da abordagem do projetista.

### Análise quantitativa sobre o uso do desenho paramétrico como metodologia de projeto

Ainda no contexto do concurso de ideias de arquitetura do portal projetar, previamente explicitado, torna-se oportuna uma análise quantitativa das demais propostas enviadas. O objetivo é de contextualizar a experiência aqui relatada frente ao universo das propostas apresentadas ao concurso. Observou-se que, no total, foram enviados 188 trabalhos, sendo 95 de instituições de ensino públicas e 91 de caráter privado (1 não informado).

Em um segundo momento, foram observadas as propostas que comunicaram, de maneira explícita, o emprego de ferramentas de desenho paramétrico junto ao desenvolvimento do projeto apresentado. Dos 187 trabalhos que informaram sobre as instituições a que estavam vinculados, 116 (62%) não declararam o uso do desenho paramétrico, e 71 (38%) trouxeram a evolução de como obtiveram a proposta através deste tipo de desenho generativo. Entretanto, das 7 propostas premiadas, entre os primeiros lugares e menções honrosas, apenas uma não demonstrou a utilização do desenho paramétrico para sua realização. Isso indica que, apesar de não ter sido um fator determinante na atribuição dos projetos destacados pelo júri, a utilização da parametria pode ter sido um fator determinante na classificação geral.

A partir deste total de 71 projetos, 37 (52%) são provenientes de universidades públicas e 34 (48%) de instituições privadas de ensino. Desta maneira, também não há indicativo de uma tendência ou outra que possa permitir algum outro desdobramento no caso dos resultados deste concurso.

Foi também levantada a distribuição dos trabalhos por região do país (figura 13). Do universo de 188 trabalhos, 92 foram provenientes da região sudeste, 52 da região sul, 20 da região centro-oeste, 16 da região nordeste e 7 da região norte (1 não informado). Do total de cada região, indicam-se os que trazem a demonstração da parametria por região do país, apresentando maior número nas regiões sudeste (34) e sul (24), seguidos das regiões centro-oeste (5), nordeste (4) e norte (4). Apesar das regiões nordeste e norte terem apresentado índice baixo de uso da parametria, também apresentaram menor quantidade de propostas em comparação com as outras regiões do país. Houve uma expressividade maior de propostas enviadas das regiões sudeste e sul, o que mostra um maior engajamento dos estudantes e profissionais recém formados na participação do concurso nestes locais.

A análise dos dados obtidos através das propostas enviadas para o concurso possui o interesse apenas de contextualizar o cenário da utilização da parametria como ferramenta do exercício de projeto no estudo aqui discutido. Ainda que o tema oferecido pela plataforma de concursos Portal Projetar mostrasse a pertinência ao uso do desenho paramétrico para apropriação dos participantes, nem todos demonstraram essa modalidade como efeito cognitivo dos aprendizados obtidos em sala de aula. No entanto, muitas propostas apresentam o domínio da metodologia paramétrica de projeto, o que comprova sua apropriação nas novas formas de projetar das diferentes universidades brasileiras.

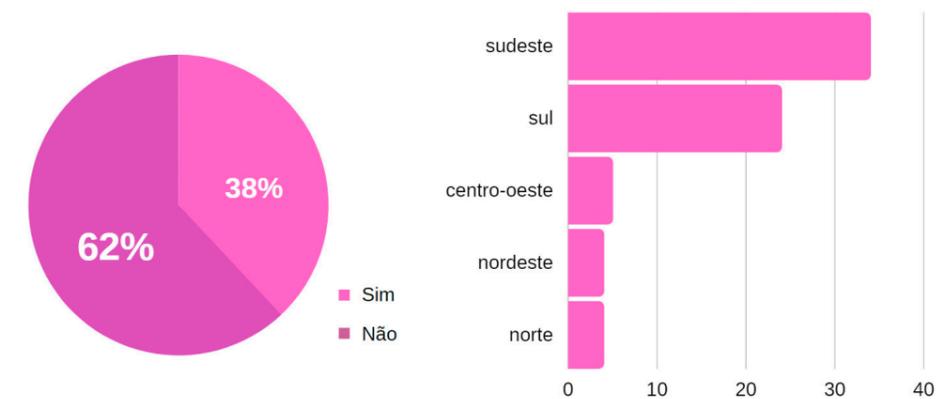


Figura 13: À esquerda, gráfico dos alunos que demonstraram de maneira explícita o uso do desenho paramétrico no desenvolvimento das propostas. À direita, gráfico de distribuição por região dos trabalhos que demonstraram o uso do desenho paramétrico no desenvolvimento das propostas. Fonte: autoria própria, 2020.

### A parametria como impulso à metacognição e à autoaprendizagem em projeto de arquitetura

Como visto anteriormente, a metacognição existe enquanto mecanismo de controle e planejamento nos processos de aprendizagem. Ela permite um conjunto de estratégias e ações no campo da consciência que está intrinsecamente relacionado com o repertório adquirido pelo indivíduo através do ensino. Através da metacognição, os indivíduos podem monitorar seu funcionamento cognitivo em tomadas de consciência sobre o próprio conhecimento adquirido (ROCHA e MALHEIRO, 2018);

No campo do exercício de projeto de arquitetura, torna-se importante que essa metacognição seja desenvolvida como um método indutivo. Deve assim haver a conexão entre fatos e experiências fundamentados em uma metodologia que permita ao projetista traçar uma estratégia com uma visão clara dos objetivos a serem alcançados no projeto. Por exemplo, a manipulação das condicionantes do lugar para conceituação e obtenção do produto final, seja na escala do mobiliário, do edifício ou da cidade. Justamente pela interdisciplinaridade espacial no campo de atuação do arquiteto e pela não linearidade do ato criativo no processo de projeto é que se faz necessária uma metodologia que permita não somente a otimização das etapas envolvidas nesse percurso, mas também que possibilite um registro coerente do caminho percorrido para que o objeto arquitetônico obtido possa ser comunicado de maneira bem sucedida. Quando o projetista é capaz de materializar e justificar uma ideia com um conceito que estabelece uma conexão a um lugar e às atividades humanas a serem ali exercidas, está cumprindo com sua função de solucionar o problema demandas da sociedade com uma resposta arquitetônica.

A partir da teoria do capital cultural (JANTZEN et al., 2009), faz-se essencial que este seja desenvolvido de maneira institucionalizada, focado em um modelo nivelador do ensino. É durante a formação acadêmica que futuros arquitetos podem experimentar e construir seu repertório prático e teórico sobre o ato de projetar. Dessa dinâmica entre ensino e aprendizagem é que se formaliza a trajetória do aluno, que em algum momento se encontrará em uma situação de precisar exercer a autoaprendizagem e tomar suas próprias decisões para a execução de seus projetos. Para isso, os processos projetuais envolvendo sistemas generativos da forma e a aplicação da parametria são aqui defendidos como uma metodologia de amparo utilizada por arquitetos inovadores, como Antoni Gaudí e Bjark Ingels.

As experiências adquiridas ao longo das disciplinas concluídas atribuem camadas na construção da formação profissional com um aprendizado embasado no campo da teoria e da prática. No entanto, seria um equívoco concluir que somente os ensinamentos aprendidos em sala de aula são suficientes para garantir um panorama completo do exercício do projeto de arquitetura. O aprendizado formal em desenho paramétrico permite que seja realizada uma introdução aplicada ao tema, garantindo os subsídios necessários para futuros aprofundamentos.

Para conseguir desenvolver a proposta para o concurso foi necessário ressignificar os conhecimentos adquiridos para que fossem desdobrados em investigações a respeito de como outros arquitetos solucionam problemas de projeto amparados pela metodologia em questão, como a do desenho paramétrico aqui analisado. Mais do que isso, faz-se necessário que o aluno procure exercitar os ensinamentos prévios formais em desafios que vão além do ambiente acadêmico, como nas plataformas de concursos de arquitetura.

Em uma sistematização linear e gradual do caso previamente explicitado neste estudo, partiu-se das experiências adquiridas nas disciplinas da escola de arquitetura e urbanismo o acúmulo de repertório nos campos da teoria, história, representação, geometria, conforto, estrutura, materiais, etc., como subsídio para a disciplina de projeto de atelier vertical: processos projetuais generativos. Foi nessa disciplina que as possibilidades do desenho paramétrico aplicado ao projeto foram apresentadas, amparadas por oficinas e exercícios que acrescentaram um novo viés no fazer da arquitetura, de maneira otimizada e com o emprego de raciocínios para o desenvolvimento e apresentação do conceito de projeto.

Após, com a oportunidade oferecida pelo Portal Projetar para o desenvolvimento de um parklet com o viés da tecnologia, tornou-se oportuna a utilização dos conceitos aprendidos no ambiente acadêmico para novas possibilidades de aprendizado, acionando os conceitos do desenho paramétrico de maneira consciente. Cabe ressaltar que a motivação para a participação do concurso surgiu, principalmente, devido ao embasamento e preparo prévio na atividade de projeto dos produtos desenvolvidos no atelier de processos generativos.

Para ilustrar e aproximar o conceito da parametria como metodologia de projeto na escola de arquitetura e sua tradução no processo da autoaprendizagem, foi abordado o exercício projetual realizado em sala de aula na disciplina de processos projetuais generativos e uma posterior transcrição dos métodos aprendidos no desenvolvimento projetual realizado para um concurso de ideias de arquitetura. Cada um dos exercícios compreendia uma escala particular e objetivos de projetos distintos, porém, a partir do estabelecimento de parâmetros e intenções, tornou-se possível uma comparação clara entre os dois projetos sob o viés do desenho generativo.

Por fim, com o objetivo de contextualizar um panorama sobre o quanto os estudantes e profissionais recém-formados de arquitetura no Brasil se utilizam da parametria como metodologia de projeto na autoaprendizagem, foram gerados quantitativos a partir das propostas do concurso de ideias do Portal Projetar, previamente citado. Para tanto, foi realizada a análise de cada trabalho para averiguar quais propostas apresentavam as etapas de geração generativa de maneira explícita. Ainda que grande parte do montante tenha se utilizado de métodos de fabricação digital como solução de projeto, a minoria apresentou o raciocínio da parametria para justificar seus produtos. A distribuição por regiões do país dos trabalhos que indicaram a metodologia generativa nas apresentações foi também desigual. Isso indica que a parametria como ferramenta projetual ainda é um processo em desenvolvimento nas escolas de arquitetura do Brasil. Todavia, a metodologia de projeto voltada para

métodos generativos atua como potencial na otimização, racionalização e inovação do ato de projetar e deve ser propagada e fomentada no ensino e formação dos arquitetos. Da mesma forma, torna-se imperativo que estudantes e profissionais se apropriem dessa metodologia de trabalho, que logo substituirá por completo os meios de projeto arquitetônico tradicionais e voltados aos meios analógicos.

## Agradecimentos

A disciplina de projeto atelier vertical: processos projetuais generativos, ministrada no semestre descrito neste estudo pela professora Dra. Adriane Almeida da Silva Borda contou com a participação de um corpo de colaboradores. São eles: Valentina Brum, Tássia Vasconcelos, Livia Cava, André Carrasco, Ricardo Pintado e João Iganci.

A plataforma de concursos de arquitetura Portal Projetar também desempenhou um papel importante para a realização deste trabalho, atuando na mediação entre a área acadêmica e o ambiente profissional responsável pelos jurados do concurso aqui citado. Além disso, possibilitou uma coletânea de trabalhos que fomentam a discussão da utilização do desenho paramétrico como metodologia de projeto em escala nacional.

## Referências

AGUIRRE, Noélia de Moraes, PIRES, Janice de Freitas, BORDA, Adriane Almeida da Silva. *Como eu projeto?* VXIII CIC XI ENPOS Mostra Científica. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/390753585/Como-eu-Projeto-pdf>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

BARATTO, Romullo. *Brinque com a versão paramétrica do Serpentine Pavilion do BIG*. 2016. Disponível em: <<https://cutt.ly/OhimvJA>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

CELANI, Gabriela, VAZ, Carlos, PUPO, Regiane. *Sistemas generativos de projeto: classificação e reflexão sob o ponto de vista da representação e dos meios de produção*. 2013. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~lapac/publicacoes.htm>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

CONRADT, Leandro. *Arquitetura generativa: parâmetros e algoritmos*. 2017. Disponível em: <[https://issuu.com/leandroconradt95/docs/arquitetura\\_generativa\\_-\\_par\\_metros](https://issuu.com/leandroconradt95/docs/arquitetura_generativa_-_par_metros)> Acesso em: 23 Nov. 2020.

CURTI, Vitor. *Formas generativas. O desenho do processo*. 2018. Disponível em: <[https://issuu.com/vitorcurti/docs/formas\\_generativas\\_o\\_desenho\\_do\\_obj](https://issuu.com/vitorcurti/docs/formas_generativas_o_desenho_do_obj)> Acesso em: 23 Nov. 2020.

DAVIS, Daniel. *A History of Parametric*. 2013. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

FERNANDES, Rita Margarida Serra. *Desenho Generativo: uma nova fase no processo de projeto*. 2013. Disponível em: <<https://cutt.ly/ehivD98>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

INGELS, Bjarke et al. *Yes is more: an archicomic on architectural evolution*. 2009. Editora Evergreen. 2009.

JANTZEN, Sylvio Arnaldo Dick, JUNIOR, Antonio Carlos Porto, FERNANDES, Gabriel Silva. *É possível (aprender e ensinar a) projetar*. 2009. Editora e Gráfica Universitária da UFPel. 2009.

KOLAREVIC, Branko. *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. 2004. Editora taylor & Francis. 2004.

MARTINO, Jarryer Andrade de et al. *Algoritmos evolutivos como método para desenvolvimento de projetos de arquitetura*. 2015. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258033/1/Martino\\_JarryerAndradede\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258033/1/Martino_JarryerAndradede_D.pdf)> Acesso em: 23 Nov. 2020.

POLONINI, Flávia Biccass da Silva. *A modelagem paramétrica na concepção de formas curvilíneas da arquitetura contemporânea*. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/15339>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

Portal Projetar. *Concurso de arquitetura 034. Parklet 4.0*. 2020. Disponível em: <<https://projetar.org/vencedores/59/parklet-4.0-034>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

ROCHA, Carlos Jose Trindade da, MALHEIRO, João Manoel da Silva. *Metacognição e a experimentação investigativa: a construção de categorias interativa dialógicas*. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/jatsRepo/1171/117158942033/html/index.html>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

SCHÖN, Donald A. *La formación de profesionales reflexivos: hacia un nuevo diseño de la enseñanza y el aprendizaje de las profesiones*. Barcelona: Paidós, 1992. Traduzido de: *Educating the reflective Practitioner*, 1987.

SCHUMACHER, Patrik. *The Autopoiesis of Architecture, Volume I: A New Framework for Architecture*. Editora John Wiley & Sons. 2011.

SOUZA, Eduardo. *Como o Design Generativo deve impactar a arquitetura?* 2020. Disponível em: <<https://cutt.ly/ohinmuC>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

VITRÚVIO, Marco. *Os dez livros de arquitetura de Vitruvius: corrigidos e traduzidos em português por Maria Helena Rua*. Lisboa: Decist, 1998. Disponível em: <<http://www.civil.ist.utl.pt/~hrua/Publica/Vitruvio.pdf>> Acesso em: 23 Nov. 2020.

# MODELO PARAMÉTRICO PARA COMPATIBILIDADE AMBIENTAL DE MUSEUS DE ARTE EM REGIÕES SUBTROPICAIS

## PARAMETRIC MODEL FOR ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY OF ART MUSEUMS IN SUB-TROPICAL REGIONS

Laline Cenci<sup>1</sup> e Rodrigo Garcia Alvarado<sup>2</sup>

### Resumo

Este artigo apresenta um modelo paramétrico para auxiliar na concepção de edifícios de museus com compatibilidade ambiental no clima subtropical úmido. Os museus têm apresentado diferentes concepções formais sem considerar o clima. A metodologia é dividida em quatro etapas: bibliográfica, onde apresentam-se os padrões e níveis de conflito no clima interior; estudos de caso, nos quais se analisam aspectos relacionados à forma da edificação, registros ambientais e consumo energético; entrevistas diretas e implementação paramétrica. Os casos estudados são: FIC em Porto Alegre, MON em Curitiba e MUBE em São Paulo, cujos distintos resultados sugerem influências de estratégias formais para satisfação e demanda de energia térmica.

Palavras chave: modelo paramétrico, compatibilidade ambiental, museus de arte.

### Abstract

*This article presents a parametric model to assist in the design of environmentally compatible museum buildings in the humid subtropical climate. Museums have presented different formal concepts without considering the climate. The methodology is divided into four steps: bibliographic, where the patterns and levels of conflict in the indoor climate are presented; case studies, in which aspects related to building form, environmental records and energy consumption are analyzed; direct interviews and parametric implementation. The case studies are: FIC in Porto Alegre, MON in Curitiba and MUBE in São Paulo, whose different results suggest influences of formal strategies for satisfaction and for thermal energy demand.*

*Keywords: parametric design, environmental compatibility, museum of art.*

### Introdução

O hábito de guardar e coletar objetos significativos pertence à história da humanidade. Em termos de arquitetura, a necessidade humana de coletar itens e contar sua história requer armazenamento em um espaço construído. O museu é o lugar em que sensações, ideias e imagens de pronto irradiadas por objetos e referenciais ali reunidos iluminam valores essenciais para o ser humano. Espaço fascinante onde se descobre e se aprende, nele se amplia o conhecimento e se aprofunda a consciência da identidade, da solidariedade e da partilha (Instituto Brasileiro de Museus- IBRAM, 2020).

De acordo com o estudo do IBRAM (2020), o Brasil entrou no século XX com 12 museus e agora tem 3.897. Também se estimou que, em 2017, os museus de todo o país foram visitados por um total de 1.223.113 visitantes, sendo que, dos 5.564 municípios brasileiros, 1172 (21,1%) deles possuem pelo menos um museu. A meta do instituto é aumentar os números para que metade das cidades tenha pelo menos um museu, o que significa, com base na estimativa de 2017, mais de 1600 novos museus no país com mais de 250 milhões de visitantes por ano, a maioria desses museus são alocados em clima subtropical úmido. A crescente demanda por cultura e pelos melhores locais de exposição incentiva as pessoas a se agruparem e a passarem cada vez mais tempo cercadas por elementos culturais importantes, como livros, esculturas, fotografias, documentos e pinturas.

Para administrar um museu, é essencial manter seu acervo dentro de valores ambientais adequados, como umidade e temperatura, para garantir sua preservação e, ao mesmo tempo, proporcionar aos visitantes uma experiência de conforto aceitável. O problema é que algumas das exigências ambientais das obras de arte nem sempre correspondem ao conforto térmico que as pessoas que o visitam. Portanto, é necessário estabilizar o clima interno do museu para atender aos dois parâmetros: temperatura e umidade. No entanto, para estabelecer os requisitos nestes padrões no clima subtropical úmido, cuja oscilação de temperatura ao longo do ano é bastante variada, a solução é contar com um sistema de ar condicionado.

Sabe-se que as decisões sobre a forma da arquitetura e os materiais de construção do edifício têm uma influência decisiva nas condições de conforto interno e por consequência no seu consumo energético. Assim, pesquisar a satisfação dos visitantes, no que diz respeito à sensação térmica e aceitabilidade em edifícios, procura estabelecer os parâmetros para projetar e construir ambientes adequados em função não só do clima, mas também da saúde e do conforto dos seus usuários (AULICIEMS E SZOKOLAY, 2007). Outro estudo, como o de Jeong e Lee (2006), afirmam que os elementos físicos do museu interferem na satisfação do usuário. Fatores como o tamanho do prédio têm um efeito sobre os visitantes que é perceptível pela quantidade de tempo que passam dentro do prédio. Padfield e Larsen (2010) asseguram que os estudos devem ser mais amplos e que nem sempre é necessário manter a temperatura e umidade de forma inflexível. Portanto, a questão emergente é: quais características geométricas têm os edifícios de museus de arte que mostram melhor compatibilidade ambiental?

O clima é um agente de primeira ordem no design porque tem uma forte influência sobre muitos fatores, como volume, forma, orientação e organização do espaço, conforto do usuário, conservação de objetos, iluminação interior, integração do ambiente, materiais e sistemas de construção e localização. A construção vai depender em grande medida do clima e suas demandas. A compacidade, esbeltez, porosidade e perfuração juntamente com a orientação da geometria do edifício são variáveis importantes a considerar no comportamento térmico ambiental do edifício

<sup>1</sup> Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela *Universidad Del Bio-Bio/ Chile*, Docente da UFSM-CS.

<sup>2</sup> Doutor em *Comunicacion Visual* pelo *Universidad Politecnica de Cataluna/ Espanha*, Docente da *Universidad del Bio-Bio/ Chile*.

(SERRA E COCH, 1995).

O objetivo deste estudo é verificar a compatibilidade ambiental em três estudos de caso e relacionar a sua configuração formal ao seu impacto energético. Esse processo considera a revisão dos parâmetros ambientais exigidos para os museus de arte em clima subtropical úmido, comparando os valores de conservação de temperatura e umidade das obras, satisfação térmica dos visitantes e, junto com esses critérios, a Compatibilidade Ambiental - CA (CENCI *et al.*, 2015).

Além disso, considera-se os requisitos energéticos fornecidos pelos equipamentos e tecnologia para serem os mais eficientes possíveis e atuarem como um complemento à solução arquitetônica adequada. Em última análise, o objetivo principal desta pesquisa é uma proposta de modelo paramétrico para auxiliar no processo de projeto para gerar geometrias para museus de arte que atendam aos requisitos de Compatibilidade Ambiental. Os parâmetros derivam das condições higrotérmicas de conservação das obras e da satisfação térmica dos usuários e consumo energético. Tal objetivo é alcançado por meio da revisão de três estudos de casos de museus de arte brasileiros em clima subtropical úmido.

### **Compatibilidade Ambiental (CA) de Museus de Arte em Regiões Subtropicais**

Denomina-se Compatibilidade Ambiental (CA) o valor determinado pelo atendimento aos Requisitos de Obras de Arte (RA) e Satisfação Térmica dos Usuários (SU) em extremos climáticos como inverno e verão (CENCI *et al.*, 2015, p.137).

Para tanto, foram comparados os dados de temperatura e umidade coletados do ambiente com as necessidades de materialidade da obra, em uma tabela de simultaneidade para cada período, inverno e verão, conforme especificado pela UNI 110829 (2001). Estes padrões são interpretados como um guia para avaliação da temperatura do ar, umidade para superfície de objetos expostos em espaços confinados (GENNUZA *et al.*, 2008).

No entanto, na mesma exposição podem existir materiais diferentes, papel fotográfico a preto e branco e documentos, como livros, que necessitam respectivamente de 15°C e 19°C. O ASHRAE Handbook (2007) recomenda uma umidade relativa abaixo de 60% e uma temperatura entre 15°C e 25°C para museus em geral. Thomson (1978) sugeriu que os limites de umidade deveriam estar entre 65% e 45%. Bellia (2007) e Ascione (2009) finalmente propuseram uma temperatura do ar interno de 22±1°C e umidade relativa de 50±5% para as salas de exposição, portanto estes são os valores reconhecidos e tidos como ideais para museus de arte no Brasil.

Salienta-se aqui que a busca de valores de temperatura e umidade (20° C com variação de 2° e 50% de umidade, com variação de 5%) ideais no clima subtropical úmido do Brasil, para preservação das obras, o uso de equipamentos torna-se imprescindível, o que acarretará no consumo energético (CENCI *et al.*, 2013).

### **Estudos de caso**

Segundo o Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM, 2020), a maioria dos museus, 52% deles, concentra-se no clima subtropical úmido, e as cidades com maior número de museus são São Paulo (123 museus), Curitiba (40 museus) e Porto Alegre (53 museus). Portanto, essas cidades possuem o maior número de visitantes, o que permite avaliar uma maior satisfação térmica. Selecionou-se um estudo de caso

recente e significativo de cada cidade, museus de arte de acervos semelhantes, abrigados em ambientes não compartimentados, onde o acervo e os usuários se encontram nas mesmas condições ambientais. Os estudos de caso selecionados são obras arquitetônicas de autoria de arquitetos de renome internacional. Esses trabalhos são bem conhecidos por seus aspectos formais, porém suas características bioclimáticas e ambientais, bem como o desempenho térmico, de forma geométrica, geralmente não são discutidas.

### **Fundação Iberê Camargo- FIC**

A FIC foi inaugurada em 2008, em Porto Alegre (-30° 01' 59" S; -51° 13' 48" W), Estado do Rio Grande do Sul. O projeto é do arquiteto português Álvaro Siza Vieira, a fachada principal está voltada para o Lago Guaíba e a posterior está voltada para um pequeno morro. O edifício é constituído por um volume principal que alberga as salas de exposição que estão interligadas em forma de "L", conformando um átrio que inicia no pavimento térreo e três pisos superiores. Áreas de apoio como acervo, auditório, biblioteca, oficinas, salas de treinamento e utilidades estão localizadas no subsolo. A temperatura e a umidade do prédio são monitoradas 24 horas por dia. O sistema de ar condicionado esfria à noite, quando o custo da eletricidade é mais barato. Segundo os responsáveis pela instituição, o prédio consome de 30% a 40% menos energia do que as construções convencionais. Possui ainda captação de águas pluviais e tratamento de resíduos sólidos e líquidos.

### **Museu Oscar Niemeyer- MON**

O MON foi inaugurado em 2008 em Curitiba (-25° 31' 52" S; -49° 10' 32" W), Estado do Paraná. Este edifício foi construído em 2002, conhecido como "olho" pela sua semelhança, é um dos exemplares da arquitetura moderna brasileira. O prédio de 30 metros de altura, projetado por Oscar Niemeyer, fica em frente a um prédio histórico e um túnel faz a ligação entre os dois. O showroom está localizado no lado convexo da estrutura em forma de olho, que tem 12 metros de altura no centro, destinando mais de 1,6 mil metros quadrados para exposições. As áreas de apoio, como auditório e casa de banho, localizam-se no lado côncavo do "olho". Externamente, 316 metros de rampas ligam o prédio à rua principal. Para manter a temperatura e a umidade interna dentro dos padrões ideais, o consumo de energia do prédio é bastante elevado e, sem ar condicionado, a temperatura interna é de cerca de 55 °C no verão.

### **Museu Brasileira da Escultura- MUBE**

O Museu Brasileiro da Escultura, projetado por Paulo Mendes da Rocha, fica em um sítio triangular de sete mil metros quadrados, em uma rua importante da cidade de São Paulo (-23° 32' 51" S; -46° 38' 10" W), Estado de São Paulo. Inaugurado em 2007, possui grandes lajes de concreto que criam um espaço interno parcialmente subterrâneo e conforma também uma praça externa com espelho d'água e uma esplanada. Uma imensa viga de concreto, com 60 metros de comprimento, confere presença ao museu, ao mesmo tempo que garante à praça externa a necessidade de sombra e abrigo. As várias alturas do pé direito nas salas do interior do museu criam um espaço ao ar livre em degraus que é dividido pela fissura de entrada. Essas diferentes alturas também acomodam os degraus necessários para criar assentos ao ar livre para o espaço da praça, dando-lhe uma multifuncionalidade que geralmente é necessária para instituições de arte e seu tratamento de espaço aberto. Um aspecto interessante da viga de concreto elevada e, possivelmente, consequência não

intencional, é emoldurar os arredores.

## Metodologia

A metodologia utiliza-se da coleta de informações a partir de estudos de caso que permite uma maior aproximação aos problemas apresentados, em prol da compatibilidade ambiental. A partir disso, a coleta de dados de suas características das formas da edificação e a sua compatibilidade ambiental é proposta para implementação paramétrica.

A Avaliação da Compatibilidade ambiental é apresentada por Cenci *et al.* (2015) que, a partir de seu estudo apresenta como possibilidade a proposta de concepção de edifícios ambientalmente adequados, através da modelagem paramétrica. Para a compatibilidade ambiental dos edifícios estudados, a temperatura e a umidade foram registradas (medidas *in situ* ou de acordo com os registros ambientais médios dos últimos três anos) durante os períodos de alta demanda de energia no inverno e verão. Os dados climáticos foram avaliados de acordo com a satisfação do usuário e requisitos térmicos, para diferentes tipos de obras de arte, de acordo com o UNI 10829/2001.

Para avaliar a satisfação térmica do usuário, foi realizada uma consulta por meio de uma avaliação subjetiva, foram consultados 264 visitantes. O número de usuários pesquisados foi igual à média do dia mais visitado em cada caso, a faixa etária ficou entre 18 e 65 anos e a avaliação foi realizada durante o inverno e verão de 2012. O total de entrevistados na FIC, foram 45 avaliações no verão e 50 no inverno; no MON foram 30 no verão e 50 no inverno; e no MUBE, 39 avaliações no verão e 50 no inverno. As pesquisas foram realizadas, em média, 20 a 30 minutos após a entrada do usuário na exposição e no período da tarde, entre 15h e 17h.

Os resultados do CA- Compatibilidade Ambiental, nos três estudos de caso, apresentam-se na tabela abaixo:

	Consumo (Kwh/m <sup>2</sup> año)	CA = SU* (SU inverno + SU verão) + RO**	CA
Fundação Iberê Carmargo (FIC)	141	(95 + 92 + 72 + 72). 0,25	82,75
Museu Oscar Niemeyer (MON)	546	(76 + 96 + 73 + 72). 0,25	79,25
Museu da Escultura Brasileira (MUBE)	100	(62 + 96 + 35 + 57). 0,25	62,5

\* SU: satisfação do usuário; \*\* RO: Requerimento para as obras

## Discussão

Os resultados mostram variação significativa entre os três casos, embora não sejam regulares, dois deles apresentam pesquisa de SU igualmente baixa (MON e MUBE). Quanto ao RO das obras, em ambos os casos, foram encontrados valores relevantes, evidenciando situações diferentes, que poderiam estar relacionadas às suas configurações arquitetônicas e às condições de ocupação detectadas. Por exemplo, os valores de FIC para ambas as condições adequadas, no MUBE os resultados são

menores nos dois requisitos, embora com menor consumo. Enquanto a insatisfação do usuário, MON apresenta apenas uma obra de arte de manutenção adequada.

Isso pode ser vinculado para formar estratégias e gestão de cada edifício. No FIC e no MON, o ambiente estava sendo aquecido pelo sistema de ar condicionado, enquanto o MUBE não utiliza nenhum tipo de equipamento. Os três edifícios têm expressões formais únicas, sob o mesmo clima, têm exposições semelhantes construídas, na sua maioria, em concreto armado aparente, têm proporções volumétricas semelhantes e capacidade para alojar visitantes. O FIC é um volume compacto de quatro andares com um átrio que se conecta e tem a superfície mais opaca. O MON é um grande volume de um único piso com uma superfície translúcida em ambos os lados. O MUBE é um volume de um andar, três cômodos interligados, porém subterrâneos, que apresentam um comportamento diferente em relação ao clima, talvez afetem diretamente a satisfação do usuário. De acordo com os resultados as características de sua forma geométrica contribuem para o CA (CENCI *et al.* 2015).

Isto aponta uma lacuna de investigação para a implementação paramétrica das características do melhor estudo de caso, a FIC.

## Implementação do Modelo Paramétrico

O trabalho sobre ferramentas computacionais avançadas mostra um processo interativo entre a prática de projeto e a avaliação do impacto das decisões arquitetônicas. O uso de procedimentos paramétricos muda o processo tradicional de descoberta de forma, muito ligado à experiência e intuição do projetista, e incentiva a expressão das condições e da relação por trás dos julgamentos pessoais usados para selecionar e avaliar a qualidade dos projetos.

Algoritmos paramétricos e genéticos têm demonstrado diversas aplicações em projetos arquitetônicos. Turrin *et al.* (2011, 2012) mostra os benefícios da combinação de modelagem paramétrica e seleção genética para melhorar os resultados das explorações geométricas em relação aos ganhos solares e luz natural. Wang, *et al.*, (2007) desenvolveram uma aplicação paramétrica para resolução de fachadas com conforto térmico e redução do consumo de energia. Existem também estudos sobre otimização multiobjetivos como em Torres & Sakamoto (2007) estudos sobre procedimentos evolutivos para desenvolver envelopes de acordo com a luz solar e requisitos visuais.

A possibilidade de geração de novas geometrias através do desenho paramétrico associado com as características geométricas para o projeto arquitetônico bioclimático desenvolvido por Serra e Coch (1995) como compacidade, porosidade, esbeltez e perfuração de cada forma, possibilitam uma interface de ajuste simultâneo entre a forma e o desempenho (CENCI *et al.*, 2013).

Os sistemas paramétricos apresentam-se como uma nova alternativa onde os conceitos de design e programação se combinam para serem adaptados ao campo do design, procurando explorar as possibilidades existentes em torno do desenvolvimento de uma ideia geométrica e construir uma nova forma de pensar os problemas na Arquitetura e Urbanismo. Atualmente, existem várias ferramentas de modelagem tridimensional que permitem aos projetistas modelar geometrias em uma tela. No entanto, apresentam limitações que não permitem que o processo de modificação seja realizado de forma rápida e fácil. O projeto paramétrico oferece a possibilidade de encontrar novas maneiras de originar soluções e controlar o processo de projeto. Desta forma, há tanto uma automação no que diz respeito à definição

das geometrias, quanto na geração de um modelo que possibilite alterações e / ou edições ao projeto de forma ágil e significativa (TEDESCHI, 2011).

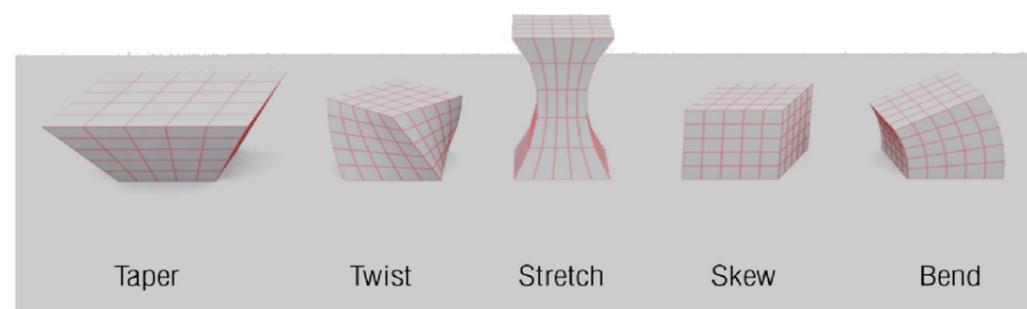
### Descrição do procedimento para Modelagem Paramétrica

Para o início do procedimento, primeiramente foi criado um volume inicial proposto: um cubo baseado nas dimensões dos estudos de caso já mencionados, como largura, comprimento e altura. A altura do edifício estabelece a quantidade e altura dos níveis subsequentes, bem como define um átrio (continuidade vertical do espaço, ou seja, 1/3 da altura). Esses parâmetros são denominados na Tabela 2:

	Parâmetro	MUBE	MON	FIC
1	Área de Projetada (m <sup>2</sup> )	3.071,34	2.100	849
2	Área Total(m <sup>2</sup> )	3.071,34	2.934,5	2.450
3	Longitude máxima em x (m)	85	70	45
4	Longitude máxima em y (m)	55	30	22
5	Altura máxima z (m)	5	30	25
6	Número de Pavimentos	1	2	4
7	Átrio	-	-	1/3

Portanto de acordo com a Tabela 1, uma geometria mínima possível, com área mínima para um museu é de aproximadamente 500m<sup>2</sup> (22 metros de largura, 22 metros de comprimento e 5 metros de altura, em um prédio térreo). Isto porque, além das dimensões mínimas dos estudos de caso, considerou-se como mínimo 500m<sup>2</sup>, valor que se refere a metragem quadrada média dos museus no Brasil (IBRAM, 2010 p. 98); e para um museu com área máxima de 6.500m<sup>2</sup>, baseado no estudo de caso com melhor CA, 45 metros de largura e 45 metros de comprimento, em um prédio de quatro pavimentos.

Com estes valores do domínio de valores dimensionais, o seguinte passo foi a aplicar as transformações tridimensionais ao volume inicial. Para este volume inicial são designadas quatro diferentes transformações tridimensionais que modificam a geometria, conforme parâmetros do trabalho de Marin *et al.* (2008), que utiliza: *Taper*, *Twist*, *Stretch*, *Skew* e *Bend*, como ilustra a Figura 1 a seguir:



A modelagem paramétrica, permite que, ao mesmo tempo quem que são aplicadas as transformações tridimensionais ao volume inicial, equações relacionadas a geometria da edificação que influenciam no consumo, segundo Serra e Coch (1995) são: compacidade, esbeltez, porosidade e perfuração. Estas características estão diretamente ligadas ao volume de ar que demanda energia para resfriar ou aquecer.

Tabela 2: Domínio das dimensões Geométricas. Fonte: Cenci *et al.* (2015 p. 153). Tradução própria, 2020.

Figura 1: Transformações Tridimensionais exploradas. Fonte: Marin *et al.*, (2008).

As equações (1,2 e 3) parametrizadas são:

$$1. \quad c = \frac{Seq}{Sg} \quad \therefore \quad 4,836 \frac{Vt^{2/3}}{Sg} \quad (adimensional)$$

Onde: c = coeficiente de compacidade, (valores entre 0 e 1); Seq = superfície equivalente; Vt = volume total do edifício, incluídos os pátios; Sg = superfície global da envolvente do edifício.

$$2. \quad p = \frac{Vep}{Vt} \quad \therefore \quad 0,094 \frac{Spp^{3/2}}{Vt} \quad (adimensional)$$

Onde: p = coeficiente de porosidade do edifício, (valores entre 0 e 1); vep = volume equivalente de pátios; Vt = volume total do edifício, incluídos os pátios; Spp = (superfícies paredes pátios + superfícies faces abertas).

$$3. \quad e = \frac{h}{d} \quad \therefore \quad \frac{h}{\sqrt{\frac{Vt}{h}} \cdot h^2} \quad (adimensional)$$

Onde: e = coeficiente de esbeltez; h = altura do edifício; So = superfície ocupada em planta ou superfície média; r = raio do círculo de superfície S.

A partir do domínio de valores dimensionais, define-se a área do térreo, o número de pavimentos, após este, os valores referentes a compacidade, esbeltez e porosidade devem ser equivalentes ao melhor estudo de caso- FIC. Este modelo de implementação paramétrica é exposto no Diagrama 1, a seguir:

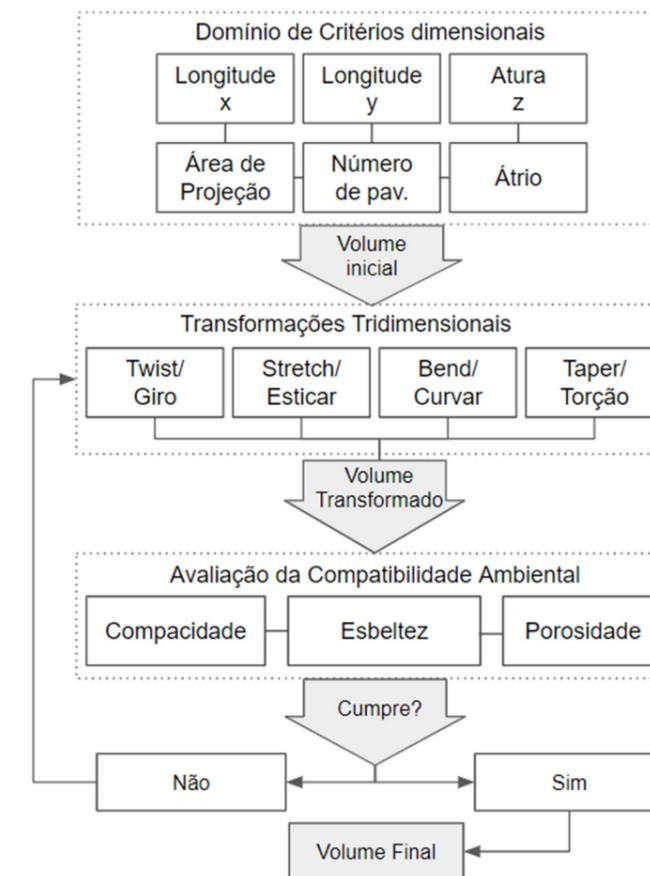


Diagrama 1: Implementação Paramétrica. Fonte: Cenci *et al.* (2015 p. 155), Tradução própria, 2020.

A parte inferior do diagrama mostra o domínio dos critérios ambientais, ou seja, a avaliação da Compatibilidade Ambiental. Esses valores são manipulados em geometrias resultantes onde os dados de superfície e volume global associados às equações de compactação, porosidade, esbeltez e geometria de perfuração simultaneamente para avaliar seu desempenho projetados com CA. Das três equações propostas para implementação do projeto paramétrico, uma foi predeterminada: a porosidade. Isto se deve porque a característica de porosidade não é observada em nenhum dos três estudos de caso possui o pátio, por isto foi considerado na proposta que as geometrias geradas pela programação também deveriam possuir tal característica. No que se refere a perfuração (superfície envidraçada) considerou-se 5% para a fachada sul, 25% para as fachadas norte e leste e oeste 0% propriedades pertencentes ao melhor estudo de caso, a FIC. Assim, os valores referentes a esbeltez e compacidade são alternados à medida que as transformações são aplicadas a geometria de modo simultâneo.

A ferramenta utilizada para a implementação de uma plataforma de projeto foi construída com o sistema de programação paramétrica Grasshopper® na ferramenta de modelagem tridimensional Rhinoceros®. De acordo com Turin, *et al.*, (2011) existem benefícios significativos na combinação de modelagem paramétrica e algoritmos em estágios iniciais de projeto, o que permite ter rapidamente várias soluções para um problema explorando geometrias.

Essas ferramentas podem conectar uma ou mais estratégias de configuração de projeto por meio da definição de parâmetros relevantes e precisos de um estudo de caso específico, especialmente para implementação em geometrias para museus no clima subtropical úmido do Brasil.

### Descrição do procedimento da modelagem de novas geometrias

A seção anterior descreveu como os algoritmos foram definidos e como operar o Modelo Paramétrico (MP) de geração geométrica para alcançar a CA em edifícios de museus no clima subtropical úmido brasileiro. Objetiva-se aqui descrever os procedimentos de utilização da plataforma de ferramentas de desenho Rhinoceros® em associação com o plugin Grasshopper®. O primeiro passo é abrir o Rhinoceros® e depois digitar Grasshopper® na barra de comandos, a partir deste ponto deve-se dividir a tela entre os dois softwares. Na plataforma Grasshopper®, deve ser exibido um arquivo mostrando a definição do algoritmo do MP para CA. A Figura 2, exibe a interface com o algoritmo criado:

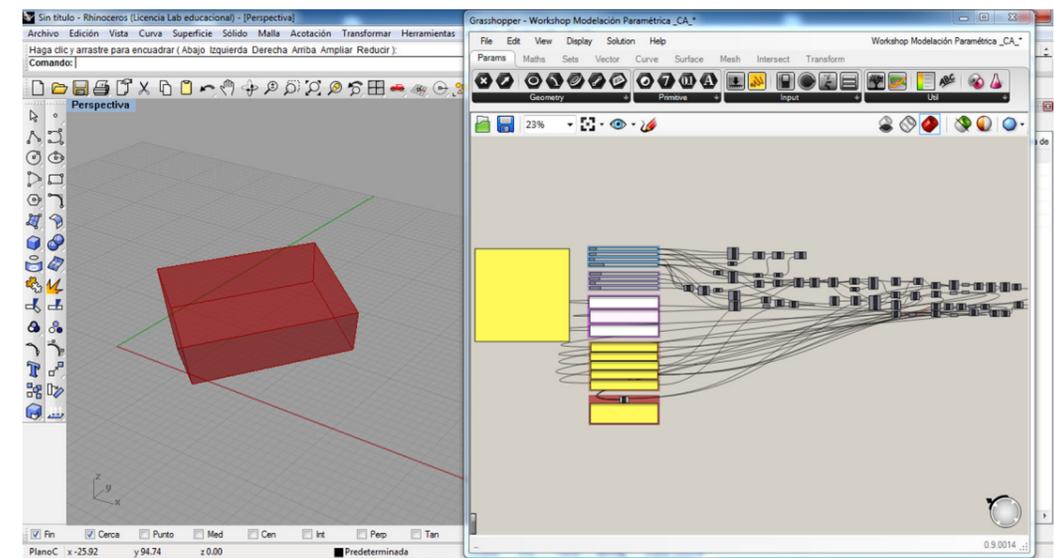


Figura 2: Implementação Paramétrica para CA na Interface. Fonte: Cenci et al. (2015, p. 156).

Para facilitar a modelagem, a interface classificou-se o parâmetro em cinco subgrupos de cores, ordenando cores diferentes de uma a cinco; assim, o usuário não modifica os conectores que descrevem a definição do algoritmo.

Para iniciar o processo de geração da geometria, primeiramente são modificados os parâmetros dimensionais do volume inicial, o usuário escolhe valores para as dimensões X, Y e Z (X sendo largura, Y sendo profundidade e Z sendo altura) nos controles deslizantes da caixa azul. Em seguida, aplica-se deformações tridimensionais nos controles deslizantes do grupo lilás, até seus valores de esbeltez (0,04) e compacidade (0,5) serem alcançados. Esses valores e deformações são verificados simultaneamente no grupo caixa rosa: Compatibilidade Ambiental. A Figura 3 a seguir mostra os grupos e suas respectivas cores:

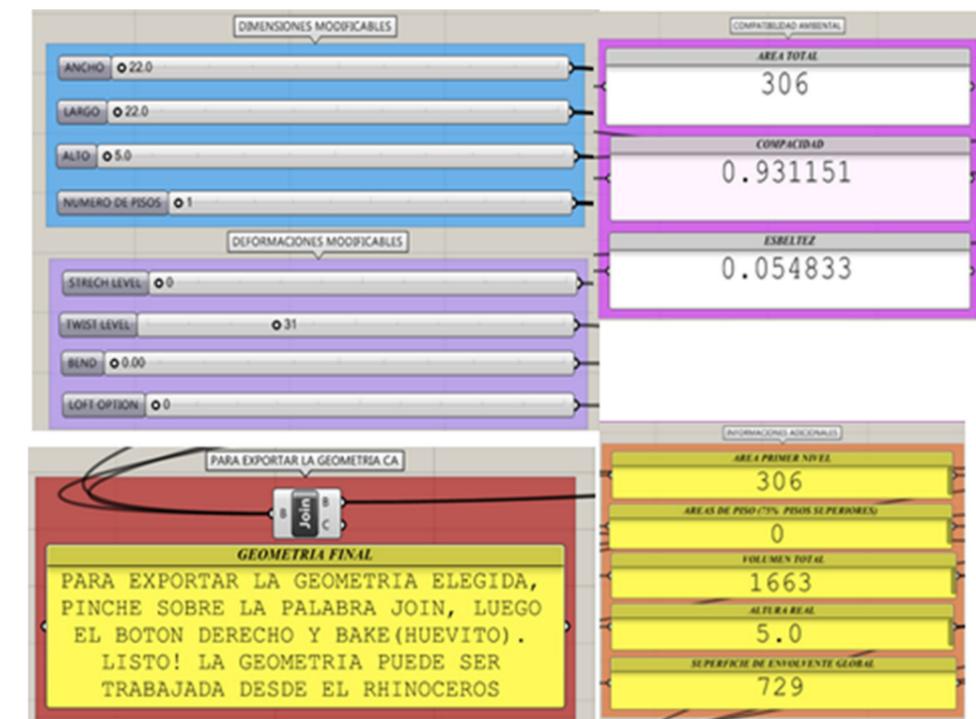


Figura 3: Parâmetros e categorias de cores. Fonte: Cenci et al. (2015, p. 158).

Os parâmetros que contém os grupos de cores acima são apresentados no Quadro 1 abaixo e descreve as informações respectivas, onde:

	Grupo	Parâmetro/ Variáveis
1	Azul: Dimensões	X, corresponde a um mínimo de 22m e máximo de 45m. Y, corresponde a um mínimo de 22m e máximo de 45m. Z, corresponde a um mínimo de 5m e máximo de 30m
2	Lilás: Transformações Tridimensionais	Aplicação das Transformações: <i>Taper, Twist, Stretch, Skew e Bend,</i>
3	Rosa: Valores para CA	Valores associados a Geometria Devem cumprir obrigatoriamente: Compacidade 0,5 e Esbeltez 0,04
4	Laranja: Informações Adicionais	Valores referentes ao Volume Final: Área total, área do primeiro pavimento, área dos pavimentos superiores (equivalente a 75% e 25% para o átrio) Volume total, altura e superfície da envolvente.
5	Vermelho: Volume Final	Indicações de como exportar a geometria

Todas essas mudanças implementadas parametricamente nos controles deslizantes da interface do *Grasshopper*® causam um efeito na geometria que é exibida na tela do *Rhinoceros*®. O último passo deste processo de implementação paramétrica é exportar esta geometria para outro software ou imprimi-la para que possa ser estudada como anteprojeto como plantas e seções e complementar as recomendações finais, como localização de superfície envidraçada nas fachadas correspondentes.

### Experiência da Implementação Paramétrica

A etapa final do desenvolvimento foi o teste da ferramenta para arquitetos. O *Workshop* foi realizado com um grupo de profissionais arquitetos de diversos países. Nenhum dos arquitetos tem experiência com projetos no clima subtropical do Brasil. No *workshop* de MP para CA, os profissionais passaram por uma etapa de capacitação e conhecimentos que abordam este trabalho e lhes foi apresentada como proposta a apresentação de volume de edifício de museu de arte contemporânea com critérios ambientais. Apresentou-se um terreno real em uma das cidades do estudo de caso. Após este momento se apresentou a ferramenta e após a capacitação, tiveram algumas horas para fazer uma proposta, com uma pequena apresentação composta por imagens e esquemas/croquis. Além disso, foi recomendado localizar o edifício com seu maior eixo ao norte, atender aos critérios de perfuração: 25% da área da fachada envidraçada ao norte e 5% na fachada sul e os valores de compacidade, esbeltez e porosidade da referentes a FIC. Durante apenas um dia, os participantes aprenderam sobre os conceitos relacionados à compatibilidade ambiental e como esses conceitos foram inseridos na ferramenta paramétrica.

A Tabela 3 a seguir apresenta as geometrias geradas pelos participantes do *workshop*

com a ferramenta proposta que atendeu aos valores específicos de compacidade de 0,5 e esbeltez de 0,04:

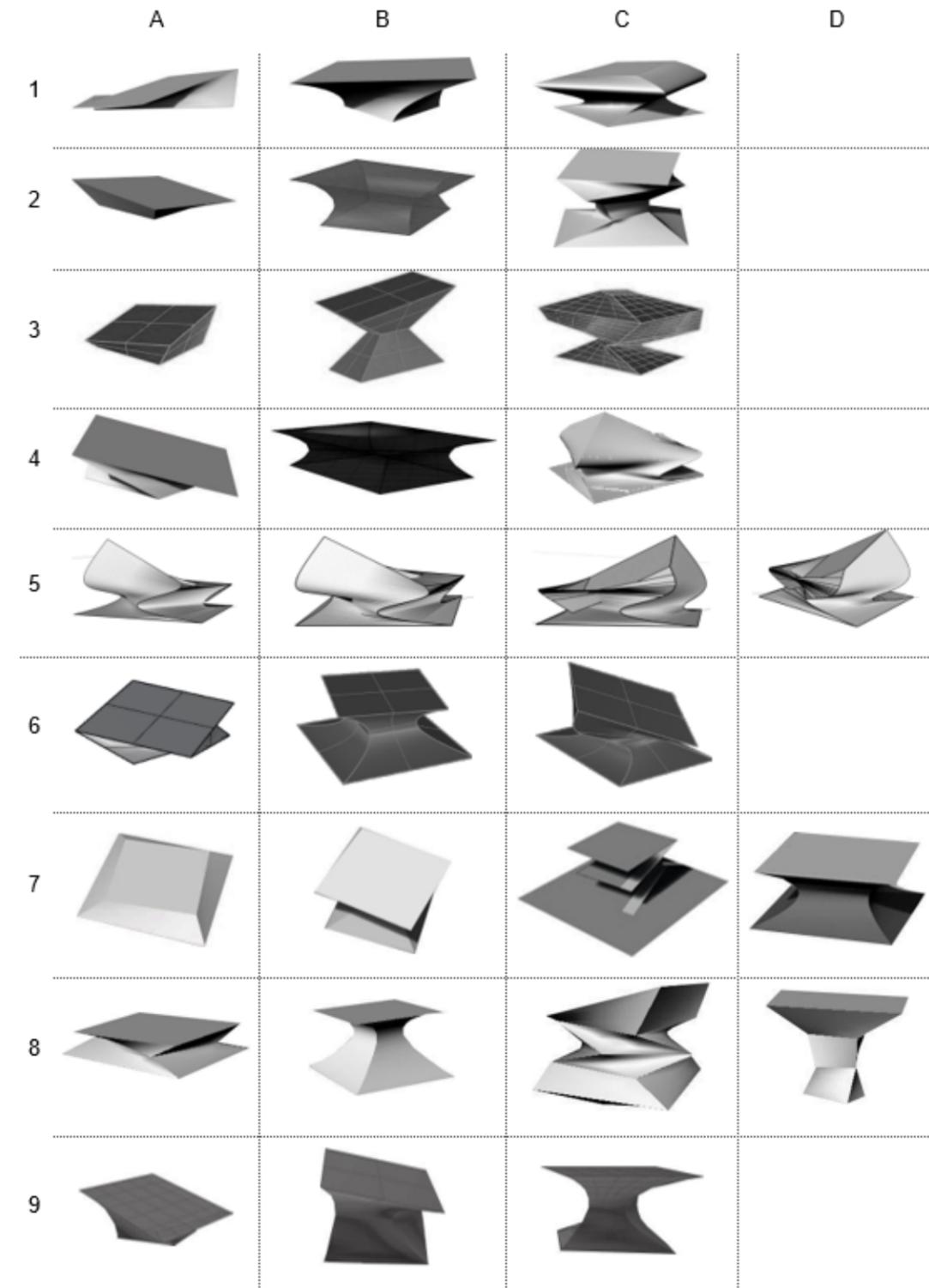


Tabela 3: Resultados dos participantes do Workshop. Fonte: Cenci et al. (2015, p. 161). Adaptação da autora, 2020).

## Discussões

A partir desta implementação do Modelo Paramétrico para a Compatibilidade Ambiental de Edifícios de museu no clima subtropical úmido do Brasil, faz-se necessário algumas ressalvas e apontamentos:

- Os valores exatos de compacidade e esbeltez utilizados são valores baseados unicamente em estudos de caso, portanto, não devem ser aplicados em qualquer edificação e/ou clima;
- A investigação foi direcionada para a concepção de novos edifícios de museus de arte, apesar de existir um grande número de edifícios não construídos para o efeito a serem utilizados para esta função;
- Arquiteturas de expressão excepcional não são suficientes para compatibilidade ambiental. Complementar uma arquitetura de qualidade espacial, contextual com estratégias climáticas é uma solução desejável.

Quanto aos participantes do workshop de Modelagem Paramétrica para a CA, todos manifestaram que compreenderam a ferramenta para o desenvolvimento da proposta. Alguns comentaram que para construir um museu tentariam encontrar na internet informações sobre alguns museus de arte nesse clima. Outros mencionaram que talvez mais importante do que verificar o clima seja analisar a localização e o tamanho das obras e a escala do ambiente. Por outro lado, refletiram: *é como um concurso e nem sempre se conhece o clima do local e tem que propor algo novo [...]* Da mesma forma, foi mencionado que: *não há muitas referências em climas tropicais ou subtropicais, e que nos climas onde referências são encontradas, o consumo está mais associado ao aquecimento do que ao resfriamento e, portanto, é difícil utilizá-los como referência.*

Também disseram que poderia ser replicado para que todos os museus, pois é sabido o quão importante é o controle da temperatura interna para as obras, e que: *então parece estranho que tal prioridade não seja levada em consideração de forma tão clara na fase inicial de projeto.* Da mesma forma, mencionaram que um grande número de museus oferece soluções técnicas muito além da solução formal ou que a solução formal não leva em conta o consumo de energia e materiais da área. Também se referiram à questão da expressividade das edificações, dizendo que é muito importante para o turismo, então pensariam em propor uma edificação com impacto visual, e Oscar Niemeyer também foi citado: conhecendo algumas obras do Brasil seria possível propor edifícios Gehry que são *como uma obra de arte que contém obras de arte [...]*.

Alguns participantes ressaltaram a variedade de geometrias encontradas mesmo usando os valores referentes ao estudo de caso e se sentiram confiantes quanto ao desempenho ambiental sugerido pela ferramenta, uma vez que nesta etapa inicial do processo de projeto não existe nenhum tipo de instrumento capaz de guiá-los para uma proposta ambientalmente adequada.

## Conclusões

Este trabalho demonstra o desenvolvimento de modelagem paramétrica para apoiar projetos arquitetônicos de museus de arte em regiões subtropicais, permitindo uma adequada compatibilidade ambiental. O desenvolvimento baseou-se em estudos de

caso e implementação computacional de algumas funcionalidades para a elaboração de uma ferramenta que promove a variedade e o desempenho das edificações.

As experiências do MON, MUBE e FIC, de arquitetos destacados, evidenciam uma capacidade profissional e disponibilidade das instituições, que podem ser distribuídas com apoio técnico, institucional e econômico para promover o sentido de preservação, conservação e histórico cultural em lugares de memória. Os casos estudados diferem em aspectos geométricos e da análise de consumo e compatibilidade ambiental, pode-se concluir que o FIC possui as características mais adequadas para o clima subtropical úmido, mas que, ao mesmo tempo, não representa um exemplo único a seguir. Verifica-se a possibilidade de gerar formas geométricas com as mesmas características, estimulando o aprendizado com obras arquitetônicas tão destacadas. Os valores referentes ao melhor estudo de caso, com relação a CA, a Fundação Iberê Camargo-FIC, nas equações de compacidade, esbeltez e porosidade apresentadas, foram inseridas na plataforma de desenho paramétrico e possibilitou gerar uma variedade de formas com as mesmas características. Apesar de ser uma ferramenta restrita, devido a abordagem em estudos de caso, a ferramenta demonstrou-se bastante prática, pois gera geometria ao mesmo tempo que os valores podem ser observados. Por fim, foi possível verificar que o processo de MP, foi aqui apresentado e é sugerido como alternativa onde os conceitos de concepção e critérios ambientais são combinados para serem adaptados às etapas iniciais do processo de projeto. Procura-se ainda explorar as possibilidades existentes em torno do desenvolvimento de um processo paramétrico capaz de propor e avaliar soluções arquitetônicas cada vez mais assertivas quanto às respostas climáticas, assim constituir-se uma forma de repensar os problemas neste âmbito.

A implementação do conceito de Compatibilidade Ambiental em uma ferramenta de projeto implica uma mudança no ato de projetar. Novos métodos podem ajudar os arquitetos a explorar geometrias mais complexas e eficientes, garantindo o desempenho ambiental de sua proposta ainda nos estágios iniciais de projeto. Pois bem, seja qual for a forma, o que se pretende atualmente é otimizar recursos técnicos e ambientais para a gestão e utilização de espaços públicos de qualidade, por sua vez, isto abre novas portas para outras formas de projetar e pensar o espaço.

## Referências

ANSI/ASHRAE Standard 55, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 2004.

AULICIEMS, Andris; SZOKOLAY Steven. *Thermal Comfort. PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture the University of Queensland Brisbane.*

CENCI, Laline; ALVARADO, Rodrigo Garcia; MUÑOZ, Jaime Jofré. *Compatibilidad ambiental en museos de arte: tres casos de estudio en el clima subtropical húmedo de Brasil.* *Arquitectura Revista*. Vol. 9, n. 2, p. 112-124, jul/dez 2013. DOI: <https://doi.org/10.4013/arq.2013.92.04>.

CENCI, Laline; ALVARADO, Rodrigo Garcia.; MUÑOZ, Jaime Jofré. *Compatibilidad ambiental y modelación paramétrica del volumen, tres casos de estudio: FIC, MON y MUBE.* Tese de Doutorado. *Universidad del Bío-Bío*. Concepción, Chile. 2015.

GENNUZA, Maria La; RIZZO, Gianfranco; RODONO, Giuseppe; SCACCIANOCE,

Gianluca, PIETRAFESA, Matilde. *Comfort and artwork saving in museums: comparing indoor requisites. International Journal of Sustainable Design*, pag. 199 - 222. Volume 1, Number 2 / 2009.

GENNUZA, Maria La; LASCARI, Giovanni; Rizzo, Gianfranco; Scaccianoce, Gianluca. *Conflicting needs of the thermal indoor environment of museums: In search of a practical compromise. Journal of Cultural Heritage*, Vol. 9125-134, Palermo, 2008.

GÓMEZ, Analia Fernanda. *Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos. Actas do I SEMINÁRIO DE INVESTIGAÇÃO EM MUSEOLOGIA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA E ESPANHOLA*, Volume 2, pp. 19-33, 2006.

IBRAM. *Instituto Brasileiro de Museus*. Disponível: <http://www.ibram.gov.br/>. Acesso em novembro de 2020.

ISO 7730, *Ergonomics of the Thermal Environment and Analytical determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD. International Organization for Standardization*. Geneva, 2005

JEONG, Jae-Hoon; LEE, Kyung-Hoon. *The physical environment in museums and its effects on visitor's satisfaction*. sl: Building and environmental, Vol. 41. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132305001460>. Acesso 30/03/2021.

KOLAREVIC, Branko. *Architecture in the Digital Age: Design and manufacturing*. New York: Spon Press, 2013.

MITCHELL, William J. *The theoretical foundation of computer-aided architectural design. Environment and Planning B*, v. 2, n. 2, 127-150, 1975. Doi:10.1068/b020127.

MITCHELL, William J. *A Lógica da Arquitetura: projeto, computação e cognição*. Tradução de Gabriela Celani. São Paulo: Editora da USP, 2008. ISBN: 8523807986.

MITCHELL, William J.; MCCULLOUGH, Malcolm. *Design Digital Media*. Canadá: John Wiley & Sons, 1995.

MARIN, Philippe; BIGNON, Jean-Claude; LEQUAY, Hervé. *Paramètres environnementaux et mécanismes de conception évolutionnaire*. (2008) Disponível: [<http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00440272>]. Acesso em 30/03/2021.

MONTANER, Josep María. *Museos para el siglo XXI*. España. Gustavo Gilli. 2003.

PADFIELD Tim; BORCHENSEN, Karen. *Museum Microclimates*. National of Denmark. 2007

PADFIELD, Tim; LARSEN, Poul Klensz; *Does a standard temperature need to be constant?* Energy Strategies Committee, January 6, 2010. Disponível em: [https://www.conservationsphysics.org/ppubs/standard\\_temperature.pdf](https://www.conservationsphysics.org/ppubs/standard_temperature.pdf). Acesso em 30/03/2021.

SEGRE, Roberto. *Museus Brasileiros*. Rio de Janeiro. Ed. Viana & Mosley. 2010.

SERRA, Rafael Serra Florensa; COCH, Helena Coch. Roura. *Arquitectura y energía natural*. Barcelona. Editora UPC. 1995.

THOMSON, Gary. *El museo y su entorno*. 2º edición. Akal ediciones. Madrid, España. 1998.

TEDESCHI, Arturo. *Parametric Architecture with Grasshopper*. Brienza, Italia: Le Penser, 2011.

TORRES, Santiago. L.; SAKAMOTO, Yuzo. (2007). *Facade design optimization for daylight with a simple genetic algorithm*. Proceedins of Buildings Simulation.Beijing. Disponível em: [http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2007/p117\\_final.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2007/p117_final.pdf). Acesso em 30/03/2021.

TURRIN, Michela; BUELOW, Peter Von ; STOUFFS, Rudi (2011). *Desing Exporations of performance driven geometry in architectural design using parametric model and genetic algorithms*.Advanced Engineering Informatics.V.25, 656-675/2011.

TURRIN, Michela; BUELOW, Peter Von ; KILIAN, Axel; STOUFFS, Rudi.(2012). *Performative skins for passive climatic comfort. A parametric design process*. Automation in construction. V. 22, 36-50/2012.

UNI, 10829, *Works of Art of Historical Importance. Ambient Conditions for the Conservation.MeasurementandAnalysis, UNI e EnteltalianodiUnificazione, Milano*, 1999.

UNI 10829:1999. *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni Ambientali Di Conservazione. Misurazione Ed Analisi*.UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione-Milano.

WANG, Liping; WONG, Nyuk Hien; LI, Shuo. (2007). *Corrigendum to Façade design optimization for naturally ventilated residential buildings in Singapore*. Energy and Buildings.Volume 39. Issue 8.954-961 Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001416>. Acesso em 30/03/2021.

WOODBURY, Robert. *Elements of Parametric Design*. New York: Routledge, 2010. ISBN-10: 0415779871 | ISBN-13: 978-0415779876 0.

# METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO POR MEIO DE JANELAS PARAMETRIZADAS

## METHODOLOGY FOR ASSESSING COMFORT FROM PARAMETERIZED WINDOWS

**Victor Moura Bussolotti<sup>1</sup>, Edna Aparecida Nico Rodrigues<sup>2</sup>  
e Jarryer Andrade de Martino<sup>3</sup>**

### Resumo

O elevado consumo de energia dos edifícios contribui para as mudanças climáticas, gerando a necessidade de obtenção de conforto no interior das edificações por meio das janelas que, ao permitirem a entrada de iluminação natural e de ventilação nos ambientes, reduzem o consumo energético quando corretamente dimensionadas. No entanto, o uso de modelos inadequados de esquadrias tem diminuído a eficácia desse elemento arquitetônico. Como existem legislações que buscam orientar os projetistas quanto às dimensões mínimas necessárias para as esquadrias, objetiva-se avaliar comparativamente a quantidade de horas de conforto térmico proporcionadas pelas janelas requeridas na NBR 15.575 (2013), no RTQ-R (2012) e no Código de Obras, utilizando-se da modelagem paramétrica em *softwares* de análise ambiental. A metodologia consistiu na definição do local de estudo, na configuração e modelagem do sistema e na definição da metodologia de avaliação. Os resultados foram comparados segundo os modelos de conforto adaptativo e do PMV.

Palavras-chave: janela, conforto térmico, modelagem paramétrica.

### Abstract

*The high energy consumption of buildings contributes to climate change, generating the need to obtain comfort inside the buildings through windows that, by allowing the entry of natural lighting and ventilation into the rooms, reduce energy consumption when correctly dimensioned. However, the use of inappropriate models of windows has reduced the effectiveness of this architectural element. As there are laws that seek to guide designers as to the minimum dimensions required for windows, the goal is to comparatively evaluate the amount of hours of thermal comfort provided by the windows required in NBR 15.575 (2013), RTQ-R (2012) and the Code of Construction, using parametric modeling in environmental analysis software. The methodology consisted of defining the study site, configuring and modeling the system and defining the evaluation methodology. The results were compared according to the adaptive comfort and PMV models.*

*Keywords: window, thermal comfort, parametric modeling.*

<sup>1</sup> Doutorando em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo desde 2021. Mestre em Arquitetura e Urbanismo (2020), e graduação em Arquitetura e Urbanismo (2013) pela mesma universidade, com período sanduíche no Politécnico di Milano (2011-2012).

<sup>2</sup> Professora da Universidade Federal do Espírito Santo. Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidad del Bío-Bío, Chile (2015). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (2008), possui graduação em Arquitetura e Urbanismo (1991) pela mesma universidade.

<sup>3</sup> Professor da Universidade Federal do Espírito Santos. Doutor pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Construção da UNICAMP (2015). Mestre pelo programa de Pós-Graduação em Desenho Industrial - linha de pesquisa Planejamento de Produto - UNESP (2007), especialista em Design de Multimídia pela Universidade AnhembiMorumbi (2000), graduado em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário Moura Lacerda (1998).

### Introdução

Man e Jones (2003) identificaram a presença de anomalias no clima do planeta desde o final do século XX, com um elevado nível de calor, evidenciando a existência de um aquecimento global. A Organização das Nações Unidas (2019) aponta o ano de 2019 como um dos anos mais quentes registrados, onde cenários climáticos extremos estão atingindo populações ao redor de todo o mundo. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2020, ano base de 2019 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020), as residências representam 10,3% do consumo total de energia no Brasil, tendo um aumento de 0,8% no consumo total em relação ao ano de 2018. As emissões de CO<sub>2</sub> associadas às atividades antrópicas, por sua vez, apresentam uma taxa média de crescimento anual de 2%.

Em contexto mundial, os edifícios são responsáveis por mais de um terço do consumo global de energia final e por quase 40% das emissões diretas e indiretas totais de CO<sub>2</sub>. A demanda de energia para os edifícios existentes e para a construção de novos edifícios continua a aumentar, impulsionada pela melhoria do acesso à energia nos países em desenvolvimento, pelo aumento no uso de dispositivos que consomem energia (tais como aquecedores e condicionadores de ar) e pelo rápido crescimento na construção civil (IEA, 2020).

Ainda segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2020), as emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas ao consumo de energia de edifícios aumentaram nos últimos anos e, dentre os fatores que contribuíram para esse aumento, estão a crescente demanda de energia para aquecimento e resfriamento, associada ao aumento do número de condicionadores de ar. A falta de investimentos em edifícios que utilizem estratégias sustentáveis para levar conforto térmico aos seus usuários evidencia o problema.

O elemento arquitetônico com maior potencial de redução do consumo associado ao resfriamento e ao aquecimento das construções é a janela (XU et al., 2015). Isso ocorre pois, além de permitir a ventilação natural que gera troca de ar, este elemento regula aspectos como iluminação, umidade, conforto visual, ruídos, dentre outros (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006). A janela é, portanto, um elemento que se utiliza de estratégias passivas, gerando melhores condições de conforto ambiental. Observa-se, porém, pouca preocupação com relação ao projeto das janelas em decorrência da ineficiência das tipologias de esquadrias existentes no mercado, da ausência de conhecimento dos projetistas sobre o assunto e da carência de ferramentas capazes de auxiliar na escolha de modelos de janelas ideais, que estejam integradas ao processo projetual (NICO-RODRIGUES, 2015).

Nesse contexto, algumas legislações e normativas técnicas buscam fornecer os requisitos para que se obtenham edificações eficientes. No Brasil, destaca-se o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais Unifamiliares e Multifamiliares - RTQ-R - (INMETRO, 2012), de abrangência nacional e que especifica os requisitos para a classificação das edificações residenciais quanto à sua eficiência energética. Além do RTQ-R, a norma NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) "title": "NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.", "type": "article", "uris": [{"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=13f1f022-3af5-400b-a6da-e2eabfda2f4b"}], "mendeley": {"formatte dCitation": "(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013 define as condições de habitabilidade para que os usuários alcancem o conforto térmico no interior das edificações ao determinar diretrizes construtivas específicas para cada Zona Bioclimática brasileira.

Em contextos locais, os municípios dispõem de seus Códigos de Edificações - ou Códigos de Obras - que orientam quanto às regras que devem ser obedecidas nas edificações durante suas fases de projeto, execução de obra, manutenção e utilização. Tanto o RTQ-R quanto a NBR 15.575 e os Códigos de Obras municipais passam por revisões, corrigindo as eventuais falhas e atualizando seus dados para se adequar aos avanços da construção civil. As legislações mencionadas apresentam dimensões mínimas exigidas das aberturas e a relação de área para ventilação e para iluminação necessária. Tais dimensões constituem-se em parâmetros das janelas, que podem ser modeladas para a realização de simulações de desempenho térmico e energético.

Em um projeto, o uso de parâmetros incrementa o número de possíveis variações de seu formato, de modo que a definição de formas baseadas em relações e parâmetros espaciais gera um sistema em que, ao se alterar o valor de cada parâmetro, é possível explorar as variações da forma (CELANI, 2003). Segundo Woodbury (2010), a modelagem paramétrica, propõe uma mudança de metodologia de projeto, em que há uma relação coordenada entre as partes. A modelagem paramétrica possibilita estabelecer as relações pelas quais se conectam as peças do projeto e o desenvolve a partir delas, editando as informações. Além disso, a modelagem de um elemento, ou sistema, com diferentes parâmetros permite a realização de avaliações comparativas entre os seus diversos aspectos formais.

Na modelagem paramétrica, o projetista estabelece as relações pelas quais as peças do projeto se conectam e o constrói a partir dessas relações, podendo editá-las, observando e selecionando os resultados produzidos. Isso aumenta a capacidade de explorar ideias e reduz o retrabalho (WOODBURY, 2010).

Pode-se, dessa forma, pautar o projeto a partir do desempenho das janelas em sistemas que avaliem aspectos climáticos como iluminação, ventilação e climatização; aspectos humanos, como interação com a janela, horários de abertura e fechamento da esquadria e padrões de ocupação do ambiente; e os próprios aspectos físicos da janela.

Assim, para se avaliar o conforto ambiental no interior dos ambientes, globalmente, algumas normativas podem ser aplicadas. Três padrões internacionais são os mais utilizados segundo Betancourt (2013), Machado (2019) e Nico-Rodrigues (2015): a ISO 7730 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005), cuja aplicação é internacional; a ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013), padrão feito para o clima norte americano, mas que é utilizado por pesquisadores brasileiros, podendo ser aplicado em simulações para o clima local; e a EN 15251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007) feita para o clima europeu, não se aplicando ao contexto brasileiro.

Portanto, objetiva-se avaliar comparativamente a quantidade de horas de conforto térmico proporcionadas pelas janelas requeridas pelos índices e diretrizes estabelecidos na NBR 15.575 (2013), no RTQ-R (2012) e no Código de Obras Municipal, utilizando-se da modelagem paramétrica em *softwares* de análise ambiental.

## Metodologia

A metodologia empregada no experimento consistiu na definição e caracterização do objeto de estudo e de seu local de aplicação, seguida pela configuração e modelagem

do sistema para a parametrização das esquadrias e pela definição da metodologia de avaliação dos resultados.

### Definição e caracterização do objeto e seu local de aplicação

Na primeira etapa, foi realizada a caracterização do objeto de estudo, tratando dos aspectos físicos da janela e do edifício em que ela se insere, além de caracterizar o usuário, definindo suas atividades e padrões de ocupação. Foram definidos, também, os dados climáticos.

As simulações foram realizadas para a cidade de Vitória, ES, cujo clima é caracterizado como tropical de monções, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013) e localizado na Zona Bioclimática 8 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a).

As variáveis parametrizadas das janelas para a construção do modelo foram as suas dimensões de largura, altura e peitoril; o seu sistema de abertura, definido pela relação entre a área operável da janela e o percentual de abertura permitido; e as características do usuário, com sua rotina, horários de ocupação e horário de abertura e fechamento da janela.

O desempenho das janelas foi avaliado considerando um edifício residencial multifamiliar cujas características se assemelham às das edificações comuns no território brasileiro. Com isso, selecionou-se um modelo baseado no padrão estabelecido pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética - Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012). Outros estudos já realizaram simulações com esse modelo, como Sorgato, M. J.; Marinoski; Melo; Lamberts (2012); Nico-Rodrigues (2015) e Machado (2019).

O modelo de edifício selecionado é composto por um térreo em pilotis e por cinco pavimentos tipo, com cobertura em telhado embutido com platibanda. Cada pavimento tipo possui quatro apartamentos, com dois dormitórios, sala de estar, cozinha, área de serviço e banheiro, totalizando cerca de 70m<sup>2</sup> cada um. Os apartamentos possuem fachadas voltadas para duas orientações, conforme pode ser observado no modelo 3D e na planta apresentados na Figura 1.

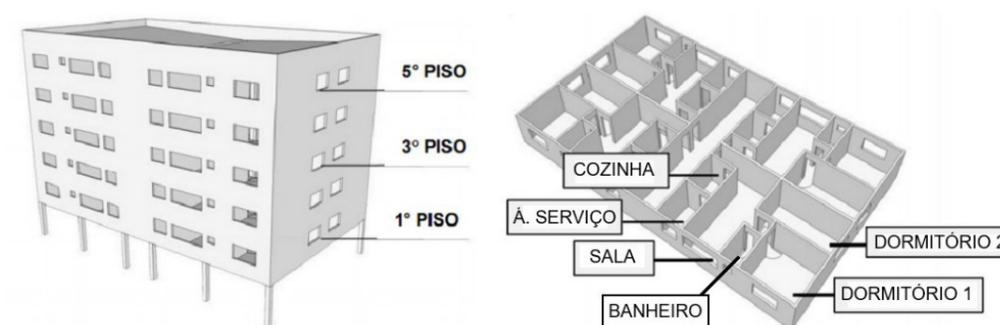


Figura 1: a) Modelo 3D do edifício utilizado. b) Planta baixa do edifício utilizado. Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues 2015.

Selecionou-se o Dormitório 2 (Figura 2, em destaque azul) para a realização das simulações, acompanhando experimento realizado por Nico-Rodrigues (2015). Tal escolha justifica-se por ser um ambiente de longa permanência com apenas uma parede exposta à radiação solar, o que constitui uma tentativa de se reduzir as interferências no desempenho térmico do local, quando o objeto de estudo é a janela. Isso ocorre, pois, paredes e coberturas com menor interferência na temperatura

Figura 2: Dormitório 2 selecionado. Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues, 2015.



Foram feitas simulações para o 1º, 3º e 5º pavimentos, considerando as quatro orientações principais (Norte, Sul, Leste e Oeste). Escolher diferentes pavimentos justifica-se pelas diferentes condições de vento, insolação e cargas térmicas provenientes do restante da construção. O primeiro andar tem perdas pela proximidade com o solo, o terceiro recebe as cargas dos pavimentos acima e abaixo e o quinto andar recebe o calor da cobertura.

Para a construção do modelo digital, foram definidos os materiais das paredes, lajes, cobertura e vidro comumente utilizados na construção civil local. Com isso, foi realizado o cálculo das transmitâncias térmicas dos materiais, segundo método da Norma de Desempenho das Edificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b).

Foi especificado laje de concreto com contrapiso e piso cerâmico, além de forro de gesso nos apartamentos; paredes de tijolos cerâmicos vazados de 9cm de espessura, com reboco e pintura dos dois lados; cobertura de telha de fibrocimento com estrutura de madeira para suporte; e vidro das janelas com 6mm de espessura, incolor, que é o modelo mais utilizado no mercado da construção civil capixaba, segundo informação dos próprios fabricantes. Com isso, o Quadro 1 apresenta os resultados obtidos após os cálculos das transmitâncias térmicas de cada um dos materiais empregados no modelo do edifício.

Material	Transmitância Térmica (W/m².K)
Laje	1,34
Parede	2,54
Cobertura	2,56
Vidro	5,69

Na definição dos padrões de utilização das janelas e ocupação dos cômodos, utilizou-se como base o experimento realizado por Nico-Rodrigues (2015). Os parâmetros adotados encontram-se expressos no Quadro 2.

Quadro 1: Transmitância térmica dos revestimentos. Fonte: dos autores, 2020.

Parâmetros de ocupação	Horários
Usuário	08hs – 13hs = 0% ocupado 13hs – 22hs = 50% ocupado 22hs – 08hs = 100% ocupado
Parâmetros humanos	Valores
Vestimenta	Roupas leves = 0,30 clo
Metabolismo para pessoa sentada, lendo	115 W/pessoa
Quantidade de ocupantes	2 pessoas
Ganhos térmicos de equipamentos	Cargas
Iluminação artificial	5 W/m²
Computador	3,90 W/m²
Abertura das janelas	Horário
Janela aberta	08hs – 21hs
Janela fechada	21hs – 08hs

Quadro 2: Parâmetros de ocupação, parâmetros humanos, ganhos térmicos de equipamentos e abertura das janelas. Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues, (2015).

#### Configuração e modelagem do sistema

Nesta etapa, definiu-se o *software* computacional Rhino 6 for Windows (ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES, 2019), utilizado para a parametrização das janelas e modelagem do edifício que conta com o *plug-in* Grasshopper, considerado uma linguagem de programação, com o objetivo de gerar modelos paramétricos. Foram usados também os *plug-ins* de análise ambiental Ladybug e Honeybee.

O primeiro permite importar e analisar dados climáticos e realizar análises de conforto. O segundo conecta o Grasshopper com mecanismos de simulação, tais como o EnergyPlus, Radiance e OpenStudio, gerando resultados de consumo energético, conforto térmico e iluminação. Tais *plug-ins* apresentam seus mecanismos de simulação configurados segundo as diretrizes da ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013) que, portanto, é o padrão utilizado nas simulações. O edifício foi modelado utilizando os algoritmos do Grasshopper de modo que as janelas apresentem parâmetros variáveis (Figura 3).

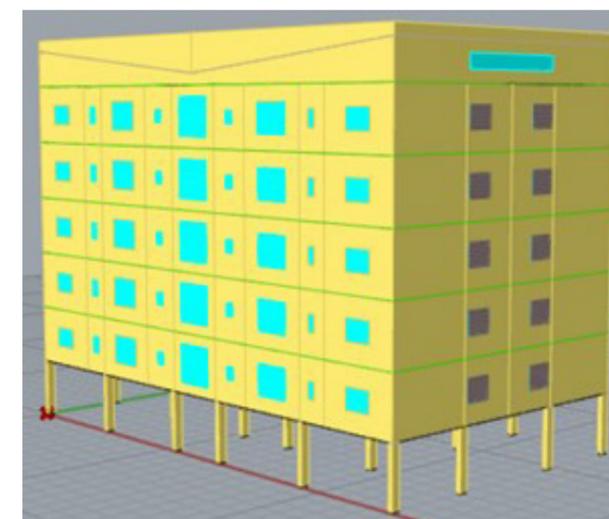
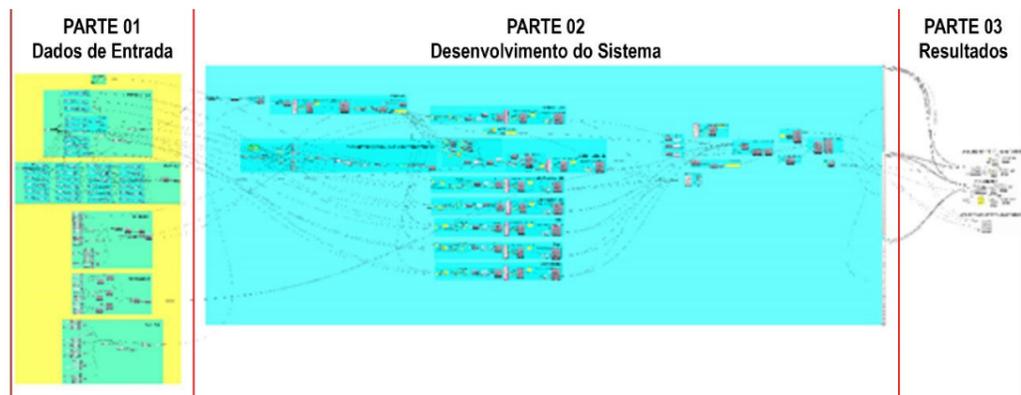


Figura 3: Modelagem do edifício. Fonte: dos autores, 2020.

Figura 4: Sistema do edifício. Fonte: dos autores, 2020.



Os dados de entrada do sistema identificam a orientação do edifício e contém a modelagem de todos os ambientes do apartamento, multiplicados nos 5 pavimentos tipo, mais o pilotis e a cobertura. Durante o desenvolvimento do sistema, cada ambiente foi transformado em uma zona do Honeybee, para que houvesse a simulação das cargas térmicas, com aplicação das características do usuário e os dados climáticos. Todas as informações foram conectadas na pilha de simulação do OpenStudio. Já a parte dos resultados contém as pilhas responsáveis por exportar para o computador os dados obtidos para realizar sua análise e comparação.

O modelo foi configurado a partir de decisões adotadas para a caracterização do objeto, ou seja, janelas mais eficientes em função do tipo de abertura e dimensão. Para isso, as normativas utilizadas como base para dimensionamento das esquadrias foram: o Código de Obras da cidade de Vitória (VITÓRIA, 1998), o RTQ-R (INMETRO, 2012) e a NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) "title": "NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.", "type": "article", "uris": [{"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=13f1f022-3af5-400b-a6da-e2eabfda2f4b"}, {"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=9e40158e-13ff-41e3-838f-f3bb5882f79c"}], "mendeley": {"formattedCitation": "(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. As relações de percentuais de áreas mínimas para iluminação e para ventilação do ambiente de acordo com os parâmetros definidos na legislação estão demonstrados no Quadro 3.

Legislação	Percentual Mínimo de Iluminação	Área mínima de Iluminação	Percentual Mínimo de Ventilação	Área mínima de Ventilação
Cód. Obras	1/8 área do piso	1,78m <sup>2</sup>	1/16 área do piso	0,89m <sup>2</sup>
RTQ-R	12,5% área do piso	1,78m <sup>2</sup>	10% área do piso	1,43m <sup>2</sup>
NBR 15.575	8% área do piso	1,14m <sup>2</sup>	8% área do piso	1,14m <sup>2</sup>

Quadro 3: Dimensões mínimas de abertura do ambiente, segundo as legislações estaduais. Fonte: dos autores, 2020.

Após os procedimentos anteriores, as janelas foram dimensionadas a partir das medidas internas do ambiente, tendo seus valores sido arredondados para números múltiplos de 5cm, para simplificar o modelo e o tempo de processamento das simulações, demonstrados no Quadro 4. Foi configurado no sistema o percentual de área operável da janela, que significa a área destinada para ventilação.

	Largura (m)	Altura (m)	Peitoril (m)	%de área para ventilação
Cód. Obras	1.8	1	1.1	50
NBR	1.15	1	1.1	100
RTQ-R	1.8	1	1.1	80

Quadro 4: Características das janelas das legislações. Fonte: dos autores, 2020.

Na Figura 5, tem-se a representação em 3D do código gerado para o modelo do edifício com as janelas mínimas requeridas em cada normativa.

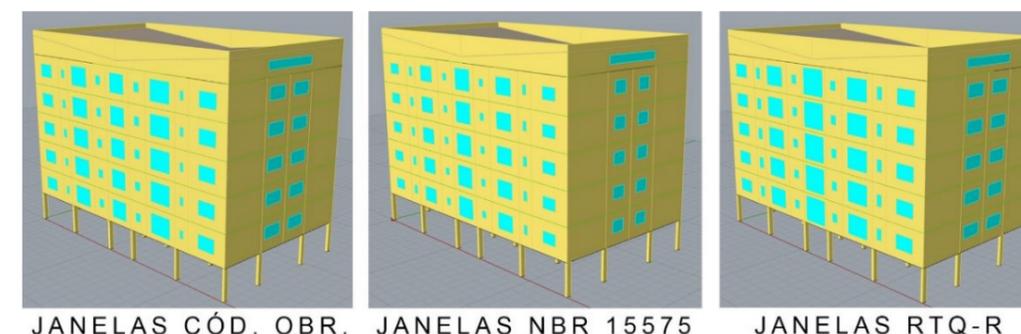


Figura 5: Janelas configuradas a partir das normativas para o edifício. Fonte: dos autores, 2020.

### Metodologia de avaliação

A sensação térmica de um indivíduo é influenciada pela atividade física, vestuário e pelos parâmetros ambientais, e pode ser calculada pelo modelo de Voto Médio Previsto (PMV). No entanto, observou-se que o modelo PMV tende a superestimar os índices de desconforto quando aplicado em simulações de edifícios naturalmente ventilados, razão pela qual foi desenvolvido o modelo do Conforto Adaptativo, onde admite-se que os indivíduos tendem a adaptar-se às temperaturas médias mensais do ambiente (ROUDSARI, 2019).

Para a avaliação dos resultados foram definidos que os dados de saída seriam analisados tanto segundo o Conforto Adaptativo quanto segundo o Voto Médio Previsto (PMV), que são os dois modelos de análise ambiental existentes no padrão da ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013). Para análises de Conforto Adaptativo, foi utilizada a pilha que é alimentada com as temperaturas de bulbo seco da zona analisada, com as temperaturas radiantes médias das superfícies do modelo e com a temperatura externa, obtida pelos arquivos climáticos em formato EPW, disponíveis no site do programa EnergyPlus. São gerados dados de saída com valores que vão de 0 a 1, indicando condições de confortável ou não.

No caso do Voto Médio Previsto, a pilha determina a porcentagem de pessoas insatisfeitas, a temperatura padrão efetiva para um conjunto de condições climáticas; o comportamento e o vestuário do ocupante. Os dados de entrada foram: a temperatura de bulbo seco da zona analisada; a temperatura radiante média das superfícies do edifício; a umidade relativa obtida pelos arquivos climáticos em formato EPW, disponíveis pelo site do programa EnergyPlus; o nível em clo (resistência térmica da vestimenta) dos usuários; e a taxa metabólica da atividade realizada.

Optou-se por extrair de ambas as pilhas os percentuais de tempo em que os usuários se sentem confortáveis no ambiente durante o intervalo de um ano e, também, para cada estação isoladamente (Primavera, Verão, Outono e Inverno).

## Resultados

Os resultados foram organizados em duas partes: análise do modelo de Conforto Adaptativo; e do modelo de Voto Médio Previsto. Ambos foram representados por meio de gráficos. Foram realizadas análises comparativas entre os resultados obtidos.

### Conforto Adaptativo

Os resultados de percentual de tempo de conforto, segundo o referencial normativo da ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013) para Conforto Adaptativo, obtidos no interior dos ambientes, a partir das janelas propostas pelas normativas e legislações estudadas, foram comparados entre os diferentes pavimentos e fachadas e para o período anual e por estação.

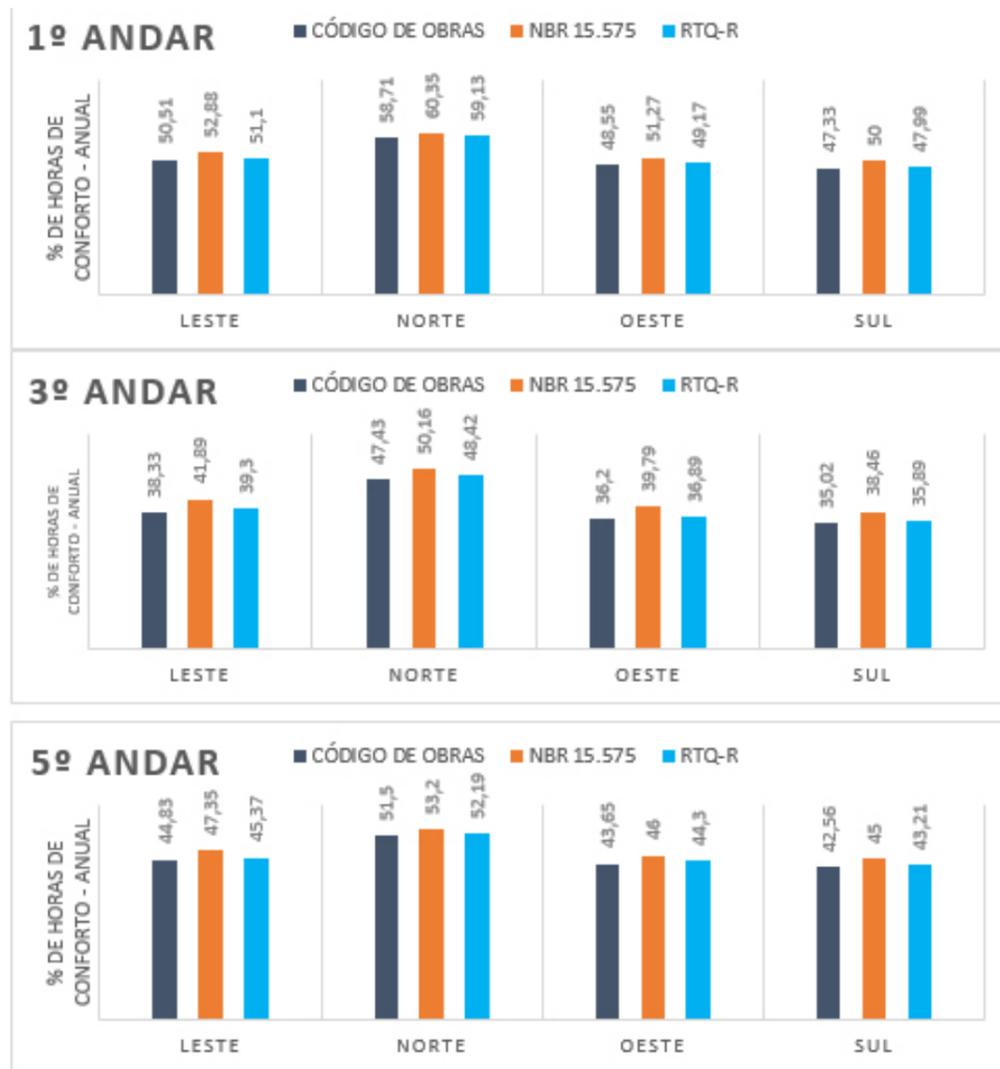


Figura 6: Conforto adaptativo anual no edifício segundo a ASHRAE 55. Fonte: dos autores, 2020.

Os dados obtidos apontaram o primeiro andar como o mais confortável termicamente. Isso pode ocorrer devido ao uso de pilotis que possibilita ventilação contínua na base do pavimento. Observa-se que o pior desempenho foi obtido no terceiro andar, que recebe as cargas térmicas provenientes dos pavimentos de cima e de baixo (Figura 6).

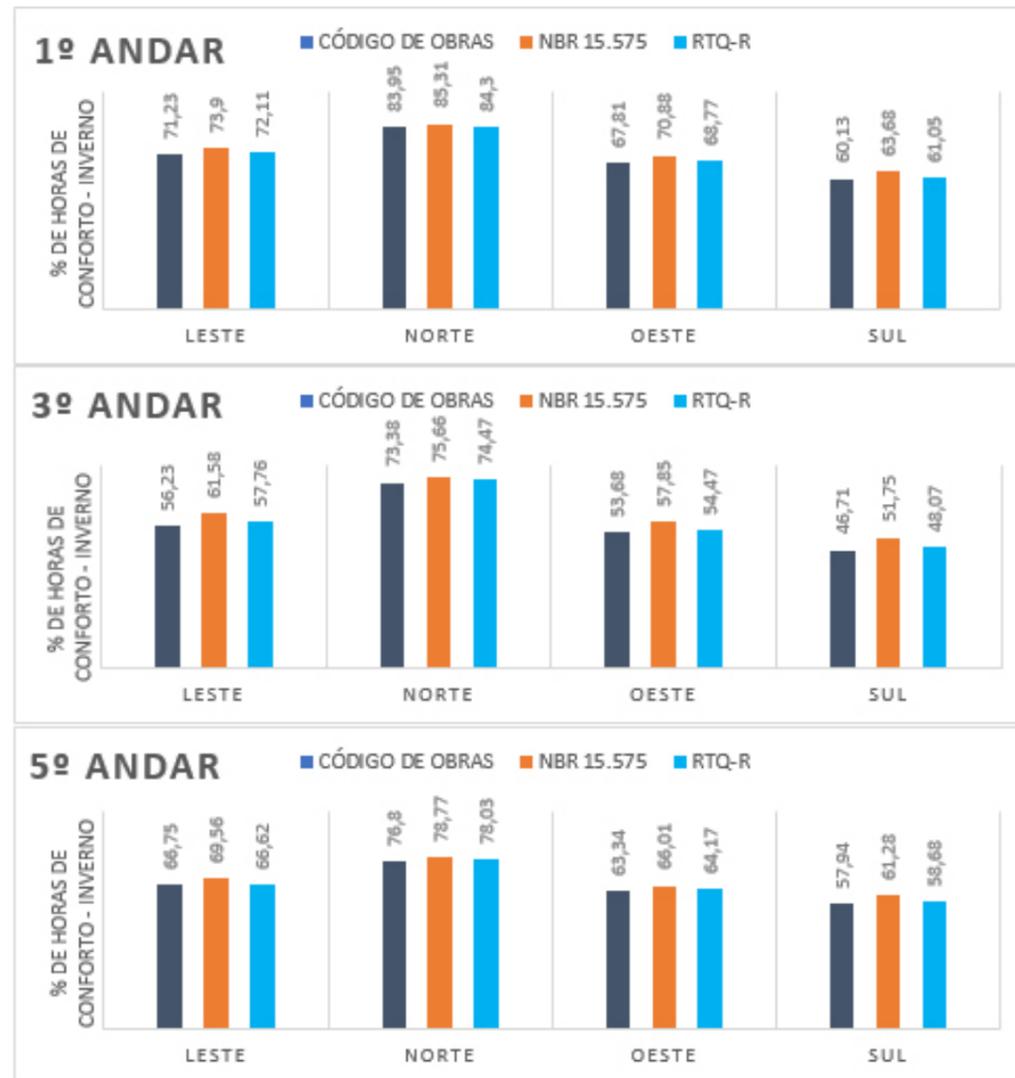
Dentre as legislações, a NBR 15.575 demonstrou os melhores resultados, por apresentar 100% da janela operável e, portanto, maior área de ventilação, mostrando-se mais eficiente. O Código de Obras, que orienta o uso de janelas com metade de suas áreas destinadas a ventilação, teve os resultados mais insatisfatórios.

Dentre as fachadas, as janelas voltadas para a orientação Norte tiveram os melhores desempenhos, com 60,35% de conforto térmico no primeiro andar com a janela dimensionada segundo a NBR 15.575, o melhor cenário da análise anual. A fachada Sul teve os piores resultados, com 35,02% no terceiro andar segundo o Código de Obras.

Para a análise das estações, apresentam-se os gráficos para as situações de melhor e pior resultados obtidos. Nesta situação, o verão teve maiores índices de desconforto térmico, sendo o terceiro andar o pior caso, onde as fachadas Leste e Oeste, dimensionadas segundo o Código de Obras, demonstraram 10,72% de horas de conforto aos usuários (Figura 7).



Figura 7: Conforto adaptativo no verão no edifício segundo a ASHRAE 55. Fonte: dos autores, 2020.



Os resultados evidenciam uma carência nas legislações ao proporem um único dimensionamento para todas as fachadas, desconsiderando as suas próprias características de ventilação e de iluminação.

#### Voto Médio Previsto (PMV)

Na Figura 9 estão representados os resultados de conforto térmico anual que as janelas do Código de Obras, da NBR 15.575 e do RTQ-R proporcionaram para o primeiro, terceiro e quinto pavimentos do edifício de estudo segundo as métricas da ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013) para o Voto Médio Previsto.

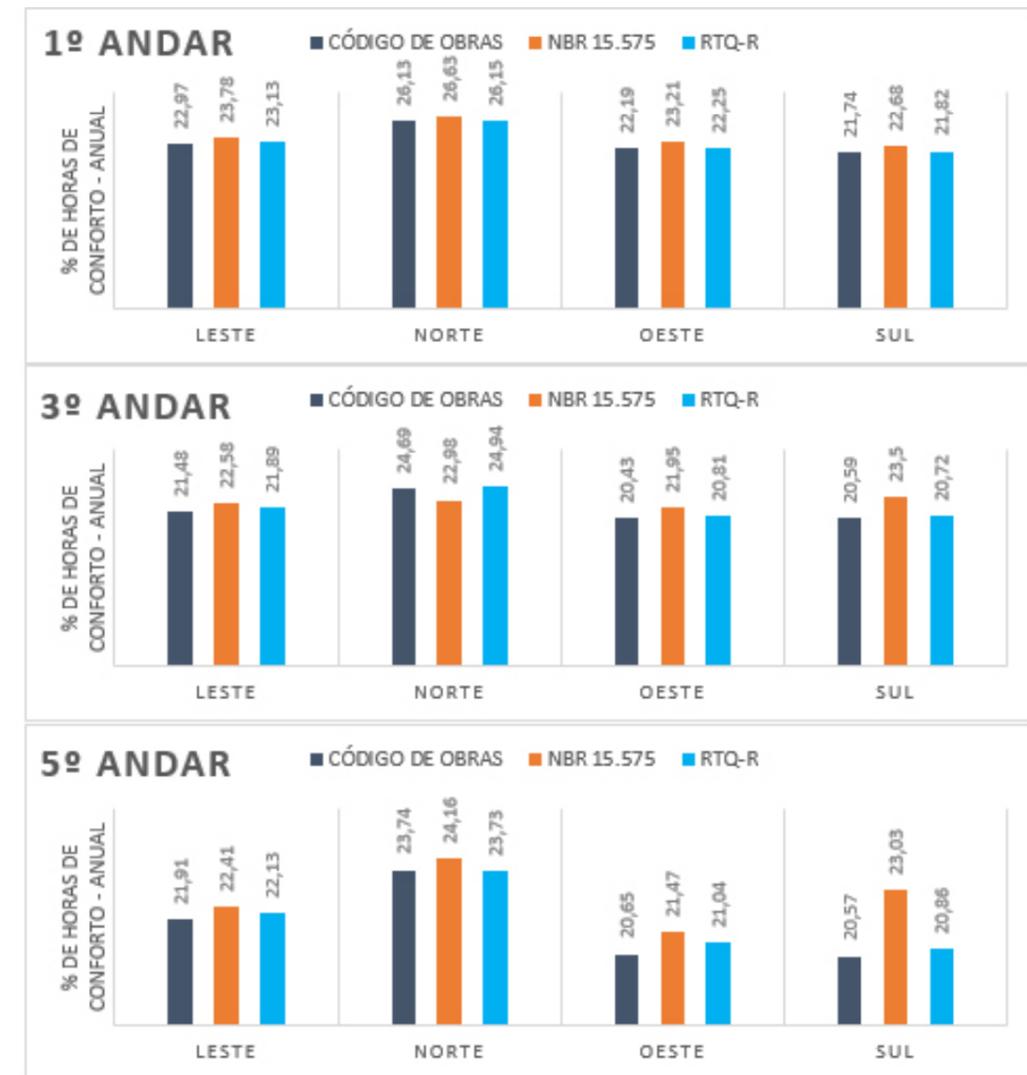


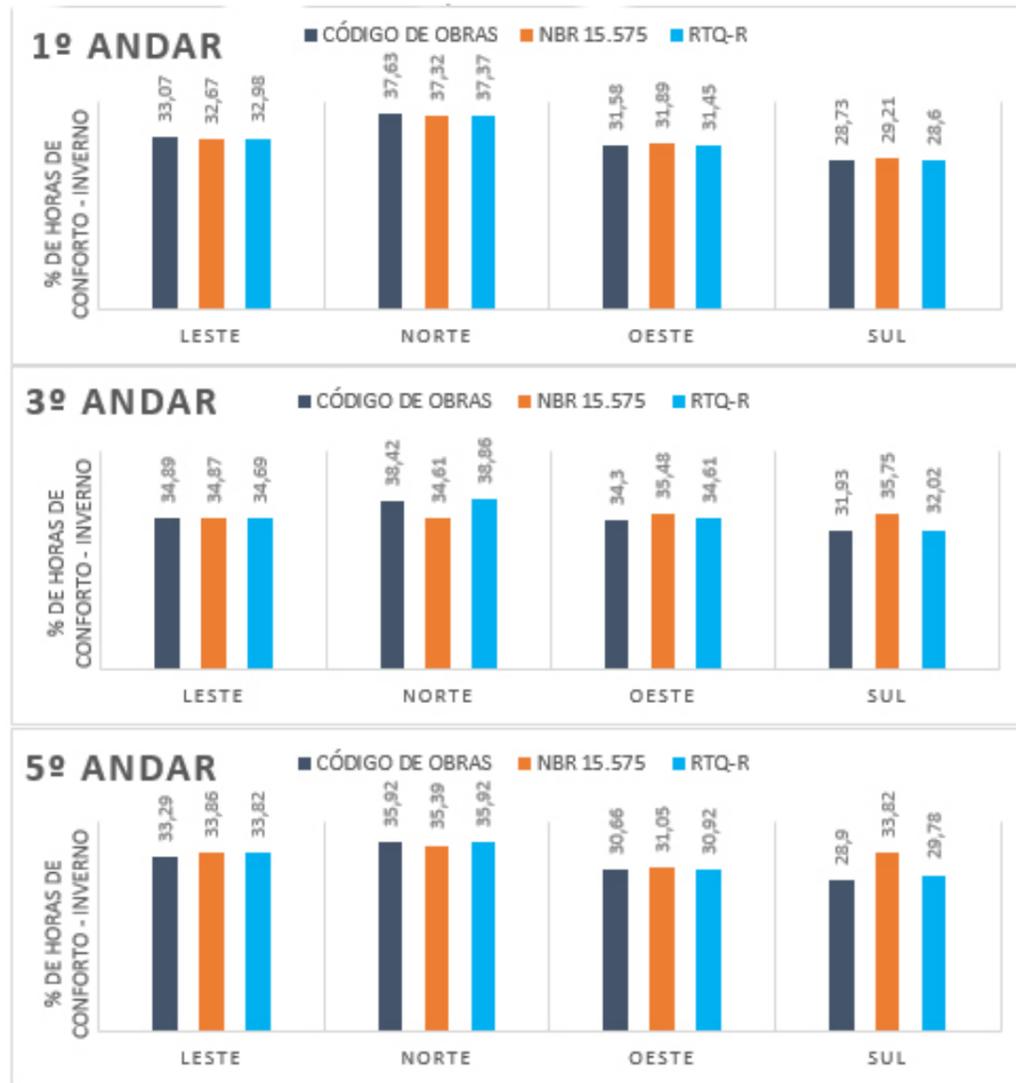
Figura 9: Voto médio previsto anual para o edifício segundo a ASHRAE 55. Fonte: dos autores, 2020.

Nota-se que o primeiro andar obteve os melhores resultados, a NBR 15.575 proporcionou os índices de conforto mais satisfatórios e a fachada Norte teve o melhor desempenho, tal como foi observado nos resultados do modelo de conforto adaptativo. Com essa combinação, obteve-se o melhor índice anual, que foi de 26,63%. A fachada Sul apresentou os piores resultados, tendo os 20,57% de conforto térmico pela janela do Código de Obras para o quinto andar.

Analisando por estação, no verão, tem-se o pior resultado dentre todas as simulações realizadas. Isso ocorre na janela do Código de Obras para o terceiro andar da fachada Oeste, com apenas 2,53% de horas de conforto térmico (Figura 10).

Os resultados de inverno demonstram que o primeiro andar na fachada Norte, segundo a janela do Código de Obras, obteve 37,63% de horas de conforto, o maior valor dentre todas as simulações realizadas no modelo de Voto Médio Previsto, como pode ser observado na Figura 11.

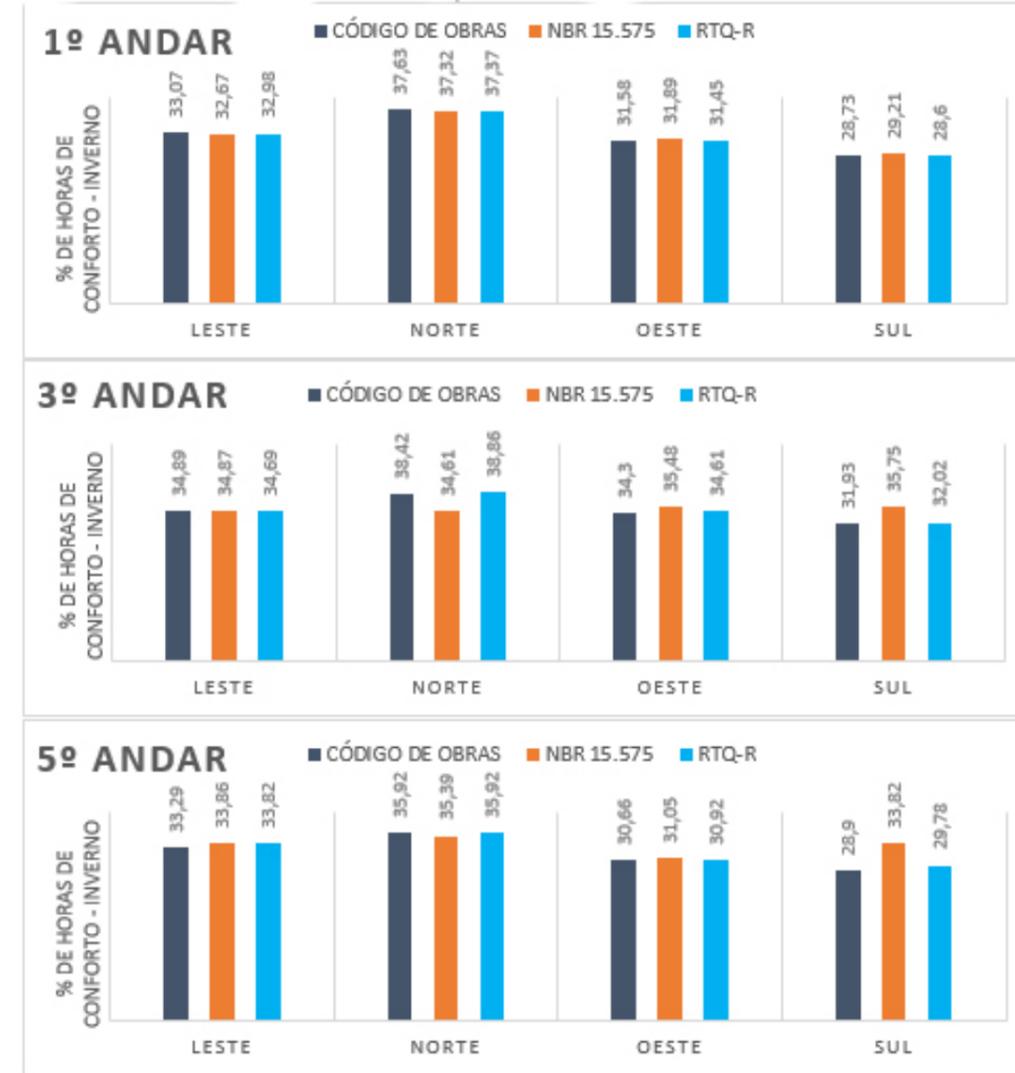
Na comparação entre os valores obtidos no modelo de Conforto Adaptativo e no modelo de Voto Médio Previsto, está demonstrado que o Voto Médio Previsto tende a subestimar os valores de conforto na situação simulada de um edifício naturalmente ventilado.



### Conclusão

Os resultados obtidos demonstraram que as janelas adequadamente dimensionadas são aliadas no combate às mudanças climáticas ao reduzirem a sensação de desconforto térmico no interior dos ambientes, levando a uma consequente economia no consumo energético, o que contribui para a eficiência das edificações. Comprovou-se a afirmação de que o modelo de Voto Médio Previsto não se adequa às simulações em edifícios naturalmente ventilados, dado que os valores de conforto obtidos são subestimados. O modelo do conforto adaptativo provou ser mais adequado para a realização de simulações neste contexto.

Os objetivos propostos foram alcançados ao se identificar as carências existentes nas dimensões propostas pelas normativas e comprovar a importância do correto dimensionamento das janelas. Ficou demonstrado a importância de se pensar isoladamente cada fachada, dado que os resultados de conforto para cada orientação solar são diferentes, caracterizando uma carência nas legislações. Para o clima estudado, pode-se afirmar que uma maior área de ventilação nas janelas é fundamental para se obter melhores desempenhos térmicos no interior dos ambientes, dado que os resultados mais positivos foram de normativas que preveem área de ventilação igual à área de iluminação das janelas.



O uso dessa metodologia para análise de desempenho de edifícios é recomendado em fases iniciais de projeto, quando tem-se uma preocupação com a síntese formal do volume edificado. Além disso, a simulação de desempenho das janelas na fase de concepção do projeto constitui-se em uma mudança nas metodologias de projeto atualmente adotadas pelos projetistas, pois as escolhas feitas pelos arquitetos passam a ser pautadas no desempenho previamente simulado da janela.

Conclui-se, portanto, que a metodologia para avaliação de conforto por meio de janelas parametrizadas desenvolvida mostrou-se eficiente e passível de ser aplicada em novos experimentos.

Salienta-se que a simulação foi realizada especificamente para o objeto de estudo em questão e para o clima local. Outras combinações levarão a resultados diferentes, não sendo, portanto, as tipologias encontradas nesse trabalho necessariamente ideais para uso em outras regiões. A aplicação das simulações em diferentes localidades do território pode, inclusive, contribuir para se montar um perfil das esquadrias recomendadas para as diferentes regiões do território brasileiro.

Com isso, o método paramétrico, definido por um algoritmo, pode ser utilizado como um mecanismo gerador, sendo possível alimentá-lo com outros dados de entrada (variando de acordo com os dados específicos de cada localidade) para obter os

resultados apropriados para cada região.

### Agradecimentos

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

### Referências

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta, p.54. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. Rio de Janeiro, p.23. 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações*. Rio de Janeiro, p.21. 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas*. Rio de Janeiro, p.63. 2013.

BETANCOURT, Maria Clara Velasco. *Diseño Generativo de Vanos para el Confort en Viviendas del Tropicó*. 2013. 302f. Tese (Doutorado em Architectura y Urbanismo) - Departamento de Architectura y Urbanismo, Universidad del Bio-Bio. Concepción.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina. *Introdução à Ventilação Natural*. Maceió: Edufal, p.163. 2006.

CELANI, Maria Gabriela Caffarena. *Cad criativo*. Rio de Janeiro: Campus, p.180. 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 15.251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Bruxelas, p.52. 2007.

IEA (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY). *Buildings A source of enormous untapped efficiency potential*, 2020. Online. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/buildings>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

INMETRO. *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais*, 2012. Online. Disponível em: <<http://www.pbenedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Geneva, p.52. 2005.

MACHADO, Jéssica de Mello. *Avaliação de desempenho térmico em edificações multifamiliares considerando as mudanças climáticas futuras*. 2019. 175f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo.

MANN, Michael Evan; JONES, Philip Douglas. Global Surface Temperatures over the past two millennia. *Geophysical Research Letters*, v. 30, n. 15, p. 1–4, 2003.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Balanço Energético Nacional 2020 Relatório Síntese / Ano Base 2019*. Rio de Janeiro, p.73. 2020. Online. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relatório\\_Síntese\\_BEN\\_2020-ab\\_2019\\_Final.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relatório_Síntese_BEN_2020-ab_2019_Final.pdf)>.

NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida. *Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente*. 2015. 202f. Tese (Doutorado em Architectura y Urbanismo) - Departamento de Architectura y Urbanismo, Universidad del Bio-Bio. Concepción.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Report of the secretary-general on the 2019 climate action summit and the way forward in 2020*. 2019. Online. Disponível em: <[https://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/cas\\_report\\_11\\_dec.pdf](https://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/cas_report_11_dec.pdf)>.

ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. *Rhinoceros*. Versão 6. Barcelona, 2019.

ROUDSARI, Mostapha. *Ladybug Primer*. 2019. Online. Disponível em: <<https://mostapharoudsari.gitbooks.io/ladybug-primer/content/>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

SORGATO, Marcio José; MARINOSKI, Deivis Luis; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. *Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública*. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, p.23. 2012.

VITÓRIA (MUNICÍPIO). *Código de Edificações do Município de Vitória - LEI Nº 4821*. Vitória, p.82. 1998.

WOODBURY, Robert Francis. *Elements of Parametric Design*. New York, p.312. 2010.

XU, Jun; KIM, Jin-Ho; HONG, Hiki; KOO, Junemo. A systematic approach for energy efficient building design factors optimization. *Energy and Buildings*, v. 89, p. 87–96, 2015.

# ANÁLISE DA OTIMIZAÇÃO SIMPLIFICADA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

## ANALYSIS OF THE SIMPLIFIED OPTIMIZATION OF A RESIDENTIAL BUILDING

**Thaisa Carvalho Rodrigues<sup>1</sup>, Kelly Fagundes Aires<sup>2</sup>, Maria Augusta Guisso Gonzaga<sup>3</sup>, Stifany Knop<sup>4</sup>, Fabio Kellermann Schramm<sup>5</sup> e Eduardo Grala Da Cunha<sup>6</sup>**

### Resumo

Este estudo tem como objetivo a maximização do desempenho termoenergético de uma edificação residencial unifamiliar de 126,45 m<sup>2</sup> de área, localizada na ZB1, através da análise de simulação computacional em duas condições: ventilação natural e condicionamento artificial. Assim como a viabilidade econômica das envoltórias. Tendo como parâmetro inicial uma envoltória baseada no método simplificado da NBR15575, a partir da qual foram feitas adequações para atingir o nível A do RTQ-R e o padrão *passive house* através do aumento de isolamento térmico e sombreamento das áreas envidraçadas. O melhor resultado de otimização foi encontrado quando a edificação obteve o padrão *passive house* comparada com as demais simulações, necessitando de 8cm de EPS nas paredes/cobertura e 0,5cm no piso. O tempo de retorno de investimento para o padrão com maior desempenho mostrou-se 13 anos maior do que para a obtenção do RTQ-R.

Palavras-chave: NBR15575, otimização, desempenho termoenergético, *passive house*.

### Abstract

*This study aims to maximize the thermoenergetic performance of a single-family residential building with an area of 126.45 m<sup>2</sup>, located in ZB1, through the analysis of computer simulation in two boundary conditions: Natural ventilation and artificial conditioning. As well as the economic viability of the envelopes. Having as an initial parameter an envelope based on the simplified method of NBR15575, from which adjustments were made to reach level an RTQ-R and the passive standard house through the increase of thermal insulation and shading of the glazed areas. The best result of optimization was found when the building obtained the passive standard house compared to other simulations, requiring 8cm of EPS on the walls and roof and 0.5cm on the floor. The payback time for the highest performing standard presented 13 years longer than that for obtaining the RTQ-R.*

*Keywords: NBR15575, optimization, thermoenergetic performance, passive house.*

<sup>1</sup> Graduanda em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL).

<sup>2</sup> Graduanda em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL).

<sup>3</sup> Graduanda em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL).

<sup>4</sup> Professora de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Católica de Pelotas (UCPel). Mestra em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL/2012) e Arquiteta e Urbanista (UPF/2005).

<sup>5</sup> Professor adjunto a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UFPEL). Doutor (2009), e Mestre (2004) em Engenharia Civil (UFRGS). Especialista em Gestão Empresarial (FURG, 2000) e Arquiteto e Urbanista (UFPEL, 1994).

<sup>6</sup> Professor associado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UFPEL). Pós-Doutorado pela Universidade de Kassel, Alemanha (2008), Doutor (2005), Mestre (1999) e Especialista (1995) em Arquitetura (UFRGS). Arquiteto e Urbanista (URGS, 1994).

### Introdução

Na década de 1990 começa a ser abordado a necessidade de criação de normas de desempenho térmico para construções, sendo em 2005 publicada a primeira norma, a NBR 15220 – Desempenho Térmico de edificações (ABNT, 2005), específica para habitações unifamiliares de interesse social. Posteriormente, em 2013 é publicada a NBR 15575 – Desempenho de edificações habitacionais (MIRANDA, 2014 e ASBEA, 2015) que estabelece parâmetros de segurança, habitabilidade e sustentabilidade, dentro dos quais a construção deve atender a classificação mínima (M), intermediária (I) ou superior (S). Nela são avaliados 13 itens da edificação, dentre eles, o desempenho térmico, o desempenho acústico e o desempenho lumínico (ASBEA, 2015). No entanto, mesmo com uma ampla discussão de vários segmentos da construção civil, os parâmetros de desempenho térmico estabelecidos na norma ainda podem ser considerados insuficientes (SOARES, 2014).

Para entendimento do desempenho superior da norma no método de simulação computacional, a temperatura interna no verão para a zona bioclimática 1, deveria ser 4°C menor que a temperatura externa e, no inverno, 7°C maior que a externa (ABNT, 2013), ou seja, não há um indicador de conforto para estabelecer o desempenho superior pela NBR 15.575. A importância dessa norma é dada pelo crescente consumo energético com climatização no mundo segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), esse é o uso que mais cresceu nos últimos anos, tendo sido mais que triplicado no período de 1990 a 2016. Já a compra de equipamentos de ar-condicionado dobrou entre os anos de 2005 e 2017. Visto que edificações que não apresentam bons níveis de conforto, isso faz com que seus usuários busquem recursos artificiais para climatização dos ambientes.

Atualmente as construções no Brasil consomem mais de 51% da energia elétrica gerada no país (EPE, 2019), sendo o setor residencial responsável por uma parte importante desse consumo de energia (PACHECO *et al*, 2012). Entretanto, com a integração de estratégias de eficiência energética ainda na fase conceitual do projeto esse percentual poderia ser reduzido, pois desde o começo a edificação apresentaria um menor consumo energético. De acordo com Wang (2006), decisões tomadas na fase inicial do projeto têm grande impacto no desempenho da construção, por exemplo, modificando parâmetros como: a forma, a orientação e o envelope, edificações podem consumir até 40% menos energia. Diante disso, torna-se uma vantagem à tomada de decisões ainda na fase inicial quando comparada com a instalação em fases subsequentes da construção, pois há redução de custos em toda a vida útil da edificação, fazendo com que o investimento inicial seja integralmente compensado (PACHECO *et al*, 2012).

O tema eficiência energética passou a ser empregado no Brasil desde 1985, quando o Ministério de Minas e Energia (MME) criou o Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), coordenado pela Eletrobrás. Já em 2010, a União Europeia, também com a necessidade de se reduzir seu consumo energético, publicou a *Directiva 2010/31/EU* (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2010), a qual estabelece que os estados membros devem atingir a meta NZEB (*Nearly Zero Energy Building*) até 2018 para edifícios públicos e até 2020 para as novas edificações. NZEB são edifícios que prezam pelo equilíbrio entre o consumo e o gasto energético, ou seja, possuem uma demanda extremamente baixa de energia, a qual deve ser atendida por fontes de energia renováveis. Dessa forma, consegue-se um edifício eficiente obtendo economia familiar e nacional, além de uma melhor qualidade ambiental.

Já em 2012, o INMETRO publicou o Regulamento Técnico da Qualidade para o

Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R, que atua especificamente na análise de eficiência energética de residências, considerando sua localidade e estratégias passivas para cada zona bioclimática do país, além disso, avalia a envoltória para situação de verão e inverno e possui pré-requisitos para paredes e coberturas, apresentando níveis de exigência compatíveis com a NBR 15.575. O RTQ-R tem como objetivo a otimização dos projetos residências sobre a visão energética, a fim de proporcionar a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), concedida no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). No regulamento há cinco níveis de eficiência - A (mais eficiente), B, C, D e E (menos eficiente) tanto para a classificação dos sistemas individuais como para a edificação como um todo.

No entanto, os parâmetros de avaliação estabelecidos no RTQ-R não são severos o suficiente para apresentar mudanças significativas nos projetos, mesmo na melhor classificação. Diante disso, o elevado custo de energia aliado ao crescimento da conscientização ambiental, contribuíram para o aumento de construções de casas passivas (MLAKAR, 2011). A casa passiva ou *Passive House* é um *standard* desenvolvido na Alemanha e amplamente difundido na Europa (SCHNIEDERS *et al.*, 2015). Este tipo de construção tem como base 5 princípios fundamentais: Edificações com excelente isolamento térmico, janelas com alta qualidade e ganhos de energia solar, ventilação mecânica com recuperação de calor, envelope da construção hermético e construções livres de pontes térmicas. Estudos mostram que estratégias simples em casas passivas, como o sombreamento rigoroso durante o dia e a ventilação generosa através da abertura das janelas durante a noite, conseguiriam manter as temperaturas internas dentro do nível de conforto (FOKAIDES *et al.*, 2016). Schnieders *et al.* (2015), através de simulação dinâmica, avaliaram a aplicabilidade do *standard Passive House* em zonas bioclimáticas relevantes do mundo, representadas por Yekaterinburg, Tóquio, Xangai, Las Vegas, Abu Dhabi e Cingapura. No estudo obtiveram que o consumo anual de energia para o condicionamento das edificações é 75% a 95% inferior numa casa passiva em relação a uma edificação tradicional de mesma geometria. Os autores também concluíram que o *Standard Passive House* pode ser aplicado em qualquer lugar do mundo, sem afetar a liberdade de criação do arquiteto. Já Badea *et al.* (2014), através de um modelo matemático, analisou o ciclo de vida custo de uma casa passiva, incluindo suas variações técnicas de projeto e concluíram que a recuperação do investimento adicional em soluções alternativas e energeticamente eficientes, em comparação com uma casa padrão, pode ser alcançada em 16-33 anos, quando se adota um cenário conservador, ou em 16-26 anos, quando as previsões mais otimistas das condições econômicas são consideradas.

No Brasil ainda há pouca informação sobre a aplicabilidade do *standard Passive House*. Em estudos recentes para a zona bioclimática brasileira 2 (ZB2), Dalbem *et al.* (2016) verificaram e comprovaram a aplicabilidade do *Standard* para a ZB2, através da ferramenta PHPP (*Passive House Planning Package*). Posteriormente, Dalbem *et al.* (2017) avaliaram o desempenho da envoltória de uma *Passive House*, especificamente para a cidade de Pelotas, localizada no estado do Rio Grande do Sul e concluíram mais uma vez a aplicabilidade da norma no clima analisado, no qual, obtiveram uma economia de energia de 56,3% com a utilização de sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor em relação ao uso do condicionador de ar.

## Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é a otimização do nível de eficiência energética da envoltória de uma edificação residencial projetada de acordo com o método simplificado da NBR 15575, na Zona Bioclimática 1, através do método de simulação computacional, a fim de obter o nível A do RTQ-R e o *standard Passive House*.

Como objetivos específicos destacam – se:

- Analisar o desempenho térmico e energético da edificação;
- Observar a viabilidade econômica dos três casos de estudo.

## Método

O trabalho foi desenvolvido em três etapas principais que se subdividem para permitir a verificação das medidas adotadas, conforme ilustrado na figura 1.

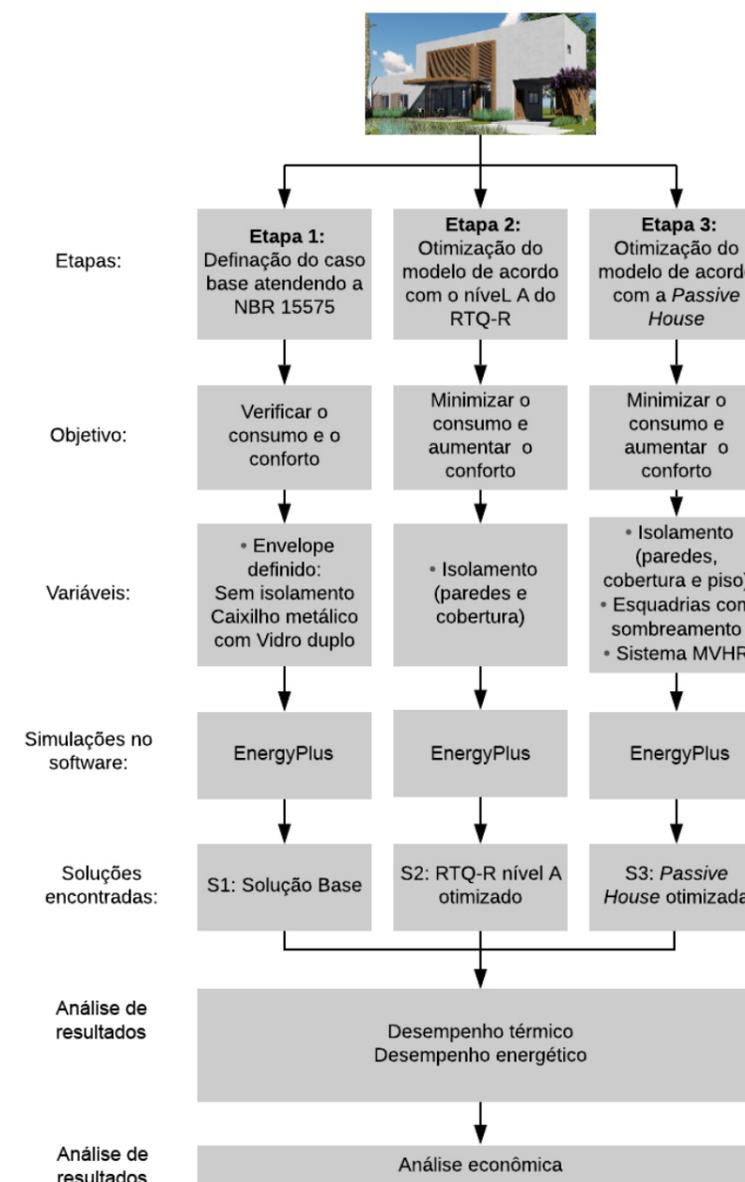


Figura 1: Método. Fonte: autores (2020).

## Caracterização do objeto de estudo e parâmetros de configuração

O objeto de estudo escolhido, foi o projeto arquitetônico desenvolvido na pesquisa “CASA BIOCLIMÁTICA NZEB E QUALIDADE DO LUGAR: Entrelaçando experiências — Portugal e Rio Grande do Sul/Brasil” (DALBEM, 2015). Para modelagem da geometria utilizou-se o *software SketchUp Make 2017*, figura 2, com o auxílio do *plugin Euclid* que possibilitou a importação dos dados de modelagem para o programa *EnergyPlus* versão 8.7, onde foram realizadas as simulações em duas condições: ventilação natural e climatização artificial.



Figura 2: Modelo tridimensional no SketchUp Make 2017. Fonte: dos autores (2020).

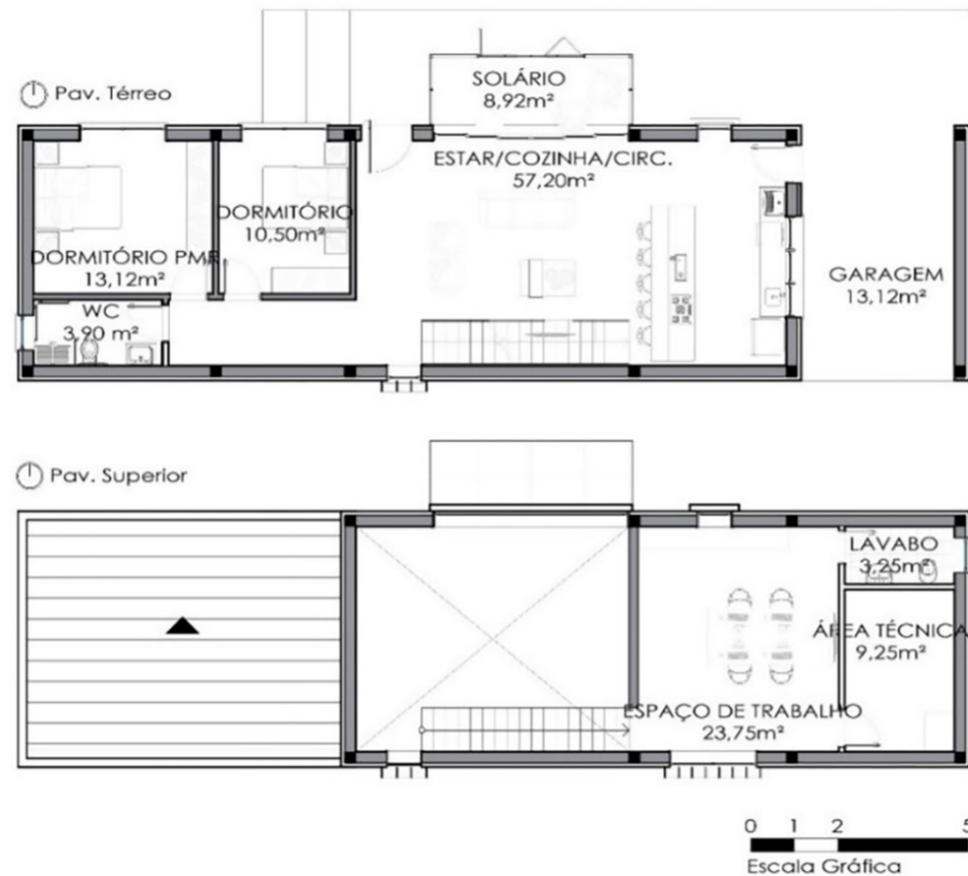


Figura 3: Planta baixa dos pavimentos térreo e superior. Fonte: (Dalbem, 2015).

O projeto arquitetônico possui uma área útil de 126,45m<sup>2</sup> distribuídos em dois pavimentos. No térreo estão a sala de estar integrada à cozinha, solário, dois dormitórios e banheiro. No pavimento superior encontra-se a área de trabalho, técnica e lavabo. A edificação foi desenvolvida com base nas estratégias passivas utilizadas no projeto da casa bioclimática de Pouey (2011).

Como pode ser observado na Figura 3, o projeto foi desenvolvido no eixo leste - oeste, com intuito de maximizar o ganho de radiação solar no inverno pela fachada norte, possuindo uma menor área de aberturas voltadas à fachada sul, leste e oeste, além de proteção e controle da radiação solar nas janelas pela inserção de brises e persianas.

## Arquivo climático

O arquivo climático utilizado para as simulações no *software EnergyPlus* foi o BRA\_PR\_Curitiba.838420\_INMET.epw, que apresenta as variações horárias de temperatura, umidade, direção, velocidade do vento e radiação solar das 8.760 horas do ano na cidade de Curitiba, localizada no estado do Paraná. A escolha deu-se pelo fato desse arquivo ser reconhecido pelo RTQ-R para a classificação do nível de eficiência energética na Zona Bioclimática 1 (ZB1).

## Dia típico

Foi utilizado o dia típico da cidade de Curitiba obtido através do arquivo *.stat*, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética das Edificações (LABEEE), que indica uma data de inverno e outra de verão, com a frequência de ocorrência de 0,4% e 99,6%. Na tabela 1, estão indicadas as temperaturas de bulbo seco, mínima e máxima, amplitude térmica e velocidade média dos ventos presentes nesse arquivo climático.

Médias	Dia Típico de Verão (21 de janeiro)	Dia Típico de Inverno (21 de julho)
TEMPERATURA MINIMA [°C]	21	3,1
TEMPERATURA MÁXIMA [°C]	28,6	3,1
AMPLITUDE TÉRMICA [°C]	10,2	10,2
VELOCIDADE DO VENTO [m/s]	3,9	0,5

Tabela 1: Dia Típico da cidade de Curitiba-PR. Fonte: dos autores (2020).

## Temperaturas médias do solo

De acordo com a indicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) de 2012, para a determinação das temperaturas do solo, utilizou-se o programa *Slab*, que está vinculado ao *software EnergyPlus*. O mesmo calcula a temperatura média do solo para cada mês do ano, com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação, para o clima escolhido, no caso a ZB1. Na tabela 2, estão identificadas as temperaturas de solo corrigidas para o caso base.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. [°C]	20,4	21,2	20,6	19,7	17,1	15,9	17,3	17,5	16,8	19,0	19,4	22,2

### Parâmetros de simulações

Os parâmetros de simulação dos modelos do S1(NBR15575), S2(otimizado RTQ-R) e S3(Passive house otimizado), descritos a seguir, consideram as definições do RTQ-R.

Parâmetros	Valores Adotados		
Padrão de uso	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala de Estar / Cozinha
Ocupação (pessoa/m <sup>2</sup> )	0,13	0,18	0,07
Densidade de potência instalada de iluminação (DPI)	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala de Estar / Cozinha
Iluminação (W/m <sup>2</sup> )	5	5	6
Cargas internas de equipamentos (W/m <sup>2</sup> )	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala de Estar / Cozinha
	Desligado	Desligado	1,5
Coeficiente de Performance do sistema de condicionamento de ar COP (W/W)	Aquecimento		Resfriamento
	2,75		3,00

A residência foi considerada ocupada no período noturno, com 2 pessoas em cada dormitório e o total de 4 pessoas na sala de estar/cozinha. Para a iluminação considerou-se os ambientes de uso prolongado, utilizando 5 W/m<sup>2</sup> nos dormitórios e 6 W/m<sup>2</sup> na sala de estar/cozinha. Já para os equipamentos instalados, utilizou-se 1,5 W/m<sup>2</sup> de carga instalada para o ambiente de sala de estar/cozinha durante a ocupação. O Coeficiente de performance do sistema de condicionamento de ar (COP) foi configurado considerando o seu uso para aquecimento e resfriamento, sendo utilizado o COP de 3,0 para resfriamento e 2,75 para aquecimento.

### Configuração para simulação de Ventilação Natural

A ventilação natural foi configurada com o funcionamento de 24 horas do dia, para análise de conforto e, das 8h às 21h, para a classificação dos modelos no RTQ-R, considerando a abertura das janelas quando a temperatura interna estiver acima de 20°C e superior a temperatura externa.

### Configuração para simulação de condicionamento artificial

O condicionamento de ar foi configurado no modelo *autosize*, considerando os COPs previamente descritos e *setpoints* de 22 a 24 °C, com o funcionamento de 21 h às 8 h, para a classificação da envoltória de acordo com as exigências do RTQ-R. Já as simulações para obtenção de consumo de ar condicionado, teve o funcionamento de 24 horas por dia com os *setpoints* ajustados para as temperaturas de 20°C

e 26°C, a fim de seguir as exigências da *Passive house* e também para permitir uma comparação dos dados mais acurada, tendo todos os modelos os mesmos parâmetros de condicionamento.

### Configuração para simulação do MVHR

O MVHR (*Mechanical ventilation with heat recovery*) é um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor. Ele tem como objetivo fazer a renovação de ar através da extração do ar quente interno e inserindo ar fresco externo nos ambientes (MCLEOD, 2016), favorecendo também o resfriamento, pois o MVHR garante a troca de ar necessária ao longo do ano, filtrando grande parte dos poluentes externos e garantindo níveis elevados de qualidade (PALMER, 2020). A configuração do MVHR nos modelos foi feita com o dimensionamento do fluxo de ar (m<sup>3</sup>/s) para cada ambiente da residência, permitindo a renovação com frequência de 0,6 trocas de ar por hora.

### Definição do Caso Base

A envoltória da construção segue as recomendações da NBR 15.575, para o método simplificado da norma, considerando a transmitância térmica e a capacidade térmica de paredes e cobertura para a zona bioclimática 1. A composição da mesma está descrita e exemplificada nas tabelas 4 e 5, ademais, todas as esquadrias adotadas são de alumínio com vidro insulado duplo.

	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	j [horas]
Parede	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm. Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm. Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm.	2,49	158	3,3

Tabela 4: Configuração parede (ABNT, 2005). Fonte: dos autores (2020).

	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]
Cobertura	Laje pré-moldada (vigota e tavela), com concreto e reboco interno. Altura da tavela: 20 cm; concreto: 5,0 cm, reboco interno: 2,0 cm.	1,92	333

Obs.: A cobertura completa considera a laje pré-moldada com telhado de fibrocimento. Porém, para efeitos de cálculo, a cobertura pode ser considerada como muito ventilada, sendo considerado apenas os materiais acima descritos.

Tabela 5: Configuração dos autores (2020).

### Otimização simplificada do modelo nível A do RTQ-R

Para obter o nível A do RTQ-R será verificado o nível já atendido pelo caso base e, posteriormente, será feito a adequação do modelo a fim de reduzir o consumo de energia para aquecimento e de graus-hora de resfriamento. A proposta de atendimento à classificação nível A será realizada apenas para a envoltória, sendo desconsiderado o sistema de aquecimento de água.

O tratamento da envoltória é feito a partir do acréscimo de isolamento térmico nas paredes e cobertura. O material utilizado será o EPS, gradualmente até atingir a espessura mínima para classificação Nível A de eficiência energética. Neste primeiro momento não serão testadas soluções de alteração nas dimensões e sombreamento de esquadrias e tipos de vidros.

Os testes para classificação da envoltória serão feitos com base em simulações computacionais, sendo necessário atendimento de GHR (graus horas de resfriamento) menor ou igual a 143 e o CA (consumo de aquecimento) menor ou igual a 16,700 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

### Solução adotada para otimização simplificada do modelo A do RTQ-R

O modelo ótimo selecionado, levando em consideração os requisitos de classificação do RTQ-R, apresentou o acréscimo 10cm de EPS nas paredes e cobertura, apresentando U de 0,30 W/(m<sup>2</sup>.K) para estes fechamentos.

### Otimização simplificada do modelo Passive House

Para atingir os requisitos da *Passive House* o modelo da residência será otimizado novamente, através do aumento do isolamento térmico (EPS) em paredes e coberturas, além do sombreamento das áreas envidraçadas, observando a necessidade de comprovar que o consumo de energia tanto para aquecimento quanto para refrigeração seja inferior à 15kWh/m<sup>2</sup>.ano. Já o consumo de energia primária para todos os usos da edificação não deve ser superior a 120kWh/m<sup>2</sup>.ano, a estanqueidade da construção deve ser de até 0,6h-1 e considerando climas quentes, o sobreaquecimento acima de 26°C não deve ultrapassar 10% das horas do ano. O modelo ainda será simulado considerando um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor (MVHR), verificação do consumo de energia, assim como as temperaturas internas também serão averiguadas.

### Solução adotada para otimização simplificada do modelo *Passive House*

Após ter ocorrido os testes dos modelos compositivos, a partir de simulações no *Energy Plus*, avaliou-se as seguintes variáveis *District Cooling* [kWh/m<sup>2</sup>] e *District Heating* [kWh/m<sup>2</sup>] para selecionar os modelos dentro dos critérios para certificação da *Passive house*. Dessa forma, foram realizadas simulações dos modelos compositivos com variações no isolamento de parede, cobertura e piso, selecionou-se então o modelo que atendesse os dois requisitos e que apresentasse menor necessidade de isolamento térmico. O modelo escolhido apresentou o acréscimo de 8cm de EPS nas paredes e cobertura e 0,5 no piso, apresentando U de 0,39 W/(m<sup>2</sup>.K) nas paredes e 0,37 W/(m<sup>2</sup>.K) na cobertura.

### Análise de resultados

#### Desempenho energético

O desempenho energético será obtido através da simulação de todos os modelos, considerando o sistema de ar-condicionado com funcionamento de 24 horas por dia durante o período de um ano. A análise será realizada por comparação do consumo

de ar-condicionado para aquecimento e refrigeração de todas as soluções propostas, sendo que os parâmetros de configuração do sistema de ar-condicionado seguiram as recomendações do RTQ-R, com análise anual em kWh e em kWh/m<sup>2</sup>.ano. A S2 e a S3 consideram diferentes *setpoints* para aquecimento e refrigeração. Para a análise comparativa dos resultados das três soluções serão definidos mesmos *setpoints* para os três casos, permitindo uma comparação com mesmos parâmetros. Uma segunda análise de desempenho energético será feita a partir da classificação da envoltória conforme RTQ-R, onde serão analisados o equivalente numérico de aquecimento (EqNumCA, dado em kWh/ano) e o equivalente numérico de resfriamento (EqNumResf - dado em Graus-hora de resfriamento - GHR). A classificação da envoltória para a Zona Bioclimática 1, conforme o RTQ-R, pode ser encontrada com a equação a seguir:

$$EqNumEnv = 0,08 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,92 \times EqNumEnv_A \quad \text{Equação 1}$$

#### Desempenho térmico

Para análise, será levado em consideração a ventilação natural durante 24 horas por dia do ano. Desta forma, será utilizado o modelo adaptativo da ASHRAE *Standard 55* (2017) com 80% de aceitabilidade, conforme equação 2.

$$T_{oc} = 17,8 + 0,31T_{ext} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$T_{oc}$  = Temperatura operativa de conforto [°C];  
 $T_{ext}$  = Temperatura média mensal externa [°C].

A temperatura operativa interna varia entre os limites -3,5°C até +3,5°C da temperatura operativa de conforto obtida a partir da equação 1, conforme figura 4, para aceitabilidade de 80 % dos usuários.

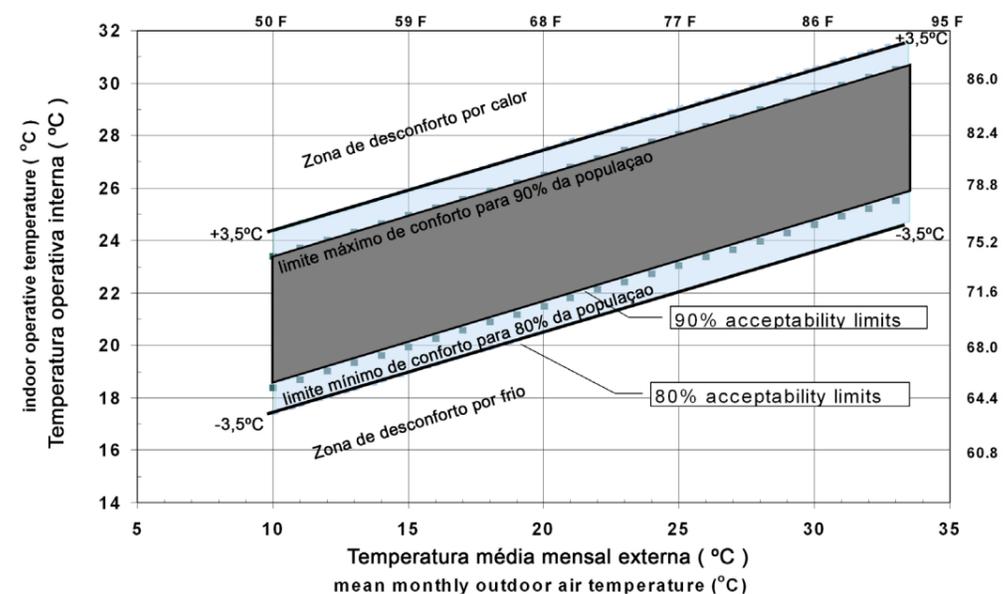


Figura 4: Faixa de conforto de Temperatura Operativa. Fonte: Adaptado da ASHRAE 55 (2017).

## Análise econômica

### Custos e orçamentos

Usualmente para a determinação de um orçamento, leva-se em consideração o valor dos impostos para a edificação, o lucro estimado e mais dois tipos de custos: os custos diretos que são caracterizados pela mão de obra, materiais e equipamentos, e os custos indiretos que são caracterizados por equipes de supervisão e apoio, despesas gerais no canteiro de obras e taxas (MATTOS, 2006). Neste estudo utilizou-se os custos diretos, por serem diretamente associados aos serviços de campo.

Para a composição de custos unitários, utilizou-se os insumos de cada serviço e seus respectivos índices, assim foi considerado a quantidade de cada insumo necessária para a produção de uma unidade de serviço e o valor pré-estabelecido para desempenhar cada atividade, além dos encargos sobre a hora-base do trabalhador (MATTOS, 2006). A fim de compor os custos, primeiro identificou-se os serviços necessários, posteriormente levantou-se os quantitativos, discriminou-se os custos diretos e a cotação de preços. É indicada a relação dos serviços orçados na tabela 6, que se baseia na discriminação orçamentária apresentada na NBR 12.721 (ABNT, 2006).

B.1. Serviços iniciais:	B. 1.8 Trabalhos em terra Escavações manuais
B.2. Infra-estrutura e obras complementares:	Fundações profundas;
B.3 Supra-estrutura:	Concreto armado;
B.4 Paredes e painéis:	B.4.1 Alvenarias e divisórias Alvenarias de tijolos furados; B.4.2 Esquadrias e ferragens Esquadrias de madeira; Esquadrias de alumínio; Peitoris; B.4.3 Vidros Vidros lisos transparentes;
B.5 Coberturas e proteções:	B.5.1 Cobertura Estrutura de madeira para cobertura; Cobertura com telhas fibrocimento; Funilaria; B.5.2 Impermeabilizações Impermeabilização de fundações; Impermeabilização de sanitários; B.5.3 Tratamentos especiais Tratamento térmico;

Tabela 6: Relação dos serviços orçados (NBR 12.721). Fonte: dos autores, 2021.

B.6 Revestimentos, forros, marcenaria e serralheria, pinturas e tratamentos especiais:	B-6.1 Revestimentos (interno e externo) Revestimentos de argamassa; Revestimentos cerâmicos/azulejos; Peitoris; B.6.2 Forros e elementos decorativos B.6.3 Marcenaria e serralheria Corrimão e guarda-corpo; B.6.4 Pintura Selador paredes; Selador portas e madeiras; Pintura PVA; Pintura acrílica; Pintura esmalte sobre madeira; Pintura verniz sobre madeira;
B.7 Pavimentações:	B.7.1 Pavimentações Pisos cerâmicos; B.7.2 Rodapés, soleiras Rodapé cerâmico; Soleira de granitina;

No levantamento quantitativo foram consideradas as dimensões e as características técnicas do projeto arquitetônico, conforme apresentado na tabela 7.

Descrição dos serviços	Qtde	Unid.
<b>B.1 Serviços iniciais</b>		
B.1 Serviços iniciais	Aterro mecanizado	185,82 m <sup>3</sup>
	Compactação do aterro	185,82 m <sup>2</sup>
<b>B.2 Infra-estrutura e obras complementares</b>		
B.2 Infra-estrutura e obras complementares	Fôrmas (radier)	m <sup>2</sup>
	Lastro de brita (radier)	m <sup>3</sup>
	Armadura de tela de aço CA 60 (radier)	m <sup>2</sup>
	Concreto C25 (radier)	m <sup>3</sup>
	Bombeamento do concreto (radier)	m <sup>3</sup>
	Aplicação e adensamento (radier)	m <sup>3</sup>
<b>B.3 Supra-estrutura</b>		

Tabela 7: Levantamento quantitativo do projeto arquitetônico. Fonte: dos autores (2021).

B.3 Supra-estrutura	Fôrmas (cintas de amarração)	17,49	m <sup>2</sup>
	Armadura de aço CA 60 (cintas de amarração)	5.945,55	Kg
		71,63	m <sup>3</sup>
	Concreto preparado na obra	21,39	m <sup>3</sup>
	Concreto preparado na obra (cintas de amarração)	3,26	m <sup>3</sup>
	Concreto preparado na obra (Pilares)	46,98	m <sup>3</sup>
	Concreto preparado na obra (Lajes)	1,23	m <sup>2</sup>
	Vergas e contravergas	931,23	m <sup>3</sup>
	Fôrmas (Vigas)	82,72	m <sup>3</sup>
	Lajes pré-moldadas		
B.4 Paredes e painéis:			
B.4.1 Alvenarias e divisórias	Alvenaria de vedação - paredes externas	185,28	m <sup>2</sup>
		66,13	m <sup>2</sup>
	Alvenaria de vedação - paredes internas	59,01	m <sup>2</sup>
	Alvenaria da platibanda	20,89	m <sup>2</sup>
	Alvenaria abaixo 1º PV		
B.4.2 Esquadrias e ferragens	Esquadrias de alumínio maxim-ar	16,62	m <sup>2</sup>
	Esquadrias de alumínio	15,12	m <sup>2</sup>
	Porta de madeira pivotante (1,20x2,10)	1,00	un
	Porta de madeira (0,80x2,10)	5,00	un
	Porta de madeira (0,70x2,10)	1,00	un
	Porta de vidro (4,50x2,10)	1,00	un
	Porta de vidro (2,40x2,50)	1,00	un
B.4.3 Vidros	Vidros simples 4mm	47,67	m <sup>2</sup>
B.5 Coberturas e proteções:			
B.5.1 Cobertura	Estrutura de madeira	109,76	m <sup>2</sup>
	Telha de fibrocimento	109,76	m <sup>2</sup>
	Cumeeira	20,81	m
	Calha de chapa de aço galvanizado	20,81	m
	Rufo de chapa de aço galvanizado	20,76	m
B.5.2 Impermeabilização	Impermeabilização - emulsão asfáltica	63,77	m <sup>2</sup>
B.5.3 Tratamentos especiais	Tratamento térmico - Piso	183,71	m <sup>2</sup>
	Tratamento térmico - Paredes	457,38	m <sup>2</sup>
	Tratamento térmico - Cobertura	109,76	m <sup>2</sup>

B.6 Revestimentos, forros, marcenaria e serralheria, pinturas e tratamentos especiais:			
B.6.1 Revestimentos (interno e externo)	Chapisco - externo	457,38	m <sup>2</sup>
	Emboço - externo	457,38	m <sup>2</sup>
	Reboco - externo	457,38	m <sup>2</sup>
	Chapisco - interno	325,79	m <sup>2</sup>
	Emboço - interno	325,79	m <sup>2</sup>
	Reboco - interno	325,79	m <sup>2</sup>
	Peitoril	4,82	m
B.6.4 Pintura	Pintura com tinta acrílica - paredes externas	457,38	m <sup>2</sup>
		325,79	m <sup>2</sup>
	Pintura com tinta PVA - paredes internas	19,74	m <sup>2</sup>
	Pintura com verniz - esquadrias de madeira		
B.7 Pavimentações			
B.7.1 Pavimentações	Regularização sarrafeada	183,71	m <sup>2</sup>
	Piso cerâmico esmaltado	183,71	m <sup>2</sup>
	Rejuntamento de piso cerâmico	183,71	m <sup>2</sup>
B.7.2 Rodapés, soleiras	Rodapé cerâmico	102,76	m
	Soleira	10,20	m

A composição dos custos e serviços foi efetuada através da base de dados online do TCPO – Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (PINI, 2017). Já os valores das composições de serviço foram obtidos a partir do SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices, por se tratar de uma fonte oficial de referência de custos de composição de serviços.

Os valores utilizados foram retirados dos relatórios de insumo e composições, que possuem mão de obra, composições e equipamentos dos serviços mais frequentes na construção civil por unidades da federação. O relatório utilizado foi o do primeiro semestre de 2018 para a cidade de Porto Alegre -RS. Para os demais serviços (instalações provisórias, aparelhos e metais, instalações elétricas e instalações hidráulicas, sanitárias e gás) foi utilizado o valor percentual representativo com base no custo total da obra. A tabela 8 apresenta estes percentuais, que são recomendados pela Caixa Econômica Federal, e os valores que foram adotados no trabalho (valor médio).

SERVIÇOS		Intervalo recomendado (%)	Valor adotado (%)
B.1 Serviços iniciais	B.1.3 Instalações provisórias	0,1 a 0,55	0,33
B.8 Instalações e aparelhos	B.8.1. Fundações especiais	3 a 4	3,5
	B.8.2. Infraestrutura e obras complementares	1,9 a 2,5	2,2
	B.8.3. Aparelhos e metais	2 a 6	4
	B.8.2 Instalações elétricas	5 a 12	8,5
	B.8.3 Instalações hidráulicas, sanitárias e gás	5 a 12	8,5
B.9 Complementação da obra	B.9.1 Calafete e limpeza	0,50 a 2,50	1,5

Para o sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor (MVHR) foi feito um orçamento através do site da empresa Solarcrest, localizada no Reino Unido, devido à ausência deste produto no Brasil. Acrescentou-se o valor das taxas de importação para o sistema MVHR, obtidas através do site do Receita Federal (Ministério da Fazenda, 2020) por meio do Simulador do Tratamento Tributário e Administrativo das Importações. O valor para a conversão da moeda Euro (€) para Reais (R\$) foi equivalente a R\$ 6,3899, para o dia 28 de novembro de 2020, data da simulação.

#### Custo da eletricidade

Para obter o valor em Reais de consumo foi necessária a tarifa energética. O valor do kWh foi calculado, com base na equação informada pela concessionária CEEE, para uma residência convencional de baixa tensão, sem o acréscimo de bandeira tarifária.

Preço final [R\$] = Preço homologado

$$\text{PIS (\%)} - \text{COFINS (\%)} - \text{ICMS (\%)}$$

Equação 3

Os valores de PIS, COFINS e ICMS, foram obtidos através de tabelas da concessionária CEEE, analisados em relação a data de 2019 e 2014.

#### Tempo de retorno do investimento

Para o *Payback* descontado foram necessárias as seguintes informações: valor investido, taxa de juros, período, valor futuro e valor presente. Para taxa de juros, considerou-se o índice nacional de custo da construção do mercado (INCC), onde utilizou-se uma média mês a mês dos últimos 5 anos. O período foi a quantidade de tempo desde o investimento até o retorno do fluxo de caixa. O valor futuro levou em consideração a economia de kWh da otimização comparada com o caso base. Obtendo assim a economia de energia mês a mês, considerando a variação da tarifaria dos últimos 5 anos no preço final do kWh, através de uma média percentual anual para supor o aumento tarifário, onde no primeiro ano não haveria acréscimo, o acréscimo percentual se daria nos próximos anos gradativamente.

Para o cálculo do *Payback* descontado, foi considerado o valor investido para a otimização como saldo negativo, ao qual, mês a mês, seria somado o valor de economia de energia elétrica, de forma corrigida, tendo em vista a desvalorização da moeda em relação ao período de retorno. O valor de consumo corrigido foi considerado como valor presente (VP) e o valor sem a correção como valor futuro (VF). Para calcular o VP utilizou-se da equação:

$$VP = VF \div (1+i)^n$$

Equação 4

Onde:

VP = Valor presente

VF= Valor futuro

I = taxa de juros

N= número de períodos

A partir do VP foi possível calcular o *PayBack* descontado com a utilização do software Microsoft Excel, somando o VP ao saldo negativo, até anular o valor de investimento, sendo possível obter o período (em anos) de retorno do investimento.

#### Resultados

Os resultados de desempenho térmico, energético, classificação da envoltória, custos e *payback* descontados, estão descritos no infográfico da figura 5.

ZONA BIOCLIMÁTICA 1				
ENVOLTÓRIAS		CASO BASE NBR 15575	OTIMIZAÇÃO RTQ-R	OTIMIZAÇÃO Passive house
<b>Consumo KWh/m².ano</b> (Climatização artificial 24h)	Setpoint		20°-26 °C	20°-26 °C
	AQUECIMENTO	0,78	0,11	0,01
	RESFRIAMENTO	43,64	10,57	4,99
	TOTAL	44,4	10,7	5,0
<b>Conforto e desconforto</b>	Ventilação natural	VN 20 °C	VN 20 °C	VN 20 °C
	CONFORTO	44,94%	77,71%	96,72%
	DESCONFORTO POR FRIO	54,76%	22,29%	3,28%
	DESCONFORTO POR CALOR	0,30%	0,00%	0,00%
<b>Classificação da envoltória (RTQ-R)</b> (Climatização artificial 21 às 8h)	Setpoint	22°-24 °C	22°-24 °C	22°-24 °C
	CLASSIFICAÇÃO	C	A	B
<b>Orçamento</b>	INVESTIMENTO INICIAL (R\$)	R\$ 549.857,58	R\$ 573.892,97	R\$ 609.803,40
	<b>Payback descontado</b>	Tempo de retorno (anos)	-	5 ANOS

Figura 5: Compilação dos resultados. Fonte: dos autores (2021).

## Desempenho termoenergético

Sobre o consumo energético, o padrão *passive house* mostrou-se 88% mais eficiente que os demais casos. Em relação ao nível de conforto térmico, a mesma envoltória apresentou 19% e 52% a mais de horas em conforto térmico ao longo do ano em comparação ao RTQ-R e caso base, respectivamente. Embora a edificação com classificação A do RTQ-R tenha maior isolamento térmico, não obteve melhor desempenho, apresentando maior consumo e menor conforto.

## Custos e orçamentos

### Orçamento

A tabela a seguir apresenta a descrição do orçamento para cada uma das soluções estudadas.

Descrição dos serviços	Custo (R\$)		
	S1 Caso Base	S2 Nível A RTQ-R	S3 Passive House
B.1 Serviços iniciais	4590,06	4590,06	4590,06
B.3 Supra-estrutura	186457,01	186457,01	186457,01
B.4.1 Alvenarias e divisórias	9091,23	9091,23	9091,23
B.4.2 Esquadrias e ferragens	21454,18	21454,18	21454,18
B.5.1 Cobertura	26199,56	26199,56	26199,56
B.5.2 Impermeabilização	2071,15	2071,15	2071,15
B-6.1 Revestimentos (interno e externo) e tratamentos especiais	141793,84	141793,84	141793,84
		COBERT. 10CM EPS 4651,8098	COBERT. 8CM EPS 3746,255
		PAREDE 10CM EPS 19383,578	PAREDE 8CM EPS 15610,23
		-	PISO 0,5 CM EPS 501,5283
B.6.4 Pintura	15135,54	15135,54	15135,54
B.7.1 Pavimentações	13941,75	13941,75	13941,75
B.7.2 Rodapés, soleiras	4177,84	4177,84	4177,84
Sistema de resfriamento (MVHR)	-	-	40087,8
Investimento adicional	-	24.035,39	59.945,82
Investimento total	R\$ 549.857,58	R\$ 573.892,97	R\$ 609.803,40

Tabela 9: Descrição dos orçamentos. Fonte: dos autores (2021).

Nota-se o acréscimo de R\$ 24.035,39 para obtenção da classificação A do RTQ-R, com a aplicação de 10cm de EPS nas paredes externas e cobertura. Já para o padrão *passive house*, houve o acréscimo de 8 cm EPS nas paredes/ cobertura, 0,5 cm de EPS no piso e a utilização do sistema MVHR, totalizando R\$ 59.945,82 a mais que o caso base. Embora o acréscimo de isolamento seja menor, há um valor significativo associando ao sistema de resfriamento, porque não possui fabricação nacional.

### Custo da eletricidade

Para o cálculo do custo da tarifa com impostos em R\$/kWh, foi usado a equação 3, disponibilizada pela CEEE (2019), para uma residência convencional de baixa tensão, sem o adicional de bandeira tarifária. Onde leva em consideração os valores de ICMS, PIS e CONFIS. O valor do ICMS para o padrão de edificação foi obtido através da tabela de Tarifa e custos dos anos de 2014 e 2019, disponibilizada pela CEEE (2014-2019), conforme tabela 10. Assim como o valor de tarifa sem impostos que, no ano de 2014, esteve em R\$ 0,3824, já no ano de 2019 esteve em R\$ 0,5776, chegando ao total com impostos de 0,8777 e 0,5337, apresentando uma variação de 39,19 % ao longo de 5 anos, aproximadamente 7,84% por ano, de acordo com tabela 11.

DATA	ICMS	PIS	COFINS
Mai/19	30,0000%	0,7388%	3,4560%
Dez/14	25,0000%	0,5944%	2,7383%

DATA	[kWh]	TARIFA+IMPOSTO	DIFERENÇA %	DIFERENÇA POR ANO %
Mai/19	0,5776	0,8777	39,19601112	7,84
Dez/14	0,38249	0,5337		

Tabela 10 – Valores das tarifas com impostos (2014 – 2019). Fonte: dos autores (2021). Tabela 11: Valor da variação da tarifa com base em cinco anos. Fonte: dos autores (2021).

### Payback descontado

Para o cálculo, levou-se em consideração a economia de consumo que ocorreria comparando os demais casos com o caso base, e o otimizado nível A com o otimizado *passive house*. Em posse desses dados, considerou-se a economia que estas otimizações gerariam por mês em relação ao consumo, onde este valor foi multiplicado pelo valor do custo do kWh com impostos, gerando o valor de economia monetária mês a mês, levando em consideração o percentual de variabilidade da tarifa por ano de 7,84 %.

A figura 6 demonstra o tempo de retorno do investimento em anos. A otimização para atender o nível A do RTQ-R, obteve o tempo de retorno de 5 anos. Já quando a edificação foi otimizada para atender o padrão *passive house*, o tempo de retorno foi de 18 anos. Observa-se que o investimento para obtenção do nível A do RTQ-R foi de 40%, diferente do padrão *passive house*, que tornou-se 60% mais caro, ao mesmo tempo que o investimento para a obtenção da S2 e da S3 comparado com o investimento da envoltória inicial (S1) foi de 5% e 10% de acréscimo, respectivamente.

## Conclusões

Com este estudo conclui-se que é possível a aplicação do padrão alemão *passive house* a Zona Bioclimática Brasileira 1, inclusive, o padrão pode proporcionar maior desempenho termoenergético. O projeto arquitetônico das soluções 1, 2 e 3, não foi alterado ao longo das simulações. Desta forma, nota-se que o regulamento técnico de qualidade RTQ-R, do INMETRO 2012, embora tenha sido desenvolvido para habitações residenciais, considerando as zonas bioclimáticas brasileiras, tornou-se insuficiente em questão de desempenho quando comparado o padrão alemão. Isto ocorre pela forma como é feita avaliação do equivalente numérico da envoltória para classificação do RTQ-R que considera, para o consumo de aquecimento, equivalentes numéricos para cada ambiente de permanência prolongada da edificação, obtendo o equivalente da envoltória através de média ponderada com as áreas uteis de cada ambiente. Portanto, pelo projeto apresentar a cozinha integrada à sala de estar, acaba sendo gerada uma área muito significativa em relação aos demais ambientes, necessitando de maior isolamento para diminuir o consumo de aquecimento deste compartimento, diminuindo a perda de calor interno pelas superfícies, mas dificultando a obtenção de calor pelos fechamentos opacos dos demais ambientes, o que aumenta as horas de desconforto por frio no inverno, necessitando de maior consumo energético. Já para obtenção da *passive house*, considera-se o consumo total da edificação até 15kWh/m<sup>2</sup>.ano e até 10% das horas de desconforto por calor. Além disso, outra desvantagem é que para a obtenção da classificação da envoltória, o método do RTQ-R é mais complexo do que para obtenção dos indicadores do padrão *passive house*. Sobre o aspecto econômico, o padrão *passive house* apresentou maior custo, devido ao alto valor associado ao MVHR, deste modo, tornou o padrão A do RTQ-R mais atrativo em questão de custo-benefício. Contudo, quando comparado com o investimento inicial de uma edificação com os padrões mínimos de qualidade (NBR 15575), o acréscimo para obter uma edificação padrão *passive house* torna-se compensável. Observa-se a necessidade de ampliação deste estudo para as demais zonas bioclimáticas brasileiras, a fim de obter padrões e métodos mais eficientes para as habitações unifamiliares, aplicadas ao contexto nacional.

## Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220. *Desempenho térmico para edificações de interesse social*. 2005.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575 - 4: 2013. *Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE*. 2013
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12721: 2006. *Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios*. 2006.
- ASBEA. Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. *Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho – ABNT NBR 15.575*. 2015. Disponível em: [https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2\\_guia\\_normas\\_final.pdf](https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf). Acesso em junho, 2019.
- ANSI/ASHRAE – American National Standard Institute / American Society Of Heating, refrigerating and air-conditioning engineers. *Standard – 55 - 2017 Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy*. Atlanta, 2017.

BADEA, Adrian; BARACU, Tudor; DINCA, Cristian; TUTICA, Diana; GRICORE, Roxaa; ANASTASIU, Madalina. A life-cycle cost analysis of the passive house “politehnica” from bucharest. *Energy Build.* Romênia. Volume 80, páginas 542-555, 2014.

CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica. *Tarifas e custos dos serviços 2019*. Disponível em: [http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/Folder%20Grupo%20B\\_2019\\_53766.pdf](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/Folder%20Grupo%20B_2019_53766.pdf). Acesso em Fevereiro, 2021.

CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica. *Tarifas e custos dos serviços 2014*. Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tabela%20Grupo%20B%20dezembro%202014.pdf>. Acesso em Fevereiro, 2021.

CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica. *Valores pis/ confis*. Disponível em: [http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/BTFormService\\_PisCofins.aspx](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/BTFormService_PisCofins.aspx). Acesso em Fevereiro, 2021.

DALBEM, Renata; KNOP, Stifany; CUNHA, Eduardo G.; OLIVEIRA, Rui; RODRIGUES, Maria F.; VICENTE, Romeu. Verification of the passive house concept to the south of brazil climate. *Journal of civil engineering and architecture*, v. 10, p. 937-945, 2016.

DALBEM, Renata; CUNHA, Eduardo Grala.; VICENTE, Romeu; FIGUEIREDO, António J.; SILVA, Antonio César S.B. discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 1, p. 201-222, 2017.

EPE. *Empresa de Pesquisa Energética*. Uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Nota técnica 030-2018. (14/12/2018). Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/uso-de-ar-condicionado-no-setor-residencial-brasileiro-perspectivas-e-contribuicoes-para-o-avanco-em-eficiencia-energetica>. Acesso em junho, 2019.

EPE. *Empresa de Pesquisa Energética*. Balanço energético nacional de 2019, ano base 2018. MME, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. Acesso em junho, 2019.

FOKAIDES, Paris A.; CHRISTOFOROU, Elias; ILIC, Milos; Papadopoulos, Agis. Performance Of A Passive House Under Subtropical Climatic Conditions. *Energy and Buildings*. Grécia. Volume 133, páginas 14-31, 2016.

INCC, Índice nacional de custo da construção do mercado. *Fundação Getúlio Vargas*. Disponível em: [https://www.portalbrasil.net/incc\\_di.htm](https://www.portalbrasil.net/incc_di.htm). Acesso em agosto, 2019.

INMETRO – Instituto Nacional De Metrologia, normalização e qualidade industrial. *RTQ-R*. Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

MATTOS, Aldo Dórea. Como preparar orçamento de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. Editora PINI. São Paulo, 2006.

MCLEOD, Rob, MEAD, Kym, STANDEN, Mark *Passivhaus primer: designer’s guide a guide for the design team and local authorities*. 2016. Disponível em [http://www.passivhaus.org.uk/filelibrary/Primers/KN4430\\_Passivhaus\\_Designers\\_Guide\\_WEB.pdf](http://www.passivhaus.org.uk/filelibrary/Primers/KN4430_Passivhaus_Designers_Guide_WEB.pdf). Acesso em agosto, 2020.

MIRANDA, Singoala dos Santos. *A influência da NBR 15575 na prática da arquitetura*

na cidade de pelotas, rs. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2014.

MLAKAR, Jana; ŠTRANCAR, Janez. Overheating in residential passive house: solution strategies revealed and confirmed through data analysis and simulations. *Energy and Buildings*, v. 43, n. 6, p. 1443–1451, 2011.

SOARES, Maicon Motta. *Avaliação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR 15.575/2013: habitações de interesse social na zona bioclimática 2*. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2014.

PACHECO-TORRES, Rosalía; GARCÍA, Javier; MARTÍNEZ, Germán. Energy efficient design of building: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Espanha. Volume 16, páginas 3559-3573, 2012.

PALMER, John. *Passivhaus trust- the case for mvhr*. Disponível em: <[https://passivhaustrust.org.uk/guidance\\_detail.php?gld=46](https://passivhaustrust.org.uk/guidance_detail.php?gld=46)>. Acesso em agosto, 2020.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, *Directiva 2010/31/EU*. 2010. Disponível em < <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:PT:PDF#:~:text=A%20presente%20directiva%20promove%20zba,clima%20interior%20e%20de%20rentabilidade.>> Acessado em 23/03/2021.

PASSIVE-ON PROJECT. *A norma passivhaus em climas quentes da europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético – Parte 1: Revisão De Casas Confortáveis De Baixo Consumo Energético*. 2017. Disponível em: <http://www.eerg.it/passive-on.org/CD/1.%20Technical%20Guidelines/Part%202/Passivhaus%20Portugal/Part%202%20-%20Portuguese%20Passivhaus%20in%20Detail%20-%20Portugues.pdf>. Acesso em agosto, 2019.

SCHNIEDERS, Jürgen.; FEIST, Wolfgang.; RONGEN, Ludwig. Passive houses for different climate zones. *Energy and Buildings*, Volume 105, páginas 71–87, 2015.

WANG, Weimin; RIVARD, Hugues; ZMEUREANU, Radu. *Floor shape optimization for green building*. Canadá. 2006. *Advanced Engineering Informatics*. Volume 20, Páginas 363-378, 2006.

# CONSTRUÇÃO AUTOMATIZADA EM BLOCOS CERÂMICOS

## Do processo paramétrico à aplicação robótica

### *AUTOMATED HOLLOW BRICK CONSTRUCTION From parametric design to robotics application*

**Júlio César Pinheiro Pires<sup>1</sup>, Laline Elisângela Cenci<sup>2</sup>  
e Olavo Avalone Neto<sup>3</sup>**

#### **Resumo**

O bloco, estrutural ou vedação, é o módulo industrializado mais utilizado na construção civil, desde a revolução industrial. A demanda crescente por formas cada vez mais complexas e experimentações formais fomentada pelo uso de novas tecnologias vêm exigindo conhecimento de processos que permitam a aplicação dessa unidade no cenário da construção civil. Objetiva-se aqui demonstrar um método de construção automatizada de uma parede de blocos cerâmicos com disposição espacial parametrizada e executadas em escala reduzida através de um braço robótico, conferindo precisão no processo repetitivo. Pretende-se difundir a estruturação de um fluxo de trabalho para aprimorar e viabilizar a execução de modelos não convencionais.

Palavras chave: desenho paramétrico, blocos cerâmicos, automação.

#### **Abstract**

*The hollow brick is probably the most ubiquitous building block since the industrial revolution. The growing demand for more complex formal design brought by improvements in computing technology requires the knowledge and adoption of new processes and systems for its application in contemporary building sites. This paper aims to demonstrate a method for building hollow brick parametric walls using a low cost robotic arm. It provides a proof of concept through the construction of a scale model and provides a workflow for design and execution of non-conventional structures.*

*Keywords: parametric design, hollow brick, automation.*

<sup>1</sup> Arquiteto e Urbanista, Doutor e Mestre em Design, Professor adjunto da faculdade de arquitetura da UFSM-CS.

<sup>2</sup> Arquiteta e Urbanista, Doutora em Arquitetura e Professora adjunta da faculdade de arquitetura da UFSM-CS.

<sup>3</sup> Arquiteto e Urbanista, Doutor em Arquitetura e Professor adjunto da faculdade de arquitetura da UFSM-CS.

#### **Introdução**

Os primeiros materiais de construção industrializados foram os tijolos. No fim do século 19, com a multiplicação das olarias, começou a se difundir uma nova tecnologia: a alvenaria de tijolos, usada em substituição à taipa (VARGAS, 1994). A sua fabricação evoluiu, acompanhando as grandes revoluções tecnológicas; no entanto, o seu assentamento manual manteve-se. Ao longo da sua história, o tijolo passou por diferentes processos de manufatura e foi usado de várias formas na construção.

No início do século XX o tijolo aparente (bloco cerâmico maciço) foi desprezado como material de composição das superfícies pela disseminação do Estilo Internacional, que privilegiava as superfícies rebocadas, brancas, aparentemente desprovidas de materialidade. Apesar de arquitetos bastante reconhecidos deste movimento, como Mies van der Rohe, Frank Lloyd Wright, Le Corbusier e Louis Kahn utilizaram o tijolo aparente com indiscutível êxito. Entre os casos latino-americanos, cabe destacar o trabalho do engenheiro uruguaio Eladio Dieste, do arquiteto colombiano Rogelio Salmona, do arquiteto paraguaio Solano Benitez, e do brasileiro Joaquim Guedes. O tijolo chegou ao século XXI alheio ao já superado antagonismo entre tradicionalismo e modernidade, mas ainda carregado dos estigmas de familiaridade e frequentemente relacionado às definições de arquitetura local ou regional (CAMERIN, 2016).

A construção de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos ainda é, essencialmente, feita com as mesmas ferramentas e técnicas, apresentando baixa inserção de tecnologia no processo desde o século XIX, quando, em função da revolução industrial, começou-se a fazer tijolos de furação horizontal (DIAS, 2011).

No Brasil, a cerâmica tem seu berço na cultura indígena, mas foi somente com a chegada dos portugueses que trouxeram toda a estrutura necessária e concentraram a mão-de-obra dando início às primeiras olarias, que esta técnica evoluiu. O setor cerâmico é um dos principais ramos da construção e está presente em quase todos os canteiros de obras. Contudo, o processo ainda é muito artesanal, enfrentando grandes atrasos tecnológicos, sendo que ainda poucas empresas utilizam sistemas automatizados de produção e controle de qualidade de seus produtos (ROSSI, 2017).

Com o recente anseio por novas formas, cada vez mais complexas, nos mais distintos materiais, o tijolo foi perdendo o lugar de material de eleição para outros materiais que permitiam uma maior liberdade formal e expressiva (OLIVEIRA, 2015).

A arquitetura digital na década de 1990 estava predominantemente preocupada com novas estratégias de design auxiliado por computador e era frequentemente criticada por negligenciar questões de materialização e construção. A lacuna entre o que é digitalmente possível de projetar e o que é fisicamente viável de construir diminuiu quando, no início dos anos 2000, tecnologias se tornaram mais comumente disponíveis onde vem influenciando de maneira mais intensa o modo de produzir arquitetura (KOLAVERIC, 2003; BURRY e BURRY, 2010; WOODBURY, 2010; GRAMAZIO e KOHLER, 2014).

A expansão de conhecimentos nas áreas de robótica e programação alcança locais fora dos núcleos das áreas de engenharia. Antes este tema estava aderido às disciplinas da mecatrônica e aos sistemas de controle e automação. Entretanto, estudos de informática nas ciências sociais aplicadas têm colaborado para uma evolução no sentido transversal entre as áreas (CELANI E SEDREZ, 2018).

Assim a arquitetura, bem como o design têm se apropriado de temas diversos, como

desenho paramétrico, desenho generativo e processos automatizados na construção civil. Neste contexto o presente trabalho visa apresentar um processo de construção de paredes projetadas por métodos paramétricos e executadas em blocos cerâmicos em escala reduzida através do uso de um braço robótico, conferindo precisão no processo repetitivo e viabilizando a execução de estruturas com desenhos não convencionais.

### Desenho paramétrico e design script

Com origem nas matemáticas, o termo *paramétrico* refere-se a um valor ou medida do qual algo depende, geralmente representado por uma variável, que pode ser alterada. O conceito de parametrismo no desenho tem sido associado à noção de variabilidade do desenho, especificamente no desenvolvimento da representação computacional de um objeto e da sua modelação geométrica (MITCHELL, 1995; MC CULLOUGH E MITCHELL, 2008).

Atualmente existem várias ferramentas de modelagem tridimensional que permitem ao projetista representar geometrias na tela do computador. No entanto, estas têm limitações que não permitem que o processo de modificação se realize rápida e facilmente. A concepção paramétrica oferece a possibilidade de encontrar novas maneiras de originar soluções e de controlar o processo de concepção. Desta forma, há tanto automatização no que diz respeito à definição de geometrias, como na geração de um modelo que permite alterações e/ou edições ao desenho de uma forma ágil e significativa (TEDESCHI, 2011).

A modelagem paramétrica, também conhecida como modelagem de restrições, introduz uma mudança no processo de concepção, relacionando e alterando a informação envolvida de forma sistematizada (WOODBURY, 2010).

O poder dos computadores está na sua capacidade de calcular rapidamente complexas fórmulas matemáticas. No âmbito do projeto de edifícios, este fato tem permitido viabilizar geometrias complexas, introduzindo a possibilidade de criar e manipular novas famílias de formas e de superfícies curvas. Novas ferramentas computacionais, em ambientes paramétricos, permitem programar as dependências entre componentes por meio do uso de variáveis, chamadas parâmetros. Estes permitem construir regras, traçar relações entre os pontos de uma curva, e definir o relacionamento e dependência entre eles. Portanto, as curvas derivadas deles capacitam a criação de superfícies curvas controladas parametricamente (FLORIO, 2011).

Para Florio (2011), há diferentes modos de estabelecer parâmetros. A Modelagem Paramétrica por *scripts* é extremamente eficiente para programar algoritmos complexos. No entanto, alguns *plug-ins*, como o *Grasshopper* e o *Paneling Tools*, têm facilitado o trabalho daqueles que não são programadores, ou mesmo daqueles que não possuem interesse em realizar a verdadeira programação.

As linguagens *script* para softwares CAD podem variar muito, não apenas em termos de sua sintaxe e estrutura, mas também em relação aos resultados que podem ser obtidos por sua aplicação. Alguns exemplos de linguagens de programação para aplicativos CAD são o Rhinoscript do Rhinoceros, o MEL do Maya, o MaxScript do 3DMax e o VBA ou Autolisp do AutoCAD (CELANI e VAZ, 2011).

Outro exemplo deste processo de programação visual é o Autodesk Dynamo. Este aplicativo permite explorar a programação através de conectores de fluxo de trabalho

em vários softwares, é desenvolvido em uma plataforma de código aberto que possibilita o aprimoramento contínuo.

Os ambientes de programação visual para modelagem paramétrica podem ser comparados às Linguagens de Programação Visual (VPLs), também chamadas de linguagem de programação diagramática. As VPLs permitem que os usuários criem programas por meio da manipulação de componentes gráficos em vez do uso de linhas de código. Em outras palavras, usam uma representação analógica para os algoritmos (CELANI e VAZ, 2011).

Nas plataformas BIM, onde a modelagem dos objetos é paramétrica, ao designar propriedades e variáveis a um determinado objeto é possível obter e intercambiar dados. Ao anexar um valor ou características específicas em uma peça ou produto obtém-se através de tabelas tanto o quantitativo como as propriedades dos mesmos, permitindo a interoperabilidade entre distintos programas. O benefício relacionado ao uso de elementos inteligentes e objetos paramétricos que, ao serem controlados automaticamente por um tipo variado de regras e atributos, fazem com que o projeto mantenha sua viabilidade, reduzindo a necessidade do usuário de gerenciar todas as pequenas mudanças de projeto (EASTMAN, *et al.*, 2014).

### Fabricação robótica na arquitetura

Desde a *Visão do ano 2000*, por Villemard em 1910, na sua pintura é possível observar um arquiteto operando máquinas através de um painel de controle. Nas últimas décadas, estas utopias se tornaram realidade e os robôs atuam com inúmeras habilidades, na indústria automotiva. Esses equipamentos têm vários eixos de rotação, o que lhes dá uma grande liberdade de movimentação no espaço, podendo fazer tarefas mais complexas (BRELLOÇOKCAN e BRAUMANN, 2013).

De acordo com Mitchell (2001), os arquitetos tendem a desenhar o que conseguem construir e construir o que conseguem desenhar, por isso a aproximação da arquitetura à utilização de robôs tem criado um foco na resolução de falhas no trabalho manual, nomeadamente na ineficiência e na baixa produtividade.

Na última década, a fabricação robótica na arquitetura teve sucesso onde a arquitetura digital inicial falhou: na síntese da lógica imaterial dos computadores e do material realidade da arquitetura onde a reciprocidade direta do digital designs e produção arquitetônica em grande escala estão habilitados. Com robôs, agora é possível enriquecer radicalmente a natureza física da arquitetura, para informar os processos materiais e amalgamar design computacional e realização construtiva como marca registrada característica da arquitetura na era digital, levando ao surgimento de um fenômeno que descrevemos há alguns anos como materialidade digital (GRAMAZIO e KOHLER 2014, p.14).

No entanto, outras atividades artesanais envolvidas na construção também representam uma oportunidade ilimitada de pesquisa. É o caso da antiga atividade de alvenaria, que durante a década de 1990 obteve grande avanço com a implantação do ROCCO e do BRONCO, destinados à fabricação automatizada de alvenaria in loco (GRAMAZIO e KOHLER, 2014).

Atualmente pode-se citar algumas obras que utilizaram o desenho paramétrico e execução robótica: O *Tongxian Gatehouse*, *Z53 Social Housing* e o Centro de Documentação dos Direitos Humanos, são alguns exemplos bem sucedidos na implementação da tecnologia robótica aplicada a blocos cerâmicos.

Para Gramazio e Kohler (2014), o uso de um robô torna possível informar radicalmente os processos de construção de materiais e capacitar montagens espaciais complexas a partir de um grande número de pequenos elementos.

### Materiais e métodos

Os referenciais teóricos e metodológicos mencionados na seção anterior foram utilizados no desenvolvimento de um fluxo de processo de montagem de uma parede paramétrica, da concepção à execução. Propõe-se demonstrar a aplicabilidade da adoção de um equipamento mecânico de baixo custo para a execução de paredes parametricamente modeladas, assegurando a montagem de um sistema complexo de disposição dos blocos cerâmicos com precisão e sem a necessidade de interferência humana.

Embora a utilização de equipamentos mecânicos para tal tarefa não seja novidade, propõe-se a construção e adoção de um equipamento feito de baixo custo e executado com placa lógica simples, materiais reconicionados e outros materiais amplamente disponíveis, permitindo a larga aplicação da técnica.

Para averiguar a eficácia e aplicabilidade do equipamento adotou-se a simulação como metodologia de trabalho, criando o equipamento mecânico e blocos em escala reduzida para posterior extrapolação dos resultados observados para o tamanho real.

Visando a transposição dos resultados para a escala real, utilizou-se miniaturas dos blocos cerâmicos e um mini braço robótico. Adotou-se as dimensões de mini blocos cerâmicos existentes, com características similares àquelas encontradas em blocos cerâmicos em tamanho real e utilizados na indústria da construção civil.

O mini braço robótico utilizado é composto por partes em MDF 3mm cortadas a laser e montadas com auxílio de parafusos, além de mini atuadores e sua fiação. O equipamento foi ligado a uma placa microcontroladora para permitir o posicionamento automatizado de cada mini bloco cerâmico.

Foram adotadas diferentes ferramentas com o objetivo de exemplificar e identificar as etapas para a execução do experimento. O Quadro 1 mostra o fluxo do método desenvolvido para realização da montagem da parede paramétrica, do processo de modelagem até a execução.

A	B	C	D
Modelagem paramétrica	Obtenção de dados numéricos	Geração de código de posicionamento	Execução da parede
Elaboração do modelo da parede baseada em parâmetros como permeabilidade lumínica e conforto térmico.	Aquisição de valores de coordenadas cartesianas e ângulo de rotação dos elementos modelados.	Transformação de dados digitais em sinais analógicos para operação de posicionamento através de atuadores.	Operação de montagem da parede pelo posicionamento de cada bloco em sua posição pré-programada.
Modelagem no Revit e Dynamo.	Saídas criadas no Dynamo.	Programação em C++ para Arduino.	Atuação do braço robótico.

Quadro 1: Fluxo do método desenvolvido. Fonte: dos autores, 2020.

O Quadro 1 apresenta quatro etapas em que se desenvolveu o experimento. A seguir serão descritas cada uma delas.

### Etapa A - modelagem paramétrica

Como referência para a modelagem foram coletadas as dimensões dos cinco blocos mais comercializados por uma olaria da região. Cada um deles foi modelado conforme suas especificações, estruturais e de vedação, conforme descrito na Tabela 1.

Tipos	1	2	3	4	5
Descrição	Estrutural	Vedação 1	Vedação 2	Vedação 3	Vedação 4
Dimensões LxAxP (cm)	14x19x29	9x14x19	11,5x14x29	14x19x29	11,5x19x24
Figura					

Tabela 1: Tipos de blocos e suas dimensões. Fonte: dos autores, 2020.

Os blocos cerâmicos foram modelados como famílias paramétricas no Software BIM Revit. Para a modelagem dos tipos utilizou-se o *template* de criação de família modelo genérico: métrico adaptativo. Primeiramente, criou-se um ponto adaptativo. Logo após, o plano de trabalho original foi redefinido para o do elemento recém criado. Gerou-se então um novo ponto, localizado sobre o anterior, e atribui-se a ele um novo parâmetro de restrição, de família e sobre instância, de ângulo de rotação. Deste modo, os blocos eram modelados a partir da extrusão de linhas referências criadas sobre o plano de trabalho do ponto que havia sido submetido ao parâmetro de rotação.

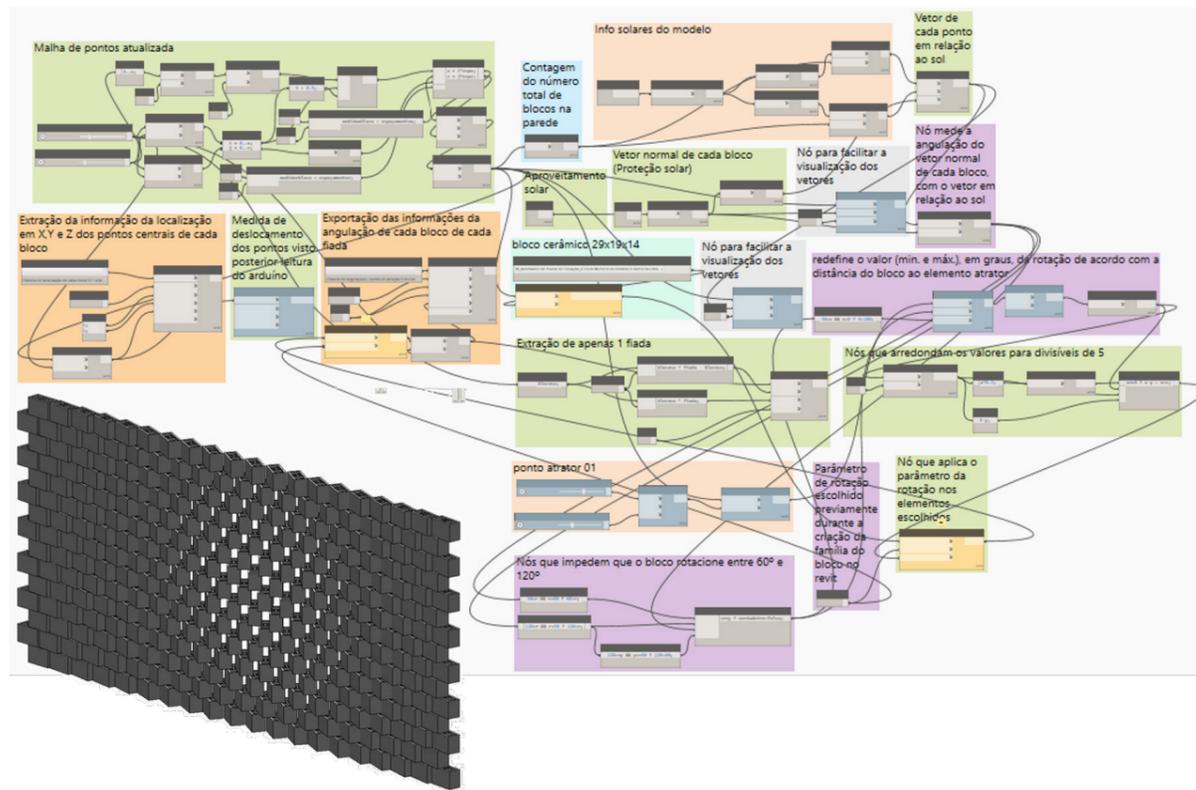
Os blocos foram modelados como paralelepípedos simples, representando as dimensões de largura, altura e profundidade apenas, sem as informações de ranhuras e furos. Deu-se dessa forma para que o processo posterior, da programação paramétrica no Dynamo, fosse mais leve, dinâmico e menos suscetível a falhas.

Após a modelagem da geometria do bloco, deu-se início à elaboração da parede paramétrica utilizando *Design Script* com o software Autodesk Dynamo Studio. Este processo de modelagem 3D consiste na união lógica de nós e criação de características específicas como instâncias de objetos e seus comportamentos. Isto possibilita a edição interativa, onde atribui-se valores aos parâmetros que por sua vez determinam as características dos modelos.

Depois de definir os parâmetros e os comportamentos desejados, pode-se atribuir isto a qualquer parede de blocos. Independente das dimensões, a parede sempre assumirá as características estabelecidas. A mudança ou edição de um parâmetro irá alterar toda a forma de maneira automática.

A Figura 1, a seguir, apresenta o modelo de parede projetado com a disposição paramétrica do bloco Tipo 1- Estrutural, utilizando o método descrito, para realização do teste de montagem com mini braço robótico.

Figura 1: Parede paramétrica modelada com Design Script na Interface do Dynamo. Fonte: dos autores, 2020



Qualquer parâmetro pode ser utilizado para determinar a rotação dos blocos, ou seja, pode-se utilizar como parâmetros a incidência solar, fluxo de vento ou mesmo parâmetros artísticos como a simulação de um padrão ou rotação em função de uma imagem ou foto. Além disso, é possível estipular regras que permitam ou facilitem a execução da parede, eliminando erros, como o percentual mínimo de sobreposição dos blocos entre fiadas ou mesmo distância máxima entre blocos de uma mesma fiada.

### Etapa B - obtenção de dados numéricos

O processo de parametrização da parede no Revit possibilitou extrair o quantitativo de blocos utilizados e as coordenadas de cada bloco (fiada, posição na fiada e rotação) de forma a permitir a programação do braço robótico para sua execução.

A Tabela 2 apresenta os dados numéricos de 10 blocos da primeira fiada da parede modelada. Para esse conjunto de informações, definiu-se como parâmetros as coordenadas X, Y e Z, além da rotação de cada bloco. Esses dados servirão como *inputs* na programação do microcontrolador Arduino.

O processo descrito nesta etapa constitui uma amostragem para realização do experimento e pode ser adotado para todas as outras fiadas da parede. Por se tratar de uma parede elaborada através de modelagem paramétrica, é possível editar o formato da parede e extrair os dados de posicionamento dos blocos parametricamente, de maneira rápida e ágil.

	Instância	Ordem (bloco / fiada)	Parâmetro de Posição (X,Y,Z)	Rotação (0-90°)
1	Bloco Estrutural	01 / 1ª	0, 0, 0	0
2		02 / 1ª	31, 0, 0	5
3		03 / 1ª	62, 0, 0	10
4		04 / 1ª	93, 0, 0	10
5		05 / 1ª	124, 0, 0	15
6		06 / 1ª	155, 0, 0	20
7		07 / 1ª	186, 0, 0	25
8		08 / 1ª	217, 0, 0	25
9		09 / 1ª	248, 0, 0	30
10		10 / 1ª	279, 0, 0	30
11		11 / 1ª	...	...

Tabela 2: Dados dos blocos da primeira fiada da parede. Fonte: dos autores, 2020.

### Etapa C - geração de código de posicionamento

As coordenadas geradas no processo descrito na Etapa B estão em centímetros, sendo o primeiro bloco a origem do sistema (X=0, Y=0, Z=0 e Rotação=0). Os valores de coordenadas da Tabela 2 não podem ser inseridos diretamente na linguagem do microcontrolador Arduino, pois os servo motores que irão movimentar o braço robótico funcionam com rotação de 0 a 180 graus. O mini braço robótico utilizado neste experimento conta com 5 motores atuadores, identificados conforme a Figura 2.

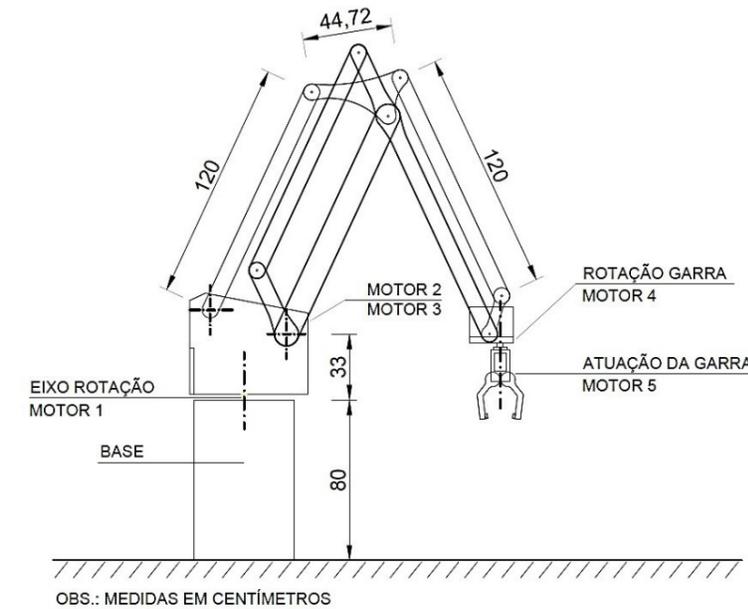


Figura 2: Motores atuadores do mini braço robótico. Fonte: dos autores, 2020.

A partir da identificação dos atuadores, torna-se necessário definir como se dará o movimento de cada servo motor para que o braço execute o posicionamento preciso dos mini blocos. Para isso criou-se um código que realiza o mapeamento de coordenadas com potenciômetros. As posições atribuídas no potenciômetro (leitura analógica de 0 a 1023) são transformadas em valores digitais (de 0 a 180) para que o servo motor gire de 0 a 180 graus. Esses valores são então obtidos pelo manuseio do potenciômetro e transferidos para o servo motor. Assim é possível verificar o movimento do mini braço robótico e fazer medições para estipular coordenadas no espaço.

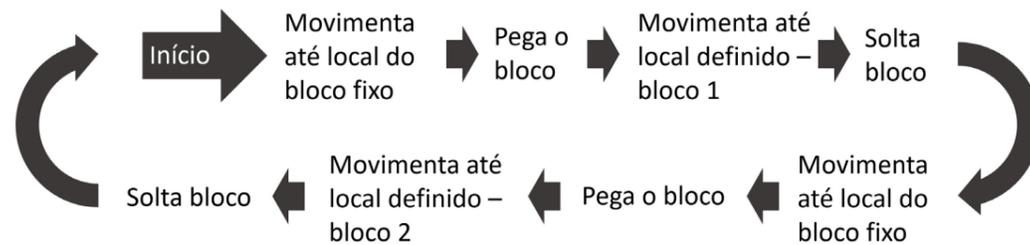
Este processo foi repetido diversas vezes até se obter os intervalos de valores de giro de cada atuador. O atuador que confere movimento de Sobre e Desce do braço,

por exemplo, teve como valor mínimo 115 e máximo 180, sendo o mínimo quando o braço robótico está posicionado com a garra mais abaixo, próxima a superfície onde está apoiado o braço e, o máximo quando o braço está com altura total em relação às suas limitações.

Após o mapeamento, foi possível transferir coordenadas no espaço em valores de giro dos servo motores, ou seja, as coordenadas de cada bloco foram transformadas em posições precisas através da programação do Arduino.

Entretanto, para posicionar cada bloco em seu local específico, é preciso as coordenadas de alocação de cada bloco bem como o local do estoque de matéria prima, ou seja, o local de retirada do bloco pelo braço robótico antes de posicioná-lo.

Este local pode ser fixo, sendo alimentado constantemente com um bloco para posicionamento subsequente, ou pode ser programado uma pilha de blocos em local determinado e mapeado. Para este experimento adotou-se um único local fixo, onde o mini braço foi sendo alimentado com um bloco a cada posicionamento do anterior. A Figura 3 mostra o ciclo de movimentos necessários para a montagem da parede paramétrica.



Os passos definidos no ciclo de movimentação do braço robótico foram implementados na linguagem C++, código para Arduino. Cada movimento definido no ciclo deve contemplar uma parte do código que gera o movimento de todos ou de parte dos atuadores.

O Quadro 2 mostra os dados necessários para o posicionamento de um bloco.

O posicionamento dos blocos é feito pela atuação conjunta dos servo motores. Cada um, por sua vez, movimenta uma parte do braço robótico.

O mini braço robótico utilizado no experimento teve sua movimentação suavizada pela implementação de uma série de *loops* de atuação para os servo motores, conforme demonstrado no Quadro 2. Cada movimento exigiu um valor diferente de retardo (*delay*), em milissegundos, considerando a extensão do movimento. Este processo faz com que o movimento seja menos brusco, evitando prejudicar a estrutura do mini braço robótico.

O código completo contemplou cada um dos 10 movimentos necessários para o posicionamento, repetindo todos para cada um dos 10 blocos da primeira fiada da parede paramétrica. Uma otimização no código poderia ser realizada utilizando polimorfismo na orientação a objetos e a criação de uma estrutura de classes. Isto poderia gerar um código em que os *inputs* (dados de posicionamento dos blocos) vindos da modelagem fossem inseridos de maneira mais dinâmica em um bloco inteiro, considerando variáveis que pudessem receber estes valores. Entretanto, essa otimização não foi aplicada nesta etapa da pesquisa.

	Servo s1 Garra	Servo s2 Sobe/desce	Servo s3 Frente/trás	Servo s4 Giro	Servo s5 Rotação no eixo
Posição inicial	s1.write(2)	s2.write(72)	s3.write(20)	s4.write(177)	s5.write(1)
Pega bloco			for (i=20; i<=62; i+=1) {s3.write(i); delay(20);}		
Fecha garra	s1.write(25);				
Volta			for (i=62; i>=20; i-=1){s3.write(i); delay(40);}		
Gira				for (i=177; i>=136; i-=1) {s4.write(i); delay(20);}	
Posiciona		for (i=72; i<=110; i+=1) {s2.write(i); delay(15);}	for (i=20; i<=85; i+=1) {s3.write(i); delay(15);}		
Rotac. no eixo					for (i=1; i<=30; i+=1) {s5.write(i); delay(15);}
Abre garra	s1.write(2);				
Volta		for (i=110; i>=72; i-=1) {s2.write(i); delay(10);}	for (i=85; i>=20; i-=1){s3.write(i); delay(15);}		
Rotac. no eixo					for (i=30; i>=1; i-=1) {s5.write(i); delay(15);}

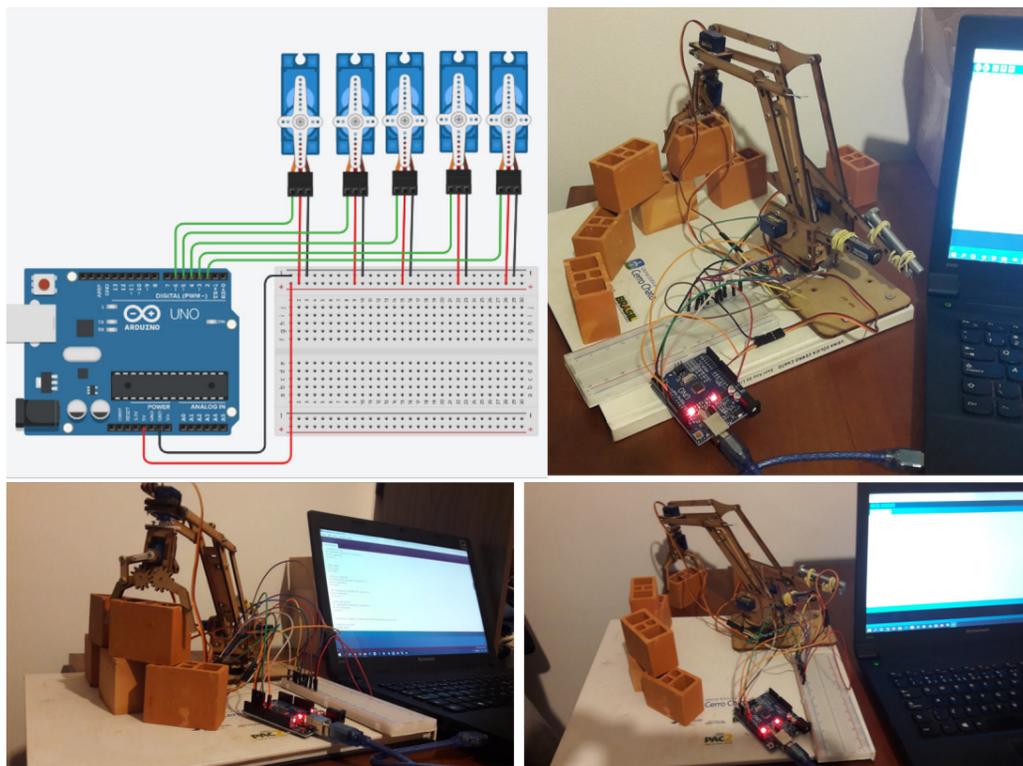
Figura 3: Ciclo de movimentos do braço robótico. Fonte: dos autores, 2020.

Quadro 2: Fluxo do método desenvolvido. Fonte: dos autores, 2020.

#### Etapa D - execução da parede

O experimento foi composto pela simulação de montagem da parede paramétrica com mini blocos cerâmicos por um mini braço robótico. Apesar da escala reduzida, o processo pode ser validado pela funcionalidade associada. Todos os elementos constantes no experimento atuaram de forma real, constituindo um protótipo funcional.

O sistema completo (braço robótico + microcontrolador Arduino) foi montado com auxílio do aplicativo Autodesk Tinkercad, onde se pode simular ligações de equipamentos eletrônicos e programar a atuação dos servo motores na linguagem C++, utilizada pelo micro controlador real. A Figura 4 mostra o esquema de ligação, principalmente dos 5 atuadores, e a ligação completa das partes que compõem o sistema, além de demonstrar o posicionamento de alguns mini blocos.



O protótipo é composto pelo mini braço robótico, que conta com partes em madeira, 5 mini servo motores *SG90 Tower Pro*, *jumpers* e cabos, um microcontrolador genérico do tipo Arduino UNO, uma placa de ensaio (*protoboard*) para realizar as ligações e um PC.

Na Figura 4 é possível ver que a garra (parte responsável por segurar os objetos que serão movimentados) está na posição vertical. Esta parte foi montada assim para permitir o giro da garra no próprio eixo, viabilizando o posicionamento dos mini blocos cerâmicos. A montagem da parede é realizada, por fiadas de baixo para cima, iniciando na primeira junto à superfície de apoio. A posição da garra permite tal montagem peça a peça sem interferir em blocos adjacentes, uma vez que é necessária precisão neste processo.

Todas as 4 etapas definidas na metodologia foram implementadas. O código elaborado com os dados de posições dos blocos foi carregado no microcontrolador e o conjunto foi ligado. Cada bloco foi posicionado conforme esperado.

### Resultados e Discussões

A execução de uma parede modelada através de sistema paramétrico, onde cada bloco cerâmico apresenta uma posição e rotação específica e cuja execução requer um grau de precisão, se mostrou possível através do método apresentado. A execução manual de uma parede deste tipo exigiria maior tempo de um profissional qualificado em relação a uma parede mais convencional, dificultando ou inviabilizando a execução.

O método apresentado permitiu o desenho e planejamento da execução automatizada de paredes paramétricas através de quatro etapas: modelagem paramétrica, obtenção de dados de posições dos blocos modelados, geração de código de posicionamento para programação do microcontrolador e execução da parede com o mini braço

robótico.

A partir deste método é possível incorporar variáveis para, por exemplo, otimizar a luz solar considerando distintas orientações de fachadas, permitindo também uma solução tanto compositiva como ambientalmente adequada e executada com precisão. Também promove-se aqui a discussão sobre meios de construção que propiciem a integração de distintos saberes.

A partir da experiência deste trabalho, uma possibilidade futura procuraria ajustar as condições de assentamento dos blocos na escala reduzida de uma parede completa. As condições para a execução em escala real podem exigir uma mudança substancial no processo, uma vez que o um braço robótico para a escala real exige tanto o refinamento de técnicas e equipamentos como principalmente a disponibilidade orçamentária. Cabe salientar ainda que os blocos cerâmicos mais utilizados na região são os blocos vazados, de menor custo, porém, não há ainda estudos que comprovem a estabilidade dos blocos e variabilidade a partir dos eixos, neste caso, existe uma lacuna de pesquisa para a sistematização destes processos.

### Conclusões

A execução do protótipo em escala reduzida, demonstra que é possível a projeção e execução de paredes com técnicas paramétricas através da utilização de braços mecânicos de estrutura eletrônica simples e baixo custo.

Embora a aplicação de braços robóticos para a construção de paredes de blocos cerâmicos já exista, a tecnologia ainda não está disseminada, nem tampouco é utilizada em larga escala em virtude do alto custo do maquinário, entre outros motivos.

Ao utilizar um braço robótico feito em MDF, com baixa complexidade eletrônica e sem a necessidade de motores mais potentes, este trabalho buscou apresentar e validar um método que pode ser utilizado por grandes construtoras ou empresas de tecnologia, mas também em construções convencionais e não convencionais de qualquer escala, em locais diversos e sem altos investimentos. Espera-se, com isso, possibilitar a ampla utilização de paredes paramétricas pela indústria e possibilitar a expansão da indústria através da incorporação destas novas tecnologias e modos de projeção.

Entende-se, no entanto, que ainda é necessária a transposição do conceito apresentado para a escala real. Os principais desafios para esta transposição de escala incluem a estruturação dos elementos em função do peso e em função do raio de alcance do braço, além dos elementos de fixação dos blocos.

Também se faz necessária a verificação da precisão alcançada em função dos elementos utilizados na construção do braço, já que pequenas variações de posicionamento na escala reduzida podem acumular e resultar em desalinhamentos severos na escala real.

O processo paramétrico, no que diz respeito a importação de dados, foi aqui apresentado e é sugerido como alternativa onde os conceitos de concepção e programação são combinados para serem adaptados. Procura-se ainda explorar as possibilidades existentes em torno do desenvolvimento de uma ideia que pode ser levada a cabo do processo paramétrico à execução robótica, viabilizando a execução de modelos não convencionais, e assim constituir-se uma forma de pensar os problemas neste campo.

## Referências

BÄRTSCHIM Ralph; KNAUSS, Michael; BONWESTSCH, Tobias; GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias. Wiggled Brick Bond. In: *Advances in Architectural Geometry*. Vienna: Springer, 137-147, 2010.

BONWESTSCH, Tobias; KOBEL, Daniel; GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias. The Informed Wall: applying additive digital fabrication techniques on architecture. In: *Synthetic Landscapes: 25<sup>a</sup> Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture*, Louisville. 2006.

BRELL-ÇOKCAN, Sigrid; BRAUMANN, Johannes. Industrial Robots for Design Education: Robots as Open Interfaces beyond Fabrication. Association for Robots in Architecture & TU Vienna, Vienna, Austria. In: *CAAD Futures 2013*, CCIS 369, pp. 109–117, 2013. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

BURRY, Jane; BURRY, Mark. *The new mathematics of architecture*. London: Thames & Hudson, 2010.

BURRY, Mark. *Scripting Cultures Architectural design and programming*. John Wiley & Sons Ltd, 2011.

CAMERIN, Suelen. *O tijolo em Solano Benítez*. (Mestrado em Arquitetura). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, 2016.

CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos Eduardo. Scripts em CAD e ambientes de programação visual para modelagem paramétrica: uma comparação do ponto de vista pedagógico. In: *Anais do V Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - TIC*, 1-13, Salvador: Ed. da UFBA, 2011.

CELANI, Gabriela; SEDREZ, Maycon. *Arquitetura Contemporânea: prática e reflexão*. São Paulo: Probooks, 2018.

DIAS, António Baio. *Uma Breve Retrospectiva de Soluções de Paredes de Elementos Cerâmicos*, in: Lourenço et al. (eds.). *Paredes divisórias: Passado, presente e futuro*, Portugal: Universidade do Minho, 2011.

EASTMAN Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. *Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*. Porto Alegre: Bookman, 2014.

FLORIO, Wilson. Modelagem Paramétrica, Criatividade e Projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura. *Gestão e Tecnologia de Projetos* [ISSN: 19811543], v. 6, n. 2, 2011. DOI: 10.4237/gtp.v6i2.211.

GIL, Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

GRAMAZIO, F.; Kohler, M. *Digital Materiality in Architecture*: Lars Müller, 2008.

KOLAREVIC, Branko. *Architecture in the Digital Age: Design and manufacturing*. New York: Spon Press, 2013.

MIYASAKA, Elza L.; Vasconcelos; Tassia B. de; Scheeren, Rodrigo; Sperling, David e Fabricio Márcio M. *Hybrid cultures: design and construction strategies of complex*

*shapes in Brazil in the first digital age*. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/284714550\\_Fabricacao\\_digital\\_na\\_America\\_do\\_Sul\\_um\\_mapeamento\\_de\\_linhas\\_de\\_acao\\_a\\_partir\\_da\\_arquitetura\\_e\\_urbanismo](https://www.researchgate.net/publication/284714550_Fabricacao_digital_na_America_do_Sul_um_mapeamento_de_linhas_de_acao_a_partir_da_arquitetura_e_urbanismo). Acesso em 15/02/2021.

MITCHELL, William J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design. *Environment and Planning B*, v. 2, n. 2, 127-150, 1975. Doi:10.1068/b020127.

MITCHELL, William J. *A Lógica da Arquitetura: projeto, computação e cognição*. Tradução de Gabriela Celani. São Paulo: Editora da USP, 2008. ISBN: 8523807986.

MITCHELL, William J.; MCCULLOUGH, Malcolm. *Design Digital Media*. Canada: John Wiley & Sons, 1995.

OLIVEIRA, Rui Miguel. *Possibilidades de desenho e construção digital em tijolo a partir da obra de Raúl Hestnes Ferreira*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura. Universidade do Porto, 2015.

PEREZ, G. *Robotics in Architecture Potential applications and current limitation*. Disponível em: [https://www.academia.edu/34623222/Robotics\\_in\\_Architecture\\_Potential\\_applications\\_and\\_current\\_limitations\\_Robotics\\_in\\_Architecture\\_Potential\\_applications\\_and\\_current\\_limitations](https://www.academia.edu/34623222/Robotics_in_Architecture_Potential_applications_and_current_limitations_Robotics_in_Architecture_Potential_applications_and_current_limitations). Acesso em 29/11/2020.

ROSSI, Camila. *Análise técnica dos tijolos maciços e blocos cerâmicos de vedação 6 furos produzidos na Região da Grande Santa Rosa - RS*. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Santa Rosa, 2017.

SOUZA, Livia; AMORIM, Sérgio; LYRIO, Arnaldo. Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura: oportunidades no mercado imobiliário. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, v. 4, n. 2, p. 26-53, 2009.

SCHEEREN, Rodrigo; SPERLING, David M. Technological appropriation and socio-technical adequacy in South America: applications of digital fabrication in architecture and design. In: *XXII Congresso Internacional Da Sociedade Iberoamericana De Gráfica Digital*. São Paulo, 2018. Anais Blucher Design Proceedings, 2018. v. 5. p. 1347-1354

TEDESCHI, Arturo. *Parametric Architecture with Grasshopper*. Brienza, Italia: Le Penser, 2011.

VARGAS, Milton. *Para uma filosofia da tecnologia*. São Paulo: Alfa-Ômega, 1994. p.171-286.

WOODBURY, Robert. *Elements of Parametric Design*. New York: Routledge, 2010. ISBN-10: 0415779871 | ISBN-13: 978-0415779876 0.

# ENTRE O VIRTUAL E O TANGÍVEL

## Parametria de mobiliário para promover processos colaborativos em contextos de habitação de interesse social

### *BETWEEN VIRTUAL AND TANGIBLE*

### *Furniture parametrics to promote collaborative processes in social housing contexts*

**Adriane Borda Almeida da Silva<sup>1</sup>, Cristiane dos Santos Nunes<sup>2</sup> e Nirce Saffer Medvedovski<sup>3</sup>**

#### **Resumo**

Este estudo se ocupa com uma infraestrutura de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para apoiar ações extensionistas, sob a temática de requalificação da moradia associada à produção de tecnologias sociais. Busca alternativas para desconstruir as práticas formativas para a produção de habitação de interesse social sem a participação dos usuários. Trata-se do desenvolvimento de um dispositivo para provocar, colaborativamente, a apropriação da linguagem técnica de representação do espaço da habitação e a discussão sobre parâmetros envolvidos para a delimitação deste espaço, em especial, para seleção e disposição do mobiliário. Estes propósitos foram caracterizados como vetores para empoderamento e construção de critérios para decidir ações de requalificação/ampliação da habitação. Para o desenvolvimento deste dispositivo são exploradas tecnologias digitais de representação por desenho paramétrico, fabricação digital por impressão 3D e interfaces tangíveis. Registram-se neste momento, o referencial teórico e tecnológico para delimitar o método de desenvolvimento da infraestrutura em questão.

Palavras-chave: parametrização, habitação de interesse social, tecnologias sociais, impressão 3D, interface tangível.

#### **Abstract**

*This study is concerned with an infrastructure of information communication technologies to support extension actions, under the theme of requalification of housing associated with the production of social technologies. It seeks alternatives to deconstruct the educational practices for the production of housing of social interest (HIS) without the participation of users. This is the development of a device that wants to provoke, collaboratively, the appropriation of the technical language of representation of the space of housing and the discussion about the parameters involved for the delimitation of this space, especially for the selection and layout of furniture. These two purposes were characterized as vectors for empowerment and the construction of criteria for the decision to decide actions for requalification/expansion of housing. For the development of this device are explored digital technologies of representation by parametric design, digital manufacturing by 3D printing and tangible interfaces. At this time, the theoretical and technological framework for the delimitation of the method of development of the infrastructure in question is recorded.*

*Keywords: parameterization, furniture, social housing, 3D printing, tangible interface.*

<sup>1</sup> Professora titular na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/UFPel – adribord@hotmail.com

<sup>2</sup> Colaboradora no GEGRADI, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/UFPel – cristiane.nunes@outlook.com

<sup>3</sup> Professora titular na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/UFPel – nirce.sul@gmail.com

#### **Adequação da moradia, assistência técnica e participação**

O processo formativo, no âmbito das faculdades de arquitetura, mesmo que diante de um contínuo incremento nos referenciais teórico e tecnológico disponíveis para apoiar a revisão dos métodos de produção de habitação de interesse social (HIS), acaba por tangenciar a problemática da replicação de projetos padrões sem a participação dos usuários.

De acordo com Olini e Silva (2014), no Brasil projetos padrões para HIS são construídos a partir de dimensionamentos mínimos, visando a economia e ignorando fatores como as especificidades das famílias e as atividades realizadas nos ambientes. Isso resulta no surgimento de problemas durante o uso cotidiano pelas famílias, e compromete a habitabilidade, conforme Silva (1982). Considerar critérios de habitabilidade, segundo Lynch e Hack (1984), significa observar a capacidade de um ambiente para atender as necessidades básicas de seus usuários, como proteção, saúde, segurança, funcionalidade e satisfação. Autores como Brandão (2006) e Jorge *et al.* (2017) têm trazido o tema da necessária flexibilidade da HIS. Também tem sido constante, em trabalhos de avaliação pós ocupação, como os realizados por Medvedovski (1998), Reis e Lay (2002) e Villa e Ornstein (2013), a constatação da inadequação das moradias aos padrões mínimos de habitabilidade, conforto, funcionalidade e privacidade, e suas consequências, como são as recorrentes reformas e ampliações, quando a tipologia e, principalmente, as condições econômicas permitem.

Com enfoque na questão da organização e uso dos mobiliários em HIS, Kerkhoff (2017) problematiza os conflitos espaciais que ocorrem nestas habitações em função dos seus espaços mínimos, que não respeitam aspectos ergonômicos para sua utilização. A autora demonstra que os mobiliários adquiridos pelos moradores de HIS muitas vezes são oriundos de doações, não havendo a possibilidade de escolha de móveis com tamanhos de formas mais adequadas a sua situação. Considera, ainda, que, quando comprados, os mobiliários destinados à população de baixa renda, não são adequados aos espaços reduzidos das habitações, devendo-se buscar adaptações para a otimização dos espaços. Este tipo de leitura é reforçado por Soares e Nascimento (2008) e Logsdon *et al.* (2019), observando-se no tempo a constância de um mesmo diagnóstico. O estudo mais recente, dentre estes citados, identifica a inadequação de moradias propostas nos programas do Minha Casa Minha Vida (MCMV), as quais não comportam o mobiliário mínimo para critérios de habitabilidade.

É recente a efetivação de legislações que passam a garantir um assessoramento técnico, por órgão público, para apoiar estas ações de ajustes e melhorias das HIS. Depois de anos de luta dos organismos representativos da arquitetura e urbanismo, em 2008 foi aprovada a Lei 11.888: Lei da Assistência Técnica. O Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU) realizou uma pesquisa cujo resultado mostra, entre outros fatores, o alto índice de construções e reformas residenciais sem auxílio de assessoria de profissional especializado. Este fator esteve diretamente associado à situação econômica das famílias entrevistadas. No ano de 2016, o CAU aprovou a destinação orçamentária de, no mínimo, 2% do total das suas receitas de arrecadação para o fomento da Assistência Técnica para Habitação de Interesse Social (ATHIS), a partir de 2017. A contar desta data, evidenciou-se o crescimento e divulgação da efetivação da referida assistência, através de eventos e da implementação de editais públicos de patrocínio para a sua realização, conforme observa Medvedovski (2020). Entretanto, poucos programas estatais têm sido destinados para efetivar a assistência

técnica e a melhoria habitacional, como o Cartão Reformas de 2017.<sup>4</sup> Em 2020 foi lançado o Programa “Casa Verde Amarela” (BRASIL 2020), que reitera a alternativa de recursos destinados à reforma e melhoria da casa própria, bem como à assistência técnica. Ainda é muito cedo para a avaliação dos resultados desse programa, mas efetivamente se incorpora aos programas habitacionais a realidade da ação cotidiana dos moradores dos extratos econômicos mais baixos, de efetivar ações de melhoria habitacional.

Embora a conquista de recursos federais para essa prestação de serviços de ATHIS ainda não demonstre reflexos efetivos, alternativas de governos locais, organizações não-governamentais e associações com a comunidade organizada têm possibilitado ações de requalificações de habitações, individualmente ou de maneira coletiva. Em documentário produzido no final de 2020, o CAU mostrou como a pandemia da COVID-19 escancarou para a sociedade o problema crônico da habitação social no país, defendendo a implementação da ATHIS como política permanente de Estado, voltada, principalmente, para a requalificação habitacional (DOCUMENTÁRIO..., 2020).

Kapp *et al.* (2012), de maneira conceitual, caracterizam três tipos de posturas que podem permear as ações de requalificação de contexto de HIS: tecnocráticas, missionárias e/ou artísticas. Segundo os autores, estas caracterizações buscam expressar uma crítica e promover reflexões sobre a postura de quem produz a ação. Por meio de exemplos, destacam que cada tipo pode estar, em alguma medida, envolvido na própria postura do profissional arquiteto, dependendo das circunstâncias em que atua: pode estar como agente do estado, cumprindo regramentos; ou involucrado em ações ditas humanitárias; ou, ainda, em ações revestidas de propósitos culturais no campo das artes. Todas estas situações podem estar imbuídas de boas intenções, mas sem ter consequência de empoderamento dos sujeitos envolvidos. Pode haver a participação, mas de maneira passiva e as transformações realizadas corresponderem aos propósitos externos ao contexto dos moradores de HIS. Desta maneira, esta leitura adverte para o cuidado com a delimitação de ações que considerem a participação popular e que contribuam para a promoção de autonomia coletiva, em especial para contextos de autoprodução do espaço da moradia. Sob esta abordagem, a autonomia coletiva é entendida como “o direito e a capacidade dos grupos definirem as normas que regem a produção do seu espaço” (KAPP *et al.*, 2012, p. s/n).

### **Extensão, participação e interação por meio de interfaces tangíveis**

No campo da extensão universitária, percebida como indissociável do ensino e da pesquisa, muitas ações avançam para oportunizar uma formação acadêmica, em arquitetura e urbanismo, sensível e comprometida com o desenvolvimento de projetos efetivamente colaborativos. Neste campo, identificam-se estudos que desenvolvem diferentes dispositivos que, de maneira criativa, combinam métodos e se utilizam de interfaces físicas, digitais e híbridas para promoção de processos participativos entre universidade e sociedade. Como exemplo deste tipo de investimento, tem-se os estudos de Baltazar e Kapp (2016). Estas autoras diferenciam os termos assistência e assessoria técnica. Utilizam o termo assessoria para expressar a capacidade da

<sup>4</sup> Por meio da Medida Provisória Nº 751, de 9 de Novembro de 2016, substituída pela Lei Nº 13.439, de 27 de Abril 2017, o governo federal instituiu o Programa Cartão Reforma, “...que tem por finalidade a concessão de subvenção econômica para aquisição de materiais de construção, destinada à reforma, à ampliação ou à conclusão de unidades habitacionais dos grupos familiares contemplados, incluídos o fornecimento de assistência técnica e os custos operacionais do Programa que estejam a cargo da União” (BRASIL, 2017).

ação de promover a autonomia. Consideram que o acesso à informação técnica é a condição para que os grupos sócio-espaciais adquiram a possibilidade de tomar decisões sem a dependência dos técnicos. Já o termo assistência está associado a uma postura sob a lógica missionária, àquela que induz à adaptação a determinados padrões que não correspondem às necessidades e satisfações dos grupos em questão. As interfaces que os estudos referidos apresentam buscam desconstruir processos colaborativos que provoquem a tomada de decisão frente a um “cardápio”. Destacam que a chave para esta desconstrução está em partir do reconhecimento das assimetrias de conhecimentos entre os grupos sócio-espaciais e os técnicos, e em evitar a tradicional imposição ou informação das tomadas de decisão por parte dos técnicos. Enfatizam, assim, o objetivo de investir na autonomia coletiva, de promover a emancipação dos grupos para produção de seus espaços. Consideram que o próprio processo possa promover esta emancipação, e para tanto há que se investir na qualidade da interação, na possibilidade de trazer as complexidades das realidades envolvidas.

Frente à referência à caracterização de interfaces que envolvam tecnologias digitais, é necessário adentrar-se ao campo da interação humano/computador. Pensar assim para além da interação entre humanos. Neste campo, o paradigma está em avançar rumo ao desenvolvimento de interfaces que se mostrem o mais natural possível. Interfaces que sejam intuitivamente reconhecíveis e que contribuam para diminuir as assimetrias entre os grupos envolvidos. Ainda, em Baltazar e Kapp (2016), compreende-se que há a aposta de que as interfaces que produzem se estabeleçam como mediadoras e facilitadoras da interação entre os grupos. Há a intenção de que conhecimentos possam ser compartilhados em uma via de mão dupla e de relações abertas e de confiança. As experiências a serem oportunizadas pelo uso de tais interfaces, embora focadas na requalificação dos espaços arquitetônicos e urbanos, querem afetar o todo do sujeito, entendendo-se questões sociais e de compreensão sobre para que servem as tecnologias. Estes aprendizados são caros para ambos, universidade e sociedade.

Tais estudos, reflexões e precisão terminológica, no âmbito deste trabalho, foram tomados como balizadores para conduzir o processo de desenvolvimento da infraestrutura aqui proposta.

No contexto em que se insere este trabalho, recentemente foi estabelecido um processo de institucionalização da extensão universitária. A curricularização da extensão na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas propõe, entre outras, ações de curto prazo (um semestre letivo) em que o aluno planeja e vivencia uma atividade de extensão na prática. Frente à relevância do tema do déficit qualitativo e da capacitação para o exercício da assessoria técnica, segundo os princípios de participação e suporte à autonomia da população, urge o estabelecimento de uma infraestrutura e de uma dinâmica que facilite o desenvolvimento deste tipo de ação. Por exemplo, urge a estruturação de métodos e recursos que permitam realizar ações no período de um semestre, e que, ainda, não se esgotem no propósito de cumprir um protocolo curricular sem consequências na construção de sujeitos mais sensíveis, habilitados e motivados para promover transformações de posturas sociais. Além disto, há que considerar que estes recursos não restrinjam a criatividade e que permitam sempre uma contextualização.

Frente ao exposto, o presente estudo tem por objetivo a estruturação de métodos e recursos que facilitem a promoção de desenvolvimento de tecnologias sociais. Estas tecnologias foram definidas por Kapp e Cardoso (2013) como aquelas que, além de promover a inclusão social e o desenvolvimento de processos participativos de transformação social, promovem ganhos de capacitação, autonomia coletiva e

autogestão. Dessa maneira, há o entendimento de que as interfaces anteriormente mencionadas possam ser caracterizadas como tecnologias sociais.

### Entre maquetes físicas, representações paramétricas e mesas tangíveis

O uso de interfaces tangíveis, como as maquetes físicas, apresenta-se como alternativa para uma compreensão intuitiva do espaço da moradia, por sua analogia com o mundo real.

Zalite e Imai (2017) relatam o emprego de maquetes físicas ajustáveis como instrumento de diálogo com pessoas leigas em relação à linguagem técnica de representação gráfica. Tais recursos foram utilizados para a identificação das prioridades de usuários de HIS diante das limitações de espaço frente às suas demandas, específicas das constituições familiares.

Barreto (2019), apresenta uma proposta semelhante: o jogo da maquete. Este, tem o objetivo de servir como objeto de interação, possuindo uma base modular com sulcos, nas quais pode-se encaixar as paredes (simples ou com esquadrias), e miniaturas simplificadas de móveis, feitas com cartolina, na escala 1/25.

Utilizam, desta maneira, um meio de comunicação para além da linguagem técnica de arquitetura. Assim torna-se dispensável o uso da leitura de plantas baixas, e com isto facilitam o diálogo entre todos os envolvidos. Entretanto, por mais abrangentes que possam ser os elementos disponíveis para a representação física, é possível que o método de registro de diferentes hipóteses de projeto possa ser de difícil operacionalização. Além disto, tais facilidades não oportunizam a ampliação de um repertório próprio da representação, do acesso à informação técnica, e, com isto, mantém a dependência para a expressão pela linguagem gráfica. O momento de interação não investe no compartilhamento de um conhecimento necessário para a apropriação e compreensão da linguagem do desenho técnico.

No campo formativo de arquitetura, nos últimos tempos, o uso de elementos desta linguagem foi facilitado pelos meios digitais de representação, os quais disponibilizam um cardápio de padrões, com modelos tridimensionais. Em relação ao repertório de representação de mobiliários, ainda deve-se considerar os investimentos cada vez mais intensos pelo próprio setor produtivo, que disponibiliza modelos digitais que já induzem à adaptação aos padrões lucrativos do mercado econômico, motivando a aquisição de elementos que podem não corresponder com o necessário, frente às questões ergonômicas, dimensionais e de outras ordens. Entretanto, os meios digitais oferecem flexibilidade de transformação quase que instantânea e ainda com a possibilidade de guardar a memória dos processos de projeto. Esta memória, em especial para processos colaborativos, é necessária para a discussão de projeto que se caracteriza pelas constantes idas e vindas, de resoluções de conflitos de interesses, e incrementos graduais de uma ideia que vai evoluindo ao longo do mesmo processo. E, quando há o propósito de colaboração, intensificam-se as possibilidades de muitas hipóteses. A questão é que o meio digital, visual, não se trata de um meio tão democrático, pois envolve uma interface que exige uma apropriação da tecnologia, de saberes próprios, de uma linguagem técnica, e de um olhar treinado para interpretar as conexões entre as representações digitais e o mundo físico.

Tratando-se do aspecto de flexibilidade dos meios digitais, e dirigindo-se, em particular, para representações de mobiliário relativas ao contexto de HIS, Logsdon *et al.* (2019), utilizaram-se da Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* - BIM) para representar itens de mobiliário disponíveis no

mercado para a população de baixa renda. O estudo declara que estas representações tem o propósito de facilitar as atividades de projeto de estudantes e de profissionais de arquitetura. Os autores, a partir de pesquisas em lojas *online*, selecionaram os dez móveis com preços mais baixos e, em seguida, elencaram o mais barato e o que apresentava menores dimensões para serem modelados em BIM. Com isto, disponibilizam um repertório que retrata um padrão do mercado brasileiro para HIS, no tempo e no espaço. Entretanto, pela lógica deste tipo de modelagem, paramétrica, constituíram um sistema de geração e não propriamente um conjunto de mobiliários específicos, o que permite subsidiar a representação de uma família de objetos a partir das variações dimensionais, o que amplia ainda mais a aplicabilidade destas informações.

O desenho paramétrico, segundo Krauel (2010), consiste em uma ferramenta generativa, que permite a criação de uma lógica capaz de produzir uma vasta gama de possibilidades em vez de um objeto fixo. E, para Dunn (2012), este tipo de desenho possibilita o estabelecimento de relações entre elementos ou grupos de elementos. Destaca, também, a vantagem de que, nos processos paramétricos, a qualquer momento, pode-se modificar valores ou equações que determinem relações entre os elementos, sendo seus efeitos automaticamente corrigidos.

As associações entre desenho paramétrico e fabricação digital remetem à possibilidade de customização geométrica e, conseqüentemente, à possibilidade de produzir em massa, porém de maneira customizada, sendo este um paradigma a ser estabelecido no campo da construção. Um exemplo de investigação nesta direção é apresentado por Khalili-Araghi e Kolarevic (2016), a qual propõe um sistema em que o arquiteto cria o projeto paramétrico e estabelece as restrições para as dimensões. O cliente pode manipular interativamente as dimensões explorando diferentes soluções, garantindo a validação do projeto. Entretanto, tais sistemas ainda apresentam interfaces complexas para uso colaborativo em contextos de HIS.

Entre as maquetes físicas, pouco flexíveis, mas próprias para resolver assimetrias em relação à compreensão da linguagem técnica, e as representações digitais e paramétricas, muito flexíveis, porém específicas de um corpo técnico, há que se encontrar alternativas que se valham das possibilidades tecnológicas para o desenho de interfaces apropriadas para a interação dialógica entre os grupos sócio-espaciais e os técnicos, nos termos de Baltazar e Kapp (2016).

Bonillo *et al.* (2019), demonstram a eficiência de interfaces caracterizadas por mesas tangíveis, hoje já comercializadas como recursos de entretenimento, mas que, para o contexto do estudo dos autores referidos, é aplicada para tratamentos terapêuticos. Trata-se de uma interface constituída por uma mesa que representa o espaço digital e que permite a interação por meio de objetos físicos reais sobrepostos a ela. Os autores referem-se às potencialidades de desenvolvimento de consciência física, corporal e espacial. Exploram as características lúdicas para a promoção de interações dialógicas, por meio da manipulação colaborativa dos objetos e dos feedbacks da interface. As imagens da Figura 1 ilustram tipos de jogos produzidos no âmbito do estudo referido.

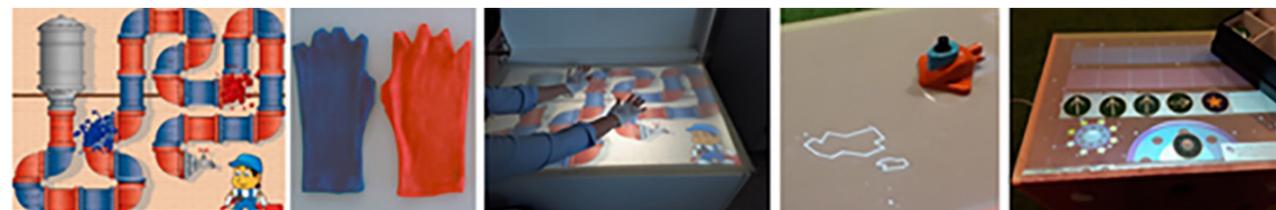
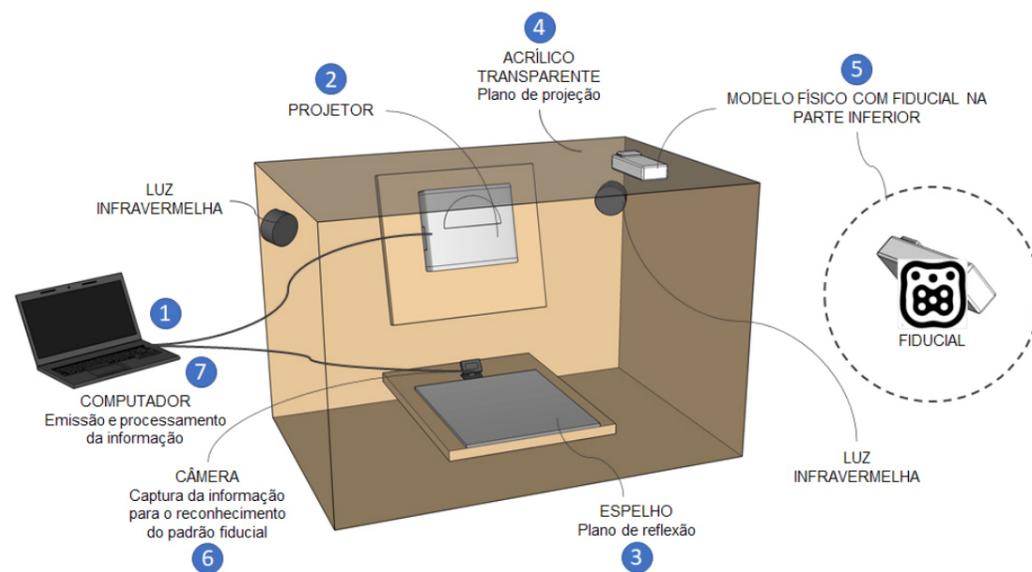


Figura 1: Exemplos de jogos produzidos por Bonillo *et al.* (2019) para uma mesa tangível. Fonte: À esquerda, Bonillo *et al.* (2019); as duas fotografias da direita, das autoras, 2020.

A mesa funciona a partir de sensores que captam o movimento e acionam a representação digital. Os objetos físicos são reconhecidos por uma câmera, interna à mesa, a partir de marcadores fiduciais (padrões gráficos específicos para cada objeto) fixados em sua base. O tampo da mesa pode ser constituído por telas de LCD ou superfícies de material transparente em que imagens são projetadas. A presença e o movimento dos objetos físicos podem acionar reações do tipo visual e sonora.

O esquema da Figura 2 ilustra o tipo de interface utilizada por Preuss *et al.* (2020), que apresenta o desenvolvimento de uma mesa tangível de baixo custo. A lógica de funcionamento, conforme o esquema, parte de uma representação digital processada e emitida por um computador (1), projetada para o fundo da mesa por um mini projetor digital (2), para, então, ser refletida por um espelho (3). Toda esta projeção e reflexão é controlada geometricamente para constituir uma imagem sobre o tampo da mesa (4), neste caso em acrílico transparente. Neste circuito, os objetos físicos, com suas fiduciais (5), quando colocados sobre este tampo, são reconhecidos por uma câmera localizada internamente à mesa (6), a qual, por sua vez, emite a informação ao computador (7) para processar e reagir de acordo com a programação do aplicativo utilizado. O interior da mesa é iluminado por luz infravermelha para garantir que a câmera possa capturar a informação com a nitidez necessária para o reconhecimento dos padrões das fiduciais. O estudo em questão disponibiliza um tutorial para a construção desta mesa. Além disto, também disponibiliza um software para possibilitar um público leigo em linguagem de programação, nos termos informáticos, desenvolver aplicativos, como jogos digitais, para uso desta mesa. Trata-se do editor de recursos educacionais EDUBA (<https://nidaba.online/>). Este editor, já está disponível, de maneira gratuita e aberta, para o uso *online*.

Figura 2: Esquema de funcionamento de um tipo de mesa tangível. Fonte: das autoras, 2020, com base em Preuss *et al.* (2020).



### O método de desenvolvimento da infraestrutura proposta

Neste estudo, parte-se do reconhecimento do conjunto de saberes, teóricos e tecnológicos, até aqui referidos, para estruturar um método de produção, de representações físicas de mobiliários, paredes, portas e janelas, e de configuração de um jogo com o qual estes elementos ao serem colocados sobre a mesa tangível, sejam traduzidos automaticamente por suas representações ortogonais para gerar uma linguagem técnica (planta baixa mobiliada). Com isto, far-se-á possível, a partir de uma maquete física, sobre a mesa, registrar configurações espaciais da moradia em uma linguagem técnica. Assim, pessoas leigas em desenho arquitetônico se

empoderam para estabelecer um diálogo a partir do concreto. A Figura 3 ilustra a dinâmica proposta para que a discussão sobre o espaço da moradia se dê por um meio natural de expressão, sem, contudo, deixar de avançar para o uso da linguagem técnica, a qual empodera ambos os contextos envolvidos: usuários e estudantes de arquitetura. Além da mesa, com todos os equipamentos que a caracterizam como interface tangível, estão os elementos físicos (1), cada um com sua fiducial específica, para serem reconhecidos pela câmera e associados a sua representação em projeção ortogonal (2).

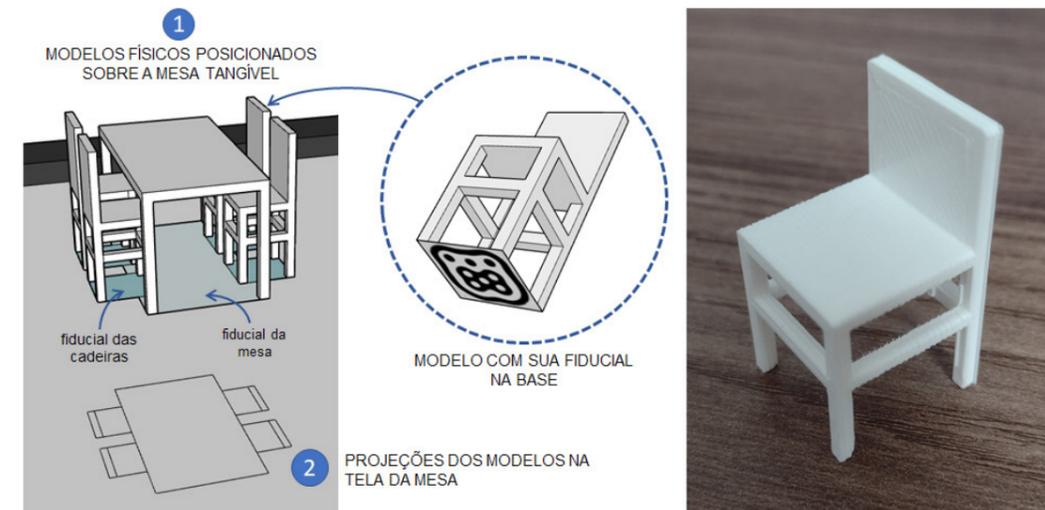


Figura 3: Ilustração do jogo planta baixa mobiliada. Fonte: das autoras, 2020.

Para a produção das representações parte-se da associação entre o desenho paramétrico e a fabricação digital por impressão 3D, e, dos avanços e da acessibilidade das interfaces tangíveis, como se apresentam os recursos disponibilizados por Preuss *et al.* (2020): projeto da mesa de baixo custo e aplicativo para a produção dos jogos para leigos em programação.

Com o desenho paramétrico, são representados os diversos tipos de mobiliários, possibilitando trazer para o diálogo, sobre a mesa, a evidência sobre os contrastes dimensionais e ergonômicos, as assimetrias entre aqueles que podem ser obtidos por meio de doações ou por meio de compras em lojas populares.

Esta produção se insere junto à última etapa do Projeto desenvolvido pela Rede de Pesquisa MORAR\_TS, a qual foi constituída em 2010 a partir de edital da agência de fomento Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), ativo até janeiro de 2021. Esta rede objetiva estimular o estudo e a pesquisa da Tecnologia Social voltada à produção de Habitação de Interesse Social<sup>5</sup>. Boa parte dos referenciais mencionados anteriormente advém de pesquisadores vinculados a esta rede. Kapp e Cardoso (2013) atenderam à necessidade inicial de definir o conceito de Tecnologia Social, estabelecendo o que aqui é tomado como Marco Teórico. As reflexões derivadas do trabalho referido facilitaram a estruturação da rede, o alinhamento das pesquisas, e a adoção de diretrizes para o desenvolvimento de tecnologias sociais de melhoria e produção de moradias. Entre estas diretrizes destacam-se duas com as quais se alinham, de maneira específica, às expectativas frente ao potencial da interface a ser desenvolvida como infraestrutura para as ações extensionistas:

<sup>5</sup> Edital MCT/MCIDADES/FINEP/AT - SANEAMENTO AMBIENTAL E HABITAÇÃO - 06/2010. Deu origem a Rede de Pesquisa Morar\_TS composta por pesquisadores das seguintes instituições: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Pelotas, Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Fundação Osvaldo Cruz, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Alagoas e Universidade Federal de Campina Grande.

(1) A autonomia coletiva na produção social do espaço é a diretriz que norteia todas as demais. Autonomia significa a possibilidade concreta, política, econômica, social e cultural, de determinar o processo da habitação e seus produtos. O potencial de aumento da autonomia é um critério de qualidade de uma tecnologia social, ao passo que a redução da autonomia, mesmo quando significa um momentâneo aumento do nível de consumo ou conforto, é um critério de desqualificação de uma tecnologia como social (KAPP e CARDOSO, 2013, p. 116).

A possibilidade de antever alternativas e de escolha do mobiliário aumenta a autonomia das famílias envolvidas. Possibilita também escolhas coletivas que podem resultar em processos de produção ou aquisição coletiva do mobiliário.

(6) A concepção da moradia como um processo não restrito à sequência convencional de projeto, construção e uso é outra consequência da autonomia, considerando o seu prolongamento no tempo. Ela implica soluções construtivas e organizacionais radicalmente flexíveis, adaptáveis, evolutivas (KAPP e CARDOSO, 2013, p. 117).

Criar uma infraestrutura para a promoção de ações extensionistas dirigidas à problematizar as questões dimensionais dos mobiliários da habitação e contextualizar as escolhas, frente às diferentes demandas e aos diversos momentos do ciclo de vida familiar, tem por propósito ir ao encontro das diretrizes da Rede.

### Processos paramétricos e a seleção de instâncias para a impressão 3D

Os modelos digitais dos mobiliários foram gerados a partir da representação paramétrica a qual parte da declaração de uma geometria associativa entre cada elemento que configura um tipo de mobiliário. Por meio da linguagem de programação visual, estruturada junto ao plug-in *Grasshopper* e traduzida graficamente no software *Rhinceros*, as representações foram sistematizadas para facilitar o uso de um conjunto de variáveis dimensionais e/ou tipológicas, relativas à configuração formal de cada modelo. Esta maneira de representar, por parametria, é proposta como método para facilitar a ampliação e atualização do repertório de móveis a ser utilizado nas ações extensionistas, e como meio de intensificação da apropriação da parametria junto às práticas formativas de arquitetura.

As representações abarcam tanto os móveis comercializados para atender a demanda da população de baixa renda, quanto os demais móveis disponíveis no mercado. A representação das diversas instâncias pode possibilitar a explicitação de conflitos da realidade das pessoas que vivem em HIS, conforme as constatações de Kerkhoff (2017), já mencionadas anteriormente. Por vezes ficam impedidos do reuso de móveis em bom estado e com maior durabilidade, pela qualidade dos materiais envolvidos, em função da incompatibilidade entre suas dimensões e a dos ambientes disponíveis. Diferentemente do estudo desenvolvido por Logsdon *et al.* (2019), que tratou de observar os mobiliários menores e mais baratos, neste estudo buscou-se identificar as variedades de modelos de mobiliários e de suas dimensões, já que aqui também se considera a possibilidade de uso de móveis doados.

O processo de parametrização considerou a possibilidade de um mesmo esquema poder gerar mais um tipo de mobiliário. Partiu-se, assim, de uma análise tipológica, considerando o repertório de móveis associados à habitação identificados nos resultados de pesquisas no site Buscapé (<https://www.buscape.com.br>). As dimensões dos trinta primeiros modelos de mobiliários que apareceram nas buscas, em diferentes

lojas, foram sistematizadas em quadros, desconsiderando-se os modelos repetidos. Estas dimensões, posteriormente, foram traduzidas em intervalos de valores no *Grasshopper*, considerados como parâmetros. Dunn (2012) define parâmetros como sendo uma quantidade constante em uma determinada situação, mas que pode variar em outras. Nos esquemas gerados, estes parâmetros variam entre o valor mínimo encontrado, por exemplo, para a largura do mobiliário, e o valor máximo, respeitando as combinações de altura, largura e profundidade com os modelos reais. Há casos que o menor mobiliário não implica em ter a menor dimensão em todas as direções.

Na Figura 4 exemplifica-se a aplicação das medidas sistematizadas para o tipo roupeiro. À esquerda desta figura, tem-se uma tabela com as dimensões encontradas, para este tipo, nas lojas *online*. Os valores destacados, pela cor, representam as dimensões: mínimas, em azul; máximas, em laranja, e resultantes do cálculo das médias, em verde. À direita da mesma figura, tem-se exemplificada a parametrização da dimensão de largura por programação visual no *Grasshopper*, controlada por meio de um componente *number slider*. Este componente está programado para variar dentro de um intervalo entre as medidas mínimas e máximas obtidas no mercado, o que resulta em instâncias do modelo digital tridimensional.

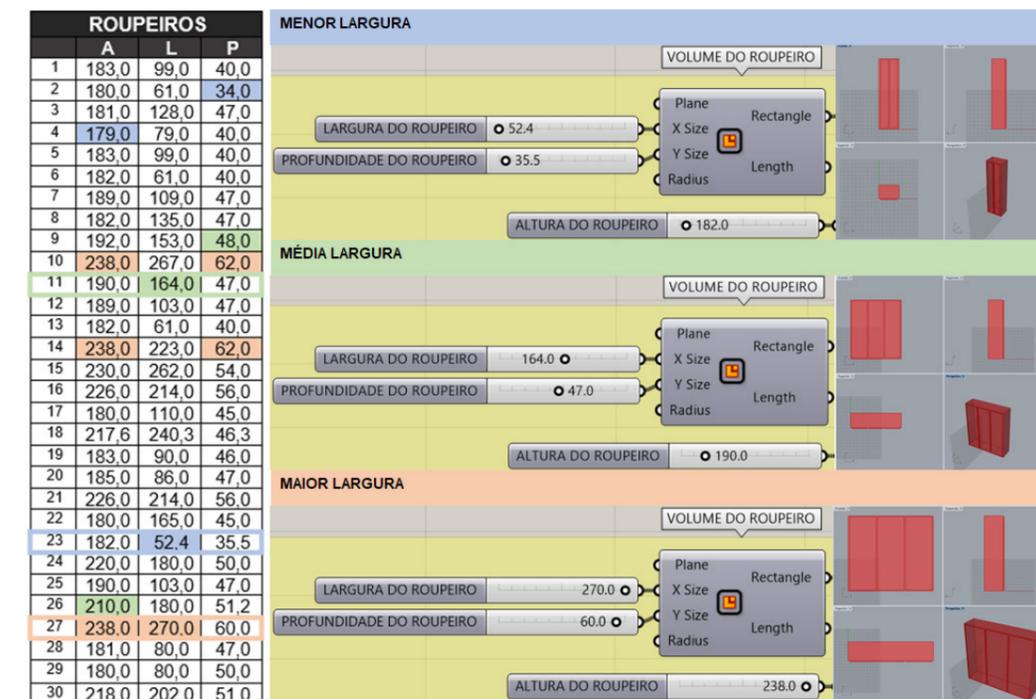


Figura 4: A parametrização do tipo de mobiliário roupeiro: os dados dimensionais, a programação visual da largura e as representações digitais tridimensionais. Fonte: das autoras, 2020.

Para decidir sobre as dimensões a serem consideradas para obtenção dos modelos físicos deste tipo roupeiro, ponderou-se que a medida de altura não interfere na estruturação da planta baixa mobiliada. Além disto, na escala representada é quase imperceptível as variações das dimensões de profundidade, buscando-se assim representar, fisicamente, as variações de largura (pequeno, médio e grande). O tipo roupeiro ainda exige outras variáveis além das dimensionais. Em ambientes mínimos, roupeiros com portas de abrir representam um problema, conforme enfatizado na pesquisa de Kerkhoff (2017). Entretanto, estas variações serão representadas somente em planta mobiliada (projeção digital), a partir do uso de fiduciais diferentes, já que os modelos físicos não contemplam o indicativo do tipo de mecanismo de abertura do roupeiro. Deve-se também ter em conta que, em nenhum dos casos neste estudo, são consideradas as diferenças em relação ao tipo e aparência dos materiais. Tanto os modelos digitais quanto os físicos são conceituais, apenas representando a volumetria e sua ocupação no espaço.

O caso da representação de camas, ilustrado na Figura 5, visualmente provoca um impacto frente as diferenças dimensionais, quase podendo ser interpretado como se houvesse uma mudança de escala na representação.

Foi possível criar um único esquema paramétrico para a geração de poltronas e sofás. Para isto foram programadas quatro volumetrias interconectadas: laterais esquerda e direita, encosto e assento. Através da alteração de parâmetros de altura, largura e profundidade de cada parte o sistema permite obter volumetrias correspondentes e variados tamanhos de poltronas e sofás, como exemplificado pelas ilustrações da Figura 6.

Figura 5: Esquemas de programação visual para representação de camas. Fonte: das autoras, 2020.

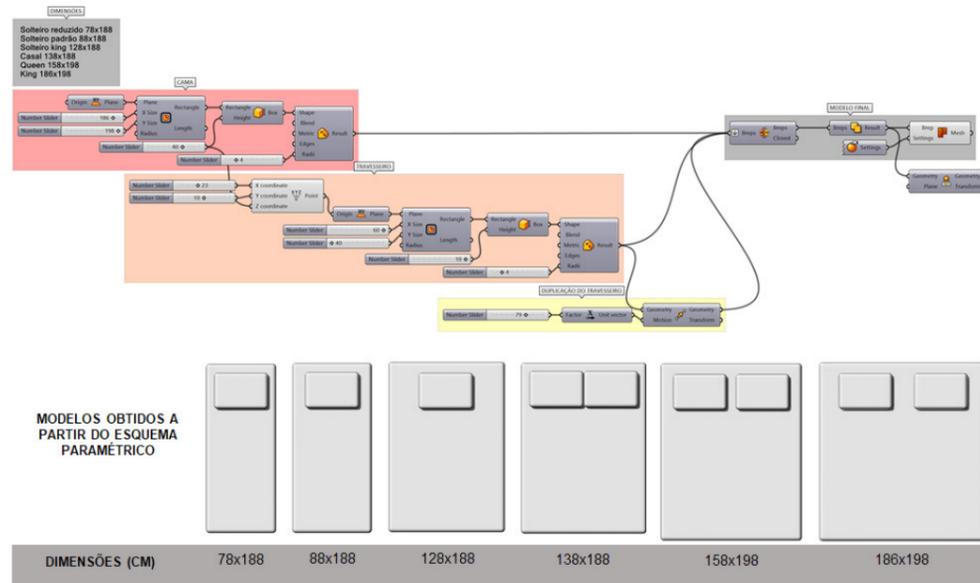
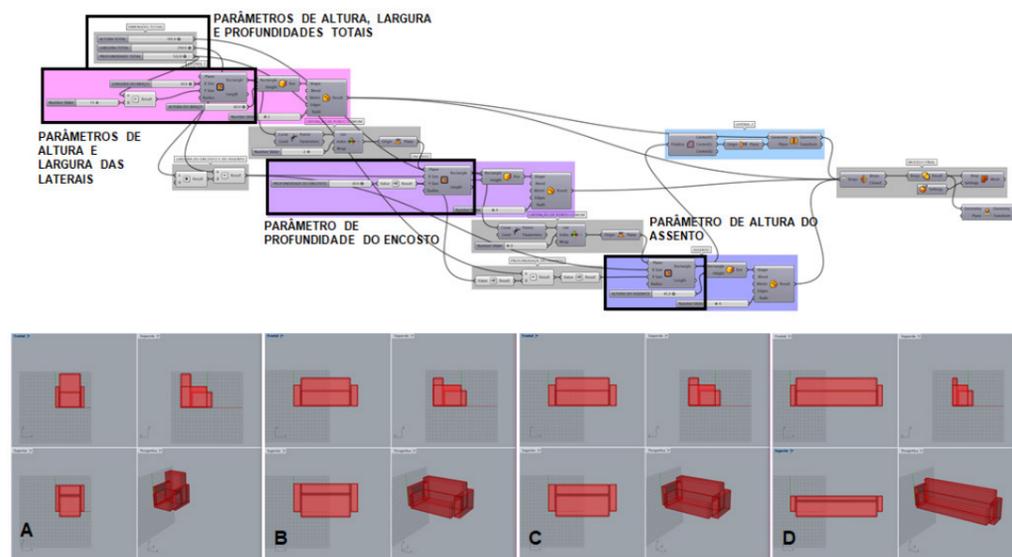


Figura 6: Esquema único de programação visual para representação de poltronas e sofás, variação de 1(A) a 4 assentos (B, C e D). Fonte: das autoras, 2020.



Os tipos até então representados incluem poltronas, sofás, mesas laterais, mesas de centro, aparadores, puffs, racks para TV, painéis para TV, camas, beliches, berços, cômodas, mesas de cabeceira, roupeiros, mesas, bancadas, cadeiras, bancos, banquetas, armários de pia, armários aéreos, torres quentes, paineleiros, geladeiras, fogões, estantes, escrivaninhas, tanques, máquinas de lavar roupas, armários para banheiro, cubas e bacias sanitárias. Evidentemente, o repertório de representações

deverá ser constantemente ampliado para abarcar as demandas advindas junto ao próprio uso. E, no campo da extensão, esta continuidade é própria como retroalimentação do processo. Estão sendo incluídos eletrodomésticos, como fogão, geladeira, máquina de lavar, e equipamentos fixos, como lavatório, bacia sanitária e tanque. Todos os esquemas de programação visual e modelos digitais resultantes, assim como os modelos, apropriados para a impressão 3D, ficam disponibilizados de forma irrestrita para a utilização também no campo do ensino e da pesquisa.

### Fabricação digital dos modelos e a caracterização das fiduciais

As instâncias da programação, definidas por elementos mínimos, médios e máximos em suas dimensões, ou para alguns casos definidos por variações do mesmo tipo para além das dimensionais, foram fabricadas digitalmente através da técnica de impressão 3D por meio de filamento fundido, em PLA (ácido polilático). O PLA é um termoplástico biodegradável, produzido a partir de fontes naturais e renováveis. Cada instância foi exportada como um arquivo "STL", extensão padrão utilizada pelos softwares de fatiamento para impressão 3D. Um software de fatiamento divide um modelo sólido em várias camadas horizontais, as quais serão impressas através da técnica de sobreposição de camadas de material (PLA). Na Figura 7, demonstra-se o processo de fatiamento de uma mesa lateral no software Simplify3D, onde o modelo (STL) foi rotacionado 180° no eixo X para compatibilizar a forma com a tecnologia de impressão por adição de camadas de 0,2 mm de altura.

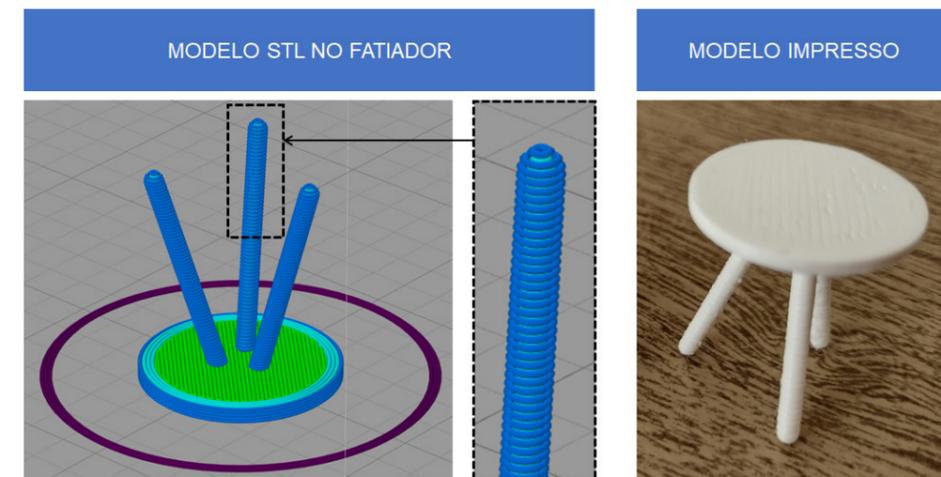


Figura 7: À esquerda, ilustração da estratégia de compatibilização entre a forma do modelo e a tecnologia de impressão 3D; à direita, o modelo impresso em PLA. Fonte: das autoras, 2020.

Os modelos foram impressos na escala 1/25, apoiando-se no estudo de Barreto (2019), o qual considerou ser uma escala satisfatória para a experiência com o jogo da maquete, desenvolvido sob objetivos semelhantes. Além disso, essa escala permite a representação completa de uma HIS sobre a área útil da mesa tangível, com a qual serão realizadas as ações (77 cm x 50 cm). Também facilita o armazenamento e transporte, pelo volume do conjunto das peças. O projeto contempla a execução de uma caixa para organizar todos os modelos físicos produzidos.

Por outra parte, são exploradas as funcionalidades possíveis do editor EDUBA, e, para isto, conta-se com a parceria do próprio grupo de desenvolvedores, interessados em atender as demandas que este estudo exige em termos de novas funções, como podem ser: as correspondências do objeto com sua projeção ortogonal; o deslocamento livre dos objetos sobre a mesa; o registro das soluções de planta baixa e acesso à memória de construção coletiva destas soluções. Este grupo, representado em Preuss *et al.* (2020), se constitui em torno a um processo de doutoramento do

primeiro autor com a orientação compartilhada entre pesquisadores da UFRGS e da Universidade de Zaragoza.

A dinâmica, aqui proposta para o uso da mesa tangível, consiste então em haver uma correspondência imediata entre o objeto físico e sua representação digital em projeção ortogonal sobre o plano da mesa. Desta maneira, com o mobiliário, devidamente caracterizado por suas fiduciais, será possível jogar e estruturar uma representação técnica. Até o momento foram realizadas simulações na plataforma EDUBA, comprovando-se a viabilidade desta dinâmica.

Além do mobiliário, estão sendo projetados, também por modelagem paramétrica, os elementos construtivos para possibilitar a representação completa das plantas baixas, incluindo assim a possibilidade de compreensão da simbologia de paredes, localização de portas e janelas. Sendo assim o objetivo do aplicativo consiste em dar suporte para a criação de plantas baixas mobiliadas. E, principalmente, que estas representações sejam construídas colaborativamente, sob a abordagem de “assessoramento técnico”, entre usuários de HIS e estudantes de arquitetura. A partir do posicionamento dos objetos físicos sobre a superfície da mesa, as fiduciais são reconhecidas pela câmera, acionando o sistema, para, automaticamente, mostrar a vista superior correspondente ao móvel, ou elemento construtivo, no lugar em que foi posicionado, como já ilustrado anteriormente.

Uma questão a ser problematizada pelos próprios estudantes extensionistas se relaciona com a necessidade de diferenciação do tipo de funcionamento do mobiliário, como já foi mencionado com o caso do armário com portas de correr ou de abrir. A representação física será a mesma, porém com fiduciais diferenciadas para que a projeção em planta baixa indique um mecanismo ou outro. Outras questões problemáticas referem-se à representação de armários aéreos, pelas sobreposições de fiduciais em um mesmo lugar, e de tipos de janelas e portas, as quais ficam dependentes das funcionalidades do próprio aplicativo, tendo em vista que o mesmo não foi projetado especificamente para contemplar as demandas deste tipo de jogo.

Como limitação da tecnologia em si tem-se o tamanho da fiducial a ser colocada embaixo dos modelos físicos. Para um bom reconhecimento pela câmera (de baixo custo) o sistema empregado recomenda a utilização de pelo menos cinco centímetros de lado. Tendo-se em conta que a área da mesa a ser disponibilizada é reduzida, e por também ter-se optado por adotar a escala 1/25, alguns elementos têm dimensões menores que este mínimo exigido. Esta limitação, entretanto, permite que haja o registro da linguagem técnica, sem, contudo, permitir a convivência dos objetos físicos muito próximos, por haver sobreposição de área de fiduciais. A dinâmica do jogo, nestes casos terá que considerar a retirada de elementos sobrepostos, sendo necessário o reconhecimento em tempos diferentes. De qualquer maneira, isto não afeta a representação de acordo com a hipótese projetada/discutida. Todas as hipóteses deverão ser registradas e resgatadas, digitalmente, para possibilitar a discussão e construção de critérios coletivos, e sob o propósito de amenizar as assimetrias pelo menos em relação à linguagem de representação. Os registros podem ser ampliados, além da planta baixa mobiliada que é gerada automaticamente em formato digital, que pode ser salva e enviada aos envolvidos, a fotografia digital contribuiu para facilitar a construção das lógicas de leitura de representações em vista superior. Fotografar a disposição do mobiliário de acordo com o resultado dos desejos e das negociações entre os envolvidos pode incrementar o processo de empoderamento em relação aos recursos representacionais.

## Resultados e discussão

O termo fiducial advém de *fidúcia*, o qual, de acordo com Ferreira (1986), refere-se ao gesto confiante, a um comportamento ousado, tendo tanto a conotação de atrevimento como de confiança. Para a proposta deste estudo torna-se pertinente associá-lo a quase todos estes sentidos, facilitando assim expressar os resultados até então obtidos.

A mesa tangível está sendo estruturada, aos moldes daquela proposta por Preuss *et al.* (2020) para as experimentações. A previsão é de que esta mesa esteja disponível para uso, no contexto da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), ainda para o primeiro semestre de 2021. Entretanto, neste momento há o investimento no desenvolvimento das funcionalidades do jogo. Estão sendo realizados os experimentos por simulação junto ao aplicativo associado à mesa, o EDUBA, já mencionado anteriormente.

A infraestrutura aqui projetada e em execução parte da disponibilização de objetos que devem ser manipulados a partir de gestos confiantes, com comportamentos ousados de quem se empodera, de quem pode sonhar, projetar e decidir sobre seu espaço de moradia. Trata-se de uma proposta para um pequeno avanço para compartilhamento de uma linguagem de representação, mas que ao mesmo tempo pode colocar sobre a mesa questões que promovam uma interação dialógica.

A interface está proposta para tentar representar a problemática que envolve o projeto e a requalificação de HIS a partir das escolhas do mobiliário e de sua disposição. O tipo, o lugar, a quantidade de elementos são reconhecidos pelo dispositivo, através da leitura das fiduciais pelas câmeras infravermelhas, e isto permite conformar uma planta baixa mobiliada da moradia. E o processo desta conformação pode ser registrado digitalmente, pode explicitar os momentos de negociação e empoderamento de ambos os coletivos envolvidos (usuários e estudantes). Este registro pode ser disponibilizado como vídeo digital com a captura de todo o movimento para a representação.

Entende-se que esta infraestrutura possa ser capaz de promover diálogos que problematizem inúmeros aspectos, para além da habitabilidade. Trazer representações, por exemplo, de cadeiras de rodas, pode desencadear discussões que promovam reflexões de diferenças e inclusão. Outras representações podem provocar discussões de gênero. E, como ponto de partida, sobre as diferenças dimensionais dos mobiliários, tem-se as discussões de classe.

A infraestrutura gerada se propõe a se estabelecer como método, indo além do desenvolvimento do aplicativo e de sua disponibilização para o uso. Para o contexto formativo de arquitetura, no âmbito da disciplina de caráter extensionista, há que envolver os estudantes em todo o processo. Os esquemas paramétricos e a apropriação de tecnologias de fabricação digital e de interfaces tangíveis, servem, neste contexto, também para resolver assimetrias entre o ensino e a pesquisa. É recorrente as diferenças formativas entre estudantes que tem a oportunidade de se integrar aos grupos de investigação e aqueles que seguem o currículo mínimo obrigatório. Entende-se que os esquemas gerados de programação visual, ao serem disponibilizados para replicar os processos de representação, servem como esquemas de introdução a estas tecnologias, constituindo-se como uma plataforma de um jogo. Estes esquemas permitem gerar uma família de objetos que podem responder à resolução de outros problemas arquitetônicos. O mesmo pode-se dizer em relação à aquisição de habilidades para a fabricação digital e para a compreensão das potencialidades de uso das interfaces tangíveis. Trata-se assim de um conjunto de saberes que promovem a alfabetização digital, para ambos os grupos, considerando-

se assim as possibilidades de, novamente, diluir as assimetrias por meio do acesso à informação.

Entende-se o método como um sistema aberto. A cada tipo de mobiliário adicionado para uso na interface, há a provocação de reflexões teórica e procedimental, proporcionando a cada edição da disciplina extensionista ativar todas as etapas do processo: revisão bibliográfica sobre o conceito de tecnologia social; pesquisa de mobiliário no mercado, estruturação da programação, fabricação digital, edição do aplicativo para a mesa tangível, estruturação de toda a ação extensionista.

O estudo tangencia também o conceito de customização em massa, relativo ao emprego do desenho paramétrico associado à fabricação digital. Compartilhar este conceito junto aos diálogos que possam ser estabelecidos diante da mesa pode empoderar o grupo a pensar de maneira mais ousada as soluções sobre a moradia. A evolução tecnológica já permite individualizar as demandas coletivas, mas particularizadas para cada sujeito.

No Quadro 1 realiza-se uma síntese das reflexões elaboradas para dar suporte ao projeto e à execução de um aplicativo para a mesa tangível. Muitas questões operacionais ainda terão que ser resolvidas, em especial sobre o lugar e a viabilidade de realização tanto dos experimentos para a validação quanto para o estabelecimento efetivo de diálogo, sob o propósito de promoção do que se entendeu como autonomia coletiva. Na coluna da esquerda do Quadro referido estão os pressupostos teóricos, derivados principalmente do aporte de uma construção coletiva de pesquisadores, no âmbito da Rede MORAR\_TS. Na coluna do centro, estão listados os propósitos principais de um aplicativo para uma mesa tangível. Na coluna da direita, os recursos projetados e em execução para o estabelecimento da infraestrutura proposta para ações extensionistas. Nas cinco linhas estão situadas algumas associações, em construção e com toda a flexibilidade para serem deslocadas e ampliadas, na medida em que se compreenda uma dinâmica que indique certa sustentabilidade e consequência para a formação de uma cultura de assessoramento técnico.

PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	PROPÓSITOS DA INTERFACE	RECURSOS UTILIZADOS
Assessoria/assistência	Estabelecer o confronto para promover a construção de critérios para tomada de decisão	Confrontação das diferenças dimensionais entre mobiliários dirigidos aos diferentes contextos sócio-espaciais
Reconhecimento de assimetrias de conhecimentos	Apropriação da linguagem técnica (sistema de projeção, códigos de linguagem, escala, consciência física, corporal e espacial)	Correspondência automatizada entre objeto e projeção ortogonal
Desconstrução de padrões prescritos	Problematização das características dimensionais do mobiliário	Parametria, diversidade de soluções, soluções customizadas, flexibilidade da representação digital
Representação física e digital	Registro das hipóteses para confrontar diferentes possibilidades de projeto	Repertório físico e flexibilidade para a representação

Quadro 1: Síntese de reflexões. Fonte: das autoras, 2020.

Interação	Facilitação da compreensão da dinâmica de colaboração; explicitação de justificativas das tomadas de decisão, construção de conhecimento coletivo	Interface tangível: um jogo aberto sobre a mesa
Autonomia	Possibilidade de Pequenos ganhos (experiências de projeto, representação e interação dialógica) para pensar a produção do espaço da moradia	infraestrutura para a Interação dialógica com os grupos socio espaciais, estudantes e com a própria interface

### Considerações finais

A infraestrutura metodológica e tecnológica desenvolvida no âmbito deste estudo quer se situar como interface, como um lugar em que se estabeleça um processo formativo integrado. Um lugar de trocas efetivas de saberes, de experiências e de ideias que transformem os sujeitos envolvidos.

O propósito de oportunizar o trânsito entre o visível e o tangível, entre a comunicação por uma linguagem técnica e por uma representação física e tridimensional, a partir dos referenciais teóricos adotados e como método formativo para o campo da arquitetura, quer se situar como repertório possível para a extensão universitária.

E, acima de tudo, quer se situar como um lugar de discussão, de facilitação para compreender os conflitos, para trazer à tona a problemática da produção de HIS, dos processos de requalificação, das possibilidades do estabelecimento de parcerias entre universidade e sociedade, a partir de posturas que promovam efetivamente a autonomia coletiva neste contexto de HIS.

Ao provocar a tradução imediata da representação física para a linguagem técnica de planta baixa, ao provocar o dar-se conta das diferenças dimensionais e ergonômicas entre cada configuração de mobiliário e do espaço propriamente dito, ao provocar a discussão sobre as justificativas para cada decisão possível para a requalificação da moradia, a interface proposta quer se situar como alternativa para desencadear processos que possam efetivamente afetar e transformar a postura de cada um dos envolvidos.

Por fim, esta infraestrutura para ações extensionistas objetiva acionar interações entre humanos e entre humanos e computadores, para que, sobre a mesa, sejam explicitados com maior facilidade os conflitos existentes para a conformação do espaço de HIS e suas possíveis soluções a partir de novas organizações e/ou expansões, considerando os aspectos funcionais e ergonômicos.

### Agradecimentos

Este estudo foi motivado pelas reflexões desenvolvidas junto ao Projeto MORAR\_TS, financiado pela FINEP. E, recentemente, a partir da realização de um pós-doutorado junto à Universidade de Zaragoza, no âmbito de um Projeto CAPES-PrInt da UFPel,

teve-se a oportunidade de ampliar o repertório tecnológico e agregá-lo ao processo de desenvolvimento de tecnologias sociais. Agradecemos em particular à Dra. Eva Cerezo (UNIZAR), Dra. Sandra Baldassari (UNIZAR), Doutorandos Evandro Preuss (UFSM/UFRGS) e Vinícius Costa (IFSUL/UFPe) e à acadêmica de arquitetura Samanta Quevedo, por viabilizarem a apropriação dos conhecimentos para projetar e configurar um jogo a partir do aplicativo EDUBA.

### Referências bibliográficas

BALTAZAR, Ana Paula; KAPP, Silke. Assessoria técnica com interfaces. In: IV ENANPARQ, 2016, Porto Alegre. *Moradia digna e assistência técnica: como os estudos, pesquisas e projetos de arquitetura e urbanismo estão avançando?* p. 1-23. Disponível em: <http://www.anparq.org.br/enanparq-IV.php>. Acesso em: nov. 2020.

BARRETO, Isabela. *Cotidiano e assessoria técnica na ocupação Vicentão*. Orientador: Tiago Castelo Branco Lourenço. Monografia (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, UFMG, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: [http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/30\\_maleta\\_jogo/index.html#menu](http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/30_maleta_jogo/index.html#menu). Acesso em: nov. 2020.

BONILLO, Clara; BALDASSARRI, Sandra; MARCO, Javier; CERREZO, Eva. Tackling developmental delays with therapeutic activities based on tangible tabletops. *Universal Access in the Information Society*. n. 18. p.31-47. 2019. DOI: 10.1007/s10209-017-0582-4.

BRANDÃO, Douglas Queiroz. *Habitação social evolutiva: aspectos construtivos, diretrizes para projetos e proposição de arranjos espaciais flexíveis*. Cuiabá: CEFETMT, 2006.

BRASIL. LEI Nº 13.439, DE 27 DE ABRIL DE 2017. *Cria o Programa Cartão Reforma e dá outras providências*. Brasília, 2017.

BRASIL. MEDIDA PROVISÓRIA Nº 996, DE 25 DE AGOSTO DE 2020. *Institui o Programa Casa Verde e Amarela*. Brasília, 2020.

DOCUMENTÁRIO “Habitação Social: uma questão de Saúde Pública”. 1 vídeo (52:07 min). 2020. Publicado pelo canal CAU/BR. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=E7dfO5PZsWA>. Acesso em: fev. 2021.

DUNN, Nick. *Proyecto y construcción digital en arquitectura*. Barcelona: Editora Blume, 2012.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo dicionário da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1986.

JORGE, Liziane; MEDVEDOVSKI, Nirce; SANTOS, Cynthia; JUNGES, Paula; SILVA, Fabiola. *A transformação espontânea das unidades habitacionais do loteamento Anglo em Pelotas/RS: reflexões sobre a urgência do conceito de Habitação Social Evolutiva*. *Cadernos PROARQ*. n. 29, p. 122-153. 2017. Disponível em: <https://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/pt/paginas/edicao/29>. Acesso em: nov. 2020.

KAPP, Silke; CARDOSO, Adauto. Marco teórico da Rede Finep de Moradia e Tecnologia Social – Rede Morar T.S. *Risco – Revista de Pesquisa Em Arquitetura e Urbanismo*. n. 17. p. 94-120. 2013. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/risco/>

[article/view/83050](http://www.revistas.usp.br/risco/). Acesso em: nov. 2020.

KAPP, Silke; BALTAZAR, Ana Paula; CAMPOS, Rebekah; MAGALHAES, Pedro; MILAGRES, Lígia; NARDINI, Patrícia; OLYNTHO, Bárbara; POLIZZI, Leonardo. *Arquitetos nas favelas: três críticas e uma proposta de atuação*. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO E III CONGRESSO IBERO-AMERICANO SOBRE HABITAÇÃO SOCIAL: CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012, Florianópolis. *IV Congresso Brasileiro e III Congresso Ibero-Americano sobre Habitação Social: Ciência e Tecnologia*. p. 1-10. Disponível em: [http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/biblioteca\\_novo\\_2/](http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/biblioteca_novo_2/). Acesso em: dez. 2020.

KERKHOFF, Hélien. *Mobiliário para habitação de interesse social: conflitos, percepção e satisfação dos usuários*. Orientadora: Nirce Saffer Medvedovski. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas, 2017.

KHALILI-ARAGHI, S.; KOLAREVIC, B. Development of a framework for dimensional customization system: A novel method for customer participation. *Journal of Building Engineering*. n. 5. p. 231-238. 2016. DOI: 10.1016/j.job.2016.01.001.

KRAUEL, Jacobo. *Arquitectura digital: innovación y diseño*. Barcelona: Editora Links, 2010.

LOGSDON, Louise; FABRICIO, Márcio; SOUSA, Dayanna; PADILHA, Yasmin. Funcionalidade e mobiliário da habitação: contribuições para o projeto de moradias sociais. *Arquitetura Revista*. v.15, n.2, p. 2012-237. 2019. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/arq.2019.152.01> Acesso em: nov. 2020. DOI: 10.4013/arq.2019.152.0.

LYNCH, Kevin; HACK, Gary. *Site Planning*. Cambridge: MIT Press, 1984.

MEDVEDOVSKI, Nirce Saffer. *A vida sem condomínio: configuração e serviços públicos urbanos em conjuntos habitacionais de interesse social*. Orientadora: Sheila Walbe Ornstein. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MEDVEDOVSKI, N.; SANTOS, L.; SANTIAGO, G. Assistência Técnica para habitação de Interesse Social (ATHIS): o ciclo CAAT e suas contribuições. *Expressa Extensão*. v. 25. p. 85-98. 2020.

OLINI, Patricia; SILVA, Ricardo. Habitação Mínima: a legislação edilícia de Maringá sob a luz do existenzminimum. In: III ENANPARQ, 2014, São Paulo. *Habitação e direito à cidade*. Disponível em: [http://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-3/html/Artigos/SC/POSTER/SC-HDC-046\\_OLINI\\_SILVA.pdf](http://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-3/html/Artigos/SC/POSTER/SC-HDC-046_OLINI_SILVA.pdf). Acesso em: nov. 2020.

PREUSS, Evandro; VIEIRA, Martha. COUTINHO, Katia. HENRIQUES, Renato. BALDASSARRI, Sandra. *Uso de mesa tangível da educação inclusiva*. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2020. *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/12830/12684>. Acesso em: nov. 2020. DOI: 10.5753/cbie.sbie.2020.742.

REIS, A.; LAY, M. Tipos arquitetônicos e dimensões dos espaços da habitação social. *Ambiente Construído*, v. 2. n. 3. p. 7-24. 2002. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3424/1839>. Acesso em: nov. 2020.

SILVA, Elvan. *Geometria funcional dos espaços da habitação*. Porto Alegre: UFRGS, 1982.

SOARES, Melri; NASCIMENTO, Marilzete. Moradia e mobiliário popular: problema antigo solução (im)possível? *Da Vinci*. v. 5, n. 1, p. 69-96. 2008. Disponível em: <https://www.up.edu.br/davinci/edi5.htm>. Acesso em: nov. 2020.

VILLA, S. B.; ORNSTEIN, S. W. (Org.) *Qualidade ambiental na habitação: avaliação pós-ocupação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ZALITE, Marcela; IMAI, César. O modelo físico ajustável para a identificação das prioridades dos usuários de habitação de interesse social. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*. v. 8, n. 1, p. 20-31. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i1.8649670>. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649670>. Acesso em: nov. 2020.

# USO DO APLICATIVO TALLY NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS

## Estudo de caso com uma edificação multifamiliar brasileira

### USE OF THE TALLY APPLICATION TO BUILDINGS LIFE CYCLE ASSESSMENT

#### Case study of a Brazilian multi-family housing

Raísa Machado Rinkevicius<sup>1</sup>, Michele Ferreira Dias Morales<sup>2</sup>  
e Alessandra Teribele<sup>3</sup>

#### Resumo

A necessidade de minimização dos impactos ambientais gerados pela construção civil tem-se evidenciado na indústria da construção. A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) constitui-se uma das principais ferramentas para auxiliar essa redução, porém a grande quantidade de dados de entrada relacionada às edificações dificulta sua aplicação. O *Building Information Modelling* (BIM) surge como alternativa, facilitando o processo de elaboração da ACV. Esse estudo tem o objetivo de verificar o uso do BIM, por meio do aplicativo Tally, na ACV de uma edificação brasileira com foco no sistema de envoltória. Os resultados demonstraram que o aplicativo, associado ao *software* REVIT, auxiliou a elaboração da ACV, viabilizando diversas comparações e subsidiando o processo de tomada de decisão durante a etapa de projeto. Entre as limitações encontradas destacam-se as diferenças regionais relacionadas ao transporte e produção dos materiais, visto que a base de dados do Tally é proveniente de outro país.

Palavras-chave: Modelo de Informação da edificação, Tally, impacto ambiental das edificações, ferramenta de apoio ao projeto.

#### Abstract

*The need to reduce the environmental impacts generated by the construction industry has been in evidence. The Life Cycle Assessment (LCA) is one of the main tools to support this reduction. Nonetheless, the large amount of input data related to buildings, makes it difficult to use the tool. Building Information Modeling (BIM) appears as an alternative, facilitating LCA modeling. This study aims to verify the use of BIM, by using the application Tally in the LCA of a Brazilian building focusing on the building envelope. Results showed that the application associated with the REVIT software, supported the LCA modeling and calculation, enabling several comparisons and supporting the decision-making process during the project stage. Among the limitations, the regional differences related to the transport and production of materials can be highlighted, due to the Tally database be from another country.*

*Keywords: Building Information Modeling, Tally, buildings environmental impacts, project support tool.*

<sup>1</sup> Engenheira Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS/2019)

<sup>2</sup> Doutora em Engenharia Civil pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (UFRGS/2019). Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (UNISINOS/2013). Arquiteta e Urbanista pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS/2010).

<sup>3</sup> Doutora em Arquitetura pelo Programa de Pós Graduação em Arquitetura (UFRGS/2016). Mestre em Arquitetura pelo Programa de Graduação em Arquitetura (UFRGS/2011). Arquiteta e Urbanista pela Universidade Estadual de Londrina (UEL/1998).

#### Introdução

A construção civil apresenta percentuais consideráveis de consumo de recursos naturais e emissão de gases poluentes, devido aos seus processos e à produção dos materiais de construção, colecionando assim altos índices de impactos ambientais, além de uma elevada responsabilidade na degradação do meio ambiente (PASSUELLO *et al.*, 2014). A urgência de se encontrar formas alternativas para minimização dos impactos do setor, atuando de maneira mais sustentável, tem-se mostrado cada vez mais presente no mercado atual, devido principalmente, à escassez dos recursos naturais, essenciais aos processos dessa indústria, bem como, aos efeitos nocivos ao meio ambiente causados pelos seus procedimentos (CBIC, 2014; DÍAZ; ANTÓN, 2014; ABNT NBR ISO 14040, 2009).

De acordo com Medeiros, Durante e Callejas (2018), o setor apresenta grande parcela no consumo de matéria-prima extraída da natureza (com índices entre 14% a 50%), no consumo de recursos hídricos (16% do consumo global) e no consumo de energia (chegando ao percentual de 40%). Além da exploração desses recursos, apresenta, ainda, uma alta cota sobre a geração de resíduos sólidos, estimada entre 40% a 70% e sobre as emissões de gases causadores do efeito estufa lançados na atmosfera (atingindo 10% dessa contribuição).

Buscando garantir o desenvolvimento do setor na atualidade sem lesar as futuras gerações, procurando assegurar a redução dos impactos gerados, além de atender a crescente exigência da sociedade moderna pela sustentabilidade, o setor da construção civil tem apresentado uma reorganização na maneira de elaborar e aprimorar seus processos (CAMPOS, 2012).

Com elevado potencial para viabilizar a otimização dos danos gerados pela construção civil, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) vem sendo aplicada em diversos estudos voltados à análise dos impactos ambientais de edificações. No âmbito nacional, podem ser citados alguns estudos realizados, tais como Morales *et al.* (2019), Evangelista (2017), Caldas, Lira e Sposto (2017) e Moraga (2017). Tais estudos utilizam softwares específicos para ACV como: OpenLCA e SimaPro, demandando conhecimentos específicos. Na maior parte dos casos, a aplicação da ACV ocorre no estágio de projeto, auxiliando o processo de tomada de decisão e garantindo aumento do desempenho ambiental das edificações. Essa integração, entre a ACV e o processo de projeto, quando realizada na etapa de seleção das alternativas de construção, proporciona alterações de forma rápida e fácil e melhorias na seleção de materiais e processos construtivos (RÖCK *et al.*, 2018). Desta maneira, a ACV apresenta-se como uma importante aliada ao setor, pois possibilita a análise da edificação em nível global ou em nível de sistema, abrangendo todas as suas fases (fabricação, construção, uso e operação). Permite a comparação e seleção de materiais e processos construtivos através de inventários de entradas e saídas, auxiliando na determinação da melhor alternativa sobre a ótica ambiental (SANTOS; AGUIRRE; CANALLI, 2016; SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006).

Apesar de suas vantagens, a ACV é um processo de alta complexidade, principalmente no que se refere à construção civil, pois apresenta uma alta quantidade de dados de entrada (materiais, sistemas e subsistemas), além de incluir uma infinidade de possibilidades de combinação desses dados (BUENO; FABRÍCIO, 2016; GOMES; BARROS, 2018). Como alternativa a estes obstáculos, que interferem na implementação da ACV na construção civil, o *Building Information Modelling* (BIM), conceituado com uma ferramenta de integração interdisciplinar capaz de atribuir informações características aos objetos de projeto, apresenta uma grande eficácia no auxílio de estudos de ACV. Sua principal utilidade ocorre na etapa de Inventário de

Ciclo de Vida permitindo que os quantitativos sejam extraídos de forma automática; garantindo a atualização dos mesmos em casos de alterações de projeto. Atualmente esse processo é realizado de forma manual pelos projetistas, o que acarreta na recontagem dos elementos caso haja modificações de projeto, além de aumentar a ocorrência de possíveis erros na quantificação (EASTMAN *et al.*, 2014; GOMES; BARROS, 2018).

Embora, estudos demonstrem as potencialidades do uso do BIM na elaboração da ACV sua aplicação no contexto brasileiro ainda tem sido pouco explorada. Neste contexto esse estudo tem o objetivo de verificar o potencial uso do BIM, por meio do aplicativo Tally na Avaliação do Ciclo de Vida dos sistemas de envoltória (vedação vertical e cobertura) de uma edificação multifamiliar brasileira construída no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

## Revisão teórica

### ACV de edificações

Comumente utilizada internacionalmente e com recente aplicação nos projetos brasileiros, a ACV é uma ferramenta de gestão ambiental estratégica, que permite demonstrar os impactos ambientais das edificações (SANTOS; AGUIRRE; CANALLI, 2016), englobando e avaliando os potenciais danos que determinado produto pode acarretar ao ecossistema durante todo o seu ciclo de vida (MEDEIROS; DURANTE; CALLEJAS, 2018), incluindo nessa análise as etapas de produção, uso/operação, demolição e disposição final (SILVA; SILVA, 2000).

A ACV permite analisar e comparar os impactos ambientais gerados por sistemas diferentes, mas que possuem funções similares, permitindo, sob a ótica ambiental, a comparação entre si, através de inventários do fluxo de matéria e energia desses sistemas.

As Normas ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2009) especificam as quatro fases principais da ACV. Os critérios que cada uma dessas fases deve cumprir fazem parte do escopo das normas da série ISO 14000 e podem ser descritos conforme demonstra a Figura 1.

A fase de definição do objetivo e escopo refere-se ao processo onde são estipulados os objetivos, limitações e restrições do estudo, na qual se estabelecem algumas definições

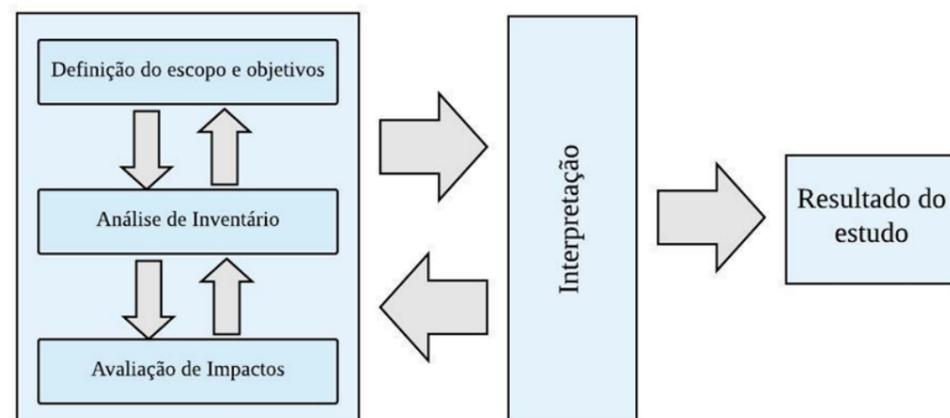


Figura 1: Estrutura de ACV. Fonte: Adaptado de Khasreen, Banfill, Menzies (2009, p. 678).

como: a identificação dos limites do sistema, especificando-se, por exemplo, se o estudo englobará o completo tempo de vida do produto ou se será avaliada somente a fase de produção ou uso; unidade funcional; qualidade de dados; e outros limites (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009). A delimitação das fronteiras do sistema especifica quais etapas serão analisadas, ou seja, se esse sistema será avaliado do berço (extração de matérias-primas) ao túmulo (demolição), podendo englobar ainda os processos de produção, distribuição, utilização e reparação eventual (SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006). A unidade funcional trata dos parâmetros, aos quais todas as entradas e saídas estão relacionadas. Se referindo à construção civil, há diversas possibilidades de definição da unidade funcional que podem ser consideradas, como por exemplo: m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, número de ocupantes, entre outros (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009).

As etapas da avaliação do ciclo de vida de uma edificação, segundo EN 15978:2011, são divididas em (Quadro 1): Etapa do produto (A1 ao A3); Etapa de construção (A4 ao A5); Etapa de uso (B1 ao B7); Etapa de fim de vida (C1 ao C4) e Módulo D (opcional) (CEN, 2011).

Etapa do produto (A1-A3)	Etapa de construção (A4-A5)	Etapa de uso (B1-B7)	Etapa de fim de vida (C1-C4)
A1. Extração da matéria prima	A4. Transporte da fábrica ao canteiro	B1. Uso	C1. Demolição
A2. Transporte	A5. Construção e instalação do sistema	B2. Manutenção	C2. Transporte
A3. Fabricação		B3. Reparo	C3. Processamento dos resíduos
		B4. Substituição	C4. Disposição final
		B5. Remodelação	C5. Reuso, recuperação e potencial reciclagem
		B6. Energia Operacional	
		B7. Água operacional	

Quadro 1: Diferentes etapas da avaliação ambiental de edificações. Fonte: dos autores, 2020.

Segundo a EN 15978 (2011) a etapa de produto (A1-A3) abrange toda a fase de fabricação, incluindo a extração de matéria-prima, processamento de materiais, transporte intermediário, fabricação e montagem final. Nesta etapa se exclui as infraestruturas (edifícios e máquinas) necessárias para fabricação e montagem de materiais de construção. O módulo A4 corresponde ao transporte do fabricante até o local da obra, durante a fase de construção da edificação. O módulo A5 inclui os processos de instalação do edifício, englobando as etapas de terraplanagem e paisagismo, instalações provisórias, transporte dentro do canteiro e a água consumida para limpeza do local ou abastecimento de máquinas. Já a etapa de uso (B1-B5) abrange a manutenção, reparo, substituição e remodelação de elementos. Os módulos B6 e B7 incorporam a energia, consumo de gás natural e consumo de água previsto no local da construção durante a vida útil da mesma. A etapa de fim de vida corresponde a demolição da edificação, transporte de resíduos da construção para o tratamento de fim de vida, processamento e eliminação de resíduos, disposição

final em aterros sanitários e possível recuperação ou reciclagem de materiais (CEN, 2011).

Quanto a fase de análise de inventário, a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) estabelece diversas etapas, sendo elas: coleta de dados; cálculo de dados (que envolve a validação dos dados coletados, relacionando-os aos processos unitários e à unidade funcional) e procedimentos de alocação no caso de estudos que envolvem sistemas com múltiplos produtos. A escolha dos dados mais apropriados é crítica, pois a qualidade das fontes é de demasiada importância para garantir a correção dos resultados, bem como, em alguns casos, determinar o nível de qualidade do estudo. Em casos de edifícios com produtos complexos, esta etapa se torna mais demorada, pois a coleta de dados inclui todos os dados relacionados a insumo-produto de energia e fluxo de massa e emissões de gases na atmosfera, tais como: obtenção das matérias-primas, fabricação do produto, transporte, uso e descarte (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009, SANTOS *et al.*, 2011).

A fase de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) utiliza-se dos resultados obtidos na etapa de análise do inventário, e a partir desses dados, avalia a significância dos potenciais impactos ambientais, por meio de modelo e fatores contidos nos métodos de ACV. É neste processo que se envolve a associação de dados do inventário com impactos ambientais específicos e tenta-se compreender estes impactos. Os níveis de detalhe, a escolha dos impactos e as metodologias utilizadas fazem referência às definições propostas no objetivo e no escopo do estudo (MENDES; BUENO; OMETTO, 2016; SANTOS; AGUIRRE; CANALLI, 2016).

Conforme Mendes, Bueno e Ometto (2016), há diversos métodos de AICV desenvolvidos em sua maioria na Europa e utilizados ao redor do globo, inclusive no Brasil. Cada um desses métodos avalia diferentes categorias de impacto por meio de uma série de modelos de caracterização. Dentre os métodos mais comumente utilizados para avaliar produtos da construção civil podem ser citados: Potencial de Aquecimento Global, Potencial de Acidificação, Potencial de Eutrofização, Potencial de Formação de Poluição Atmosférica e Energia Não Renovável.

O potencial de aquecimento global quantifica as emissões de gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono e metano. Como consequência da emissão desses poluentes, tem-se a destruição da camada de ozônio e maior absorção de radiação pela Terra, resultando em impactos adversos à saúde humana, do ecossistema e no bem-estar material. Define-se potencial de acidificação o aumento da concentração de íons de hidrogênio (H+) nos corpos hídricos, ocasionando a diminuição do pH da água. Resulta em efeitos como a deterioração dos materiais de construção, mortalidade de peixes e declínio florestal. Já o potencial de eutrofização caracteriza-se pelo aumento de macronutrientes (especialmente o nitrogênio e o fósforo), ocasionando em uma elevada produção de biomassa, tanto em ecossistemas terrestres, quanto em ecossistemas aquáticos. Potencial de formação de poluição atmosférica é a categoria de impacto ambiental associada à quantificação da presença de ozônio no solo, causada pelas reações entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Pode ocasionar danos à saúde humana como bronquite, asma e enfisema. E por fim, energia não renovável é a medida da energia extraída de recursos não renováveis, como o petróleo e o gás natural (TALLY, 2019).

### A aplicação do BIM na ACV de edificações

A ACV de edificações é considerada um processo de alta complexidade. Isto se deve em parte por englobar todas as fases das edificações, gerando inúmeras

possibilidades de combinações de materiais e procedimentos alternativos na busca pela minimização desses impactos. Facilitando o processo de avaliação, a tecnologia BIM apresenta um potencial efetivo de aplicação em estudos de ACV, principalmente na fase de inventário, possibilitando a quantificação automática dos materiais utilizados (GOMES; BARROS, 2018). Outro benefício que a tecnologia BIM proporcionaria à ACV é a inclusão de informações nas diferentes famílias de projeto, permitindo ao projetista identificar as características ambientais de determinado objeto quando selecionado no modelo, permitindo a inclusão de critérios ambientais já na fase de pré-projeto (DÍAZ; ANTÓN, 2014).

O conceito da metodologia BIM pode ser definido como conjunto de políticas, processos e tecnologias que, agregados, são capazes de gerar um modelo virtual real. Esse modelo integrado às informações e dados de uma determinada edificação, possibilita a sua gestão e gerenciamento, além de ensaiar seu desempenho, utilizando-se de ferramentas computacionais para tal fim. Trata-se da plataforma que permite a integração de todas as informações do objeto construído, antecipando os eventuais problemas e definições do projeto (CBIC, 2016). Baseado na sua definição, o BIM pode ser aplicado nos diversos processos da construção, desde a concepção da ideia, até as fases de projeto, construção, uso e operação da edificação, sendo empregado ao longo de todo ciclo de vida do empreendimento (ASBEA, 2013; CBIC, 2016).

Röck *et al.* (2018) destaca ainda que a ACV cada vez mais exigirá a integração com ferramentas BIM, a fim de se apoiar a tomada de decisões, visto que as variadas disciplinas envolvidas na construção apresentam a tendência da aplicação BIM. Díaz e Antón (2014) realçam algumas outras vantagens na integração ACV+BIM: maior possibilidade de se acondicionar os três pilares da sustentabilidade (ambiental, social e econômico); uso mais abrangente de critérios ambientais pelos diferentes agentes da construção e maior êxito na avaliação ambiental.

Já existem *softwares* no mercado que realizam a interoperabilidade entre a ACV e o BIM, dentre eles Bueno e Fabricio (2016) citam:

a) *Autodesk Green Building Studio*®: apesar de não ser desenvolvido especialmente para estudos de ACV, pode ser utilizado como ferramenta de apoio. Está em desenvolvimento para se tornar um aplicativo compatível com o *software* Revit®. Permite, entre outras funções, a análise energética de edifícios completos, relatórios de emissões de carbono, potencial de ventilação natural, análise de eficiência energética e uso da água;

b) *eToolLCD*: aplicativo desenvolvido para estudos de ACV que permite a produção de relatórios detalhados de edifícios completos;

c) *Lesosai*: compatível com os *softwares* Revit® e Archicad, avalia os impactos ambientais provenientes do consumo de energia, utilizando-se para cálculo a base de dados Ecoinvent;

d) *LCADesing*™: *software* capaz de gerar resultados como arquivo BIM, utilizando-se de dados genéricos e modelagem simplificada para avaliação ambiental de edifícios;

e) *Tally*: aplicativo que pode ser instalado no *software* Revit®, que busca a integração direta ACV e BIM, onde se é possível vincular os elementos modelados a um banco de dados de informações

ambientais.

Por ter como princípio básico a integração de tempo real dos elementos modelados e a adição de informações características dos objetos incorporados ao projeto, a metodologia BIM apresenta grande potencial no auxílio nos estudos de ACV, principalmente pela conveniência de se vincular vários aspectos em uma plataforma de dados comum, a facilidade de gerenciamento das diferentes disciplinas incorporadas, a facilidade de identificação da unidade funcional e pela automatização da extração de dados referentes à edificação estudada (RÖCK *et al.*, 2018).

### Método de pesquisa

O procedimento metodológico utilizado foi o estudo de caso. Este método é definido por Costa e Costa (2011) como um estudo detalhado e profundo, limitado a uma ou poucas unidades. Yin (2015) ainda salienta que essa metodologia é empregada em casos em que o pesquisador possui pouco ou nenhum controle sobre o comportamento da pesquisa e busca responder principalmente as questões de como ou por quê o estudo está sendo realizado, apresentando como foco da proposta um fenômeno contemporâneo.

Foi selecionada para o estudo uma edificação de uso multifamiliar do PMCMV concluída no ano de 2014, construída na região sul do Brasil. Refere-se a um complexo de habitação com nove blocos, no qual cada edifício possui 5 pavimentos com 4 apartamentos por andar, totalizando uma área bruta construída de 1.011,35 m<sup>2</sup> por bloco e com área útil construída de 40,1 m<sup>2</sup> por unidade habitacional (Figura 2). Esta edificação já foi alvo de outros estudos realizados por Morales *et al.* (2017) e Morales *et al.* (2019).

O sistema construtivo da edificação é composto por vedação vertical do tipo blocos cerâmicos estruturais de 14x19x39 cm, grauteado e reforçado com aço CA-50, assentados com argamassa de múltiplo uso, possuindo revestimento argamassado interno (e=1,0 cm) e externo (e= 2,5 cm) e finalizado com selador e tinta acrílicos. Já o sistema de cobertura é constituído por telha cerâmica do tipo francesa (38x23x15 cm), estrutura metálica e laje pré-moldada de concreto, tipo maciça (e=10 cm). Para fins comparativos, adicionou-se ao modelo do projeto o isolamento com lã mineral, buscando atingir um maior desempenho térmico para o sistema estudado. A edificação é pertencente à fase 2 do PMCMV e se enquadrou na faixa 2 do programa (renda de até R\$4.000 ou três salários mínimos).

Para as análises de ACV, efetuadas neste estudo, foi utilizada a licença estudantil do aplicativo Tally, versão 2018, incorporado ao *software* Autodesk Revit 2017. Esta ferramenta foi selecionada, pois permite que profissionais da construção (arquitetos e engenheiros) realizem uma análise, tanto a nível global do edifício, como também, a nível comparativo entre possíveis opções de projeto, enquanto fazem estudos do impacto ambiental dos materiais de construção empregados na edificação (KT INNOVATIONS, 2018). Além disso, o Tally possui interface de fácil compreensão e não requer práticas especiais de modelagem.

### Definição do objetivo e escopo da ACV

O objetivo da ACV realizada neste estudo é comparar diferentes sistemas de envoltória (vedações verticais externas e cobertura) aplicáveis ao projeto selecionado. Devido a alta complexidade da ACV na construção civil, e ao fato de que, para o setor, a ACV

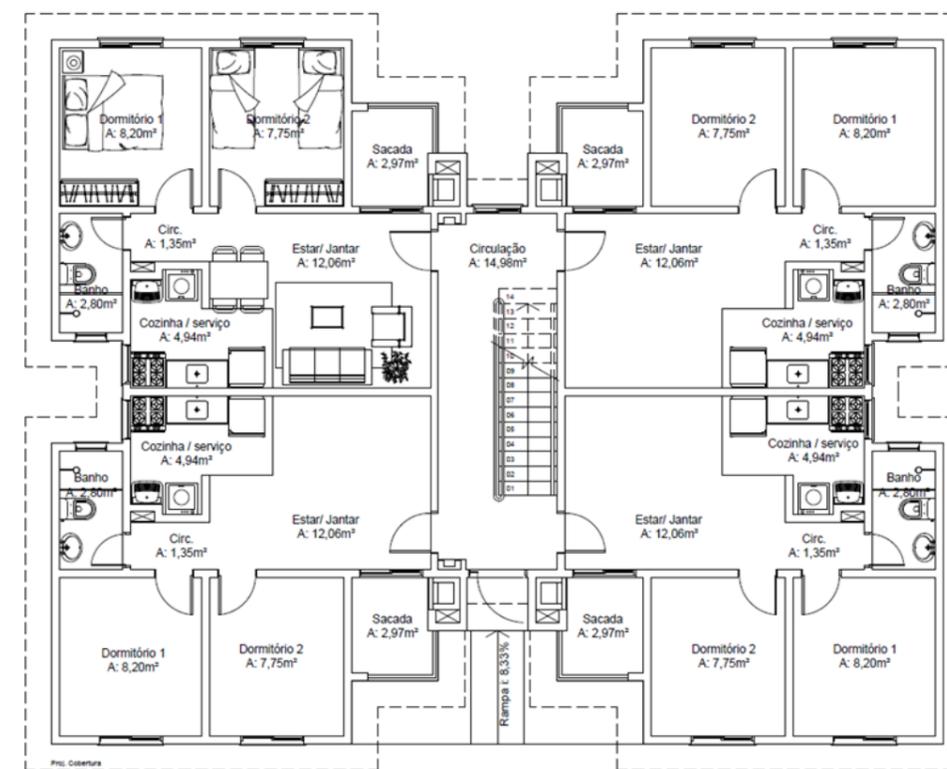


Figura 2: Planta baixa da edificação em estudo. Fonte: Morales *et al.* (2017).

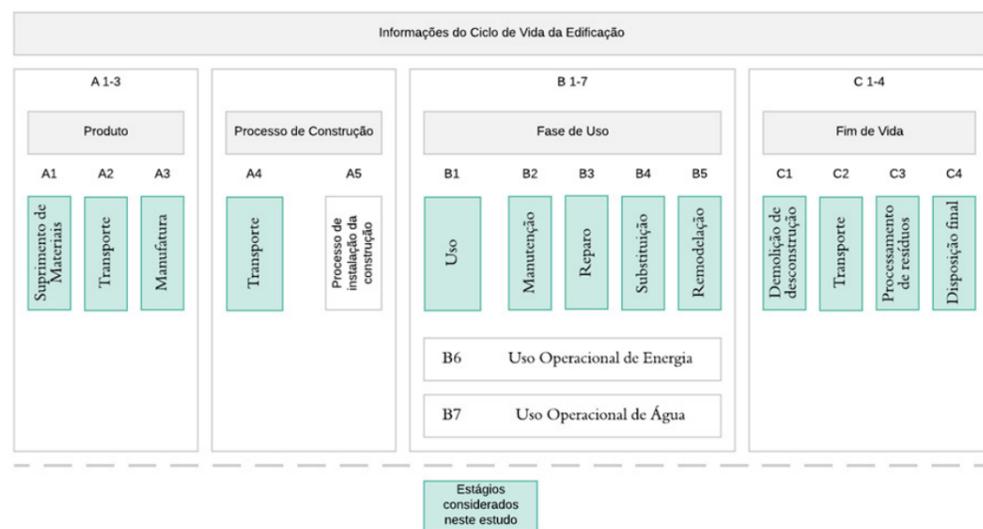
abrange tradicionalmente dois aspectos principais: os materiais e a fase de operação das edificações, este estudo limitou-se aos sistemas de envoltória devido a grande disponibilidade de variedade de materiais para estes sistemas atualmente, além de representarem o maior volume construtivo nas edificações populares (BUENO; FABRICIO, 2016; GOMES; BARROS, 2018; AZEVEDO *et al.*, 2020).

Estes sistemas foram escolhidos baseados também nos estudos de Condeixa *et al.* (2014), Bueno *et al.* (2016), Souza *et al.* (2016), Caldas *et al.* (2016), Azevedo *et al.* (2020), que analisaram o potencial de sustentabilidade de diferentes sistemas de envoltória para a realidade brasileira. (CALDAS *et al.*, 2017).

O escopo da ACV engloba todo o ciclo de vida da edificação, ou seja, foi realizada do berço ao túmulo, excluindo-se apenas as etapas de produção da edificação - canteiro (A5) e uso operacional de energia e água (B6 e B7). A Figura 3 ilustra os estágios considerados neste estudo. A unidade funcional utilizada no estudo foi 1m<sup>2</sup> de área de edificação, baseando-se no estudo de Bueno e Fabricio (2016), onde os autores utilizaram como unidade funcional 1 m<sup>2</sup> de um sistema externo não estrutural. Estimou-se vida útil de 60 anos para edificação, utilizando-se o padrão utilizado pelo aplicativo, visto que esta especificação atende ao requisito mínimo de desempenho recomendado pela NBR-15575-1 (ABNT, 2013).

A análise foi aplicada à três opções de sistemas de vedação e duas opções de sistema de cobertura para o projeto selecionado. Para a execução das análises optou-se por avaliar separadamente os sistemas de vedação e os sistemas de cobertura. Os sistemas (exemplificados no Quadro 3) foram selecionados por serem comumente utilizados em construções habitacionais multifamiliares, conforme demonstrado no estudo de Reguly *et al.* (2017). Além disso, estes sistemas são recomendados pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H).

Figura 3: Estágios pertencentes ao escopo do estudo de ACV. Fonte: Adaptado de BS EN 15978 (2011, p. 21).



Quadro 2: Sistemas construtivos avaliados e seus componentes. Fonte: dos autores, 2020.

Sistema 1	Componente considerados por sistema			
	Sistema 2	Sistema 3		
	Cobertura Est Met	Cobertura Est Mad		
Cobertura	Telha Cerâmica	Telha Cerâmica	-	
	Lã Mineral	-		
Estrutura metálica	Estrutura de madeira	-		
	Parede Cer Arg	Parede Cer Ges	Parede Conc Arg	
Sistemas de vedação vertical	Paredes Externas	Bloco Cerâmico	Bloco Cerâmico	Bloco de Concreto
		Revestimento argamassa (interno)	Revestimento em gesso (interno)	Revestimento argamassa (interno)
		Revestimento argamassa (externo)	Revestimento argamassa (externo)	Revestimento argamassa (externo)
		Pintura com tinta acrílica	Pintura com tinta acrílica	Pintura com tinta acrílica
	Esquadrias	Madeira (portas)	Madeira (portas)	Madeira (portas)
		Alumínio (janelas)	Alumínio (janelas)	Alumínio (janelas)
		Vidro temperado	Vidro temperado	Vidro temperado
Lajes	Concreto maciço	Concreto maciço	Concreto maciço	

### Análise de inventário

A coleta de dados para o Inventário de Ciclo de Vida foi realizada através da extração dos quantitativos dos materiais empregados nos sistemas construtivos, selecionados no *software* Autodesk Revit®, por meio da modelagem dos elementos construtivos adotados no projeto. Em casos de comparação de sistemas construtivos distintos, o Tally exige a divisão dos *designs* de projeto no modelo arquitetônico do Revit, utilizado-se da ferramenta “opções de projeto”. Para as análises globais do edifício, o aplicativo disponibiliza a opção de considerar todos os elementos envolvidos, havendo ainda a possibilidade de comparação dos elementos de forma individual. Quanto ao transporte dos materiais até a obra, foram consideradas as distâncias de transporte de cada material conforme dados fornecidos pelo aplicativo Tally.

### Avaliação do impacto do ciclo de vida

Para o cálculo da Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida foram utilizadas as seguintes categorias, sendo elas: Potencial de Aquecimento Global (kg de CO<sub>2</sub>-Eq.), Potencial de Acidificação (kg SO<sub>2</sub>-Eq.), Potencial de Eutrofização (kg N-Eq.), Potencial de Formação de Poluição Atmosférica (kg O<sub>3</sub>-Eq) e Energia Não Renovável (MJ).

### Modelagem BIM

Para a modelagem BIM e as análises de ACV efetuadas neste estudo, foi utilizada a licença estudantil do aplicativo Tally, versão 2018, incorporado ao *software* Autodesk Revit® 2017. O Tally fornece análise de todos os estágios do ciclo de vida da edificação e neste estudo foi utilizado para a comparação de diferentes possibilidades de vedação e cobertura. Este aplicativo foi selecionado pois, de acordo com KT Innovations (2018), permite que profissionais da construção possam realizar estudos de impacto ambiental dos materiais empregados na edificação, possibilitando uma análise à nível global do edifício, bem como à nível comparativo entre opções de projeto.

O Nível de Desenvolvimento do modelo, conhecido internacionalmente como *Level of Development* (LOD) estabelecido neste estudo foi o LOD 400. O LOD é um protocolo criado para identificar as necessidades de conteúdo específico de um elemento modelado em BIM (LATIFFI *et al.*, 2015). No LOD 400 o elemento deve ser representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou montagem específico, com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação definidos, e suas interfaces com outros elementos do edifício. Informações não gráficas adicionadas ao elemento devem constar nessa fase (ASBEA, 2015).

### Resultados

Este item visa apresentar os dados e resultados obtidos nas análises executadas por meio da ferramenta de estudo, discriminando as etapas realizadas para a obtenção dos índices aqui apresentados.

#### Análise do uso do BIM na ACV de edificações

Para desenvolvimento das análises foi necessário a elaboração de um modelo BIM específico para a ACV. Este modelo se fez fundamental, pois o aplicativo Tally busca as referências físicas (áreas, volumes e espessuras) das instâncias de projeto diretamente da memória do *software* BIM. A atribuição de materiais é realizada completamente através do banco de dados do aplicativo. Nesta etapa as principais dificuldades encontradas foram a necessidade de conversão das unidades de medida apresentadas pelo aplicativo, e a compatibilização com o banco de dados de materiais (de origem norte-americana), como por exemplo, as diferentes nomenclaturas para as argamassas de assentamento (Lime Mortar) e argamassas de revestimento (Stucco).

Para a análise comparativa entre diferentes opções de projeto, é necessário que as alternativas de *design* do projeto sejam divididas através da ferramenta de *opções de projeto* do Revit.

Para a emissão do relatório de impactos através da ferramenta, é mandatório

inclusão da materialidade de cada sistema construtivo diretamente do banco de dados do aplicativo, não havendo a necessidade de especificação dos mesmos na etapa de modelagem BIM feita no *software* Revit. É importante salientar ainda que o aplicativo Tally necessita de acesso à internet para seu funcionamento. Os resultados são disponibilizados em diversos níveis de detalhamento sendo organizados por estágio do ciclo de vida, por categoria de material e conforme discriminados no Tally, por categoria definida na modelagem no Revit e por fim por categoria do Revit e discriminados por família.

A quantificação dos elementos para a realização do inventário do ciclo de vida é realizada através dos parâmetros especificados na modelagem realizada no Revit. Todas as instâncias calculadas, bem como os quantitativos de área, perímetro e comprimento são extraídos diretamente da memória do *software* BIM e inseridos na avaliação do aplicativo, não havendo a necessidade de extração de tabelas de quantitativo.

O inventário do ciclo de vida gerado pelo Tally cruza os dados de modelo (área, perímetro, comprimento) com os dados fornecidos através da especificação dos materiais e suas quantificações (densidades dos materiais pré estabelecidas através do banco de dados do Tally), gerando um relatório de massas, conforme exemplificado na Figura 4.

Apesar de atualmente possuir uma interface totalmente adaptada para a realidade construtiva norte-americana, utilizando-se inclusive do sistema de unidade medida do país, o Tally apresenta um potencial efetivo de auxílio à elaboração de uma ACV no Brasil, permitindo de forma simplificada a avaliação de diferentes opções construtivas da edificação.

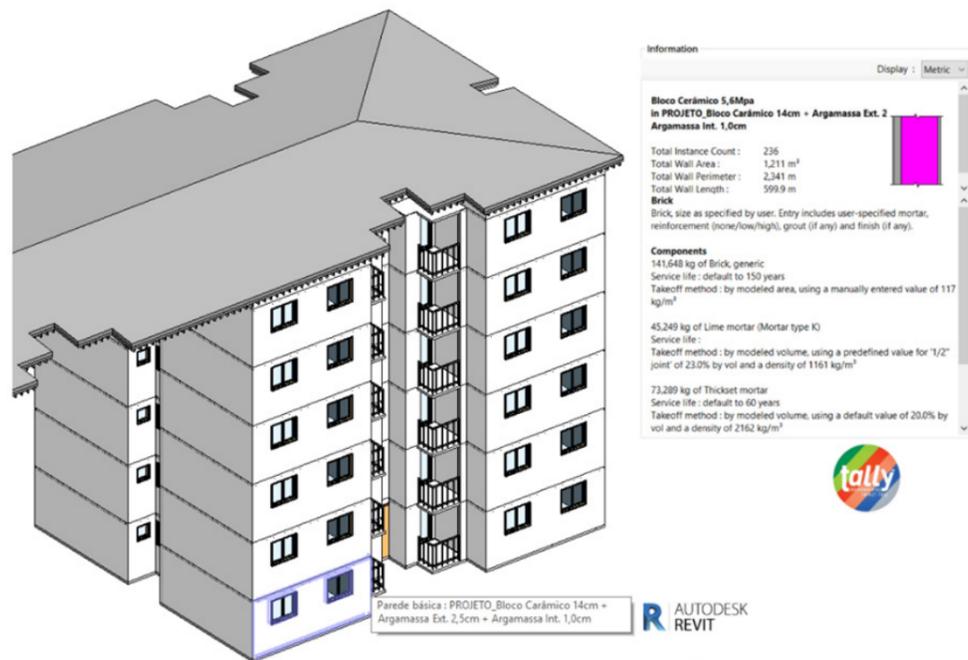


Figura 4: Relatório de massas gerado pelo Tally. Fonte: Tally (2019).

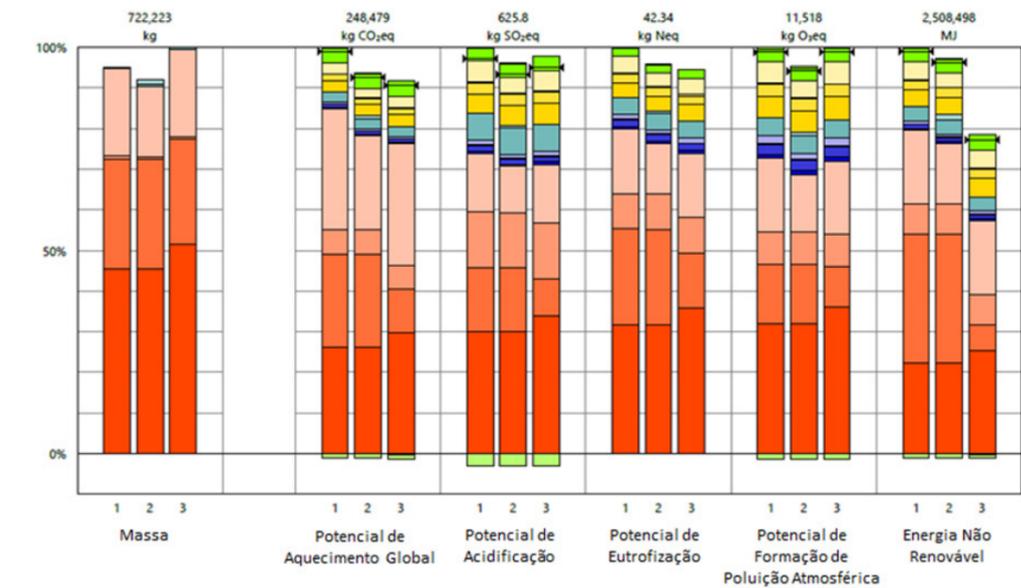
A ferramenta permite que os profissionais possam tomar decisões de projeto durante a fase preliminar do mesmo, pois proporciona a avaliação de diferentes cenários construtivos de forma rápida e simples, sem a necessidade de recontagem de quantitativos.

### Análise dos Impactos por estágio de ciclo de vida

Este tópico apresenta os resultados da ACV por estágio de ciclo de vida da edificação, para cada uma das cinco categorias de impacto avaliadas e subdivididas por categorias de elemento construtivo. O Gráfico 1 apresenta as participações percentuais por estágio do ciclo de vida para cada um dos sistemas de vedação vertical selecionados.

O estágio de ciclo de vida que apresenta a maior contribuição sobre o impacto total é o estágio de produto (A1-A3), referente à produção, onde o concreto e as alvenarias se destacam como os materiais mais nocivos, atingindo índices semelhantes em todas as opções de projeto estudadas. Ainda no módulo A, os acabamentos (tintas e *primers*) se destacam como o segundo sistema de maior impacto em todas as categorias avaliadas, devido em grande parte à composição química desses materiais.

Já os estudos de Morales *et al.* (2019), que realizaram uma ACV para a mesma edificação utilizando *softwares* OpenLCA e a base ICV Ecoinvent, apontam a etapa de uso (B4-B6) como o estágio de ciclo de vida com maior contribuição de impactos,



### Legenda

- ← Valores líquidos (impactos + créditos)
- Produto [A1-A3]**
  - 03 - Concreto
  - 04 - Alvenaria
  - 08 - Aberturas e Vidros
  - 09 - Acabamentos
- Transporte [A4]**
  - 03 - Concreto
  - 04 - Alvenaria
  - 08 - Aberturas e Vidros
  - 09 - Acabamentos
- Manutenção e Reparo [B2-B5]**
  - 03 - Concreto
  - 04 - Alvenaria
  - 08 - Aberturas e Vidros
  - 09 - Acabamentos
- Fim de Vida [C2-C4]**
  - 03 - Concreto
  - 04 - Alvenaria
  - 08 - Aberturas e Vidros
  - 09 - Acabamentos
- Módulo D [D]**
  - 03 - Concreto
  - 04 - Alvenaria
  - 08 - Aberturas e Vidros
  - 09 - Acabamentos
- Opções de projeto**
  - 1 - Sistema de Vedação Vertical 1
  - 2 - Sistema de Vedação Vertical 2
  - 3 - Sistema de Vedação Vertical 3

Gráfico 1: Resultados por estágio de ciclo de vida, discriminado por elemento construtivos dos sistemas de vedação vertical 1 a 3. Fonte: Relatório Tally (2019).

destacando o módulo de energia operacional (B6), que obteve maior participação na maioria das categorias de impacto estudadas. No estudo realizado pelos autores, o estágio de produto juntamente com o estágio de construção, atingiu percentuais em torno de 13-18% em todas as categorias de impacto avaliadas.

Esta diferença entre os resultados obtidos pelo Tally e estudo de Morales *et al.* (2019), pode ser devido à exclusão do módulo de energia operacional (B6) do escopo deste estudo, alterando-se assim a proporção dos impactos por estágio de ciclo de vida.

O estágio de fim de vida (C2-C4) é o segundo estágio com maiores índices, destacando-se novamente o concreto, que obtém os maiores valores em todas as categorias avaliadas, seguido pelos acabamentos. Já o estágio de manutenções e substituições (B2-B5), resultou no terceiro posicionamento quanto aos impactos estudados, com destaque para os serviços de acabamentos que obtiveram os maiores impactos nas cinco categorias analisadas.

Os módulos A4 e D foram os módulos onde se obtiveram os menores valores de todos os módulos estudados, em todas as categorias avaliadas. No primeiro, as alvenarias (cerâmica e concreto) ganharam maior destaque, quando avaliadas individualmente nas categorias de impacto ambiental. O módulo D ainda apresentou alguns ganhos em todas as categorias, excluindo-se apenas o potencial de eutrofização. O Gráfico 2 apresenta as relações para os sistemas de cobertura avaliados.

Para os sistemas de cobertura, o estágio de produto (A1-A3) é o estágio de ciclo de vida que exhibe os maiores valores. Destaca-se a estrutura metálica, que apresenta índices de impacto ambiental constantemente superiores aos da estrutura de madeira, em todas as categorias analisadas. Os isolamentos também exibem altos índices neste estágio, apontando maiores valores nas categorias de potencial de aquecimento global, potencial de acidificação e energia não renovável.

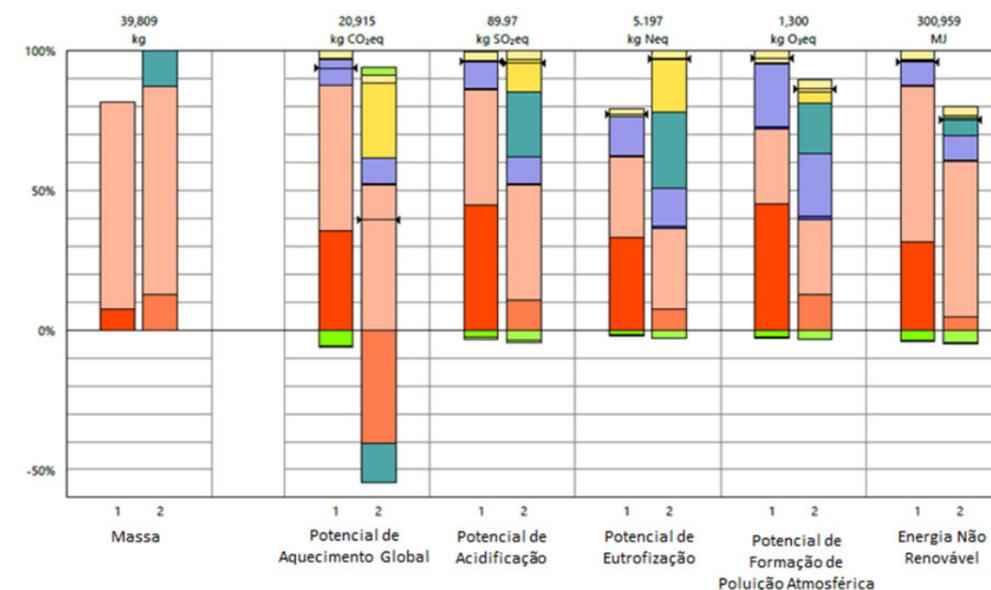
Em seguida, para os sistemas de cobertura, destaca-se o estágio de uso e operação (manutenção e reparo B2-B5), no qual a madeira, apesar de resultar em compensações positivas na categoria de aquecimento global, demonstra valores constantes para as categorias de potencial de acidificação, eutrofização e formação de poluição atmosférica.

No estágio de fim de vida, os metais apresentam apenas compensações em todas as categorias estudadas, devido provavelmente, a possibilidade de reciclagem ou reaproveitamento do material, que garante os ganhos no estágio D. Já a madeira se destaca principalmente na categoria de potencial de aquecimento global, seguida pela categoria de potencial de eutrofização neste módulo.

O módulo D, assim como nas vedações verticais, demonstra valores positivos em todas as categorias avaliadas (excluindo-se o sistema de cobertura 2 na categoria de potencial de aquecimento global), garantindo compensações para este estágio de ciclo de vida.

Essas compensações se dão em função do carbono biogênico, definido pelo GHG-Protocol (2016) como a compensação que vegetais, animais, algas, entre outros, são capazes de realizar em suas atividades antrópicas (como a fotossíntese), absorvendo carbono da atmosfera e liberando CO<sub>2</sub>. Por conta destas compensações, estas emissões não produzem impactos adicionais na concentração destes gases de efeito estufa na atmosfera.

Ao observar os resultados gerais por estágio de ciclo de vida, já com as compensações



### Legenda

↔ Valores líquidos (impactos + créditos)



calculadas, obtidos nas análises do sistema de vedação vertical e no sistema de cobertura, o estágio de produção (A1-A3) obteve os maiores impactos nas cinco categorias avaliadas para os sistemas de vedações verticais e para os sistemas de cobertura. Observam-se diferenças em relação a outros estudos realizados no âmbito da ACV de edificações no Brasil. Os resultados obtidos por Evangelista (2018) apontam o estágio de uso (módulo B), como a fase mais significativa em todas as categorias de impacto avaliadas pela autora, atingindo um percentual de 70% para a categoria de potencial de aquecimento global. Esta diferença de participação do estágio uso (módulo B), pode estar relacionada a forma como a vida útil é modelada no Tally, Morales *et al.* (2020) destacam que a modelagem da vida útil pode causar grandes variações nos resultados de ACVs de elementos da construção.

### Análise do estágio A4 (transporte até o canteiro de obras)

Ao comparar as distâncias reais de projeto, ou seja, aquelas percorridas pelos materiais empregados na construção, apresentadas no estudo de Morales *et al.* (2019) versus as distâncias estimadas pelo aplicativo Tally, foram observadas diferenças em relação à realidade brasileira, fato que pode ter elevado os impactos do estágio A4 do ciclo de vida da edificação. A tabela 1 demonstra a comparação realizada.

Materiais de construção	Distância (tally)	Modal (Tally)	Distância Morales et al. (2019)	Modal Morales et al. (2019)
Telha cerâmica	1249	Caminhão	44	Caminhão
Aço galvanizado (cobertura)	431	Caminhão	10	Caminhão
Alumínio (esquadrias)	568	Caminhão	35	Caminhão
Vidro	940	Caminhão	600	Caminhão
Tinta	642	Caminhão	35	Caminhão
Argamassa	172	Caminhão	287	Caminhão
Gesso acartonado	172	Caminhão	1327	Caminhão
Bloco cerâmico	172	Caminhão	18	Caminhão

### Contribuição dos materiais utilizados

Além das análises de modo geral e por estágio de ciclo de vida, o Tally ainda apresenta resultados classificados por categoria de material utilizado no projeto estudado. O Gráfico 3 e Gráfico 4 demonstram os índices gerados para todas as instâncias empregadas nos sistemas de vedação vertical e cobertura analisadas para este estudo.

O concreto e o aço (aplicados na construção das lajes divisória dos pavimentos), apresentam os maiores resultados em todas as categorias estudadas. Os seus índices mais elevados foram obtidos nas categorias de potencial de acidificação (para o aço) e potencial de formação de poluição atmosférica (para o concreto).

Já os sistemas de vedação em blocos cerâmicos resultam em maiores impactos ambientais do que os blocos de concreto, sendo que o índice mais discrepante entre esses dois materiais se dá na categoria de utilização de energia não renovável. De acordo com Moraga (2017) este resultado se justifica pela provável utilização de combustíveis não renováveis na produção do bloco, contrariando a realidade brasileira de produção, que utiliza resíduos como fonte calorífica, conforme estudo desenvolvido pela Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2012).

Para as argamassas, a argamassa de cal se sobressai na categoria do potencial de eutrofização, onde seus valores para blocos cerâmicos são superiores aos blocos de concreto. Já argamassa de cimento exibe grande contribuição na categoria de potencial de aquecimento global, resultando em menores índices para a categoria de potencial de formação de poluição atmosférica.

O gesso utilizado no revestimento das paredes é o material que expõe os menores resultados de todos os materiais utilizados nos sistemas construtivos estudados, em todas as categorias avaliadas.

Nos sistemas de cobertura, as estruturas metálicas e de madeira exibiram resultados semelhantes entre si para duas das categorias analisadas, destacando-se o potencial de acidificação, no qual as duas opções de materialidade obtiveram o mesmo índice. A maior discrepância entre essas duas alternativas de projeto foi obtida nas categorias de potencial de aquecimento global, onde a madeira apresentou ganhos, e na utilização de energia não renovável, destacando-se a estrutura metálica, que

obteve maiores impactos.

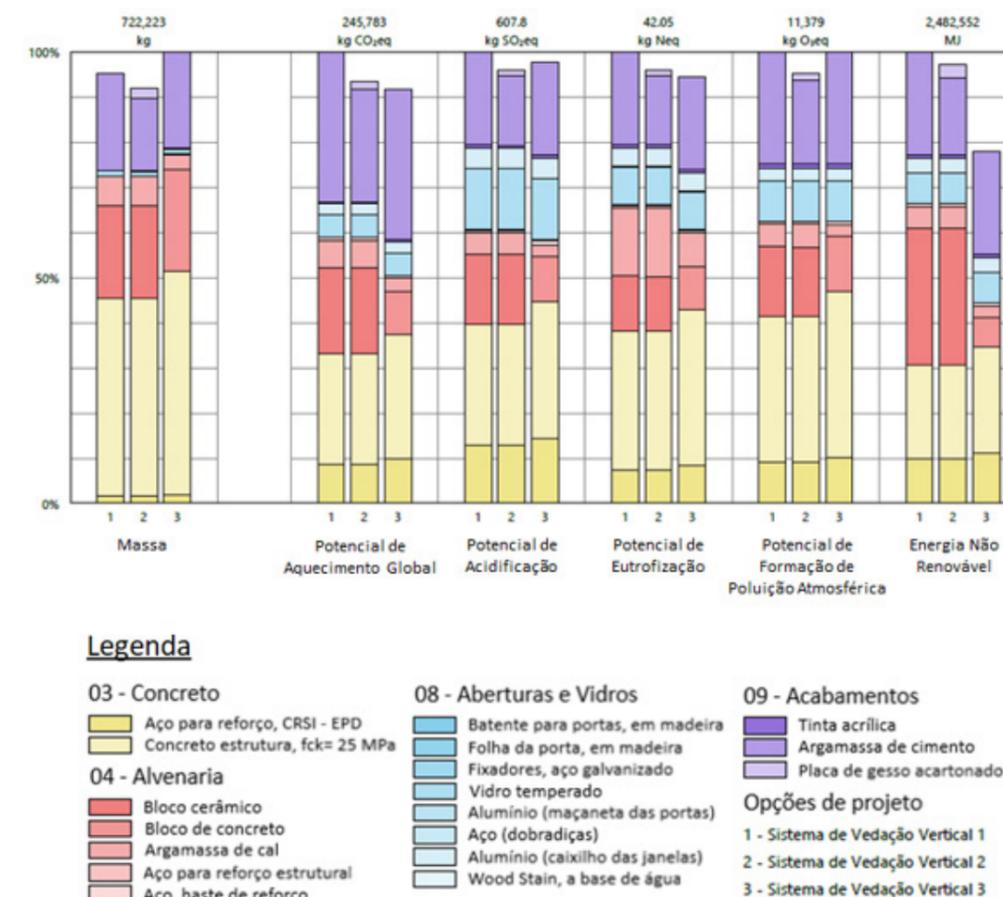


Gráfico 3: Resultados por materialidade dos sistemas de vedação vertical 1 a 3. Fonte: Relatório Tally (2019).

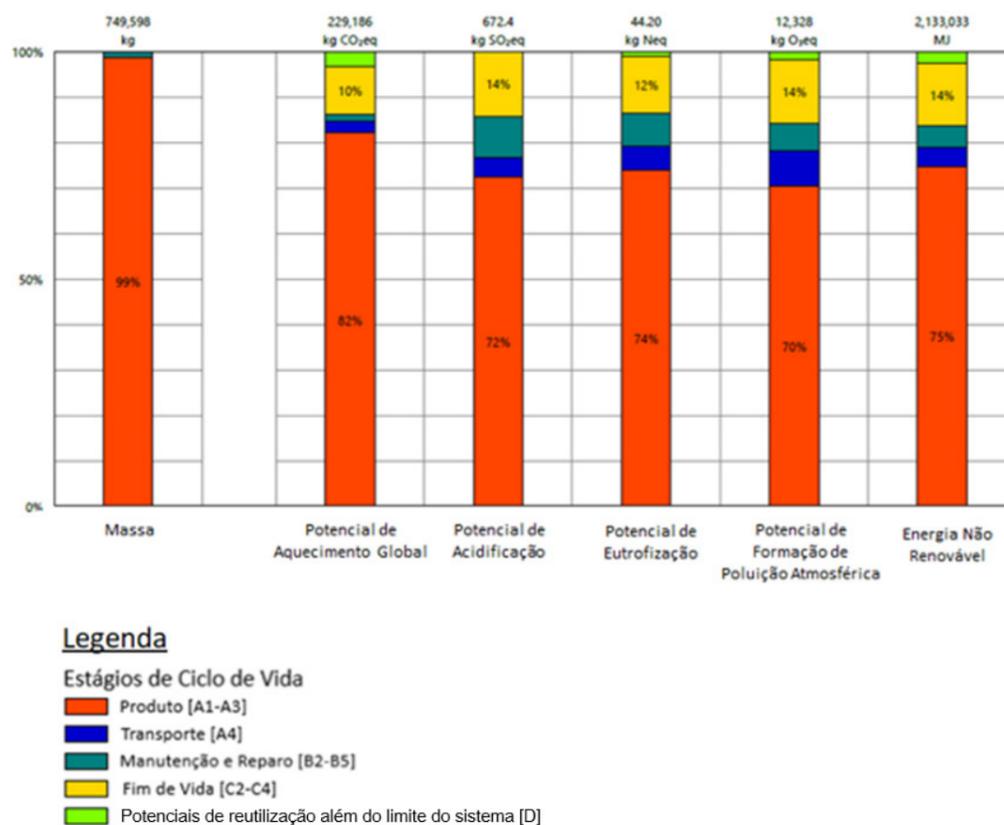
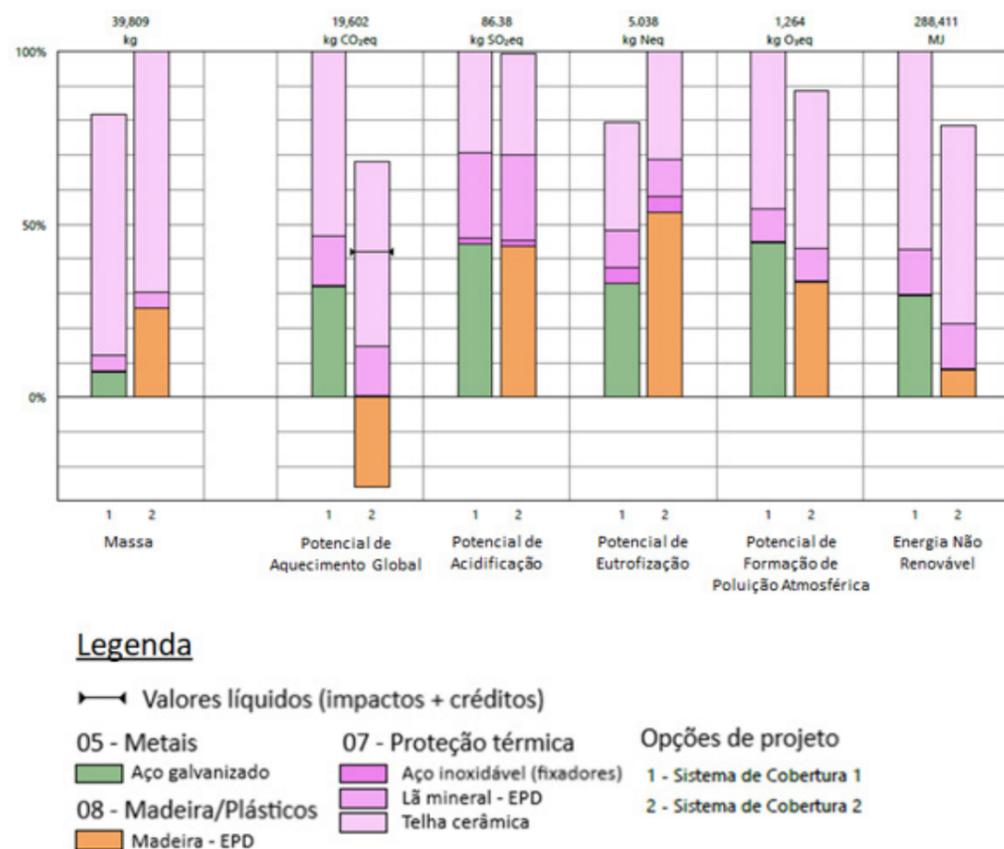
Se tratando dos materiais que compõe o sistema, as telhas se destacam com altos índices em todas as categorias de impacto avaliadas, especialmente para potencial de aquecimento global e energia não renovável.

### Análise do sistema de melhor desempenho ambiental por estágio do ciclo de vida

Após a análise comparativa entre os sistemas que compõe as opções de projeto para a edificação, foram combinados o sistema de vedação vertical e de cobertura que obtiveram os impactos ambientais mais baixos através das análises realizadas no Tally. As cinco categorias de impacto foram avaliadas e selecionou-se como a alternativa de projeto mais sustentável do ponto de vista ambiental, aquela que obteve os menores resultados em mais categorias. Dessa maneira, os resultados obtidos nas análises indicam o sistema de vedação composto por paredes de bloco de concreto com revestimento argamassado (em ambas as faces), considerado no sistema 3, e o sistema de cobertura composto por estrutura de madeira, considerado no sistema 2, como as alternativas de envoltória de menor impacto ambiental.

O Gráfico 5 demonstra, em valores totais, os impactos gerados pela edificação como um todo, classificados por estágio de ciclo de vida.

O estágio de ciclo de vida que resultou nos maiores impactos ambientais foi a etapa de produção dos materiais, que obteve elevados índices em todas as categorias



de impacto avaliadas, obtendo o maior percentual na categoria de potencial de aquecimento global. Já o módulo C (fim de vida) apresentou resultados constantes em todas as categorias de impacto avaliadas.

A Tabela 2 apresenta os valores totais para os impactos ambientais da edificação, por metro quadrado de área de edificação.

Estágio	Aquecimento Global (kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> )	Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> )	Eutrofização (kg Neq/m <sup>2</sup> )	Formação de Poluição Atmosférica (kg O <sub>3</sub> eq/m <sup>2</sup> )	Energia Não Renovável (MJ/m <sup>2</sup> )
Produção [A1-A3]	186,100	0,481	0,032	8,594	1,578
Construção [A4]	6,087	0,028	0,002	0,932	86,400
Uso [B2-B5]	3,286	0,061	0,003	0,736	101,400
Fim de Vida [C2-C4]	23,600	0,094	0,005	1,707	291,200
Potenciais de reutilização além do limite do sistema [D]	7,592	0,000	0,049	0,220	52,390

Tabela 2: Totais de impactos da edificação por m<sup>2</sup> de área construída. Fonte: Relatório Tally (2019)

#### Análise de contribuição dos materiais no estágio de produto (A1-A3)

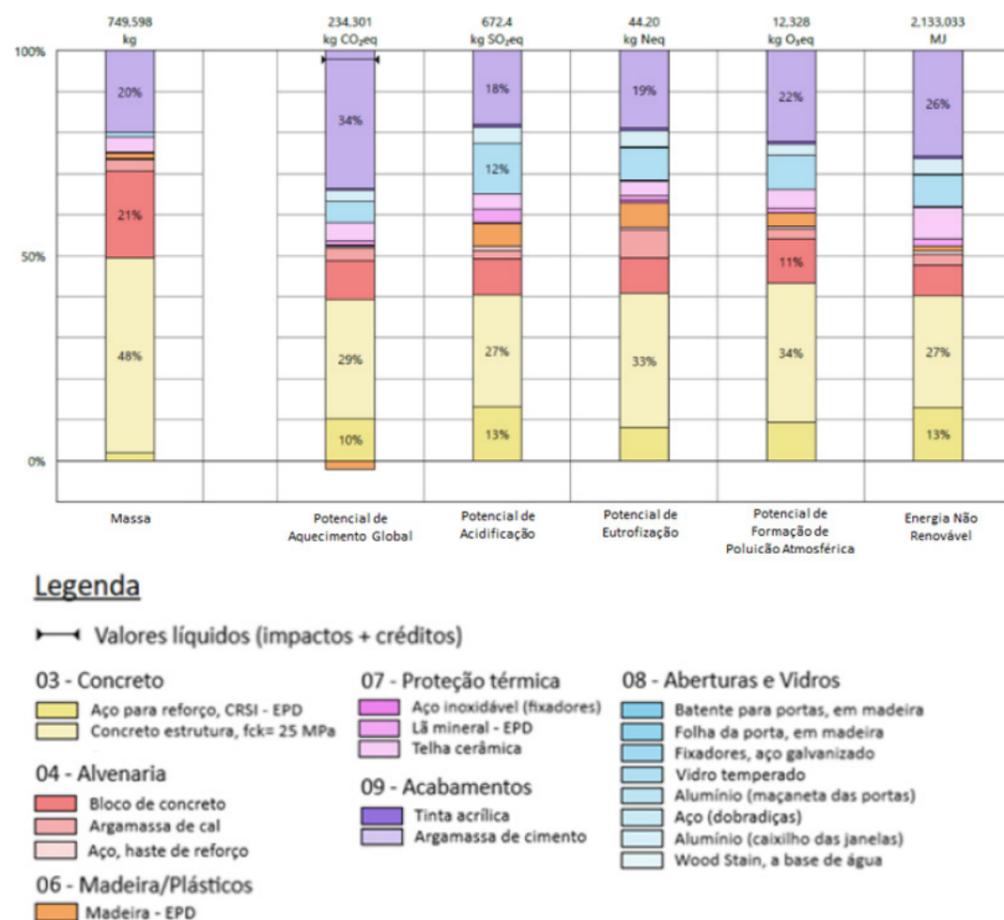
Analisando a edificação como um todo, tendo em foco o estágio de produto, que engloba as etapas de extração da matéria-prima da natureza, processamento de materiais e transporte até o local do canteiro, é possível avaliar a contribuição de cada material sobre os impactos deste estágio. O Gráfico 6 apresenta os percentuais obtidos, para todas as categorias avaliadas.

O concreto apresenta os maiores indicativos em todas as categorias avaliadas, destacando-se principalmente na categoria de potencial de formação de poluição atmosférica, onde se obteve um índice de 34%. Este resultado se dá provavelmente em função do processo de fabricação do cimento, que de acordo com Maury e Blumenschein (2012) está entre as maiores fontes de emissões poluentes atmosféricas, sendo responsável pela emissão de poluentes atmosféricos perigosos e metais pesados. Os estudos de Evangelista (2018) também apontam maiores índices para o material para edificações de padrão social, porém atingindo maiores indicativos na categoria de aquecimento global, onde se obteve um total de 58% de contribuição quando comparado com os demais materiais estudados pela autora.

A argamassa de cimento apresenta o segundo maior índice, se destacando na categoria de aquecimento global, atingindo um percentual de 34%. Os blocos de concreto apresentam-se como material com o terceiro maior índice, atingindo um indicativo de 11% na categoria de potencial de formação de poluição atmosférica. Estes materiais também apresentam cimento em sua composição, sendo esta uma das possíveis causas do resultado obtido.

Os materiais nos quais não contemplam grandes processos industriais para a sua

fabricação (apesar de ainda apresentar procedimento como queimas), como os vidros, alumínio, telhas e a madeira, obtiveram os menores indicativos totais em todas as categorias avaliadas. O vidro temperado ganha destaque apenas na categoria de potencial de acidificação, com uma porcentagem de 12%.



## Conclusão

Tendo como principal objetivo verificar o uso da tecnologia BIM na elaboração de uma ACV, este estudo de caso, evidenciou o potencial auxílio do aplicativo Tally, associado ao *software* Revit, na realização da ACV de edificações brasileiras.

Apesar de possuir algumas limitações, principalmente em relação à possibilidade de seleção dos estágios de ciclo de vida pertencente ao escopo do estudo, o aplicativo permite que os profissionais de engenharia e arquitetura tomem decisões de projeto durante a sua concepção. Isso possibilita a execução de construções mais sustentáveis e potencializa a redução de custos com eventuais trocas de materialidade posteriores.

A integração da metodologia BIM com os estudos de ACV, apresenta como uma de suas principais vantagens a quantificação dos materiais de forma automática, sem a necessidade de um novo lançamento, caso haja alterações de projeto. Isso gera impacto direto na fase de análise de inventário da ACV, pois se trata do levantamento dos dados necessários ao estudo, reduzindo-se o tempo gasto na coleta de dados se comparado ao método tradicional (realizado manualmente). Neste ponto o aplicativo,

por estar conectado a uma plataforma BIM, evita prováveis erros de quantificações, oriundos da contabilização manual por parte dos projetistas, excluindo-se a necessidade de levantamentos manuais dos dados de inventário e posterior inserção destes em *softwares* de ACV.

Utilizando o BIM, o projetista define todos os elementos construtivos que fazem parte do projeto. Isto para as variadas disciplinas envolvidas na construção. O Tally, por sua vez, possui os dados desses elementos construtivos facilitando a análise da ACV. Por exemplo, na cobertura, é possível ter disponível os dados dos materiais que compõem o sistema e, inclusive, experimentar trocá-los para verificar os resultados enquanto se projeta.

O aplicativo apresenta uma gama extensa de materiais no seu banco de dados, em diversas categorias de utilização. Apesar da maioria dos materiais disponibilizados possuírem características adaptadas para a realidade construtiva brasileira, alguns deles (como no caso das cerâmicas – pouco utilizadas nos Estados Unidos), apresentam apenas disposições genéricas, sem a possibilidade de especificação dos tamanhos dos blocos utilizados, necessitando de adaptações na densidade empregada para o material. Os concretos também necessitam de adaptações, devido à unidade de medida de resistência empregadas no aplicativo serem descritas em psi e não em MPa.

Quanto aos dados de transporte, as distâncias percorridas pelos materiais apresentaram divergências em relação a realidade brasileira, o que pode ter elevado os impactos do estágio A4 do ciclo de vida da edificação. Relacionado às categorias de impacto ambiental avaliadas, a categoria de energia não renovável pode apresentar alterações devido a matriz energética norte-americana ser diferente do Brasil.

Tratando-se das análises individualizadas por sistemas, a combinação que resultou em menores impactos ambientais, para os sistemas de vedação vertical, foi a alternativa constituída por blocos de concreto com revestimento argamassado em ambos os lados. Esta opção de projeto garantiu um menor indicativo em três das cinco categorias de impacto avaliadas, obtendo um menor resultado na categoria de energia não renovável. Contudo, evidencia-se que no contexto brasileiro a produção de blocos cerâmicos gera menos impactos devido a prática de utilizar resíduos como fonte calorífica.

Já para os sistemas de cobertura, a opção de projeto menos agressiva ao meio ambiente foi a alternativa de cobertura com estrutura em madeira, que também obteve um menor indicativo para três das cinco categorias analisadas, destacando-se a categoria de potencial de aquecimento global. Esta opção de design ainda apresentou compensações referentes ao carbono biogênico, garantindo que durante o período de utilização do material (vida útil) haverá compensações às emissões dos gases de efeito estufa.

Na avaliação do edifício como um todo, conclui-se que o estágio de ciclo de vida no qual se obtém os maiores percentuais totais é o módulo de produção [A1-A3], no qual engloba os processos de extração de matéria prima, transporte e manufatura. Este estágio resultou os maiores valores para a categoria de aquecimento global, onde totalizou 186,1 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>.

Evidencia-se então a potencialidade do aplicativo de fornecer informações qualitativas de fácil compreensão, através de uma interface simplificada, voltada para não especialistas, visando prover dados quantitativos, através da plataforma BIM, para tomadas de decisões ambientalmente mais corretas.

## Referências

- ABNT. NBR 15575. *Desempenho de edificações habitacionais*. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT. NBR ISO 14040. *Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações*. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. NBR ISO 14044. *Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, 2009.
- ANICER, Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco, [s. l.], 2012.
- ASBEA, Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. Fascículo I, In: *Guia AsBEA Boas Práticas em BIM*, São Paulo, 2013.
- ASBEA, Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. Fascículo II, In: *Guia AsBEA Boas Práticas em BIM*, São Paulo, 2015.
- AZEVEDO, Leticia Dalpaz de; GERALDI, Matheus Soares; GHISI, Enedir. Avaliação do Ciclo de Vida de diferentes envoltórias para habitações de interesse social em Florianópolis. *Ambiente Construído*, v. 20, n. 4, 2020.
- BARROS, Natalia Nakamura; SILVA, Vanessa Gomes. BIM na avaliação do ciclo de vida de edificações: revisão da literatura e estudo comparativo. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 7, n. 2, p. 89, 2016.
- BS. EN 15978. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. Reino Unido, 2011.
- BUENO, Cristiane; FABRICIO, Márcio Minto. Aplicação da modelagem de informação da construção (BIM) para a realização de estudo de avaliação de ciclo de vida de edifícios. *Pós*, São Paulo, v. 23, n. 40, p. 96-121, 2016.
- CALDAS, Lucas Rosse; LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro; SPOSTO, Rosa Maria. Avaliação do ciclo de vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. *LALCA - Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, v. 1, n. 1, p. 138–167, 2017.
- CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. *Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto*. 2012. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais.
- CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. *Desenvolvimento com sustentabilidade*. Brasília, Brasil: 2014. Disponível em: <[https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Desenvolvimento\\_Com\\_Sustentabilidade\\_2014-1.pdf](https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Desenvolvimento_Com_Sustentabilidade_2014-1.pdf)>.
- CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fundamentos BIM, In: *Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras*, Brasília, 2016.
- COSTA, Marco Antônio F. da; COSTA, Maria de Fátima Barrozo da. *Projeto de Pesquisa - Entenda e faça*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.
- DÍAZ, Joaquín; ANTÓN, Laura Álvarez. Sustainable Construction Approach through Integration of LCA and BIM Tools. *Computing in Civil and Building Engineering*, Flórida, [s.v; s. n.], p. 283-290, 2014.
- EASTMAN, Chuck et al. *Manual de BIM – Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores*. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 15978 Sustainability of construction works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method. Brussels: BSI, 2011.
- EVANGELISTA, Patrícia. *Desempenho ambiental na construção civil: parâmetros para aplicação da avaliação do ciclo de vida em edificações residenciais brasileiras*. 2017. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Ciências, Energia e Ambiente, Universidade Federal da Bahia.
- GOMES, Vanessa; BARROS, Natalia Nakamura. Contribuição da modelagem BIM para facilitar o processo de ACV de edificações completas. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 19-34, 2018.
- KHASREEN, Mohamad Monkiz; BANFILL, Phillip F. G; MENZIES, Gillian F. Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review. *Sustainability*, [s. l.], v. 1, [s. n.], p. 674-701, 2009.
- KT INNOVATIONS. *Tally*, [s.l.], 2018. Acessado em 31 de mai. 2019. Online. Disponível em: <https://choosetally.com/>
- LATIFFI, Aryani Ahmad et al. Building Information Modeling (BIM): Exploring Level of Development (LOD) in Construction Projects. *Applied Mechanics and Materials*, Suíça, v. 773-774, [s. n.], p. 933-937, 2015.
- MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. *Sustentabilidade em Debate*, Brasília, v.3, n.1, p. 75-96, 2012.
- MEDEIROS, Larissa Mendes; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolonio. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 365-385, 2018.
- MENDES, Natalia Crespo; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo Roberto. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. *Prod.*, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 160-175, mar. 2016.
- MORAGA, Gustavo Longaray. *Avaliação do Ciclo de Vida em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida*. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MORALES, M. F. D. et al. Uncertainties related to the replacement stage in LCA of buildings: A case study of a structural masonry clay hollow brick wall. *Journal of Cleaner Production*, v. 251, p. 119-649, abr. 2020.
- MORALES, Michele et al. Impactos incorporados ao ciclo de vida de uma edificação

multifamiliar do programa MCMV. *Euro Elecs*, São Leopoldo, [s.v; s. n.], p. 1-10, 2017.

MORALES, Michele *et al.* Regionalized inventory data in LCA of public housing: A comparison between two conventional typologies in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.; s. v.; s. v.], p. 1-10, 2019.

PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti *et al.* Aplicação da avaliação do ciclo de vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, 2014.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOAL. Classificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de escopo 1 nas respectivas categorias de fontes de emissão – versão 2, São Paulo, 2016.

REGULY, Natalia *et al.* ACV de Edificações do Programa Minha Casa Minha Vida: impactos relacionados à etapa de manutenção. In: SICS: VI SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, Porto Alegre, 2017.

RÖCK, Martin *et al.* LCA and BIM: Integrated Assessment and Visualization of Building Elements' Embodied Impacts for Design Guidance in Early Stages. *Procedia CIRP*, Copenhagen, v. 69, [s. n.], p. 218-223, 2018.

SANTOS, Ângela dos; AGUIRRE, Débora; CANALLI, Natália. O Ciclo de Vida das edificações. In: SICS: VI Seminário Internacional de Construções Sustentáveis, Porto Alegre, 2016, p. 1-5.

SANTOS, Maria F. N. dos *et al.* Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. *Revista GEPROS*, [s. l, s. v.], n. 2, p. 57-73, 2011.

SILVA, Vanessa Gomes; SILVA, Maristela G. Análise do ciclo de vida aplicada ao setor de construção civil: revisão da abordagem e estado atual. In: ENTAC: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2000, Salvador.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibeli Warmiling. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: SATTTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkey. *Coletânea Habitare*. Rio de Janeiro, Antac, 2006. Cap. 4, p. 97-127.

TALLY. *Report Summary*. Aplicativo Tally. 2019.

YIN, Robert K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. E-book.

# ELEMENTOS DE AUTENTICIDADE GRÁFICA DESVELADOS POR PARAMETRIA: Aplicação ao caso do escudo da Universidade Federal de Pelotas

**GRAPHIC AUTHENTICITY FEATURES  
UNVEILED BY PARAMETRY:  
Application to the Federal University  
of Pelotas coat of arms**

**Eduardo Montagna da Silveira<sup>1</sup>, Adriane Borda Almeida<sup>2</sup>  
e Janice de Freitas Pires<sup>3</sup>**

## Resumo

O artigo trata de um estudo analítico e gráfico da composição do desenho do escudo da UFPel (1972), a fim de testar a ocorrência de transformações de características gráficas em versões de redesenho digitais. Propõe o levantamento da documentação de projeto como pré-requisito essencial no processo de redesenho digital, particularmente para a compreensão de parâmetros advindos de métodos tradicionais de desenho, como meio de reconhecimento das propriedades geométricas e gráficas do original. Para isto, apoia-se em ensaios de aplicação de técnicas de desenho paramétrico, para comprovação de hipóteses de regras e lugares geométricos. A pesquisa identifica, sobre uma amostra do original, lógicas compositivas, traçados geradores e parâmetros associativos entre as partes do escudo. Ao testar a recorrência destes elementos em versões digitais, subsidia a reflexão sobre permanências ou perdas em aspectos de autenticidade no redesenho de marcas gráficas.

Palavras-chave: geometria, desenho paramétrico, autenticidade, escudo, UFPel.

## Abstract

*The article deals with an analytical and graphic study of the original UFPel coat of arms design (1972), in order to test the occurrence of transformations of original graphic characteristics in versions of digital redesign. It proposes the survey of design documentation as an essential prerequisite in the process of digital redesign, particularly of parameters derived from traditional drawing methods, as a means of recognizing the geometric and graphic properties of the original. The research identifies compositional logics, generating traces and associative parameters between the parts of the coat of arms from a sample of the original and tests the recurrence of these elements at digital redesign versions, to reflect on permanences or losses of authenticity features in graphic brands digital redesigns.*

*Keywords: geometry, parametric design, authenticity, coat of arms, UFPel.*

<sup>1</sup> Mestrando no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas (PROGRAU/FAURB/UFPEL).

<sup>2</sup> Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas, graduação em Esquema I Complementação Pedagógica pela Universidade Federal de Pelotas, mestrado em Arquitetura Conforto Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, doutorado em Filosofia e Ciências da Educação - Universidad de Zaragoza, reconhecido no Brasil pela UFRGS (Doutora em Educação) e pós doutorado em Arquitetura na KULeuven/Bélgica e pela Universidade de Zaragoza/Espanha. Professora titular da Universidade Federal de Pelotas.

<sup>3</sup> Professora adjunta no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas (PROGRAU/FAURB/UFPEL).

## Introdução

Este artigo apresenta parte de investigação sobre o escudo de identificação oficial da Universidade Federal de Pelotas – UFPel, em seu projeto original de 1972. A pesquisa parte de uma observação empírica sobre descaracterizações de propriedades gráficas originais em versões redesenhadas em meio digital. Desta percepção, emerge a discussão sobre possíveis lacunas ou perdas em aspectos de autenticidade identificados no original, supostamente ocorridos durante processos de redesenho digitais. A discussão sobre autenticidade se vincula à problematização do processo de projeto na transposição de desenho físico para o digital, no que se refere ao reconhecimento e manutenção de propriedades gráficas originais e à eventual transformação nestas características.

Para identificar e reconhecer propriedades gráficas do projeto original, a pesquisa utiliza o conceito de parametria e seus desdobramentos, quando associados às tecnologias digitais de representação, mais especificamente com relação às técnicas de desenho paramétrico, como método de investigação. A parametrização, situada no âmbito de sistemas generativos de projeto, se apoia em uma linguagem informática para permitir a programação da forma e as associações entre os seus elementos. Desta maneira, pode-se projetar sistemas que incluem toda uma família de formas. Uma forma em específico se caracteriza como uma instância de um determinado sistema. Por esta abordagem, o estudo considera o desenho de um escudo como um sistema e parte da elaboração de hipóteses sobre como o objeto de pesquisa foi constituído e quais os parâmetros que definem sua instância.

Busca-se compreender o fenômeno tanto pelo propósito de registrar a história e a documentação disponível sobre a obra original quanto para subsidiar futuros processos de redesenho do próprio escudo da UFPel ou de outras obras de artes gráficas com características similares.

A pesquisa parte do pressuposto de que as versões de redesenho digital do escudo da UFPel surgiram com a substituição gradual de processos de produção analógicos por equipamentos de impressão eletrônicos. Com a introdução de ferramentas de desenho assistido por computador (*Computer-Aided Design – CAD*), editoração eletrônica (*Desktop Publishing – DTP*), suítes de ilustração vetorial e de manipulação de imagens digitais no âmbito da universidade, a partir do final dos anos 1980, surgem as primeiras versões digitais do escudo já em meados da década de 1990. Menegotto e Araújo (2000) destacam o caráter pioneiro dos projetistas que desbravaram as plataformas de desenho digital à época:

O exercício da prática projetual de arquitetos, engenheiros e designers vem sendo modificado drasticamente há mais de uma década. Uma das principais causas desta revolução foi o surgimento do computador como ferramenta de desenho, [...] Podemos dizer que o desenho digital instalou-se no Brasil no final da década de oitenta de uma maneira realmente heróica [...] (MENEGOTTO; ARAÚJO, 2000, p. XI).

A introdução do computador como ferramenta de desenho proporcionou não apenas novos horizontes para as metodologias de criação projetual, mas também representou o desafio de produzir redesenho, em meio digital, de obras originalmente produzidas por processos e instrumentos tradicionais. Vázquez Ramos (2016) define o redesenho como uma ferramenta de investigação em arquitetura, e acrescenta a transcrição como um dos tipos possíveis de redesenho. O mesmo autor descreve diferentes configurações de um redesenho, que pode abranger desde a representação por técnicas de desenho com instrumentos tradicionais até o que classifica como *modelos digitais paramétricos*. Para ele, os meios digitais ampliam as possibilidades

da atividade de redesenho, introduzindo “formas de aproximação ao objeto que os meios analógicos tradicionais não contemplavam” (VÁZQUEZ RAMOS, 2016, s/n).

A parametria tem o potencial de revelar “novos tipos de dados, como os quantitativos, que nunca antes foram usados em pesquisas históricas” (VÁZQUEZ RAMOS, 2016, s/n). O autor propõe ainda o estudo de caso para a compreensão do quanto um redesenho se restringe à transcrição ou se dirige a uma postura interpretativa.

[...] redesenhar pode ser em si uma metodologia de pesquisa que, além de fornecer dados sobre a obra, nos instrua sobre o processo de projeto que a originou usando da própria prática de projeto para investigar a estrutura compositiva da obra. Assim entendido, o redesenho seria uma prática metalinguística, isto é, um simulacro intencional e dirigido do projeto: um projeto do projeto. Quando redesenhamos com a finalidade de entender o processo de projeto que levou um determinado arquiteto à definição de uma forma (final) mediante o mesmo instrumento com que ele definiu o projetado (isto é, o desenho), pretendemos identificar os procedimentos do processo de projeto que foram usados com essa finalidade (VÁZQUEZ RAMOS, 2016, s/n).

Na mesma perspectiva, Sainz (1990) acrescenta que a evolução dos meios de representação em arquitetura considera o redesenho como um exercício que agrega conteúdo para a iniciação ao ato de projetar.

### Sistemas generativos: a parametria e o projeto codificado

A maneira de abordar os termos parametria ou parametrização em relação ao processo de projeto varia de acordo com o contexto. Segundo Andrade e Ruschel (2009), a parametrização consiste em uma representação (computacional) de um objeto construído com entidades, cujos atributos podem ser fixos ou variáveis, neste caso, representados por parâmetros e regras, de modo a permitir ajustes automáticos de acordo com o controle do usuário (projetista) e a mudança de contexto. Romcy, Tinoco e Cardoso (2015), afirmam que esta característica implica na possibilidade de relacionar os critérios de decisão de projeto, potencializando (ou enriquecendo) as operações projetuais. A parametria pode ser considerada a capacidade de estabelecer relações paramétricas entre entidades que respondam aos atributos desejados.

Para Andrade (2019), os parâmetros representam qualquer valor ou fator capaz de afetar o resultado final de um processo em que se insere. A parametrização no design, portanto, é o ato de definir e alterar os elementos de um conjunto através da programação ou de outros processos que envolvam lógica e matemática, com o intuito de encontrar resultados que ofereçam soluções precisas e adaptadas para as problemáticas específicas de cada projeto. Embora a origem do termo tenha se dado na Matemática, com referências na literatura desde o ano de 1837 (artigo de James Dana), para Davis (2013) o primeiro emprego do termo na arquitetura pode ser atribuído a Moretti, que define *arquitetura paramétrica* como o estudo de sistemas de arquitetura que objetiva “definir as relações entre as dimensões dependentes de vários parâmetros” (MORETTI, 1971, p. 207). A partir do design de um estádio, Moretti explica como a forma pode derivar de dezenove parâmetros relativos a atributos formais como ângulos de visão e o custo econômico do concreto. No entanto, segundo Davis (2013), exemplos na arquitetura podem ser encontrados ainda no século XIX:

Além dos desenhos de cristal paramétricos de Dana em 1837, há muitos outros

casos de ciência do início do século XIX emaranhados com a matemática das representações paramétricas. Um exemplo do período inclui Sir John Leslie (1821, p. 390), em seu livro sobre análise geométrica, comprovando a autossimilaridade das curvas catenárias por meio de *círculos paramétricos*. Outro exemplo é Samuel Earnshaw (1839, p. 102), que escreveu sobre *superfícies paramétricas hiperbólicas* deformadas por linhas de força em um papel que deu origem ao teorema de Earnshaw. Esses exemplos de expressão da geometria com equações paramétricas são dois de muitos do período, bem antes de Antoni Gaudí começar a projetar arquitetura com curvas catenárias paramétricas e paraboloides hiperbólicos paramétricos no final do século XIX. (...) Quer Gaudí soubesse ou não do trabalho anterior definindo geometria com equações paramétricas, certamente empregou modelos sustentados por equações paramétricas ao projetar arquitetura (DAVIS, 2013, s/n).

Segundo Romcy, Tinoco e Cardoso (2015), a parametria acompanhou tendências contemporâneas do design, campo de conhecimento que passou a apresentar a necessidade de incremento de sua robustez informacional. Para Carli, Barros e Costa (2012) “a programação de computador funciona dentro da conversa reflexiva do processo de design de uma visualização de informações” (CARLI *et al*, 2012, p. 4). Os autores propõem que no *loop* da conversa reflexiva, o código de programação representa as estruturas abstraídas pelo designer, e sendo ele próprio uma representação, forma um novo ciclo de conversa reflexiva. O código então funciona como uma representação da estrutura do projeto e como uma ferramenta que permite executá-lo. Para Laranjeira *et al* (2018), a programação de dados é um modo emergente de conceber e desenvolver todo um universo desconhecido de possibilidades criativas, permitindo que se explore o pensamento humano. Com as recentes ferramentas para programação de elementos visuais, os métodos digitais de design vão muito além da simples reprodução de técnicas analógicas de desenho, contribuindo para melhorar a performance no design. Nesse sentido, o pensamento computacional fornece um meio de canalizar o conhecimento do designer através de dados que possibilitem a exploração de ideias e soluções inovadoras.

Davis (2013) explica que a linguagem de programação visual envolve a representação de programas em forma de diagramas. O *Grasshopper* se constitui como uma interface de um script visual, desenvolvido por David Rutten para a *Robert McNeel & Associates* e lançado no mercado em 2007. Esta programação, para o caso do *Grasshopper* tem sua correspondência gráfica e unívoca, de maneira tradicional, com o software *Rhinoceros*, do tipo CAD (*Computer Aided Design*). Desta maneira, tudo o que se programa é representado de maneira vetorial automaticamente. Estas interfaces de programação visual baseadas em gráficos (nome matemático para um tipo de fluxograma), mapeiam o fluxo das relações a partir de parâmetros, por meio de funções definidas pelo usuário, geralmente concluindo com a geração da geometria. Mudanças nos parâmetros ou nos relacionamentos do modelo fazem com que as transformações se propaguem através das funções explícitas para redesenhar automaticamente a geometria. Desta forma, eles representam outra maneira de criar um modelo paramétrico.

A parametria aplicada ao redesenho em design gráfico implica, portanto, em compreender como se processa a codificação da linguagem matemática que, no caso deste estudo, consiste em reproduzir geometrias construídas originalmente por meio de ferramentas tradicionais de desenho, a partir da aplicação de uma linguagem de programação visual.

A trajetória da pesquisa deriva em uma reflexão sobre a operação consciente dos equipamentos e ferramentas de representação gráfica digital enquanto aparelhos, que Flusser (2011, p. 17) define como tipos de *brinquedos* – entendidos pelo autor

como *objetos para jogar* que simulam um tipo de pensamento conceitual e o traduzem em imagens. O filósofo define outros termos como *funcionário*, ou alguém que “brinca com o aparelho e age em função dele”, e *imagem técnica*, como uma “imagem produzida por aparelho” (FLUSSER, 2011, p. 18). Imagens técnicas, para Flusser, atuam como metacódigos de textos em forma de símbolos extremamente abstratos, produzidas por um agente que se utiliza de aparelhos para sua criação. Entende-se que as reflexões de Flusser se aplicam à discussão sobre o nível de consciência com que se pode realizar projetos de redesenho com o uso de computadores, entendidos como aparelhos eletrônicos na definição do autor.

A produção de informações é um jogo de permutação de símbolos. Desfrutar das informações significa apreciá-los, e nessa situação imaterial, trata-se de jogar com eles e observá-los. E, para jogar com os símbolos, para programar, é necessário pressionar teclas. Deve-se fazer o mesmo para se apreciar os símbolos, para desfrutar dos programas. As teclas são dispositivos que permutam símbolos e permitem torná-los perceptíveis (FLUSSER, 2017, p. 58).

O redesenho executado por meio de operações automáticas ou de alterações aleatórias – por exemplo, em pontos de controle do traçado de curvas Bézier na construção das formas vetoriais –, resulta inevitavelmente em transformações do desenho. As propriedades de continuidade destas curvas, e a influência dos parâmetros de controle em seu movimento no espaço, tornam-se mais compreensíveis para quem tem prática no controle da continuidade por processos construtivos, com o uso de compasso e o emprego das regras de concordância entre arcos de circunferência e entre arcos e segmentos de reta.

No caso do objeto da pesquisa, o estudo envolve a investigação sobre o modo como estes instrumentos tradicionais, que exigem uma habilidade controlada por um conhecimento específico, foram utilizados. A partir de Foley *et al.* (1990), compreende-se que existem muitos modelos digitais de curva, para além da Bézier, que permitem a geração de curvas contínuas, e cada um deles pode coincidir ou não ao processo realizado manualmente. É necessário aplicar critérios, por meio da aquisição de conhecimento específico, para a tomada de decisão sobre a ferramenta adequada para cada caso. Assim, o processo de projeto de redesenho realizado de maneira crítica, reflexiva e bem documentada pode representar com precisão as características de traçado que constituem aspectos de autenticidade do original.

### Antecedentes da criação do escudo da Universidade Federal de Pelotas

A Universidade Federal de Pelotas – UFPel é uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES) com sede no município de Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Criada em 1969, a partir da aglutinação de unidades, do tipo Faculdade, Instituto e Escola, pré-existentes no município, completou 50 anos em 08 de agosto de 2019.

Neste momento histórico em que ultrapassa a marca de meio século de existência, a valorização e divulgação do conjunto de bens que constituem o patrimônio cultural da universidade assume ainda mais relevância para a consolidação da identidade institucional da UFPel. Ações de resgate e salvaguarda, preservação e divulgação de seus bens culturais ampliam e consolidam a diversidade de aspectos que determinam a sua identidade institucional. Por esta ótica, o estudo considera o escudo da UFPel como um bem de valor patrimonial com significativa relevância para a memória cultural da instituição, para além de sua função como elemento principal do sistema de identidade visual da universidade.

Uma das principais disciplinas no campo do design gráfico, a identidade visual se constitui por um processo contínuo de planejamento, projeto e produção indispensável para a imagem institucional em organizações de qualquer natureza. A identidade visual envolve outras dimensões além do desenho propriamente dito.

[...] o fenômeno institucional fica assim totalizado em uma de suas dimensões analíticas: não apenas como um feito econômico nem como um feito técnico, senão como um feito semiótico. Se trata exclusivamente da *camada de sentido* que cobre o feito institucional em sua totalidade e na qual se processa permanentemente o discurso de sua identidade (CHAVES, 2005, p. 33, tradução nossa).

O identificador gráfico da UFPel se classifica tipologicamente como um *brasão* – conforme nomenclatura da portaria que nomeia a comissão incumbida de sua criação – ou como um *escudo*, de acordo com a descrição que consta na portaria que implementa o símbolo oficial. Chaves e Belluccia (2011), classificam os identificadores gráficos como

[...] uma comunidade heterogênea: logotipos, isotipos, monogramas, mascotes, cores e gráficos complementares, que reconhecem, por sua vez, variantes tipológicas internas de grande diversidade [...] Esta heterogeneidade morfológica dos signos não é gratuita nem provém da mera diversidade de gostos ou estéticas; sua origem se encontra na diversidade de modalidades de identificação necessárias (CHAVES; BELLUCCIA, 2011, p. 43; 44, tradução nossa).

Considerando o contexto social e político brasileiro no período de fundação da UFPel, entende-se que a opção por uma tipologia de identificação gráfica tradicional não seja obra do acaso. Para Jantzen (1990), a fundação da UFPel é resultante de uma conjuntura que se inicia nos governos populistas, quando a ideia de criação da universidade foi incubada nas mentalidades oligárquicas locais. Por meio do que o autor caracteriza como *intimidação bacharelesca*, exercida com apoio nas instituições de ensino, estes grupos garantiam a legitimação política para a manutenção da própria oligarquia. Esta conjuntura, que resultou na criação da UFPel, se intensifica a partir de 1964 e se completa com a implementação da Reforma Universitária de 1968.

Apesar de o marco inicial da vasta legislação que estabelece medidas para a reestruturação das universidades brasileiras se encontrar nos Decretos-leis nº 53/66 e 252/67, somente a partir de 1968 “[...] é que ganha sentido falar-se de uma legislação básica da Reforma Universitária [...] com o intuito de aumentar a eficiência e a produtividade da universidade [...]” (FÁVERO, 2006, p. 34).

A Reforma Universitária, instituída pela Lei nº 5540 e publicada em novembro de 1968, promoveu a reestruturação de universidades federais já existentes e a criação de novas universidades em todas as regiões do país.

A partir daí começam os desencontros de mentalidades, já refletindo os conflitos entre setores das elites locais. Uns tentam, no discurso, a via de modernização tecnocrática da sociedade, outros, menos aptos a assumirem tal empreendimento, continuam presos ao ethos oligárquico-populista. As tendências ideológicas ficaram dissolvidas nos discursos que cada facção adotou. Por isso a UFPel não se planejou. Nem mesmo seus dirigentes tinham conhecimento claro do que poderia representar um *dever-ser* para a universidade (JANTZEN, 1990, p. 4).

Levando em conta uma indefinição sobre o dever-ser da instituição – que, em tese, deve estar representado em sua identificação gráfica –, a opção por um projeto que reuniu a heráldica como tipo e a geometria como método na criação da identidade visual da universidade pode indicar uma tentativa de contemplar os campos ideológicos predominantes na administração superior da UFPel à época.

### Reconhecimento da instância original: documentação do escudo da UFPel

A implementação do escudo como símbolo oficial de identificação visual da UFPel se efetiva com a publicação da Portaria N°82/72, de 08 de maio de 1972. O texto do ato administrativo apresenta o brasonamento com a seguinte descrição:

ESCUDO CIRCULAR (em blau), centralizado na figura de um ARCHOTE (em prata) ladeado pelas letras ALFA (em prata – flanco destro) e OMEGA (em prata – flanco sinistro) e cujo luzeiro representa-se por SEIS RAIOS (em jalne) simetricamente dispostos a partir da CHAMA (em jalne e goles); dominado na metade inferior pela imagem recortada de uma PELOTA (em índigo) sobre três ONDEADAS (em sinopla), sobrepondo-se ao punho do archote, em ponta. O escudo é cercado pelas inscrições (em blau) UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS (em chefe) e RS-BRASIL (em ponta) em equilíbrio horizontal e separadas por pontos equidistantes de uma e outra (UFPel, 1972, p.1).

As pranchas originais do projeto gráfico, que se infere terem sido aprovadas à época como modelos da identificação visual oficial, até o momento, não foram localizadas em acervos e arquivos da universidade. Contudo, a partir de um conjunto de documentos e estudos do projeto gráfico, preservados pela família de Arthur Henrique Foerstnow, um dos membros da comissão anteriormente designada para apresentar propostas, pode-se completar parcialmente as lacunas na documentação do projeto não localizadas na instituição.

Entre os itens deste acervo, se encontram reproduções do escudo colorido, ilustrada pela imagem da esquerda da Figura 1, além de versão hachurada e cópias de documentos oficiais. O parágrafo final de documento datilografado pelo autor, imagem da direita da mesma figura, apresenta instruções para reprodução monocromática com sistema de hachuras, além de orientações sobre modulagem e dimensões. Este trecho do documento está sinalizado por um colchete à caneta, o que indica que esta informação relevante para a reprodução das propriedades gráficas do escudo foi

Figura 1: Exemplar do original de 1972 (à esq.); Instruções complementares (à dir.). Fonte: Digitalização de acervo da família Foerstnow, 2013.



considerada descartável, e não constou no texto do ato oficial. Outro dado importante desta fonte documental – também não incluída na Portaria N°82/72 – registra a existência de um modelo do desenho de referência para reprodução, conforme o tópico “DIMENSÕES: segundo o modelo anexo.”

### O sistema da Heráldica no escudo da UFPel

Princípios típicos da heráldica no identificador gráfico da UFPel se revelam na tipologia do projeto e no vocabulário empregado em sua descrição. O texto que descreve elementos, cores e inscrições da obra utiliza termos próprios do vocabulário da heráldica, que Slater (2014, p.6) define como “um sistema hereditário de cores e símbolos que surge para identificação pessoal em escudos de batalha medieval”. Outra definição deriva de *brasonar*, ou “descrever em palavras um determinado brasão de armas” (FOX DAVIES, 1909, p. 99). O brasonamento como método medieval de descrição imagética pode ser entendido como um metacódigo da imagem, se analisado pela ótica de Flusser (2011, p.25): “Decifrar textos é descobrir imagens significadas pelos conceitos. A função dos textos é explicar imagens, a dos conceitos é analisar cenas. Em outros termos: a escrita é metacódigo da imagem”;

Para Mayer (1929), a heráldica

compreende a ciência e a arte do brasão: a primeira dita as regras da composição de escudos de armas; a segunda é a arte prática de brasonar, ou seja, traçar e descrever ditos escudos. Se classificam como brasões ou escudos as distintas insígnias, determinadas com ajustes a certos princípios, que alguns indivíduos, famílias ou corporações têm direito perpétuo. A heráldica se origina de escudos de armas surgidos nas Cruzadas, ao final do século XI (MAYER, 1929, p. 619, tradução nossa).

Em termos compositivos, a posição lateral dos elementos nos campos visuais na heráldica é descrita pelo ponto de vista do portador, ou seja, alguém posicionado por trás de um escudo. Ainda de acordo com Mayer (1929),

quanto às denominações direita e esquerda, é necessário interpretá-las como se estivéssemos situados atrás do escudo e o sustentássemos frente ao peito, do que se depreende que as expressões denotam precisamente o contrário que se utiliza na vida cotidiana (p. 624, tradução nossa).

Com relação às configurações de formato, os escudos incorporaram características dos estilos próprios de cada período artístico, como ilustrado pela Figura 2. Para Slater (2014, p. 56), o formato do escudo heráldico “pode revelar muito do período em que foi concebido e até mesmo sobre o seu país de origem”. Observa-se que o referencial do escudo da UFPel, do tipo circular, aparece mais ao final das referidas configurações nesta linha do tempo.

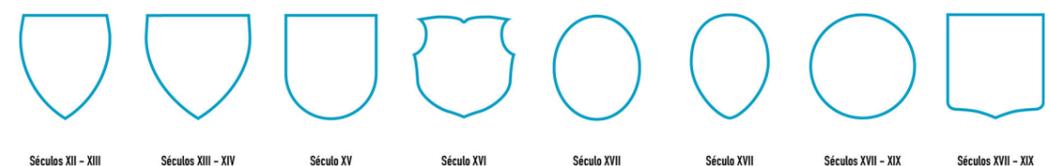


Figura 2: Formatos de escudos vigentes entre os séculos XII e XIX. Fonte: Esquema do autor (2019), sobre lâminas de MAYER (1929) e SLATER (2014).

Com relação aos aspectos cromáticos, na arte de brasonar – entendida como a técnica de descrição de um brasão em termos heráldicos –, o esmalte dominante do fundo do escudo é a primeira característica informada, o que já indica a importância da harmonia cromática em termos compositivos (SLATER, 2014, p. 72).

As aplicações da heráldica se expandiram para a identificação de instituições de todas as naturezas. Apesar de suas raízes se situarem entre o campo de batalha, títulos de nobreza e o registro de descendência, o sistema foi logo adotado por instituições eclesíásticas, guildas e corporações de ofício. A heráldica se tornou o tipo padrão para a identificação cívica de países, estados e cidades. Com o passar dos séculos, foi adotada também para a identificação de entidades diversas, desde clubes e sociedades esportivas até instituições de ensino e universidades por todo o mundo, como se demonstra pelos exemplos da Figura 3, que apresenta os seguintes brasões: Southampton F.C. (clube de futebol inglês), papa João Paulo II (brasão eclesíástico), Målselv (município na Noruega), República da África do Sul e Universidade Federal de Santa Maria (Brasil).



As regras e princípios compositivos heráldicos permanecem em pleno uso e desenvolvimento nos séculos XX e XXI. Em termos quantitativos, mais brasões de armas foram concedidos no século passado do que em qualquer era anterior (SLATER, 2014, p. 133). Apesar de sua longevidade, o uso de princípios e regras da heráldica na produção de identificadores gráficos perpassa os séculos e permanece vigente no design contemporâneo.

### O rigor da geometria no sistema do design moderno brasileiro

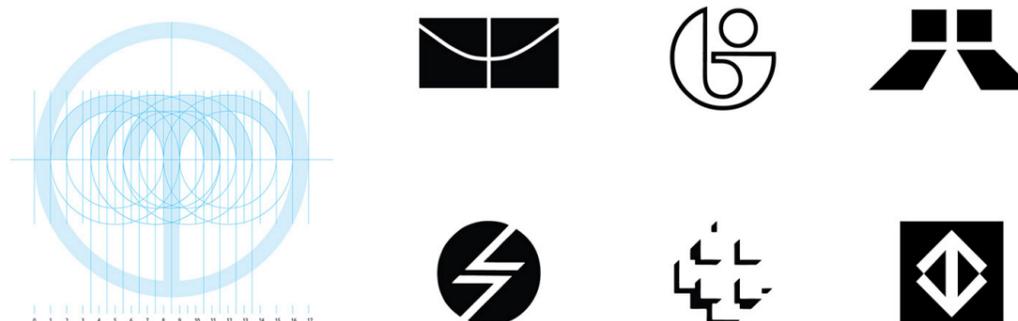
A criação do escudo da UFPA ocorre no auge da empreitada modernista no design gráfico brasileiro. O sucesso da comunicação visual produzida por diversos profissionais e escritórios nas décadas de 1960 e 70 colaborou para a dissimulação das barbáries do regime militar, ao mesmo tempo em que alavancou o desenvolvimento e a profissionalização do design no Brasil. Para Melo e Coimbra (2011), o design nacional produzido no período reflete a bipolaridade do país:

[...] se, por um lado, a repressão e a censura deixam marcas profundas e justificam plenamente a expressão *anos de chumbo*, por outro, o balanço da produção cultural do período revela-se de uma riqueza impressionante. Trata-se de um paradoxo frequente em estados totalitários: em vez de fenecer, a produção cultural floresce, talvez espiciçada pelo poder ditatorial. Concluir daí que ditaduras têm seu lado positivo é um evidente sofisma (MELO; COIMBRA, 2011, p. 418).

A implementação de sistemas de identidade visual corporativa no país ocorre também com muito vigor no setor privado. Empresas nacionais passam a ser representadas por marcas que aplicam complexos programas de identidade visual corporativa para a criação e manutenção da imagem institucional. O uso de sistemas de retículas, o planejamento de estrutura e modulação, a precisão do traçado e a aplicação

de sistemas de proporções e lógicas compositivas são alguns dos recursos que caracterizam o trabalho deste período.

A Figura 4 ilustra alguns exemplos da produção moderna brasileira. As marcas Sardinhas Coqueiro (Alexandre Wollner/Forminform, 1958), Universidade de Brasília (PVDI, 1963), Fundação Bienal de São Paulo (PVDI, 1965), Itaipu Binacional (PVDI, 1974), Light (PVDI, 1966), Banco Central do Brasil (PVDI, 1975), Metrô São Paulo (Cauduro/Martino, 1967) representam a riqueza da produção deste período. Para Melo e Coimbra (2011) legibilidade, clareza e aplicabilidade são prioridades na construção de marcas pelo novo ideário moderno brasileiro, assim como a ordenação estrutural e a coerência interna dos projetos. “(...) são recorrentes, por exemplo, os recursos à abstração geométrica e aos desenhos filetados” (MELO; COIMBRA, 2011, p. 323; 425).



A fundação da UFPA e a posterior criação de seu identificador gráfico ocorrem durante este período de consolidação da linguagem do design moderno no país. Em meio às contradições que configuram um ambiente de polarização entre a tradição e a modernidade nos campos social e político, coube à primeira administração superior da universidade idealizar o *ethos* que deveria ser representado em seu símbolo de identificação oficial. Nesta perspectiva, o escudo original de 1972 – que combina as características pictóricas da heráldica com um rigoroso e preciso traçado geométrizado das formas dos elementos simbólicos –, é considerado neste estudo como repositório da instância original, e contém propriedades gráficas que caracterizam aspectos de autenticidade do desenho.

### Propriedades geométricas como aspectos de autenticidade

A autenticidade é um termo recorrente em diversas áreas do conhecimento. No âmbito da pesquisa, propõe-se a reflexão sobre autenticidade de um identificador gráfico, ao qual se empresta o status de bem cultural. Entre os documentos internacionais de referência nas discussões sobre o tema da autenticidade no campo do patrimônio cultural, a Carta de Veneza, ou *Carta internacional sobre a conservação e o restauro*, produzida no II Congresso Internacional dos Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos em 1964, é referência do ICOMOS (*International Council on Monuments and Sites*) desde 1965. O documento traz o tema da autenticidade ao final do primeiro parágrafo da Introdução:

[...] a humanidade, que tem vindo progressivamente a tomar consciência da singularidade dos valores humanos, considera os monumentos como um patrimônio comum, reconhece a responsabilidade coletiva pela sua salvaguarda para as gerações futuras e aspira, simultaneamente, a transmiti-los com toda a

Figura 3: Escudos de identificação de diferentes tipos de organizações. Fonte: SLATER, 2014; UFSM, 2019.

Figura 4: Desenho da marca Coqueiro e marcas dos anos 1960-70. Fonte: Esquema dos autores (2020), sobre lâminas de STOLARSKY (2006) e MÜLLER; WIEDEMANN (2015).

riqueza da sua autenticidade (ICOMOS, 1965).

O estudo adota princípios do campo do patrimônio cultural ao estudo do objeto, aqui qualificado como uma obra de arte aplicada, com ênfase em abordagens que apontam diretrizes para tratamento de obras de arte pictórica. A definição de patrimônio cultural proposta por Feilden e Jokilehto (2003), por exemplo, considera desnecessário nivelar o valor artístico do objeto em estudo ao status de bem elegível ao título de patrimônio cultural para discutir questões de autenticidade.

A tendência atual é a de entender o patrimônio cultural em seu sentido mais amplo, abarcando todos os signos que documentem as atividades e realizações dos seres humanos ao largo do tempo (FEILDEN & JOKILEHTO, 2003, p. 18).

A Carta de Nara (1994) apresenta a grande variedade de fontes de informação que podem sustentar a valoração de aspectos de autenticidade, considerando tanto a natureza da herança cultural quanto o contexto cultural e sua evolução no tempo:

Aspectos das fontes podem incluir forma e desenho, materiais e substância, uso e função, tradições e técnicas, localização e configuração, espírito e sentimento e outros fatores internos e externos. O uso destas fontes permite elaborar as dimensões artísticas, históricas, sociais e científicas específicas da herança cultural em análise (*The Nara Document on Authenticity*, p. 02).

Levando em conta estes princípios, toda documentação oficial disponível sobre o escudo oficial da UFPel é considerada fonte primária de informações confiáveis para o reconhecimento de aspectos de autenticidade do projeto original e das transformações que o escudo incorporou em seu período de vigência.

### Materiais e métodos

O estudo é desenvolvido por meio da geometria gráfica, com o propósito de compreender o sistema que determina os lugares e regras específicas na construção das formas de cada elemento na instância do escudo original. Esta compreensão é traduzida para a linguagem de programação visual como processo de testagem das hipóteses, mas acima de tudo como processo reflexivo, no sentido atribuído ao uso do desenho paramétrico, para a comparação do original com os redesenhos digitais.

Para os estudos de programação visual utiliza-se a associação do *Rhinoceros* ao *Grasshopper*. A ferramenta de ilustração vetorial *Illustrator*, que compõe a suíte de aplicações gráficas *Adobe*, é utilizada em etapa de arte final para combinar, soldar, aparar e ajustar sobreposições de formas, aplicar a composição tipográfica, a colorização e realizar a exportação de formatos vetoriais do redesenho digital que se utiliza nas análises comparativas.

Com relação ao material iconográfico, a amostra digital mais antiga a que a pesquisa teve acesso registra a versão do mesmo redesenho em documento impresso e arquivo digital, ambas datadas de 1995. Possivelmente esta seja uma das primeiras versões do escudo produzidas em meio digital. O desenho da versão de 1995, que apresenta indícios de composição em *software* de pintura digital, ilustra a capa de material de divulgação acadêmica da Faculdade de Enfermagem.

Através do acesso a arquivos digitais armazenados no data center da UFPel, fornecido pela Coordenação de Tecnologia da Informação, a datação das versões foi validada a partir do registro da data de criação do arquivo digital. Por meio desta fonte, foram

identificadas versões vetoriais criadas em 1997, 1999 (duas versões diferentes), 2001 e 2013. Estes redesenhos permanecem em pleno uso no período de realização deste estudo. Outras versões digitais de redesenho rasterizado também circularam neste período, mas com menor prevalência. A Figura 5 mostra, na linha do tempo, algumas das versões catalogadas até o momento. Observou-se que todas as versões digitais em análise apresentam características que as diferenciam do desenho de 1972, em maior ou menor grau.



Figura 5: Linha do tempo da evolução do escudo da UFPel. Fonte: Infografia dos autores, 2020.

A decomposição das partes, organizada com a mesma ordem de apresentação dos elementos na descrição oficial (Figura 6), permite sistematizar a análise individual dos elementos e as relações que se estabelecem entre as partes, através da identificação, localização e associação das informações documentais extrínsecas ao desenho com os respectivos elementos compositivos.

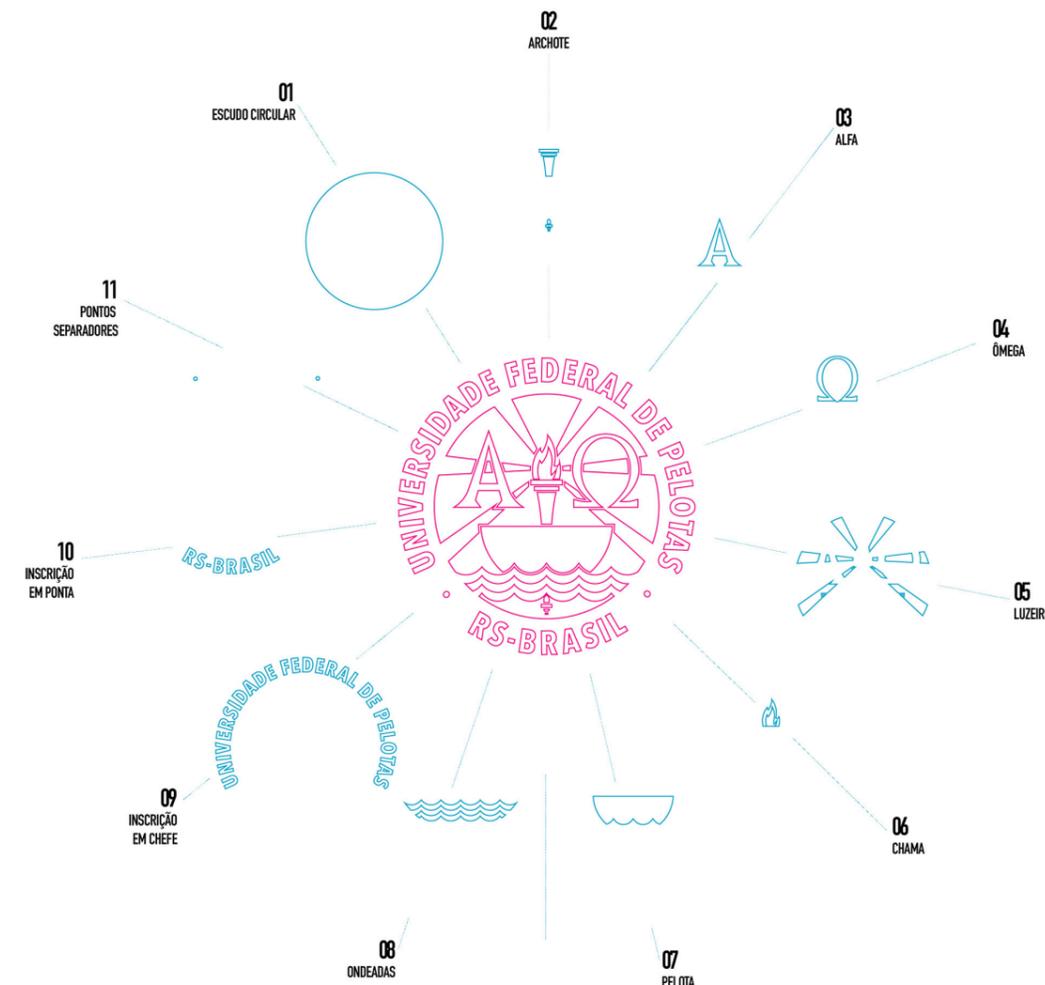
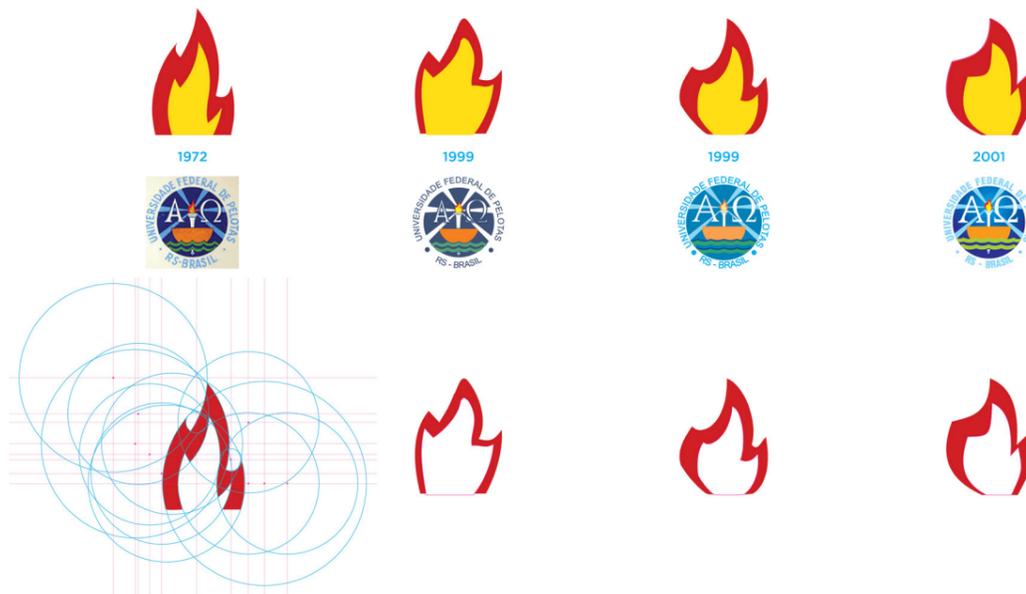


Figura 6: Desmembramento e identificação de elementos compositivos do escudo da UFPel. Fonte: Infografia sobre redesenho digital dos autores, 2019.

Figura 7: Análise de traçado do elemento Chama no original de 1972 e amostras de redesenhos digitais 1999(a), 1999(b) e 2001. Fonte: Infografia dos autores, 2020.



Deve-se considerar que os processos de transposição do desenho do escudo da UFPEL para suportes digitais ocorreram logo que os recursos de representação gráfica digital passaram a ser utilizados em equipamentos de informática na universidade, portanto foram realizados de forma pioneira. A pesquisa observou o período de introdução de recursos de desenho digital nas rotinas e fluxos de projeto e produção gráfica em setores administrativos e acadêmicos da instituição entre o final da década de 1980 e o início dos anos 1990. Durante este período de transição entre meios de produção gráficos analógicos e digitais, os processos de reprodução a partir de matrizes físicas se descontinua gradativamente, enquanto se realizam processos de transposição do desenho do escudo para o meio digital por meio do redesenho com recursos de computação gráfica.

### Lógicas compositivas aplicadas ao desenho do escudo da UFPEL

A investigação sobre a ocorrência de princípios compositivos no desenho do escudo da UFPEL, como já afirmado, parte da suposição de que o projeto gráfico foi executado com instrumentos tradicionais de desenho. Esta suposição se sustenta na análise da matriz de acervo da família do autor do original, que apresenta indícios físicos dos traçados a lápis sob a tinta, além de perfurações típicas da ponta seca do compasso sobre o suporte em papel. Para Frutiger (2007),

[...] todas as formas, não importa sua natureza – do arabesco aos traços espontâneos à mão livre –, poderiam teoricamente ser divididas e reduzidas a elementos geométricos, mesmo que mínimos (FRUTIGER, 2007, p. 11). [...] A parte visível de um símbolo geométrico consiste numa combinação mais ou menos complexa de linhas retas e encurvadas. A parte invisível, porém, consiste em leis matemáticas que servem para orientar, alongar ou dobrar as linhas (FRUTIGER, 2007, p. 257).

Além das evidências físicas, as características formais do escudo sugerem o emprego de princípios do desenho geométrico na organização de relações de razão

e proporção, que por sua vez geram propriedades como simetria e equilíbrio. Para Elam (2018), a compreensão dos princípios organizativos geométricos permite atribuir a uma obra criativa um sentido de coesão compositiva, que por sua vez confere a todos os elementos um senso de adequação visual (ELAM, 2018, p. 43).

Estes princípios provêm de uma cultura visual estabelecida há muito tempo. A ordenação define-se como a justa proporção na medida das partes consideradas separadamente e, numa visão de totalidade, a comparação proporcional tendo em vista a comensurabilidade. [...] A disposição, por sua vez, define-se como a colocação adequada das coisas e o efeito estético da obra com a qualidade que lhe vem dessas adequações. (VITRUVIO, 2007, p. 74; 75)

Para compreender a aplicação de princípios organizativos no projeto do objeto de estudo, realiza-se o exame de propriedades gráficas a partir da imagem digitalizada de uma amostra do original. Como exemplo de uma das partes já codificadas, tem-se os esquemas apresentados na Figura 8 que traduzem, por exemplo, que a geração do elemento *pelota* pode ser obtida através de uma circunferência construída com um raio de dimensão equivalente à  $\sqrt{3}$  da medida do raio da circunferência matriz do escudo. Outra parte do código revela que o corpo do elemento Archote, pode ser obtido a partir da simetria de outro arco de circunferência com raio equivalente ao dobro do raio da circunferência matriz.

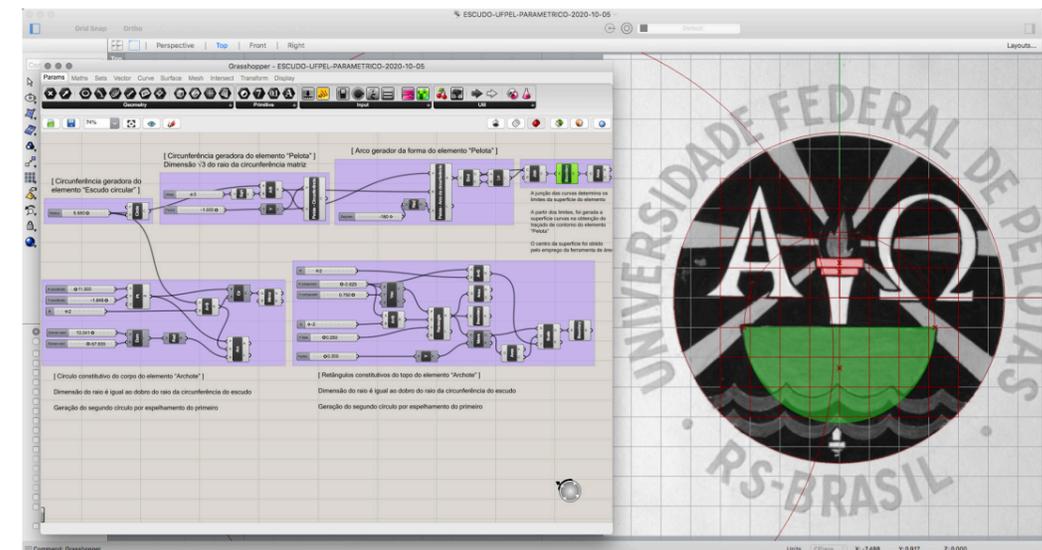


Figura 8: Reprodução das formas dos elementos por programação do projeto paramétrico em Rhinoceros e Grasshopper. Fonte: Esquema dos autores, 2020.

A programação do elemento *Ondeadas*, por sua vez, pode ser obtida a partir da divisão do raio da circunferência matriz pelo número de ouro ( $\phi = 1,619$ ). A recorrência de razões e proporções na construção do desenho evidencia que o planejamento gráfico estabelece uma correlação entre as formas geométricas que constituem o traçado dos elementos do projeto. Para Graves (1951),

em artes visuais, proporção significa projetar uma relação de medidas. [...] é uma razão planejada de magnitudes ou de intervalos de mesmo tipo, como tempo, espaço, valor, tom, cor, etc. [...] a mais satisfatória divisão da área de uma superfície é, portanto, aquela em que o interesse e unidade são produzidos pela divisão do plano em partes que, apesar de contrastantes na forma ou dimensão, estão relacionadas entre si e com a superfície original. [...] Este motivo proporcional recorrente, tão fortemente percebido como um ritmo que delinea as interessantes variações de formas e dimensões,

cria uma convincente impressão de unidade (GRAVES, 1951, p. 232; 233).

Conforme Ghyka (1977), a proporção é um conceito tão importante quanto difícil de definir, seja na disciplina da lógica ou na da estética. Para o autor, a proporção

[...] é tanto confundida com a noção de razão, que vem logicamente antes daquela, ou com a noção de uma cadeia de razões unidas entre si por um *modulus*, ou um submúltiplo comum; temos assim o conceito mais complexo que gregos e Vitruvius chamaram simetria, e os arquitetos renascentistas, *commodulatio*. A noção de proporção vem imediatamente após a da razão. Para citar Euclides: "proporção é a igualdade de duas razões" (GHYKA, 1977, p. 1; 2).

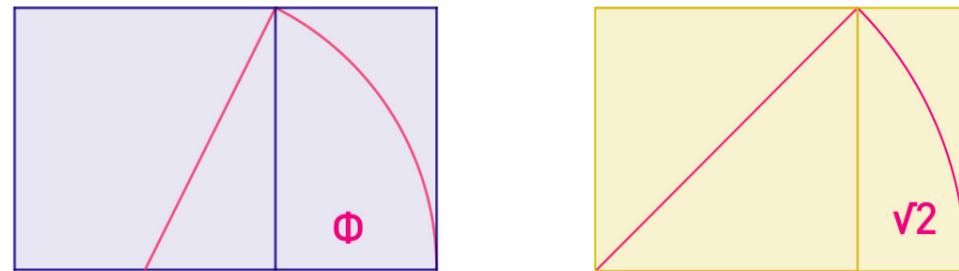
Graves (1951), explica que

a comparação de tamanho, medida ou magnitude é chamada de razão (*ratio*) ou proporção (*proportion*). Em artes visuais, proporção significa projetar uma relação de medidas. Proporção é uma razão planejada de magnitudes ou de intervalos de mesmo tipo, como tempo, espaço, valor, tom, cor, etc. (GRAVES, 1951, p. 232).

O uso sistemas de proporções é muito comum na arquitetura, na publicidade e na comunicação visual. O retângulo de raiz 2 por exemplo, um dos sistemas mais usados, tem a propriedade da divisão infinita em dois retângulos proporcionais menores (ELAM, 2018, p.45).

A inspeção da geometria implícita no desenho do escudo da UFPel tem conduzido à observação da recorrência de proporções clássicas. Como ilustrado na Figura 9, a áurea (à esquerda) e a raiz de 2 (à direita), podem ser obtidas, respectivamente, a partir da razão entre os lados maior e menor de retângulos configurados pelo rebatimento da diagonal da metade do quadrado (1:1,618) e da diagonal do quadrado (1:1,41).

Figura 9: Retângulo de seção áurea (à esq.); Retângulo de raiz 2 (à dir.). Fonte: Esquema dos autores, 2020.



Observa-se que a linha de versal (linha que marca o topo dos caracteres maiúsculos da inscrição tipográfica) coincide com os vértices superiores de retângulos áureos recíprocos, obtidos a partir de um quadrado inscrito no semicírculo superior da circunferência do escudo, como ilustra a Figura 10.

Na análise do componente Ondeadas, observa-se que a repetição da forma circular no eixo horizontal obedece a uma modulação relacionada com as proporções raiz de 2 e áurea. A comparação entre a construção da forma das Ondeadas obtida a partir da análise do original com exemplares de versões digitais de redesenho revela a permanência da topologia do símbolo, mas não há manutenção de parâmetros, que variam de uma versão para outra, como pode-se verificar na Figura 11. Os raios dos arcos e a modulação ou intervalo da repetição das circunferências não se mantêm na versão de redesenho digital.



Figura 10: Projeção de retângulo de seção áurea obtido a partir de quadrado inscrito no semicírculo superior da circunferência do escudo. Fonte: Esquema dos autores, 2020.

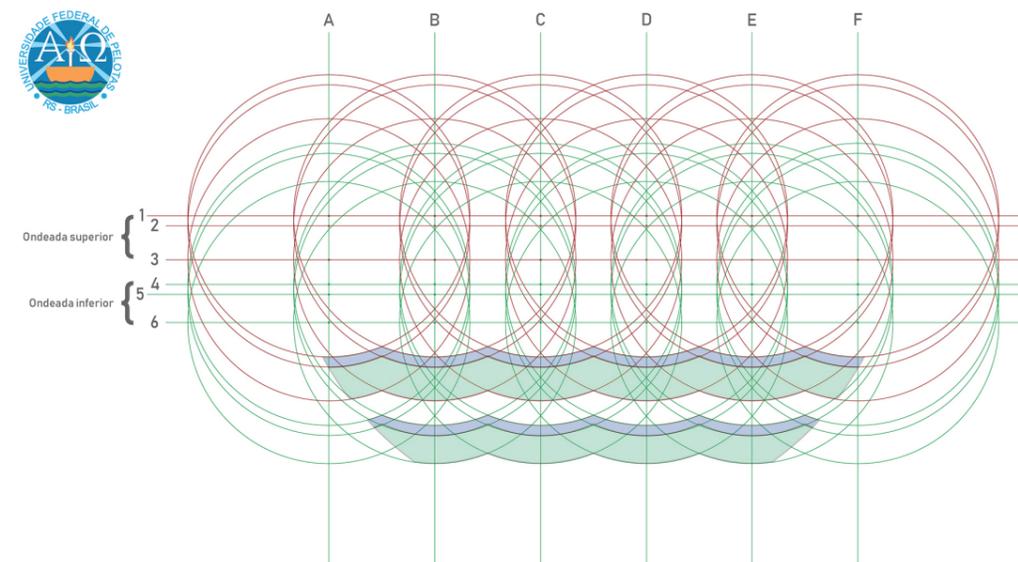
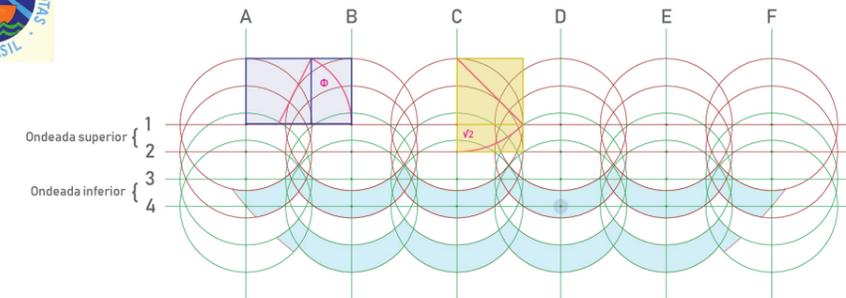


Figura 11: Traçado do elemento Ondeadas no original (acima) e versão 1999(a) (abaixo), sob a mesma escala. Fonte: Esquema dos autores, 2020.

## Resultados e discussão

A busca pelo reconhecimento de propriedades gráficas do projeto original do escudo da UFPel elucidou algumas das lógicas provavelmente empregadas na produção do desenho. A recorrência de proporções clássicas na construção das formas de traçado vai ao encontro da hipótese especulada sobre o uso de um sistema próprio, e da prática de design apoiada em um rígido controle geométrico, derivado do método construtivo pelo uso do compasso.

A partir da descoberta de lógicas no projeto original, o estudo testou recorrências por comparação nas versões de redesenho tomadas como amostras digitais. Este procedimento revelou a existência de transformações de forma, contorno, posição relativa e relações de razão e proporção no desenho dos elementos redesenhados em meio digital.

A importância do levantamento da documentação de projeto como fonte para a análise e reconhecimento das propriedades originais se demonstrou um subsídio valioso para o processo projetual de redesenho digital, particularmente de obras com características como as do objeto de estudo, ou seja, produzidas por meio de técnicas e instrumentos tradicionais de desenho.

A análise preliminar do original já sugere ao observador que o projeto contém um complexo processo de planejamento e ordenação visual das formas. Comprovou-se que a configuração morfológica dos elementos do desenho no escudo da UFPel se estabelece com rigor e precisão nos traçados de contorno que delineiam as formas simbólicas, o que atesta o domínio da técnica que o autor empregou no projeto. As lógicas compositivas no arranjo dos elementos demonstram um controle consciente sobre as relações de razão e proporção no projeto como um todo e entre seus componentes individuais.

Sob o original, foi possível rastrear marcas físicas de regras de organização formal, como vestígios de lugares das pontas secas do compasso, seja para o traçado dos arcos ou para manter o próprio compasso (entendido como ritmos e proporções harmônicas) entre cada uma das partes do desenho. Já em relação às versões digitais, na ausência de registros de protocolos construtivos, os vestígios construtivos estão relacionados com as lógicas da programação do *software* empregado. Como visto, a programação está implícita, ou seja: o desenhista pode agir de maneira intuitiva, auxiliado pelas facilidades da interface, sem a necessidade de declarar parâmetros específicos. Esta é uma das possíveis causas identificadas para as impermanências de propriedades gráficas em redesenhos digitais.

### Considerações finais

O exercício de reconhecimento de características de traçado por parametria demonstra a viabilidade de uso desta ferramenta aplicada às problemáticas do redesenho no campo do design gráfico. Os resultados verificados nos processos analíticos e as possibilidades de desenvolvimento motivam a continuidade da pesquisa no campo da geometria gráfica analítica.

Por outro lado, embora se possa admitir que as diversas versões de redesenho do escudo da UFPel mantêm a essência do original, quando comparadas por procedimentos de geometria gráfica se desvelam diferenças em aspectos de organização formal, que comprovam o fenômeno de descaracterização do projeto de 1972.

Entende-se que a ocorrência de descaracterizações não significa, entretanto, que as versões redesenhadas do escudo da UFPel tenham menor importância na história do identificador gráfico da instituição. Embora o juízo de valor dos redesenhos não componha os objetivos deste estudo, considera-se que todas as versões constituem camadas históricas que compõem a identidade institucional da UFPel e garantiram a permanência do desenho do escudo até os dias atuais, portanto são parte indissociável de sua trajetória. Esta evolução pode revelar também os momentos de avanço das tecnologias de representação e sua apropriação no contexto da instituição em que

este processo se insere.

Por outro lado, a partir do pressuposto de que o traçado original é repositório de um conjunto de características planejadas a partir de critérios empregados com a intenção de proporcionar um alto desempenho ao identificador gráfico, a ocorrência de lacunas ou perdas em propriedades que configuram aspectos de autenticidade do original pode causar ruído na identidade visual institucional ao longo do tempo.

Levando em conta a reflexão sobre a operação de aparelhos proposta por Flusser, conclui-se sobre a validação da abordagem do redesenho crítico-reflexivo, que se oriente pelo reconhecimento de propriedades originais. E, portanto, sem se limitar ao domínio da ferramenta – ou seja, em saber executar os comandos certos. Considera-se recomendável – para além do domínio das funcionalidades do aparelho e do apoio na documentação primária – compreender a natureza dos processos que o equipamento realiza em seu funcionamento, a fim de selecionar as operações adequadas de modo consciente para a obtenção de um traçado que, no mínimo, derive de uma interpretação dos procedimentos de desenho original, para além de uma transcrição ou da caracterização de uma instância com um código irreconhecível.

Os resultados obtidos com a abordagem teórico-metodológica do estudo indicam que o design gráfico pode contribuir para a conservação da memória e da história de identificadores gráficos, por meio do registro documental de sua evolução visual e do desenvolvimento de processos projetuais amparados na geometria gráfica, como métodos de reconhecimento e reprodução de propriedades originais que caracterizam aspectos de sua autenticidade.

Por fim, entende-se que a reprodução por meios digitais desconstruiu a tomada de consciência dos lugares geométricos definidos na versão original do escudo da UFPel em seus redesenhos. Desta maneira é possível que as versões digitais derivem de processos mais transcritivos que interpretativos, em decorrência de um domínio parcial no controle das ferramentas digitais. Entretanto, a tomada de decisão consciente na transcrição ou interpretação da versão original produziu redesenhos que não mantêm algumas propriedades gráficas que caracterizam aspectos de autenticidade do desenho original. Pelos resultados obtidos até o momento, pode-se visualizar a discussão de outros desdobramentos sobre o tema, a serem realizados em estudos futuros.

### Referências

ANDRADE, Max Lira Veras X. de; RUSCHEL, Regina Coeli. BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 1., São Paulo, 2009. Anais... São Carlos: Universidade de São Paulo, 2009. Online. Disponível em: <https://www.iau.usp.br/ocs/index.php/SBQP2009/SBQP2009/paper/viewFile/166/111>. Acesso em: 19/11/2020

ANDRADE, Henrique. *Modularidade e Parametria – Repetição na era digital*, 2019. Online. Disponível em: <https://membranaparametrica.com/cidades-inteligentes>. Acesso em: 30/11/2020.

CARLI, Luis; BARROS, Gil; COSTA, Carlos Zibel, 2012. The role of computer programming in the reflexive conversation of the graphic design process of information visualization. In: *Anais do 4o Congresso Internacional de Design de Interação*. São Paulo: Blucher, 2012. pp. 413–417. Online. Acesso em 30/11/2020. Disponível

em: [https://www.researchgate.net/publication/235920691\\_The\\_role\\_of\\_computer\\_programming\\_in\\_the\\_reflexive\\_conversation\\_of\\_the\\_graphic\\_design\\_process\\_of\\_information\\_visualization/citations](https://www.researchgate.net/publication/235920691_The_role_of_computer_programming_in_the_reflexive_conversation_of_the_graphic_design_process_of_information_visualization/citations).

CHAVES, Norberto. *La imagen corporativa: Teoría y práctica de la identificación institucional*. 3. ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2005.

CHAVES, Norberto; BELLUCCIA, Raúl. *La marca corporativa: Gestión técnica del diseño de signos identificadores institucionales*. Buenos Aires: Editorial Paidós, 2011.

DAVIS, Daniel. *A History of Parametric*. 06 ago. 2013. Online. Disponível em: <https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>. Acesso em: 23/11/2020.

DOCZY, György. *O poder dos limites: harmonias e proporções na natureza, arte e arquitetura*. São Paulo: Publicações Mercury Novo Tempo, 2012.

ELAM, Kimberly. *Geometria do design: estudos sobre proporção e composição*. São Paulo: Gustavo Gilli, 2018.

FÁVERO, Maria de Lourdes de Albuquerque. *A universidade no Brasil: das origens à reforma universitária de 1968*. Educar em Revista, [s.l.], n. 28, p. 17-36, dez. 2006. UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-40602006000200003>.

FEILDEN, Bernard M.; JOKILEHTO, Jukka. *Manual para el manejo de los sitios del patrimonio cultural mundial*. 2ª ed. Roma: ICCROM, 2003.

FLUSSER, Vilém. *Filosofia da caixa-preta: ensaios para uma futura filosofia da fotografia*. São Paulo: Annablume, 2011.

FLUSSER, Vilém. *O mundo codificado: por uma filosofia do design e da comunicação*. São Paulo: Ubu Editora, 2017.

FOLEY, James; VAN DAM, Andries; FEINER, Steven; HUGHES, John. *Computer Graphics. Principles and Practice. Reading: Addison-Wesley, 1990*.

FOX-DAVIES, Arthur Charles. *Complete Guide to Heraldry*. Online. Disponível em: <https://archive.org/details/cu31924029796608>. Acesso em: 15/10/2019.

FRUTIGER, Adrian. *Sinais & símbolos: Desenho, projeto e significado*. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

GHYKA, Matila. *The geometry of art and life*. Nova Iorque: Dover, 1977.

GRAVES, Maitland. *The art of color and design*. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1951.

GRIECO, Bettina et al (org.). *Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural*. 2ª ed. Rio de Janeiro, Brasília: IPHAN/DAF/COPEDOC, 2016. Online. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/dicionarioPatrimonioCultural>. Acesso em: 25/02/2019.

ICOMOS. *The Nara Document on Authenticity* (1994). Online. Disponível em: <https://www.icomos.org/en/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/386-the-nara-document-on-authenticity-1994>. Acesso em: 06/02/2019.

JANTZEN, Sylvio Arnoldo Dick. *A ilustre pelotense – tradição e modernidade em conflito. Um estudo histórico da Universidade Federal de Pelotas e suas tentativas*

de racionalização. 1990. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KÜHL, Beatriz Mugayar (2007). Cesare Brandi e a Teoria da Restauração. *Pós. Revista do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, (21), 197-211. <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v0i21p197-211>.

LARANJEIRA, Mariana Araujo; MARAR, João Fernando; PASCHOARELLI, Luis Carlos; LANDIM, Paula da Cruz. Design Generativo de Superfícies: uma análise do uso de programação para o desenvolvimento de estampa. *ModaPalavra e-periódico*, Volume 11, n.21, jan-jun 2018. Online. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/modapalavra/article/view/10371>. Acesso em: 28/10/2020.

LEMAIRE, Raymond. Autenticidade e patrimônio monumental. FAUUSP, AUH 127: Texto para seminário. Tradução Beatriz Mugayar Kühl. [Authenticité et Patrimoine Monumental, *Restaura*, Napoli, 1994, n. 129, p. 7-24].

MAYER, Franz Sales. *Manual de Ornamentación*. Barcelona: Gustavo Gilli, 1929.

MELO, Chico Homem de; COIMBRA, Elaine Ramos. *Linha do tempo do design gráfico no Brasil*. São Paulo: Cosac Naify, 2011.

MENEGOTTO, José Luiz; ARAÚJO, Tereza Cristina Malveira de. *O desenho digital: Técnica e arte*. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.

MONEDERO, Javier. Parametric Design. A Review and Some Experiences. In: *CHALLENGES OF THE FUTURE: 15th eCAADe Conference Proceedings*. Viena: Österreichischer Kunstund Kulturverlag, 1997.

MORETTI, Luigi. *Ricerca Matematica in Architettura e Urbanistica*. Moebius IV no. 1, 30-53. Nova Iorque: Princeton Architectural Press, 1971.

MÜLLER, Jens; REMINGTON, Roger. *Logo Modernism*. Colônia: Taschen, 2015.

ROMCY, Neliza Maria e Silva; TINOCO, Marcelo Bezerra de Melo; CARDOSO, Daniel Ribeiro. Reflexões sobre a introdução da abordagem paramétrica no ensino de projeto. *VIRUS*, São Carlos, n. 11, 2015. Online. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus11/index.php?sec=4&item=2&lang=pt>. Acesso em: 29/11/2020.

SAINZ, Jorge. *El Dibujo de Arquitectura*. Madrid: Nerea, 1990.

SLATER, Stephen. *The complete book of Heraldry: An international history of heraldry and its contemporary uses*. Londres: Anness Publishing Ltd., 2014.

UFPEL. *Manual de Identidade Visual da Universidade Federal de Pelotas*. Coordenação de Comunicação Social / Universidade Federal de Pelotas, 2014. Online. Disponível em: [http://ccs2.ufpel.edu.br/wp/wp-content/uploads/2016/04/Manual-de-Identidade-Visual-UFPEL\\_v01-7-26042016.pdf](http://ccs2.ufpel.edu.br/wp/wp-content/uploads/2016/04/Manual-de-Identidade-Visual-UFPEL_v01-7-26042016.pdf). Acesso em: 25/02/2020.

UFPEL. *Portaria 009A\_1972*. Constitui comissão para estudo do brasão e bandeira da UFPEL. Universidade Federal de Pelotas, 1972. Online. Disponível em: [http://reitoria.ufpel.edu.br/portarias/arquivos/1972/009A\\_1972.pdf](http://reitoria.ufpel.edu.br/portarias/arquivos/1972/009A_1972.pdf). Acesso em: 17/07/2018.

UFPEL. *Portaria 082\_1972*. Aprova o escudo da UFPEL. Universidade Federal

de Pelotas, 1972. Online. Disponível em: [http://reitoria.ufpel.edu.br/portarias/arquivos/1972/082\\_1972.pdf](http://reitoria.ufpel.edu.br/portarias/arquivos/1972/082_1972.pdf). Acesso em: 17/07/2018.

UFSM. *Guia de identidade visual*. Universidade Federal de Santa Maria, 2019. Online. Disponível em: <https://www.ufsm.br/identidade-institucional>. Acesso em: 25/02/2020.

VÁZQUEZ RAMOS, Fernando Guillermo. Redesenho: conceitos gerais para compreender uma prática de pesquisa histórica em arquitetura. São Paulo: *Arquitextos*, v. 17, p. 9-16, 2016.

VITRÚVIO. *Tratado de arquitetura*. São Paulo: Martins Fontes, 2007.



# PARAMETRIZING TRADITIONAL ARCHITECTURE

## A multi-disciplinary approach to strength cultural sensibility

*Maycon Sedrez<sup>1</sup>*

Traditional Chinese architecture has certain millenary definitions in terms of orientation, positioning, scale, and elements usually inspired by natural forms or animals, furthermore, it is also generated by ruled-base geometric configurations, for instance, proportion of rooms or geometric ornamented screens. A collection of architectural drawings compiled by Liang (1954) is a historical document preserving architectural attributes, proportions, and elements of Chinese architecture. The detailed information presented in his book and ruled-base architecture can be studied using contemporary methods such as parametric design. Analysing and repurposing such traditional elements contributes to creation of cultural preservation and identity in Chinese architecture students. There are several studies applying computational thinking such as shape grammars to describe traditional Chinese designs, for instance, Li (2000) integrates symbols and spatial information, Stouffs (2006) computes Stiny's (1980) findings, and shape grammars generated for architecture from Song and Ching dynasty (Li, Knight & Brown 2013). These studies successfully recreate patterns, and the application in new architectural designs is briefly suggested.

The module Integrated Design to Architecture 2 (IDA2) offered by the architecture course at the University of Nottingham Ningbo China aims at expanding the range of topics as well as skills developed from previous years to gradually advanced architectural design; and it is divided in two semesters. First students understand how CAAD tools support the design process, learning CAAD software and environmental analysis. In the second part of the module they focus on parametric design and digital fabrication integrating traditional patterns to strength cultural sensibility by applying potential Chinese architectural elements in contemporary design scenarios. Similar experience of integration of traditional architecture concepts in digital design studios is reported by Agirbas (2017), but in this case using Islamic designs. IDA2's students research traditional Chinese architecture identifying principles that can be automated and replicated through parametric design, or used as inspiration. Thus, allowing the interpretation of traditional architecture to a contemporary context, examining elements that produce relevant designs. The module proposed combining several disciplines: architecture history, digital design and fabrication, and research by design to promote a critical reflection of traditional architecture in terms of sustainability and design potential in a real case scenario. It is expected that the module leads to sustainable practices in terms of representativeness of traditional architecture, new design methods and fabrication, and learning of architectural practices.

The module proposes as part of the learning methods: documentation of traditional architecture, insight lectures on traditional ornament and digital fabrication, and parametric design tutorials. The participants applied traditional Chinese architecture

elements as inspiration for designs using Grasshopper as generative tool and developed knowledge on architecture history, computational design and digital fabrication. Students designed structures to be installed under the skylights in the studio space. The module emphasized the interpretation of rules and geometric compositions to new designs. The module had to adapt to new teaching conditions due to Covid-19, which limited the possibilities of fabrication and testing of models. The students prepared files for printing and laser cutting that were produced separately when the health safety conditions to use the fabrication lab were clear. We conclude that there are still many aspects of Chinese architecture to be discovered and explored, which can support the design of innovative architectural compositions. In the future, we plan to focus on specific rule-based elements to promote a reflection on applicability of such designs.

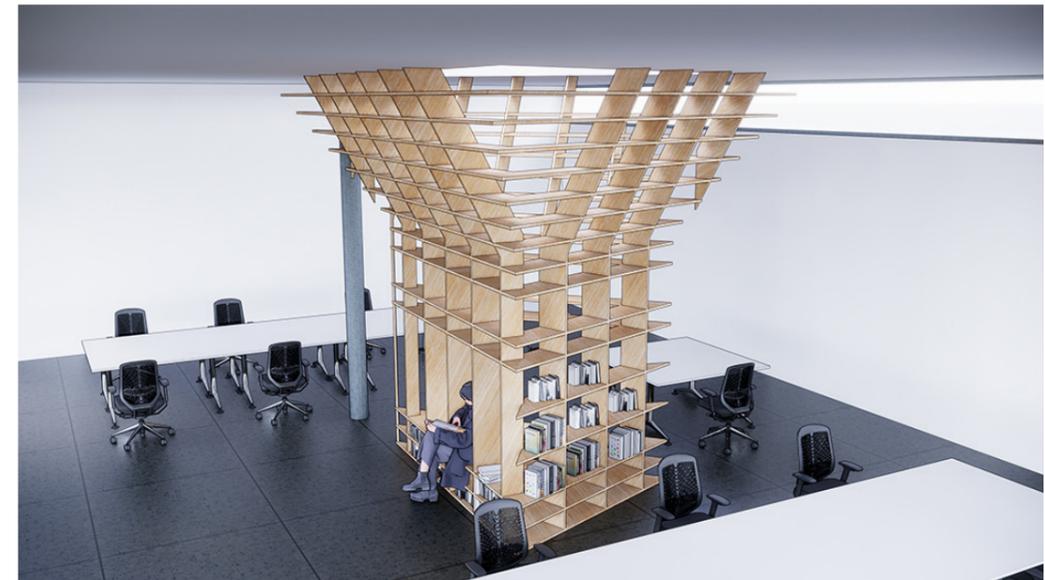


Figure 1: Cassion Skylight is a lounge furniture inspired by Cassion, a type of ceiling decoration technique in Chinese Architecture. Authors: Qihao Ren, Yiran Sun, Yuan Sun, Wei Zhang, 2020.



Figure 2: Hanging Orchid, inspired by Chinese lanterns and roofs, the group inverted the traditional roof upside down. Authors: Patricia Carrilero, Kawthar Namakula, Pal Pandit, Iuliia Volkova, 2020.

<sup>1</sup> Graduado em Arquitetura e Urbanismo – FURB, Mestre em Arquitetura e Urbanismo – UFSC, Doutor em Arquitetura, Tecnologia e Cidade – UNICAMP, PostDoc em Sustainable Urbanism – TU Braunschweig, Professor em Arquitetura – University of Nottingham Ningbo China.

Figure 3: Auspicious Cloud, clouds are common element in Chinese architecture, the group combined the surface shape with a screen traditional pattern. Authors: Yanhan Wang, Yang Lai, Yinzhe Lou, Yumeng Zhang, Xiaoyi Wu, 2020.

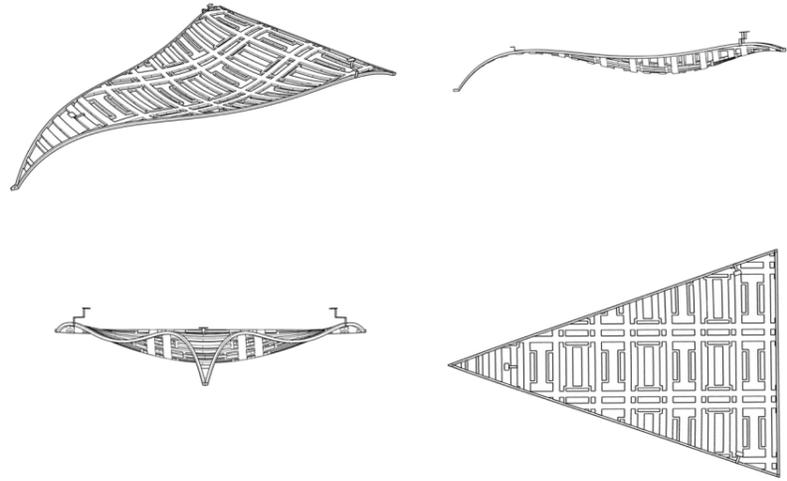


Figure 4: Lotus is a design inspired by the lotus flower and its diamond shaped leaves. Authors: Libeier Huo, Zheyi He, Yimin Feng, Shenglin Zhu, 2020.

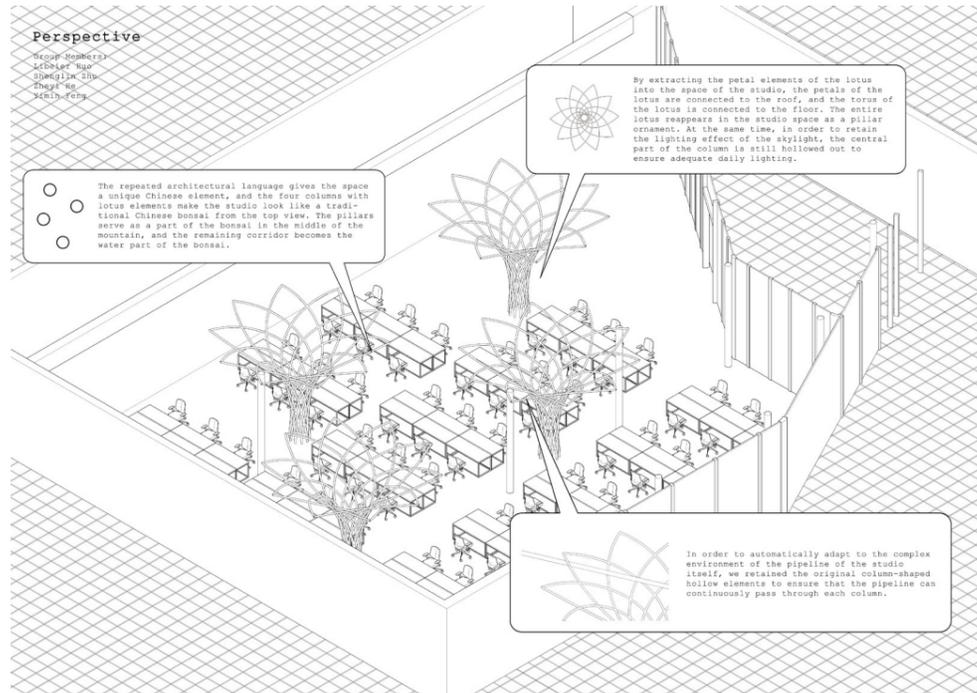
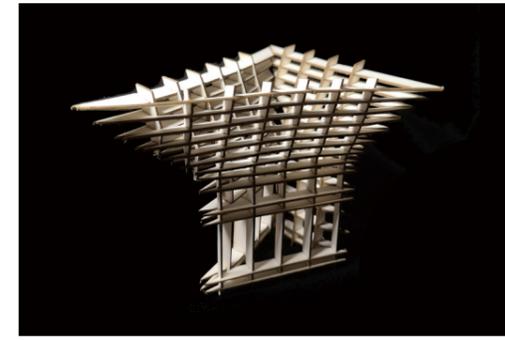
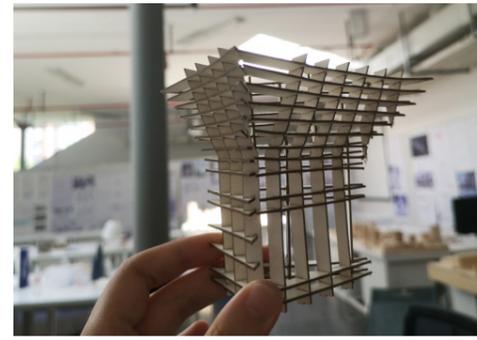
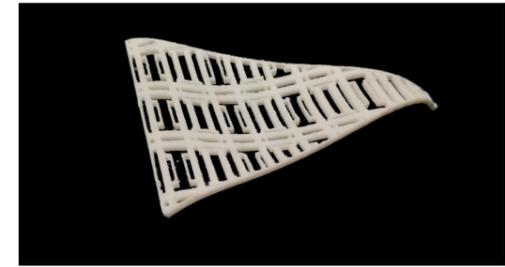


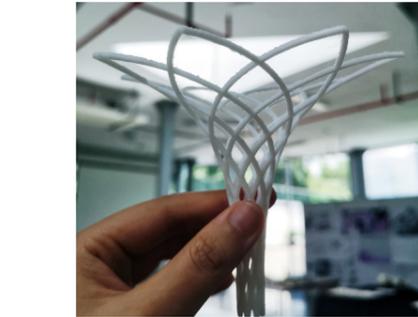
Figure 5: Ice Ray Lattice inspired by Ice Ray Lattice, a typical detail for windows' screens. Authors: Shunning Lin, Pei Wen Lim, Ruibo Liang, Huizhao Liu, 2020.



Figuras 6 e 7: Cassion Skylight fabrication in scale using laser cutter. Authors: Qihao Ren, Yiran Sun, Yuan Sun, Wei Zhang, 2020.



Figures 8 and 9: Auspicious Cloud, fabricated by 3D printing. Authors: Yanhan Wang, Yang Lai, Yinzhe Lou, Yumeng Zhang, Xiaoyi Wu, 2020.



Figures 10 and 11: Lotus, fabricated by 3D printing. Authors: Libeier Huo, Zheyi He, Yimin Feng, Shenglin Zhu, 2020.

## References

AGIRBAS, Asli. Teaching design by coding in architecture undergraduate education: a case study with Islamic patterns. In: *CAAD Futures 17*, Istanbul, 2017, Proceedings... Istanbul, pp. 249.

LI, Andrew I-Kang. Integrating Symbolic and Spatial Information in Shape Grammars, with an Example from Traditional Chinese Architecture. In: *CAADRIA 2000*, Singapore, 2000, Proceedings... Singapore, pp. 245.

LI, Di; KNIGHT, Michael; BROWN, Andre. A parametric recreation of traditional Chinese architecture: a case study on the floor plan. In: *eCAADe 31*, Delft, 2013, Proceedings... Delft, pp. 697.

LIANG, Sicheng. *Collection of Chinese Architecture History*. Society for the Study of Chinese Architecture. Beijing: Shenghuo, Du Shu, Xin Zhi San Lian Shu Dian, 1954.  
STINY, George. Introduction to shape and shape grammars. *Environment and Planning B*, v.7, pp. 343-351, 1980.

STOUFFS, Rudi. The generation of Chinese ice-ray lattice designs on 3D surfaces. In: *eCAADe 24*, Volos, 2006. Proceedings... Volos, pp. 316.

TERZIDIS, Kostas. *Algorithmic architecture*. London: Routledge, 2006.

WOODBURY, Robert. *Elements of parametric design*. New York: Routledge, 2010.

## PROJETO PARA CONSTELAR O uso do desenho paramétrico na produção do espaço

Thiago Guedes<sup>1</sup> Valentina Toaldo Brum<sup>2</sup>

Esse trabalho parte do interesse em investigar situações de geometrização e domesticação de espaços em contextos específicos para a manutenção de controle social. A concepção desse projeto está relacionada ao modelo arquitetônico da antiga prisão de Miguelete localizada em Montevideo. Projetada a partir do desenho *panóptico* de Jeremy Bentham, esse modelo de construção para administração da ordem influenciou outros projetos de lugares disciplinares – escolas, hospitais psiquiátricos, fábricas (MADERUELO 2008).

A partir desse contexto, o projeto Constelar busca traçar uma reflexão poética sobre um lugar em suspensão, entre a memória da ordem e a iminência da turbulência. Nesse sentido, essa instalação *site-specific* insere-se como uma espécie de “corpo estranho” agindo de dentro para fora, e se utiliza da especificidade do espaço para provocar um ruído e desestabilizar o próprio espaço. O objetivo é encontrar nesse antigo centro penitenciário, elementos simbólicos que sirvam de parâmetro para a construção de um trabalho entre arte e arquitetura, e com isso, atribuir outros significados ao espaço e propor outras experiências possíveis de lugar.

*Quais são os parâmetros que servem de diretrizes para a manutenção de espaços disciplinares? Os parâmetros produzidos pelos anos de atuação desse lugar podem servir de parâmetros para a subversão desse lugar? Se esses parâmetros pudessem ser materializados, que visualidade teriam?*

Para Vilém Flusser, os parâmetros são características ou variáveis que nos permitem definir ou comparar algo (FLUSSER, 2013). Segundo Bourriaud, o olhar estrangeiro utiliza-se de parâmetros para situar-se no desconhecido, projeta suas raízes numa espacialidade temporária e a modifica (BOURRIAUD, 2011). O desenho cartesiano da grade, uma constelação observada através da janela da cela, ou a posição que a luz do sol atravessa essa mesma janela, podem ser variáveis poéticas de transposição de sentidos.

### Referências

BOURRIAUD, Nicolas. *Radicante*. São Paulo: Ed. Martins Fontes, 2011, pág.192

FLUSSER, Vilém. *O mundo codificado: por uma filosofia do design e da comunicação*. São Paulo: ed. Cosac Naify, 2013, pág.224

MADERUELO, Javier. *La idea de espacio en la arquitectura y el arte contemporáneo 1960-1989*. Madri – España: Ed. Akal, 2008, pág.430.

<sup>1</sup> Bacharel e Mestre em Artes Visuais pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

<sup>2</sup> Graduada pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb).



Figura 1: Projeto e execução para Constelar: transformação da grade da cela a partir de dados contextuais. Fonte: dos autores (2020).

Figura 2: Constelar, superior (grade da cela), desenho paramétrico (Software utilizado GrassHopper) e impressão 3D. Fonte: dos autores (2020).

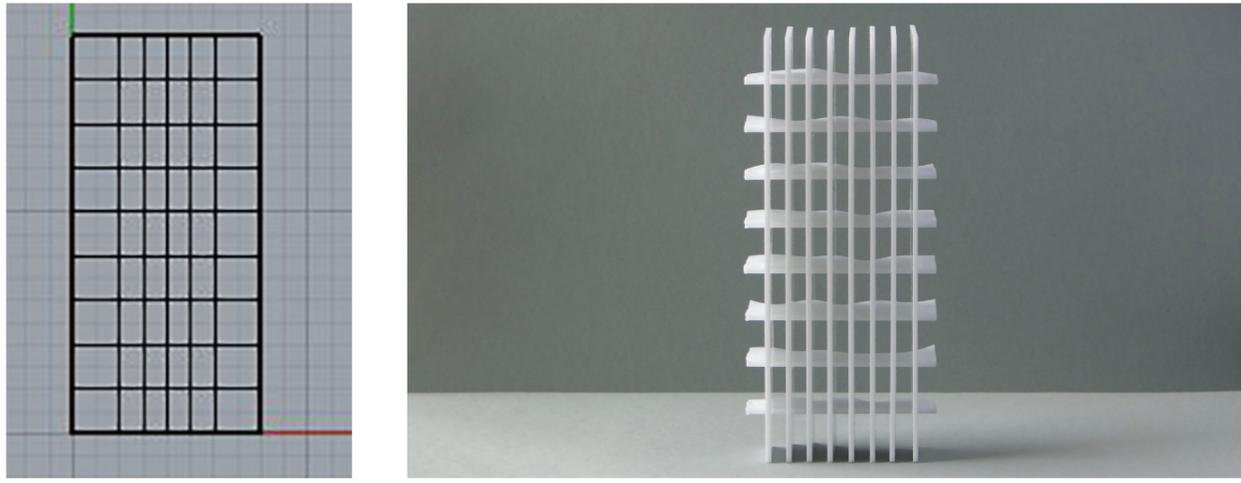


Figura 3: Constelar, lateral direita, desenho paramétrico e impressão 3D. Fonte: dos autores (2020).

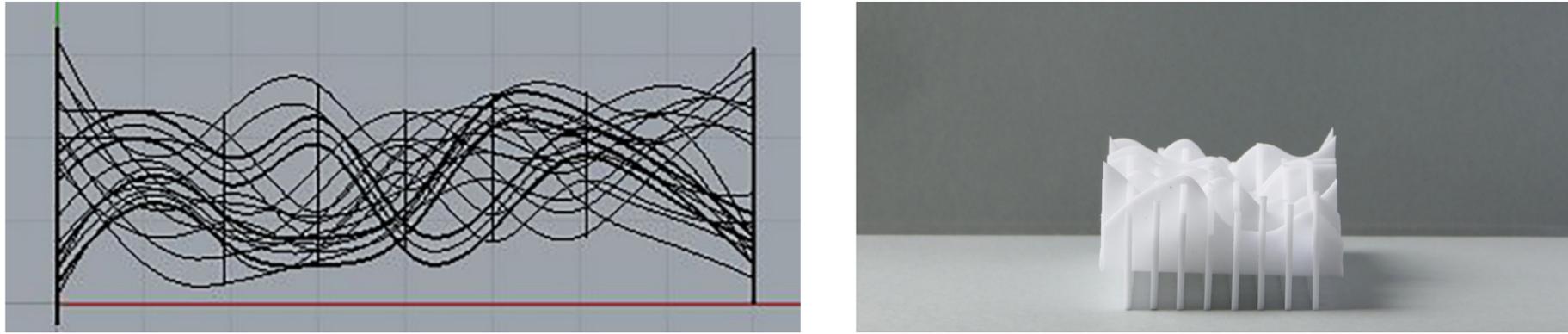


Figura 4: Constelar, frontal, desenho paramétrico e impressão 3D. Fonte: dos autores (2020).

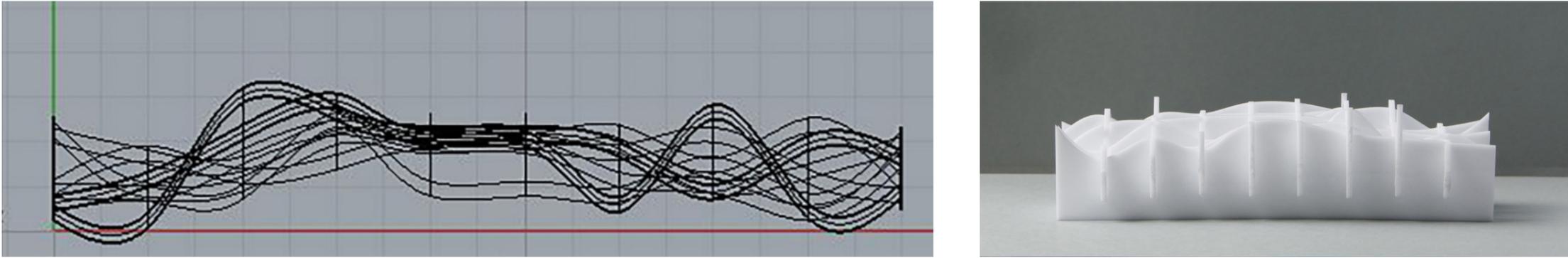
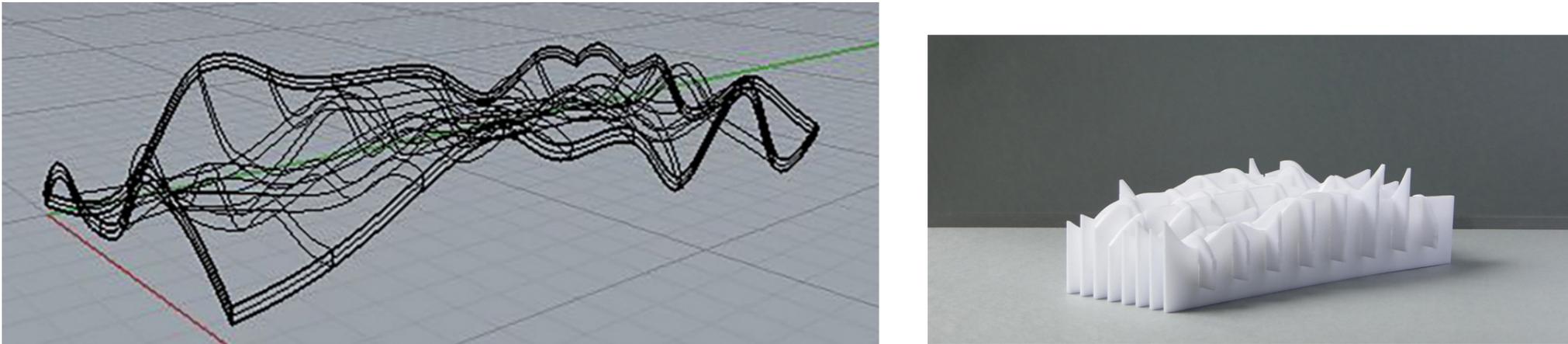


Figura 5: Constelar, perspectiva, desenho paramétrico e impressão 3D. Fonte: dos autores (2020).



## VIDA EM CORREDOR

*Rufino Becker<sup>1</sup>*



Figura 1: Galifício, 2020.



Dos corredores da maternidade  
aos corredores do cemitério

passamos a vida em corredor

a paisagem do apartamento é  
a rua em corredor

e em seu interior correm outros  
corredores

corredores dentro de  
corredores

dentro do corredor de ônibus,  
em pé no corredor do ônibus

o corredor é aquele que corre,  
para o trabalho, para a cama

corredores da igreja, corredores  
da justiça, do palácio

corredores da sala de aula, do  
escritório, da fábrica  
temos vários dentro de nós

Figura 2: Mariage Corridor, 2014.

<sup>1</sup> Arquiteto e professor especialista no Departamento de Arquitetura, da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 3: Arquivo Morto, 2020.



Figura 5: Mort en corridor, 2014.

Figura 4: la vie ruée, 2014.

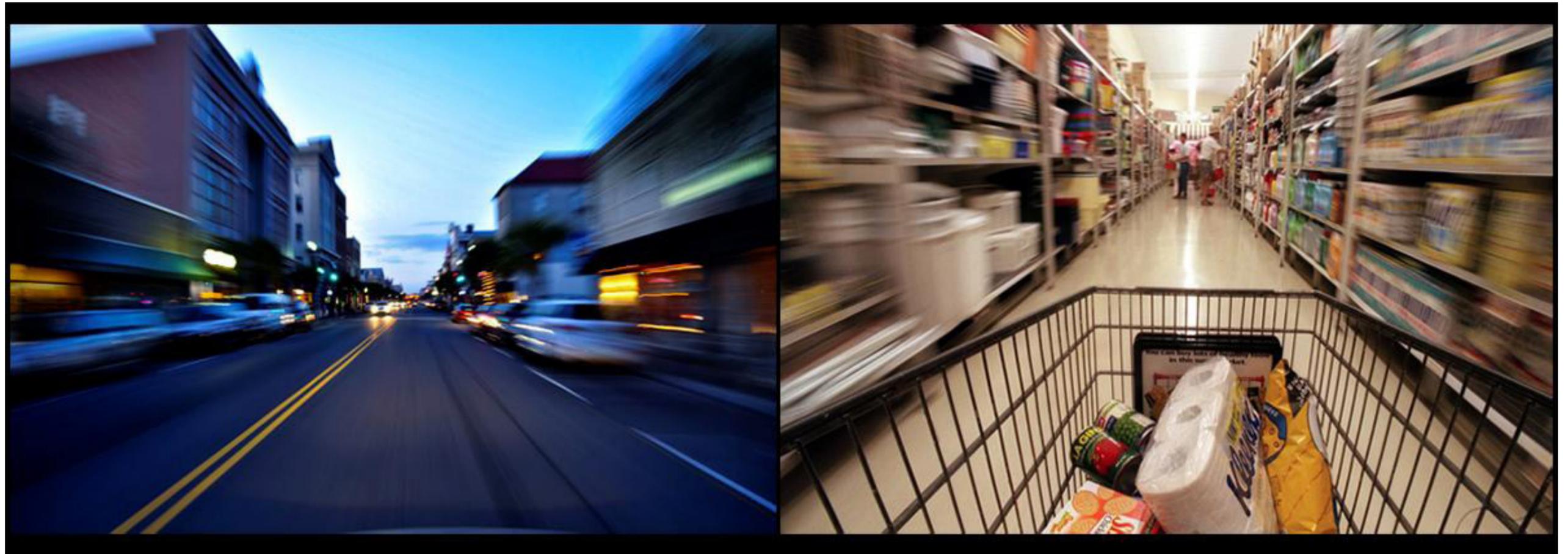
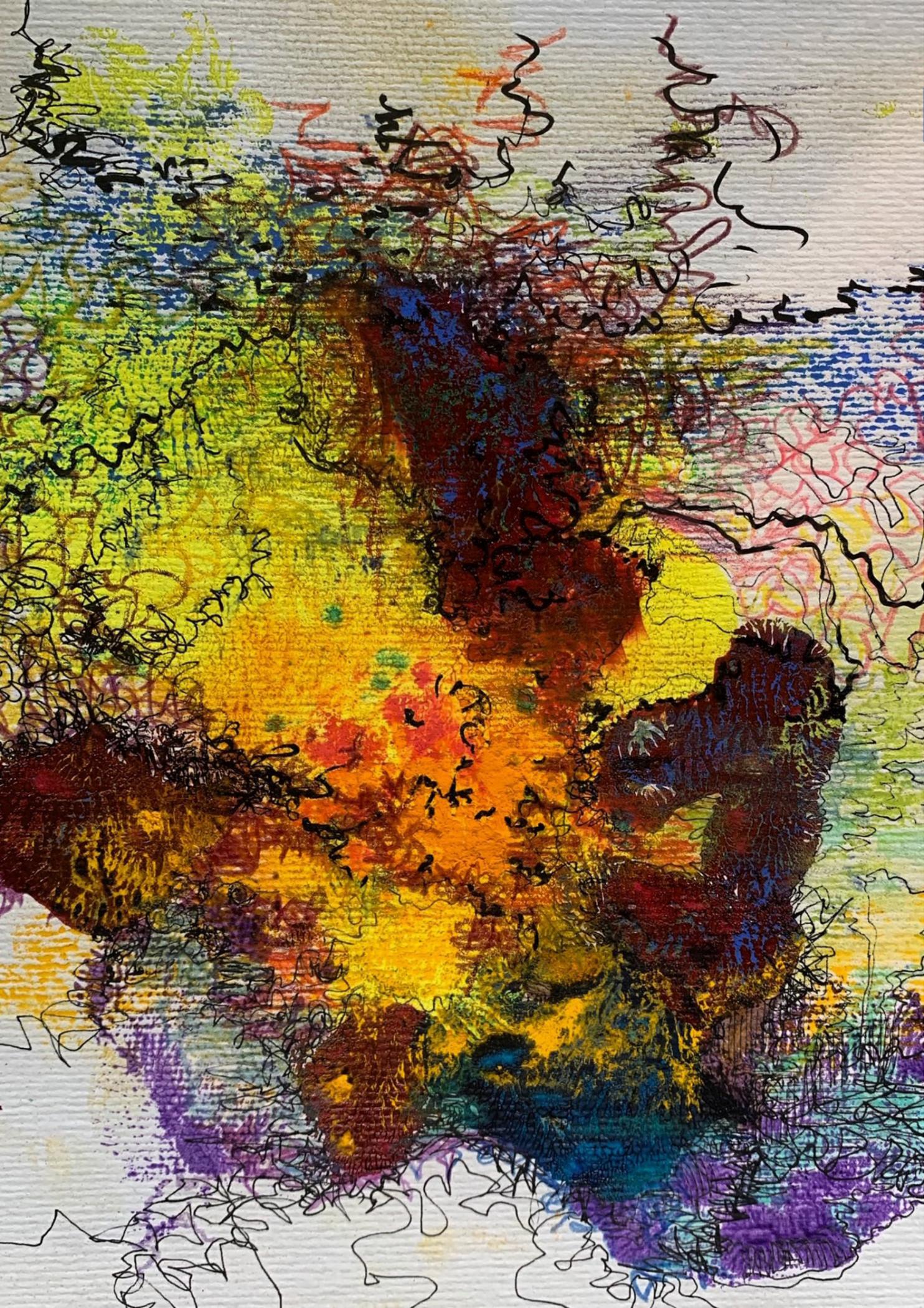


Figura 6: la vie en corredor, 2014.





## TRAJETÓRIAS E NUANCES DA PERSONALIZAÇÃO EM SÉRIE Diálogos interdisciplinares

***Mass Customization and Design Democratization***  
**Branko Kolarevic e José Pinto Duarte (Eds.)**  
**Routledge: Nova York, 2018**

**Gabriela Celani<sup>1</sup>**  
**Raquel Magalhães Leite<sup>2</sup>**

No final do século XX, duas novas tecnologias ligadas ao projeto começaram a ser difundidas na área de Arquitetura e Urbanismo: *rapid prototyping* (prototipagem rápida) e *parametric design* (projeto paramétrico). A prototipagem rápida (hoje mais conhecida como fabricação digital) incluía as tecnologias de manufatura aditiva (hoje chamada de impressão 3D) e outros sistemas de prototipagem ou de fabricação por controle numérico, como o corte a laser, a jato d'água ou a plasma, e já vinha sendo utilizada por engenheiros mecânicos no desenvolvimento de peças para aviões e automóveis. O projeto paramétrico também já era utilizado por esses profissionais e estava ligado à modelagem geométrica digital de peças mecânicas, por meio de softwares desenvolvidos originalmente para essa finalidade. Já é bem conhecida a história de como o escritório do arquiteto Frank Gehry empregou essas tecnologias em obras como o museu Guggenheim de Bilbao, tanto na fase de projeto como na fase de construção. Também é bem conhecido o fato de que, para conseguir lidar com a complexidade das formas do Guggenheim, Gehry acabou conseguindo que a Dassault, uma empresa francesa que havia desenvolvido o CATIA, um software para engenharia mecânica, adaptasse seu produto para os arquitetos, dando origem ao Digital Project e à Gehry Technologies.

A partir daí, dois outros paradigmas de projeto que já vinham sendo desenvolvidos havia décadas também acabaram sendo efetivamente implementados computacionalmente, passando a ser utilizados mais amplamente: *generative systems* (sistemas generativos) e *building information model* (BIM). O primeiro tinha como um de seus principais representantes George Stiny, que havia criado a gramática da forma nos anos 1970, e o segundo Charles Eastman, que desde essa mesma década já vinha trabalhando com sistemas de modelagem geométrica paramétricos. Esses dois paradigmas utilizam o mesmo conceito de parametria, porém com objetivos diferentes: enquanto os sistemas generativos buscam a diversidade e a criatividade no processo de projeto, o BIM busca a convergência, representada pelo chamado

modelo único, e tem como principais objetivos a produtividade, a colaboração e a eficiência do processo, do projeto à construção. Não se trata, contudo, de paradigmas conflitantes; eles podem ser aplicados em fases distintas do processo ou podem, inclusive, se sobrepor.

Chegamos, finalmente, aos autores de *Mass Customization and Design Democratization*. Após se formar em Arquitetura pela Universidade de Belgrado, Branko Kolarevic fez seus estudos de mestrado e doutorado em Harvard no final dos anos 1980 e início dos 1990, onde foi aluno de William J. Mitchell. Tendo publicado *The Logic of Architecture* em 1990 e *Digital Design Media* em 1991, com Malcolm McCullough, Mitchell já era um dos principais difusores da gramática da forma de Stiny e um dos primeiros pesquisadores a estudar os impactos das tecnologias de fabricação digital na Arquitetura. Influenciado por Mitchell, Kolarevic se interessou, desde o início dos anos 2000, por essas mesmas tecnologias, e editou em 2005, os livros *Performative Architecture: Beyond Instrumentality* (com Ali Malkawi) e *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, nos quais apresenta exemplos das novas tecnologias de projeto e de fabricação digital aplicadas à Arquitetura. Em 2008 e 2015, Kolarevic edita mais dois livros: *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture* (com Kevin Klinger) e *Building Dynamics: Exploring Architecture of Change* (com Vera Parlac), o primeiro ligado à fabricação por controle numérico e o segundo às aplicações dos sistemas inteligentes e adaptativos na Arquitetura. Até aí, Kolarevic havia explorado muito pouco os sistemas generativos, e em 2018 ele se une a José Pinto Duarte na edição de *Mass Customization and Design Democratization*.

José Duarte, formado em Arquitetura pela Universidade Técnica de Lisboa, fez mestrado e doutorado no Massachusetts Institute of Technology (MIT) entre os anos de 1992 e 2001, tendo também William Mitchell como seu orientador, porém com foco no processo generativo de projeto. Em sua tese, publicada posteriormente em Portugal sob o título *Personalizar a habitação em série: uma gramática discursiva para as casas da Malagueira do Siza* (2007), Duarte aplicou a gramática da forma na análise de plantas projetadas por Álvaro Siza para um conjunto habitacional em que o arquiteto buscava atender às demandas de cada família, porém dentro de uma lógica subjacente.

A combinação dos interesses desses dois autores, por um lado pelas tecnologias de projeto e de produção e, por outro, pela diversidade no processo de projeto, culmina com esta coletânea de casos que demonstram a importância e ao mesmo tempo a viabilidade de se atender individualmente às necessidades das pessoas que utilizam os edifícios e as cidades. Essa viabilidade se dá por meio da metodologia do projeto generativo, na qual Duarte é especialista, e das tecnologias de modelagem paramétrica e fabricação digital já tão exploradas nos livros anteriores de Kolarevic. Mas a complementaridade não é rigorosa; Kolarevic também já havia cunhado o termo *generative performative* para se referir à geração de soluções a partir da análise de desempenho. Do mesmo modo, Duarte criou o primeiro laboratório de fabricação digital em uma escola de Arquitetura em Portugal, o ISTAR Lab, e atualmente desenvolve pesquisa sobre fabricação robótica. Ambos se destacam, ainda, por sua atuação como gestores de pesquisa e ensino, tendo dirigido escolas de Arquitetura e centros de pesquisas em diferentes universidades da Europa e da América do Norte.

O período de gestação das ideias contidas em *Mass Customization and Design Democratization* tem início com o ensaio crítico publicado por Kolarevic em 2015 no número especial da revista *Architectural Design* intitulado *Mass customised cities*, editado por Tom Verebes. Nesse artigo, Kolarevic questiona por que, em uma era em que a personalização em série já está presente na produção de bens, as cidades e os

<sup>1</sup> Gabriela Celani possui graduação (1989) e mestrado (1997) em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (USP), e doutorado (2002) em Design and Computation pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT). Atualmente é professora titular na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Campinas (FEC/Unicamp), Brasil, e foi professora visitante na Universidad Nacional del Litoral, Argentina, e na Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, além de pesquisadora visitante no MIT. É fundadora do LAPAC, Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção. Seu trabalho tem como foco projeto generativo, prototipagem rápida, fabricação digital e automação do processo de projeto de arquitetura. [celani@unicamp.br](mailto:celani@unicamp.br)

<sup>2</sup> Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Ceará (UFC), com graduação-sanduíche na University of the Arts London: Central Saint Martins, Reino Unido. Mestre em Arquitetura, Tecnologia e Cidade pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (PPGATC FEC/Unicamp). Atualmente, é professora substituta no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFC. [raquelmlite@gmail.com](mailto:raquelmlite@gmail.com)

edifícios continuam sendo pautados pela estandardização e pela repetição. Segundo ele, as tecnologias necessárias para a personalização em série na Arquitetura e Urbanismo já estariam disponíveis, mas as limitações para seu emprego seriam, por um lado, as barreiras culturais impostas pelos próprios clientes e, por outro, o que ele chamava de desafio estético: “[...] *as a society and a culture, we do not have a capacity to weed out bad designs in the world of mass-produced suburban housing, let alone in a mass-customised one*” (KOLAREVIC, 2015, p. 53).

Em 2017, Kolarevic se une a Duarte na organização do *International Symposium Mass Customization and Design Democratization*, na Penn State University. No evento, discute-se desde o conceito da personalização em série na indústria e sua possível aplicação na produção de habitações, até o retorno da qualidade artesanal dos edifícios mediada pela fabricação digital (*digital kraft*) e a possibilidade de se produzir industrialmente elementos construtivos não repetitivos de edifícios de grande complexidade formal. A partir dos temas tratados nas palestras do evento, são feitos convites aos próprios palestrantes e a outros especialistas da área, que também submetem suas contribuições, resultando em uma obra com vinte autores.

A estrutura do livro *Mass Customization and Design Democratization*, publicado no final de 2018 pela Routledge, desenvolve o fio condutor das falas realizadas no congresso. Dividida em dezenove capítulos, a obra parte da apresentação de conceitos de personalização em série e segue com exemplos teóricos e práticos, discutidos por pesquisadores, escritórios e fabricantes, especialistas nesse tema em múltiplas disciplinas. O texto é ricamente ilustrado com fotografias, desenhos e diagramas conceituais que transitam entre objeto, espaço, edifício e cidade.

No congresso, as palestras foram organizadas de acordo com os seguintes assuntos: *Concepts & Challenges, Mass(ive) Design & Making, Mass Housing, Personalization, Elemental Customization e Mass-customizing Cities*. Já no livro, essa divisão não é evidenciada, mas cinco eixos temáticos transparecem no ordenamento dos textos e são comentados pelos editores no primeiro capítulo: nos capítulos dois e três, Joseph Pine II e Frank Piller descortinam o arcabouço conceitual e as capacidades práticas que envolvem a personalização em série sob o ponto de vista dos negócios e da indústria. Já no quarto capítulo, por Virginia San Fratello e Ronald Real, no quinto, por Marc Fornes, a variação *massive customization* é apresentada com referências práticas relacionadas à reaproximação de arquitetos e designers da execução de projetos. Os capítulos seis, sete, oito e nove, escritos por Greg Lynn, Philippe Starck, Assa Ashuach e Fabio Gramazio e Matthias Kohler, respectivamente, debruçam-se sobre outra abordagem afim – a de *mass personalization* – relacionada à produção na escala do indivíduo. Cerca de um terço do livro – do capítulo dez ao quinze –, com autoria de Branko Kolarevic, José Duarte, Karl Daubmann, Joseph Tanney, Ryan Smith e John Brown, é dedicado às diferentes metodologias, estratégias, interfaces e tecnologias ligadas à personalização em série na escala da arquitetura, com foco na tipologia habitacional. Os quatro capítulos finais, do dezesseis ao dezenove, elaborados respectivamente por Christopher Sharples, Tom Verebes, Kent Larson e Thomas Fisher, abrangem a personalização em série na escala urbana e suas interseções com o edifício, com a vivência dos indivíduos nas cidades e com novos modelos de governança proporcionados pelos diálogos mediados pelas tecnologias digitais.

O debate que motivou a realização do congresso – a ausência de concretização das expectativas em torno de uma democratização do design, mesmo com a crescente distribuição de projetos em redes digitais e as apostas na acessibilidade à fabricação pessoal – descortina ainda mais perguntas. Kolarevic e Duarte enfatizam o caráter sociocultural desse processo: nem todo consumidor deseja ser co-designer.

A obra, portanto, mais que congrega de forma pioneira um conteúdo de extrema relevância nos campos conceitual e prático, debruçando-se sobre os significados e as manifestações da personalização em série em arquitetura, urbanismo e design, traz também provocações sobre os caminhos para sua consolidação efetiva. Nesta resenha, buscamos pontuar algumas delas, articuladas aos eixos temáticos do livro, no intuito de despertar a curiosidade dos leitores para o aprofundamento nessa instigante coletânea.

A própria variação conceitual entre os termos *mass customization*, *mass personalization* e *massive customization*, ao mesmo tempo em que enfatiza a necessidade de delineamento dos processos e desafios particulares a essas lógicas de produção, especialmente em uma área em que produto e serviço se mesclam, também dá pistas sobre obstáculos fundamentais a serem superados.

No segundo capítulo, Joseph Pine II, autor pioneiro da personalização em série, pontua as limitações da segmentação do mercado em nichos e a contrapõe ao que chama de *customering*, relacionado à incorporação de valor por meio de uma interação individual entre fabricante e cliente na entrega de um resultado único, motivado por esse contexto específico. Em seguida, Frank Piller, também renomado na área, destaca a importância dessa relação para refinar o processo de personalização sob a perspectiva de quem produz e de quem consome, promovendo uma maior eficiência aos fluxos de trabalho das empresas e evitando a confusão do usuário diante de uma multiplicidade de soluções eventualmente excessiva. O autor se refere aos *toolkits* de Hippel (2005) e à noção de personalização adaptativa (*adaptive customization*), cunhada por Gilmore e Pine II (1997), como abordagens promissoras para o campo, na medida em que viabilizam o protagonismo dos usuários e a unicidade dos resultados por intermédio da personalização do produto final já na fase de uso.

A preocupação com a obtenção de soluções que sejam efetivamente pessoais e, portanto, contextuais, também se expressa no debate sobre os conceitos afins e seus exemplos práticos. Sobre a noção de *massive customization*, Marc Fornes explica, no quinto capítulo, que o que a distingue de *mass customization* é a possibilidade de intervenção no conjunto de regras que regem o processo de personalização. Na abertura do livro, Kolarevic e Duarte pontuam que a concepção de *massive customization* precede a de *mass customization*, aplicando-se por exemplo às capacidades tecnológicas que viabilizam a geração eficiente de componentes de um edifício diferentes entre si, fenômeno já presente em emblemáticas obras como o citado Guggenheim de Bilbao. Assim, neste caso, tem-se uma série de partes distintas que compõem um edifício único, ao passo que, na *mass customization*, lida-se com uma postura de mercado, relacionada a uma série de soluções com diferenças singulares, dentro de uma mesma lógica.

A inovadora prova de conceito implementada por Gramazio e Kohler no projeto mTable ilustra a capa do livro e representa bem uma outra concepção: a de *mass personalization*, em que a segmentação de mercado muda de um pequeno grupo para um indivíduo – similarmente ao caminho do *customering*, apontado por Pine II. Detalhada pelos arquitetos no capítulo nove, a proposta da mTable foi colocar literalmente nas mãos das pessoas uma interface para a personalização de uma mesa pelo telefone celular, com o controle de dimensões, de cores e a distribuição de furos pelos usuários. Concluído esse processo, os parâmetros são interpretados por algoritmos para gerar a geometria final da mesa e, enfim, convertidos em linguagem de máquina e enviados para fabricação por controle numérico. O projeto é de 2002, anos antes do surgimento dos *smartphones*. Para além da diversidade das soluções geradas, a experiência suscitou questionamentos que persistem até hoje, como os limiares de intenção, responsabilidade e autoria entre designers e usuários – desafios

que perpassam tanto a experiência de personalização em si quanto a validade dos resultados obtidos, em termos funcionais, produtivos e estéticos.

A transição para a escala dos edifícios amplifica esse debate a uma complexidade de variáveis ainda maior, sobretudo quanto à necessidade de incorporar estratégias e mecanismos mais robustos. O recorte feito na habitação parte do entendimento de que a personalização em série pode ser uma oportunidade chave para tornar bons projetos mais acessíveis, além de contribuir para a heterogeneidade das cidades:

*Mass customization is a particularly suitable production paradigm for the housing sector of the building industry, since houses (and buildings in general) are mostly one-off, highly customized products. It also offers a promise that a truly customized house – with a unique geometry, i.e. shape and form – could eventually become available to a broader segment of society (KOLAREVIC; DUARTE, 2018, p. 6).*

As referências apresentadas oferecem um contraponto à homogeneidade recorrente, principalmente, em habitações unifamiliares dos subúrbios norte-americanos, mas não deixam de contribuir para a discussão sobre as formas de se projetar e construir essa tipologia em outras realidades. A estratégia da modularidade – princípio destacado extensamente na literatura por oportunizar uma maior eficiência no processo de personalização em série, a partir das múltiplas formas de combinar componentes padronizados (DURAY et al. 2000) e da montagem prévia de partes do edifício fora do canteiro de obras (KIERAN; TIMBERLAKE, 2004) – é evidenciada em diversos projetos, como o BLU Homes (capítulo doze) e o *Resolution 4: Architecture* (capítulo treze). No décimo quarto capítulo, Ryan Smith discute especificidades desse processo ao longo de toda a cadeia da construção civil, do projeto à entrega. Já no capítulo quinze, John Brown apresenta uma proposta de personalização adaptativa de layouts internos para se adequarem às mudanças de demandas de pessoas idosas. Essa proposta indica uma outra visão a respeito da personalização, que não se esgota com a entrega do produto ao cliente: a solução ideal relaciona-se a cenários em transformação e, por isso, a própria noção do que é ideal é efêmera.

Os editores do livro também colaboram com capítulos independentes relacionados às suas pesquisas. Um dos pontos mais desafiadores levantados por Kolarevic, no capítulo dez, diz respeito aos requisitos de uma personalização dimensional e topológica. Por exemplo, a liberdade de escolha das dimensões de uma janela pelo usuário final pressupõe a incorporação de alguns limitantes – ou *constraints* –, como a área mínima de ventilação e iluminação. Quando essa preocupação se amplia para todos os outros componentes do edifício, torna-se necessário também ponderar a hierarquia entre parâmetros. Para além desses aspectos mais objetivos, lida-se com as implicações estéticas dessas soluções, o que requer um ajuste cuidadoso das atribuições de cada agente envolvido, que não engesse o processo, mas, ao mesmo tempo, dê os subsídios necessários ao desenvolvimento de soluções de qualidade. Assim, diante da disponibilidade do ferramental tecnológico, a relação estabelecida entre arquitetos e clientes durante o processo de personalização em série envolve uma construção sociocultural, com novas maneiras de dialogar. Um direcionamento é demonstrado por Duarte no capítulo seguinte, através de uma proposta de *framework* para o projeto generativo, cujas regras são estabelecidas utilizando gramáticas da forma, as quais contribuem para a identificação e a proposição de soluções sensíveis ao contexto.

As circunstâncias que envolvem a personalização em série na escala da cidade vinculam-se a questões inerentes ao espaço urbano: a dicotomia entre o individual

e o coletivo, na busca por estratégias de planejamento e desenho que enalteçam a diversidade e, ao mesmo tempo, representem demandas em comum. Esse tópico é abordado nos quatro capítulos finais. Tom Verebes ilustra, por meio de uma série de exemplos, a incorporação das informações do lugar no desenvolvimento de projetos urbanísticos identitários e heterogêneos. De maneira complementar, Kent Larson, no capítulo seguinte, demonstra algumas experiências em que as tecnologias digitais oportunizam tomadas de decisão *bottom-up*, relacionadas a questões sociais diversas, e auxiliam na obtenção de consenso.

Os questionamentos levantados ao longo da coletânea levam-nos, inevitavelmente, a buscar respostas que se apliquem à realidade do Sul Global. Ao longo do atalho que nos conduz à quarta revolução industrial (CELANI, 2020), e diante dos complexos desafios enfrentados na produção das cidades brasileiras, particularmente no setor habitacional, que direções podemos seguir? De onde virá a nossa democratização do design? Para além das especificidades das tecnologias utilizadas e das distinções entre os conceitos, a diversidade de pontos de vista presentes no livro deixa emergir percepções em comum: a convergência para processos de personalização que buscam, cada vez mais, soluções embasadas no contexto de cada indivíduo e que, de maneira complementar, compreendem que o contexto não é algo fixo. Isso requer também um refinamento nos formatos de diálogo, como sugere Kolarevic (2018):

*A potentially promising strategy is to make design expertise accessible to the customer by having a designer work alongside the customer; this can be done physically, i.e. in the same space looking at the same screen, or virtually, which is a more likely and less expensive scenario. [...] This projected dynamic is not that different from what already takes place in the industry; the challenge is to make that interaction seamless, relatively effortless, and most importantly, enjoyable for the customer (KOLAREVIC, 2018, p. 125–126).*

De fato, *Mass Customization and Design Democratization* é uma obra que sintetiza profundos diálogos. Esperamos que pesquisadores, arquitetos, urbanistas, designers, estudantes e curiosos sobre a temática da personalização em série possam expandi-los ainda mais a partir da leitura do livro, em múltiplas interfaces e junto aos diferentes agentes com os quais desenvolvem projetos.

## Referências

- CELANI, Gabriela. Shortcut to the Fourth Industrial Revolution: The Case of Latin America. *International Journal of Architectural Computing*, v. 18, n. 4, p. 320–334, 2020.
- DUARTE, José Pinto. *Personalizar a habitação em série: uma gramática discursiva para as casas da Malagueira do Siza*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.
- DURAY, Rebecca; WARD, Peter T.; MILLIGAN, Glenn W.; BERRY, William L. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. *Journal of Operations Management*, v. 18, n. 6, p. 605–625, 2000.
- GILMORE, James H.; PINE II, B. Joseph. The Four Faces of Mass Customization. *Harvard Business Review*, v. 75, n. 1, p. 91–101, 1997.
- HIPPEL, Eric von. *Democratizing Innovation*. Cambridge: The MIT Press, 2005.

KIERAN, Stephen; TIMBERLAKE, James. *Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*. 1st. ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

KOLAREVIC, Branko. From Mass Customisation to Design 'Democratisation'. *Architectural Design*, v. 85, n. 6, p. 48–53, 2015.

KOLAREVIC, Branko. Metadesigning Customizable Houses. In: KOLAREVIC, Branko; DUARTE, José Pinto (Eds.). *Mass Customization and Design Democratization*. 1st. ed. New York: Routledge, 2018. p. 117–127.

KOLAREVIC, Branko; DUARTE, José Pinto (Eds.). *Mass Customization and Design Democratization*. 1st. ed. New York: Routledge, 2018.



ISSN 2526-7310

