

Aplicação didática de um Modelo de Formação: a inserção da lógica dos processos computacionais no processo de ensino de projeto

Didactic application of a Training Model: the insertion of the logic of computational processes in the project teaching process

Pedro Oscar Pizzetti Mariano*, Thêmis da Cruz Fagundes**, Gabriela Pinho Mallmann***

*Universidade do Federal de Santa Catarina, Brasil, pedro.pm@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, themisf@gmail.com

***Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, gabrielapinhomallmann@gmail.com



número 40 | abr - dez de 2025

Recebido: 30/09/2024

Aceito: 21/11/2025

DOI: [10.37916/arq.urb.vi40.768](https://doi.org/10.37916/arq.urb.vi40.768)



Palavras-chave:

Computação aplicada à arquitetura.
Modelo de Formação.
Programação visual.
Processo de projeto.
Ferramentas computacionais.

Keywords:

Computation applied to architecture.
Formation Model.
Visual programming.
Design process.
Computational tools.

Resumo

Este artigo analisa a aplicação de princípios computacionais em uma disciplina, voltada à prospecção, estudos e ensaios relativos aos desafios da forma coletiva do habitar o habitat. O objetivo é incentivar a compreensão prática e lógica do uso de programas de programação visual como ferramentas de apoio ao processo de projeto, complementando técnicas tradicionais, como o modelo CAD e os processos analíticos. A metodologia envolve a introdução de um modelo de formação inspirado em Oxman (2006), no qual os estudantes usam ferramentas computacionais para simular fenômenos, construir relações arquitetônicas e explorar regras de linguagem compostivas em arquitetura. A presente pesquisa foi realizada em uma turma de graduação em arquitetura e urbanismo e avaliou o impacto da integração entre a computação e o processo de projeto. Os resultados evidenciam que o uso do modelo computacional abriu uma nova perspectiva de raciocínio projetual, utilizando lógicas de implantação, composição arquitetônica e simulações no processo de desenvolvimento dos projetos finais. Entretanto, foram encontrados desafios, como a adequação ao uso de recursos visuais e a compreensão da lógica computacional, indicando a importância de uma transição cuidadosa no ensino dessas técnicas, quando aplicadas ao desenvolvimento do processo de projeto.

Abstract

This article analyzes the application of computational principles in a discipline focused on prospecting, studies, and experiments related to the challenges of the collective form of inhabiting the habitat. The objective is to encourage a practical and logical understanding of the use of visual programming as tools to support the design process, complementing traditional techniques such as CAD modeling and analytical processes. The methodology involves the introduction of a training model inspired by Oxman (2006), in which students use computational tools to simulate phenomena, build architectural relationships, and explore compositional language rules in architecture. This research was conducted in an undergraduate architecture and urban planning class and evaluated the impact of the integration between computing and the design process. The results indicate that the use of the computational model opened a new perspective of design thinking, using logics of implementation, architectural composition, and simulations in the process of developing the final projects. However, challenges were encountered, such as adapting to the use of visual resources and understanding computational logic, indicating the importance of a careful transition in teaching these techniques when applied to the development of the design process.

Introdução

O propósito deste artigo é aplicar os princípios de um modelo de computação em uma disciplina de projeto, com o objetivo de incentivar de forma prática, instrumental e lógica a compreensão do modelo. Essa ação visa estimular práticas atuais de projeto, provocando acadêmicos de arquitetura e urbanismo a pesquisarem novas metodologias projetuais que usem o computador e a computação como ferramenta de auxílio complementar. Assim, paralelamente aos métodos e técnicas de projeto tradicionais — modelo CAD e processos analíticos — foram introduzidas em uma disciplina direcionada ao projeto de habitação multifamiliar, os estudantes participantes foram ensinados, estimulados e impulsionados a usar um programa de programação visual. Os principais incentivos para a aplicação do programa e do modelo foram a compreensão da estrutura e a reprodução da lógica no processo individualizado de cada estudante, além da promoção de uma nova prática de desenvolvimento do processo de projeto.

A avaliação do uso de ferramentas e estratégias computacionais nos processos de projeto se tornou indispensável devido à crescente integração entre o mundo digital e o físico, uma divisão que é cada vez mais imperceptível. A computação ubíqua hoje tornou-se constante e, para ser evitada, necessitaria de um esforço considerável ou a utilização de poucas opções que permitissem essa distância, como o afastamento completo de dispositivos eletrônicos pessoais, como telefones celulares e computadores pessoais. Stangl (2013) aponta que as tecnologias tiveram um impacto profundo em quase todos os aspectos de nossas vidas, de forma onipresente. Esse ponto de vista é corroborado por outros autores, como Baudrillard e Baumann, que exploraram as interações cotidianas entre sociedade, tecnologia e comportamento.

Baudrillard (2011) sustenta que a confiança depositada nos resultados fornecidos por dispositivos digitais provoca uma mudança no raciocínio humano, alterando tanto a sua lógica quanto a sua velocidade, afetando o tempo e o ritmo das relações e interpretações. Da mesma forma, Baumann (2001) e Baumann e Donskis (2021) salientam que a tecnologia proporcionada pelos computadores foi um dos principais responsáveis pelas mudanças que ocorrem no cotidiano. Este processo em transformação permanente e sua dinamicidade abriram espaço para novas formas de interação, seja entre indivíduos e objetos, seja entre inteligências computacionais e

seres humanos, transformando não apenas a relação entre os usuários e máquinas, mas também a interação e relações sociais entre eles, que cada vez mais frequentemente ocorrem por meio das redes e tecnologias digitais.

As transformações que ocorrem quando o mundo digital se aproxima do mundo físico podem, mesmo quando ignoradas nos aspectos sociais, ficar mais e mais evidentes em lugares e na velocidade em que os computadores e os programas de inteligência computacional estão ganhando espaço (Baudrillard, 2011). Essa situação se aplica também ao ambiente acadêmico e profissional do arquiteto. Stangl (2013) descreve que, na arquitetura e urbanismo, as tecnologias ajudam e alteram a prática de projetar, integrando as etapas do processo arquitetônico. Essas ferramentas, muitas vezes, surgem de outras áreas, como ciências computacionais, matemática, engenharias e ciências sociais (Kovacs, Szoboszlai e Csusz; 2019).

Nas últimas décadas, a compreensão das inovações tecnológicas tem se tornado cada vez mais presente nas práticas acadêmicas e profissionais da arquitetura, despertando um crescente interesse em replicar ou compreender novas formas e processos. Morales (1997) sustenta que a compreensão da vanguarda tecnológica aplicada à arquitetura está intimamente ligada ao entendimento das composições arquitetônicas, uma vez que a tecnologia empregada no processo de projeto exerce uma influência significativa e cria um domínio difuso sobre o resultado. Celani e Serez (2018) sustentam que a compreensão dessas tecnologias aprimora as pesquisas e incentiva práticas direcionadas tanto para a aplicação, quanto para a inovação em projetos.

Segundo Llach (2015), a utilização de novos métodos de pensar e de aplicar o uso de computadores no processo criativo está diretamente ligada às mudanças que a arquitetura e outras áreas estão enfrentando, sobretudo devido à inclusão de programas que requerem novos processos de comunicação entre os envolvidos. O uso dos computadores como ferramenta ideal para arquitetos impulsiona uma mudança na cultura e nas técnicas empregadas na elaboração de projetos (Llach, 2015). A mudança iniciou nos anos 1980, quando os computadores passaram a fazer parte fundamental do processo arquitetônico, impulsionado pelo aprimoramento dos processadores, redução de custos e da dimensão das máquinas (Llach, 2015).

Buscando implementar os processos computacionais, que utilizam o computador como instrumento para potencializar o processo de projeto, este artigo visa

aproximar estudantes de graduação em arquitetura e urbanismo a um processo em que o desenvolvimento de um modelo computacional de projeto pode potencializar e simular as possíveis respostas aos problemas de projeto, cada vez mais complexos. Este estudo de caso relata a experiência desenvolvida na disciplina de projeto que busca criar soluções para a atual complexidade das habitações multifamiliares de interesse direcionadas às populações em situação de vulnerabilidade social e ambiental. Com este objetivo, foram inseridas uma parte das conexões, ações e interações propostas por Oxman (2006) do modelo de formação. Dessa forma, ao longo da disciplina, após a aproximação dos estudantes, em ações mais comumente trabalhadas, como a análise do local e seu ecossistema e o aprofundamento das diretrizes projetuais, foi apresentada a lógica e a instrumentalização do modelo de formação. Ensinando aos estudantes como funciona uma ferramenta de programação visual, para que pudessem utilizá-la, tanto como instrumento quanto estrutura, nas fases seguintes do processo de projeto. Seja usando o modelo de formação por meio da simulação de fenômenos físicos ou da replicação de regras simples para a criação da forma e composição, bem como do conceito.

Este experimento permitiu avaliar os resultados do uso do modelo de formação e suas ferramentas nos trabalhos finais de alguns dos grupos de estudantes participantes voluntariamente da experiência, o que permitiu observar a aplicação de conceitos nos resultados dos projetos finais apresentados na disciplina. Tais como: a existência de uma lógica na implantação das construções no terreno e ecossistema local; a aplicação de regras de composição na forma da arquitetura, tanto na composição do edifício — partes que formam um bloco específico — quanto na sua associação, no conjunto de mais de um prédio — conexões e posicionamento quando mais de um edifício está envolvido na construção —; e, ainda, o uso de simulações como parte do processo, auxiliando na tomada de decisão.

Ao término da experiência na finalização da disciplina, na análise dos resultados, foi possível evidenciar alguns dos principais desafios dos participantes para implementar o modelo no processo de projeto, bem como as potencialidades do seu uso. Dentre os problemas ficou evidente a dificuldade em compreender o uso da ferramenta, o que pode indicar aspectos cognitivos não desenvolvidos no que se refere ao raciocínio lógico abstrato que permita generalizar a compreensão de regras lógicas capazes de suportar a compreensão de um processo lógico distinto daqueles

que estão tradicionalmente habituados, além de limitações pessoais relativas ao desenvolvimento do raciocínio matemático que permite a compreensão e generalização de novas regras de relações lógicas abstratas. Associada a estas, parece existir uma resistência para o enfrentamento de novos desafios, sugerindo uma estrutura prévia de experiências de aprendizagem de uma visão de método e ensino e aprendizagem a partir da visão de que o computador é somente uma ferramenta, e não uma estrutura lógica de formação.

Referencial teórico

Para a elaboração da estrutura do artigo, diferentes temas são abordados, para contextualizar os assuntos necessários para o entendimento da pesquisa. Para isso, são apresentados. Os tópicos relacionados à evolução tecnológica dos processos de projeto, o modelo a ser seguido e o método educacional a ser utilizado.

Teoria da Complexidade e Inteligência Computacional

Segundo Rumiez (2013), é evidente que projetos, componentes e ornamentos que se inspiram em elementos naturais são evidentes ao longo da história da humanidade, permitindo identificar o período temporal da arquitetura e as características do tempo em que foram construídos. A utilização de elementos em arquiteturas é constatada pelo interesse humano em seguir determinados padrões que permitem desenvolver desenhos e detalhes nas construções, para identificar, interpretar e reproduzir as diferentes sensações físicas e sensoriais (Rumiez, 2013).

A inclusão de elementos naturais nos ornamentos e, posteriormente, na arquitetura, abriu caminho para estudos sobre a ciência do caos e da complexidade, afetando diversas áreas da arquitetura e o urbanismo. De acordo com Venturi (1977), essas ciências complexas permitiram o desenvolvimento de regras para criar desordem organizada, o que diferenciou dos princípios modernos que norteavam a arquitetura de sua época. Venturi (1977) defendeu o uso de geometrias, desenhos e padrões de forma diferente, conferindo novos e complexos significados à arquitetura.

De acordo com Complex Systems (2004), a necessidade de interpretar e decifrar os padrões das forças caóticas da natureza deu origem às ciências do caos e da complexidade. Essas disciplinas atuam na conexão entre a estatística e o comportamento caótico, buscando compreender como a desordem pode ser gerenciada por meio da interação, adaptação e inter-relação entre as partes de um sistema. A

arquitetura utiliza esses conceitos, juntamente com os desafios do dia a dia, para aprimorar e atualizar a técnica de criação de espaços e cenários (Complex Systems, 2004). A relação entre os problemas e os métodos para solucioná-los é constantemente atualizada com as inovações tecnológicas e ferramentas disponíveis. A constante interação e a atualização tornam a colaboração entre arquitetos e ferramentas tecnológicas ainda mais produtiva, incorporando à arquitetura conceitos inovadores e de alto desempenho (Celani; Sedrez, 2018).

A aproximação do mundo digital ao mundo físico pode, em alguns casos, ser ignorada pelos aspectos sociais. No entanto, se tornam mais evidentes em ambientes onde computadores e programas de inteligência artificial estão se expandindo (Baudrillard, 2011). Isso tem permitido novas maneiras de interagir entre pessoas e objetos, e entre computadores e seres humanos. Essa dinâmica não só altera a relação entre usuários e máquinas, mas também interfere na interação social entre os próprios usuários, frequente por meio de tecnologias digitais (Baudrillard, 2011).

De acordo com Leach (2022), estabelecer uma analogia direta entre a inteligência artificial — proporcionada pelos processos computacionais — e a inteligência humana revela inconsistências, uma vez que, apesar de ambas produzirem resultados criativos ou lógicos, seus mecanismos de funcionamento são diversos. De acordo com Leach (2022), a inteligência humana pode escolher e discernir em relação ao que é percebido ou desejado. Por outro lado, a inteligência baseada em dados, apesar de conseguir criar novas imagens e perspectivas, enfrenta maiores desafios ao tomar decisões precisas.

Segundo Seth (2021), os seres humanos possuem uma percepção singular em relação ao mundo ao seu redor. O exemplo do número de cores em um arco-íris mostra como somos condicionados a perceber e interpretar a realidade de uma maneira diferente, usando memórias e ensinamentos já consolidados para interpretar e dar significado ao nosso meio — gostos, vontades e percepções. Essa compreensão é criada por meio da educação e das relações de aprendizado previamente estabelecidas. Da mesma forma que a interpretação humana, os sistemas neurais também compreendem o mundo segundo o treinamento recebido (Seth, 2021). Se um sistema estiver apto a reconhecer flores, poderá identificá-las em qualquer contexto. Isso sugere que a imagem que criamos não é uma representação fiel da realidade exterior, mas sim uma reconstrução baseada em expectativas e crenças anteriores

(Seth, 2021). Leach (2022) acrescenta que esse fenômeno é particularmente comum entre arquitetos e estudantes de arquitetura, que aprendem a reconhecer certos elementos como representativos da funcionalidade e replicam essas analogias na criação de espaços e conceitos.

Além disso, o uso dessas ferramentas computacionais que empregam um determinado tipo de inteligência exerce um impacto significativo na arquitetura, pois sua influência tende a transformar os processos de projeto. De acordo com Campo e Leach (2022), a inteligência artificial pode ser considerada uma técnica de design típica do século XXI, integrada à cultura arquitetônica contemporânea. Campo e Leach (2022) identificam duas principais áreas de estudo que relacionam a inteligência artificial à arquitetura: a otimização, voltada para resolver problemas disciplinares ligados à eficiência e ao uso de recursos; e outra linha que considera aspectos mais subjetivos no processo de projeto, como criatividade, intuição e sensibilidade. A inteligência artificial é apresentada não apenas como uma ferramenta estética, mas também como um catalisador de importantes questões éticas, como o impacto do pensamento pós-humano no ambiente construído.

Há diferentes meios de se aplicar essas inteligências em processos computacionais, como as descritas por Campo e Carlson (2022), que exploram a criatividade das redes neurais artificiais (RNAs), com destaque para os GANs e as redes neurais convolucionais (CNNs), evidenciando tanto as limitações quanto as potencialidades dessas tecnologias para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos. Campo e Carlson (2022) sustentam que o uso dessas inteligências resulta na capacidade das redes de interpolação e extrapolação, especialmente nas redes neurais profundas (DNNs). Apesar de se destacarem em interações interpessoais, essas redes enfrentam restrições no processo de extrapolação, o que impede que sejam verdadeiramente criativas nos padrões humanos.

Modelo de Formação

Segundo Loukissas (2012), os processos digitais no desenvolvimento do projeto arquitetônico estabelecem relações que demandam a escolha de profissionais especializados para sua aplicação e comunicação, sendo essenciais em diferentes contextos, como na transição de ideias manuais para o ambiente digital. Oxman (2006) salienta que, devido à rápida e constante incorporação de práticas e teorias digitais em publicações e trabalhos profissionais, é crucial considerar uma variedade

de ideias e técnicas para estruturar o design assistido por ferramentas computacionais, especialmente ao se tentar prever o progresso do design no futuro. O objetivo de encontrar explicações e previsões pode ser alcançado ao descrever a contextualização das práticas contemporâneas. Oxman (2017a) afirma que a relação entre modelos cognitivos e processos computacionais é prioridade na pesquisa em design e arquitetura.

De acordo com Oxman (2017a), a adoção de modelos de projeto assistido por computador (CAD) nos anos 1980 causou uma significativa alteração nos procedimentos de design. Os sistemas CAD, inicialmente, eram ferramentas representacionais para modelagem em 2D e 3D, mas o avanço para sistemas de design paramétrico alterou a natureza dos métodos de projeto. A escritora observa que, com a introdução da inteligência artificial e dos modelos cognitivos baseados em conhecimento nos anos 1990, surgiram questionamentos sobre o impacto da mídia eletrônica na criação de modelos de processo de projeto e no pensamento de design.

Para compreender e estruturar o uso do computador nos processos de projeto, Oxman (2006) apresenta uma série de modelos que buscam exemplificar o possível funcionamento de diferentes funções do computador e da computação no processo de projeto. Esses protótipos utilizam símbolos e gráficos para esquematizar modelos de projeto partindo de esquemas genéricos. Esta representação contém cinco elementos fundamentais: quatro etapas do processo de design e um mediador que interage com essas etapas. Os elementos são: (1) desempenho — relacionado ao uso de programas e processos de análise de desempenho; (2) geração — que se refere ao processo de criação da forma; (3) representação — vinculada ao modo ou mídia em que o projeto é desenvolvido; (4) validação — uma avaliação analítica passível de julgamento; e no centro, (5) o projetista.

Dentro dessa estrutura, Oxman (2006) traz cinco classes principais para os modelos de projeto digital, sendo: (1) os Modelos CAD; (2) Modelos de Formação; (3) Modelos Generativos; (4) Modelos de Desempenho; (5) e os Modelos Compostos Integrados. Sendo explorado na disciplina o segundo modelo, o de formação.

O objetivo deste modelo é apresentar resultados que se sobressaem às abstrações estáticas de modelos de conceitos formais, promovendo o dinamismo ao substituir a ideia de forma por uma de formação. De acordo com Oxman (2008), a utilização desse modelo introduz a noção de interação constante durante o desenvolvimento

do projeto. A ideia é aumentar a interação entre a geometria e o projetista, requerendo mais habilidade digital por parte deste, mas também pode aumentar a qualidade formal do projeto.

O modelo de formação apresenta três subclasses, sendo: (1) o design topológico com a exploração da topologia e formas não euclidianas; (2) o design associativo baseado no projeto paramétrico; e (3) o design dinâmico, associado à animação, metamorfoses, entre outros. (Oxman, 2006). A subclass que será aplicada na proposta de projeto da disciplina é a segunda, os modelos de formação associativa, sendo processos que se baseiam em modelagem paramétrica. Utilizando características que permitem a variação, manipulação e alteração das geometrias. Como ferramentas de programação, que permitem controlar o nível de interação entre o projeto e o projetista. A figura 1 mostra uma comparação da estrutura simplificada do modelo CAD — o mais utilizado atualmente — com o modelo sugerido para a aplicação didática, o de formação. É possível notar que a ligação entre o projetista e a representação é modificada, de forma que, no modelo de formação, há uma interação com o ambiente de modelagem e não com o modelo.

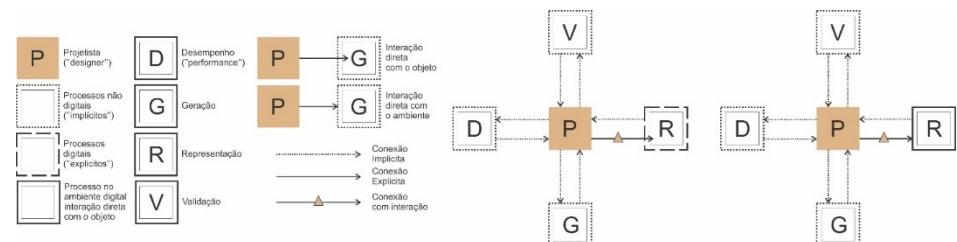


Figura 1. Modelo CAD tradicional em comparação com o modelo de formação, de Oxman (2006), em que o projetista tem uma maior interação com a ferramenta computacional, permitindo e requerendo que compreenda suas etapas e regras de formação. Fonte: Acervo do(s) Autor(es).

Processo de ensino e aprendizagem

Segundo Omena et al. (2023), houve muitas mudanças nos cursos de arquitetura e urbanismo no Brasil devido ao crescimento e à atualização do mercado de trabalho. As principais alterações ocorreram devido à introdução de novas ferramentas computacionais nos escritórios de arquitetura (Menezes, 2000). Essa mudança no processo de projeto, de acordo com Omena et al. (2023), é um quarto período histórico

para as transformações de paradigma na arquitetura, que já passaram, segundo Menezes (2000), pelos métodos perspectivados, descritivos e computacionais.

A crescente utilização de recursos computacionais no mercado de trabalho leva, gradualmente, à introdução do aparato ferramental dessas práticas nos cursos de arquitetura e urbanismo (Omena et al., 2023). Essas transformações devem ser acompanhadas pelo aprimoramento das práticas de ensino e aprendizagem, a fim de permitir que os estudantes compreendam as novas mudanças de paradigma (Omena et al., 2023). Dessa forma, é relevante incentivar experiências acadêmicas relacionadas a temas como: (1) proporcionar ao aluno o contato com um ambiente digital compatível com as boas práticas profissionais; (2) disponibilizar o contato com experiências de projeto colaborativo, ajudando a ampliar o seu repertório; (3) oferecer ao aluno procedimentos metodológicos adequados para a pesquisa de soluções, ao longo do processo de projeto (Omena et al., 2023).

A aplicação de uma didática atual no ensino de projetos visa principalmente qualificar os estudantes para poderem realmente compreender o funcionamento das ferramentas computacionais e, assim, usufruir das diferentes qualidades que podem ser potencializadas no projeto. De acordo com Rezaee et al. (2019), a compreensão e o uso do computador, muitas vezes, não estão relacionados como um instrumento de criatividade, o que indica que pode haver uma lacuna no entendimento e na aplicação. Isso se aplica também ao seu uso como ferramenta de análise, uma vez que, em alguns casos, as simulações computacionais são usadas apenas após o término do projeto, não sendo um instrumento para a tomada de decisão do projetista (Charles; Thomas, 2009).

Assim, com o aumento do uso de recursos computacionais e inteligência artificial no desenvolvimento de projetos, Oxman (2017b) sugere que novas questões podem surgir sobre o impacto da mídia eletrônica na criação de modelos de processo de projeto e na elaboração de processos de projeto. Dessa forma, com o surgimento de métodos de projeto, tende-se a oferecer uma maior variedade e um maior ritmo de evolução, incentivando a criação de paradigmas e de uma nova cultura (Oxman, 2006). Sendo assim, é crucial que o processo de projeto ensinado nas universidades possa acompanhar essas mudanças e capacitar os estudantes para lidar com essas mudanças de paradigma (Omena et al., 2023).

Aplicação do modelo no ensino de arquitetura

Para incentivar a utilização do modelo computacional no processo de projeto dos estudantes, foram feitas alterações na estrutura de uma disciplina já consolidada no curso de urbanismo. A adesão ao processo do modelo foi sugerida aos estudantes, em que todos se familiarizariam e aprenderiam as ferramentas necessárias para a aplicação do modelo, porém o seu uso não seria obrigatório nas entregas finais. Esse experimento ocorreu na disciplina de projeto quatro — P4 — na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), para alunos, na sua grande maioria, que cursavam as disciplinas da 5^a fase — entre o segundo e o terceiro ano de formação —, e tem como objetivo principal o desenvolvimento de um projeto de habitação de interesse social. A aplicação deste método ocorreu no primeiro semestre letivo do ano de 2024. É importante salientar que a instituição enfrentou uma paralisação que durou cerca de 30 dias, o que significou uma significativa redução no contato dos alunos com a disciplina. No entanto, após a paralisação, os dias letivos foram repostos, o que não interferiu no andamento do processo.

Juntamente com a utilização do modelo computacional na elaboração deste projeto, foi abordado outro tópico, a fim de que os alunos envolvidos pudessem empregar táticas de recuperação ambiental e técnicas que fomentem práticas e objetivos sustentáveis. A iniciativa foi motivada pelo fato de que o modelo pode aumentar os resultados favoráveis a esses objetivos e estimular discussões e diálogos sobre o assunto. Considerando que a construção civil é responsável por cerca de 37% das emissões de CO₂ relacionadas à energia (ONU, 2021; Ribeirinho et al., 2020), esses danos podem ser um dos principais responsáveis pelo aumento do aquecimento global (ONU, 2021). Dessa forma, o mercado da construção civil tem incentivado e intensificado as ações para diminuir as emissões de carbono, incentivar o consumo responsável e aumentar as ações a favor do clima, para minimizar as consequências das mudanças climáticas (ONU, 2023). Para alcançar os objetivos globais de desenvolvimento sustentável, foram desenvolvidas novas tecnologias que buscam abordagens que aprimorem o bem-estar de seus habitantes (Dervishaj, 2023). O modelo aplicado na disciplina visa potencializar essas práticas e resultados favoráveis ao clima.

Dessa forma, para aplicar e ensinar esses três conhecimentos — a aprendizagem das prerrogativas das habitações de interesse social, o uso sustentável e

regenerativo da aplicação da arquitetura e o modelo de formação associativa baseado no projeto paramétrico —, a disciplina foi organizada para incentivar essas ações em quatro ciclos, sendo dois voltados para a análise e aprendizagem de ferramentas e dois para a prática da formação do projeto arquitetônico. São eles: (1) ambientação com a temática, escolha e análise do sítio e público-alvo; (2) adaptação com as características do modelo incentivado e aulas para compreender o processo paramétrico; (3) primeira apresentação do partido proposto; e (4) apresentação final da proposta com as correções e modificações sugeridas no ciclo anterior.

Na primeira parte do ciclo inicial da disciplina, os grupos foram divididos de forma que os alunos escolhessem a formação que desejariam, individualmente ou em equipe. Assim, formaram-se 6 possibilidades de aplicação de habitações, entre equipes e indivíduos. Após essa divisão, os estudantes foram orientados a encontrar locais para implementar suas ideias. Esse sítio não se limitava aos limites geográficos do município da universidade, mas poderia ser um local onde os estudantes vissem uma necessidade de aplicação e uma habitação de interesse social, podendo ser construída em um terreno desocupado ou na requalificação de uma construção existente. Ao término deste ciclo, os estudantes deveriam apresentar suas primeiras ideias de espaços e públicos-alvo, com uma primeira identidade da proposta, não necessariamente relacionada a uma arquitetura, mas sim a uma linguagem e com objetivos a serem alcançados.

O segundo ciclo iniciou com uma apresentação dos diferentes modelos computacionais e o que seria feito depois. Em seguida, as ferramentas foram apresentadas para a familiarização. No experimento, usaram-se o Rhinoceros 3D ® versão 7 e licença laboratorial (Mcneel, 2014), o componente de modelagem paramétrica Grasshopper ® (Rutten; Mcneel, 2004) e os componentes de simulação disponíveis pelo plug-in Ladybug ® (Roudsari; Pak, 2013).

O processo de ensino da ferramenta foi orientado para a criação de uma estrutura real, composta por dois blocos euclidianos, uma cobertura orgânica e rasgos para a passagem de luz, que fizesse uma ligação entre as duas primeiras geometrias. Além disso, foram realizadas modificações nos parâmetros criados — tanto para os blocos quanto para a cobertura — e simulações para testar essas alterações e, dessa forma, tomar decisões. Essas ações para o ensino da ferramenta e do seu funcionamento lógico foram organizadas em quatro etapas criadas e aplicadas em

pesquisas que construíram modelos de simulações como Mariano (2018) e Mariano, Pereira e Mallmann (2022), em que foram criados processos paramétricos, seguindo a construção do modelo de formação associativa baseado no projeto paramétrico de Oxman (2006).

Estas quatro etapas são coerentes para o desenvolvimento de métodos e processos que envolvam ferramentas paramétricas aplicadas à arquitetura Mariano (2018); Mariano et al. (2020); Mariano, Pereira e Mallmann (2022) e também testadas semelhantemente em uma aplicação didática em uma disciplina de pós-graduação, descrita no trabalho de Brito et al. (2021). Cada estágio foi desenvolvido para concluir um objetivo singular, sendo: (1) a primeira etapa permite criar construções ou entornos urbanos parametricamente ajustáveis. No caso da aplicação, foram criados dois blocos geométricos euclidianos que simulavam um teatro e um foyer de entrada, além de uma cobertura que os unia; (2) em seguida, são selecionadas características para esta cobertura, tais como curvaturas e rasgos, permitindo uma maior variedade de escolhas; (3) o passo seguinte organiza os domínios numéricos das duas etapas anteriores, incentivando a modificação dos parâmetros desenvolvidos para se testar os possíveis resultados; e (4) a última etapa é a verificação da organização final do processo, bem como a avaliação da resposta física das escórias, realizada via simulações simplificadas de radiação e horas de Sol.

Após familiarização com o modelo, os estudantes voltaram ao processo de construção dos partidos. Essa etapa do ciclo é a que demanda mais tempo, terminando duas semanas antes do término do semestre. Além dos assessoramentos regulares, que dizem respeito a estratégias para a consolidação de aspectos comuns em habitações de interesse social, essa colaboração também era direcionada para possíveis associações do uso do modelo no projeto. Dessa maneira, eram apresentadas regras formais para modelos de implantação e desenho arquitetônico, mas também para dois trabalhos específicos, que continuaram usando ferramentas paramétricas. Os assessoramentos também se concentravam no uso de ferramentas e simulações. Ao final deste ciclo, esperava-se uma apresentação completa do projeto, com sua implantação, materialização, desenhos técnicos e perspectivas. A apresentação visa transmitir informações mais amplas para os alunos, permitindo que possam corrigir erros e melhorar para a consolidação do ciclo final.

O último ciclo tem duas semanas para os alunos corrigirem ou melhorarem os pontos discutidos na apresentação da etapa anterior. A presente apresentação procura final avaliar os alunos, verificando se os objetivos principais da disciplina foram atingidos: criar uma habitação de interesse social que possibilite resolver os problemas de projeto identificados, que o resultado da arquitetura esteja relacionado ao tema a ser resolvido e ao local implementado, e que tenha princípios de regeneração do ambiente natural, como características sustentáveis e retorno ao espaço natural. Nessa oportunidade, também foi possível identificar possíveis resultados e tomar decisões orientadas pelo modelo proposto, bem como compreender como sua aplicação alterou as propostas apresentadas pelos alunos.

Resultados

Ao final dos quatro ciclos, a maioria dos grupos apresentou características que podem ser advindas do uso do modelo de formação de Oxman (2006). Apesar de nem todos terem conseguido aplicá-lo como um instrumento de ferramental, as equipes que adotaram padrões tiveram êxito na aplicação, ainda que de forma analógica. Dos seis grupos, todos participaram das atividades de ensino direcionadas ao modelo, mas apenas quatro equipes atingiram resultados que demonstram a influência do modelo sugerido em seus trabalhos. Das duas equipes restantes, uma — composta por somente um membro — não completou a disciplina devido a problemas pessoais e à paralisação, e outra — formada por uma dupla — não foi possível notar a influência do modelo no processo de projeto nem no resultado. Acredita-se que essa última não quis continuar com o uso do modelo devido a questões pessoais, já que durante os assessoramentos, dúvidas e apresentações, outros colegas demonstraram interesse em compreender a ferramenta, mesmo sem a ter utilizado.

As quatro equipes que utilizaram o modelo em seus trabalhos apresentaram resultados plásticos e de análise variados, com destaque para: (1) simulação antes da elaboração do projeto final, como uma ferramenta de decisão; (2) aplicação de regras para a implantação da arquitetura no terreno; (3) aplicação de regras na construção da arquitetura, seja para a criação de módulos ou organização espacial de blocos; (4) utilização de ferramentas paramétricas para o desenvolvimento de elementos complexos ou para a observação de possíveis mudanças.

A equipe 1, formada por uma aluna, mostrou qualidades do modelo de formação, principalmente na implantação e organização formal da arquitetura. Esses atributos

ficaram mais evidentes nos terceiro e quarto ciclos, quando houve mais assessoramentos direcionados a esses pontos, que, inicialmente, não se atendiam ao problema arquitetônico a ser resolvido. A proposta utilizou uma estrutura já existente que foi reformada e ampliada para atender moradias e espaços voltados à saúde física e mental. Essas qualidades criaram um triângulo estilístico que a aluna quis transmitir ao projeto. Que, por fim, foi simplificada em termos de composição, mas de forma analógica, tanto na criação da sua implantação e acesso, quanto na requalificação dos espaços, criando uma abertura para a passagem de luz natural e varandas que seguiam a forma geométrica de um triângulo. Para a organização do espaço interno, a aluna solicitou que outra equipe ajudasse com simulações de radiação na fachada, para que os usos se posicionassem consoante o possível desconforto de calor. Dessa forma, mostra-se que, mesmo sem usar todas as funcionalidades da ferramenta, a aluna percebe, durante a elaboração do processo de projeto, a relevância do uso dos atributos disponibilizados pelo modelo. A figura 2 apresenta um resumo do resultado obtido.

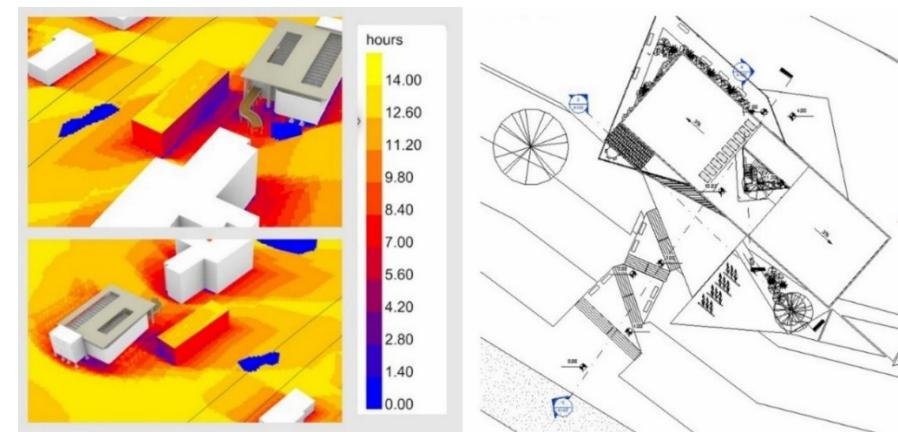


Figura 2. Resultados observados no último ciclo que demonstram o uso do modelo de formação na equipe 1. Fonte: Acervo do(s) Autor(es).

A segunda equipe, composta por três alunas, incorporou as características do modelo, especialmente na implantação e formulação da cobertura do edifício. A criação da implantação, que tinha 4 blocos diferentes e que se organizavam ao longo do

terreno, precisava de regras para decidir sua posição e quantidade. Dessa forma, as ordens simplificadas foram pensadas e organizadas de forma analógica para se ter uma ideia prévia dessa aplicação. No entanto, como eram muitos blocos e uma área exponencialmente maior que as outras, não se exigiu um detalhamento preciso, mas sim uma amostragem dessa organização. A ferramenta computacional foi usada mais para criar a cobertura do projeto e apresentava características semelhantes às apresentadas nos encontros do segundo ciclo. A figura 3 apresenta esses resultados.

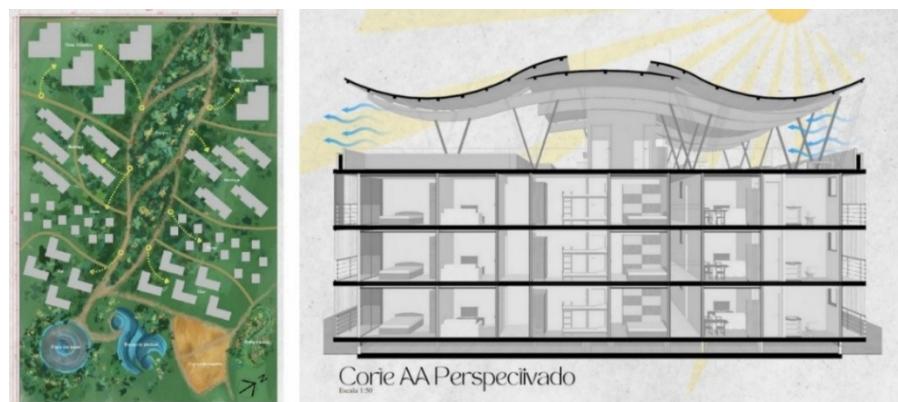


Figura 3. Resultados observados no último ciclo que demonstram o uso do modelo de formação na equipe 2. Fonte: Acervo do(s) Autor(es).

O terceiro trabalho, realizado por um aluno, mostrou as características do modelo na formação da arquitetura, aplicando padrões e regras para compor blocos — moradias, que eram organizadas em diversas composições, fazendo testes analógicos. As diferentes formações demonstram a compreensão do uso da estratégia passada, uma vez que oferecem ao aluno a possibilidade de realizar testes antes da definição da forma final. Procurando compreender o funcionamento das partes, e não apenas do modelo final. Nesse trabalho, o aluno também buscou atributos que ajudassem a regenerar a mata local. Para isso, usou as ferramentas paramétricas para criar simulações do crescimento das árvores e como elas interagiam com o projeto. A figura 4 apresenta os blocos utilizados para a composição, os resultados da programação do crescimento arbóreo e a arquitetura final.

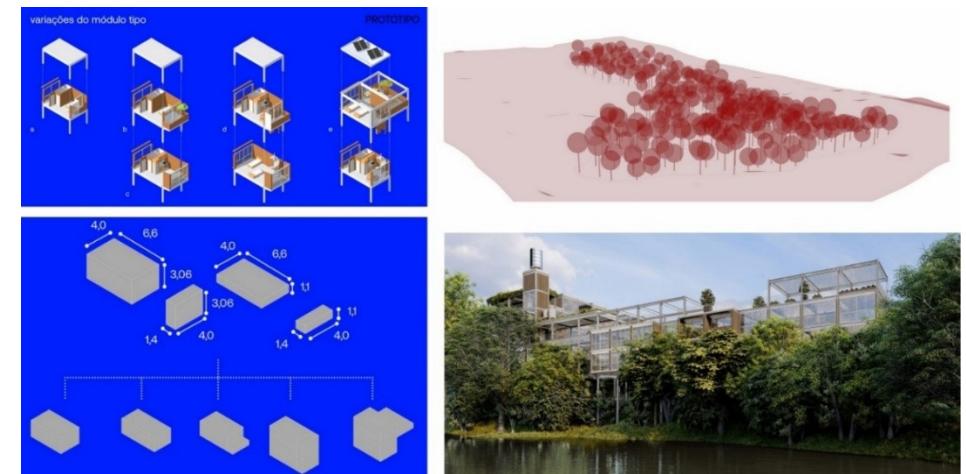


Figura 4. Resultados observados no último ciclo da equipe 3. Fonte: Acervo do(s) Autor(es).

A equipe 4, composta por duas alunas e um aluno, mostrou a maior influência do uso do modelo em seu projeto. Foram identificadas ações como: (1) simulações no terreno para selecionar o melhor local para a implantação; (2) blocos com funções distintas, interligados por rampas, que poderiam ser organizados de diversas maneiras, aumentando a variedade de escolhas do projeto; (3) criaram uma casca parametricamente alterável que fornecia a identidade do projeto; e (4) simularam o bloco final para, dessa forma, orientar a posição das diferentes funções. A equipe, em particular um aluno, demonstrou habilidade para lidar com a ferramenta e compreender a lógica de seu uso. Não somente aplicando essas funções em ambientes de computação, mas também de forma analógica durante a elaboração do projeto. A figura 5 mostra alguns resultados como brises, simulações e blocos que se organizam de acordo com a simulação do terreno.

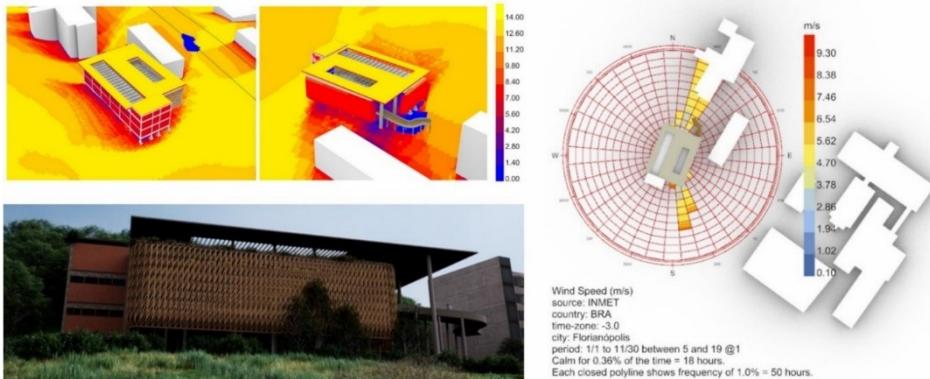


Figura 5. Resultados que forma observados no último ciclo que demonstram o uso do modelo de formação na equipe 4. Fonte: Acervo do(s) Autor(es).

Conclusões e considerações finais

Ao final da apresentação do quarto ciclo e da análise do processo e dos resultados, foi possível notar diversos pontos positivos e desafios para a implementação do modelo de formação de design associativo, baseado no projeto paramétrico. Os pontos positivos incluem: (1) a possibilidade de os estudantes pensarem em uma nova maneira de projetar, utilizando ou não ferramentas computacionais como suporte; (2) a compreensão do uso da criação de regras compostivas no processo de projeto, sem deixar de lado o objetivo final concreto, mas sim incentivando a compreensão das características desejadas no projeto; e (3) compreender tecnologias, muitas vezes negligenciadas, experimentando suas possibilidades de uso e como podem auxiliar na concretização de ideias ponderáveis. No entanto, também foram identificadas características que se mostraram impeditivas para a incorporação de novos métodos no processo de projeto, tais como o receio de lidar com uma interface desconhecida e a falta de conhecimento e experimentação prévia em técnicas de simulação.

A apresentação do modelo foi uma contribuição positiva ao processo de aprendizagem, ao apresentar e explicitar aos estudantes uma nova sequência de ações que podem ser empregadas para moldar o processo de projeto a partir da experiência pessoal de cada um, com autonomia. Isso se deve ao fato de que, ao longo do segundo ciclo, na apresentação da ferramenta para a qual seria aplicado

o modelo de formação, o ensino não se limitou à operação da ferramenta, mas por constituir uma experiência prática, demonstrando, por meio de desenhos e exemplos de aplicação, as potencialidades de seu uso. Este ciclo teve como objetivo experimental, ou seja, testar novas hipóteses, para os alunos imaginarem outras formas de pensar arquitetura, tentando desviá-los de chegar a um objetivo final, o que, às vezes, pode estar presente em suas ideias prévias sem que eles busquem descobrir outros aspectos relevantes da proposta, como o terreno, o bioclima, os aspectos sociais e estruturais. Dessa forma, foi orientado que os participantes buscavam compreender as regras e lógicas subjacentes à construção formal, o que os permitiria expor e testar suas ideias, ao invés de impor uma forma ou organização implícita.

Outro aspecto relevante observado durante a disciplina foi o aumento no número de alunos que buscaram compreender outras ferramentas tecnológicas que poderiam ser benéficas para o resultado proppositivo. As duas equipes que estavam mais envolvidas e tinham maior familiaridade com a ferramenta procuraram aprender a visualizar os seus resultados por meio de um ambiente de realidade virtual. A apresentação do último ciclo incluiu passeios imersivos em seus projetos, auxiliados por óculos de realidade virtual. A impulsão no uso de ferramentas computacionais foi notada desde as primeiras aulas de exploração do modelo, despertando a curiosidade dos alunos, que cresceu, com maior ou menor intensidade, ao longo do semestre. Essa ação, que foi acompanhada ao longo da disciplina, foi positiva, pois o interesse em aplicar as ferramentas e métodos foi discutido para ser incorporado em trabalhos de outras disciplinas, nas quais os estudantes estavam matriculados. Efeito este que pode contribuir para o estudante poder integrar com autonomia os conhecimentos construídos nas diferentes sequências de disciplinas da grade curricular, oferecida na estrutura do curso. Ao final do curso, que tem uma estrutura sequencial e não integradora, o estudante poderá aprender mais técnicas e maneiras de pensar, desenvolvendo qualidades cognitivas com autonomia, permitindo que seu trabalho amplie e explore novas áreas de atuação para além de serviços e atividades comumente requisitados pelo mercado de trabalho em processo acelerado de transformação.

No entanto, também foram notados alguns bloqueios que os alunos enfrentaram ao longo do semestre letivo. Essas dificuldades foram mais evidentes no início do ensino da ferramenta de modelagem paramétrica e nas simulações, pois era algo relativamente novo para sua perspectiva e habilidades cognitivas usualmente trabalhadas, especialmente no que se refere a lógica e raciocínio abstrato. Entretanto, foram reduzidas durante o terceiro ciclo, quando puderam se conectar mais com a lógica do modelo durante o acompanhamento do desenvolvimento do projeto. Essa proximidade é percebida quando os envolvidos conseguem compreender como algumas estratégias podem auxiliá-los de maneira mais direta. Ou seja, permitindo que explorem as ferramentas a partir de suas próprias questões de aprendizagem. Aproximando as soluções em um universo particular, mais semelhante ao que estão planejando ou ao modo como costumam desenvolver seus projetos. Quando são orientados, mesmo com exemplos de arquitetura, como no ciclo 2, para resultados ainda percebidos como muito distantes do objetivo prévio, há uma maior falta de compreensão de como a ferramenta pode ser benéfica. Mas, ao aproximar essa ação das questões formuladas a partir de seus trabalhos particulares, isso se facilita e, consequentemente, desperta o interesse, uma vez que os resultados obtidos fogem dos padrões euclidianos mais comuns e, dessa forma, tornam-se mais coerentes as suas decisões por meio de simulações.

Por fim, caberia ainda destacar, dentre os desafios à familiaridade com as tecnologias computacionais, os aspectos relativos à infraestrutura material de suporte, tanto no que se refere ao acesso a equipamentos, como na disponibilidade de softwares nas instituições públicas de ensino superior, assim como na formação prévia. A qualidade de acesso, apesar de ubíqua, em tese, está diretamente associada ao padrão de consumo individual das tecnologias disponíveis e o ensino público ainda está longe de superar esta desigualdade de base.

Referências

BAUDRILLARD, Jean. **Tela Total**: mito-ironias do virtual e da imagem. 5. ed. Porto Alegre: Meridional, 2011. 159 p.

BAUMANN, Zygmunt. **Modernidade líquida**. Rio de Janeiro: Zahar, 2001. 280 p.

BAUMANN, Zygmunt; DONSKIS, Leonidas. **Cegueira Moral**: a perda da sensibilidade na modernidade líquida. Rio de Janeiro: Zahar, 2021. 264 p.

BRITO, Leonardo de Oliveira et al. **Fenomenologia, projeto paramétrico e prototipagem digital**: relato de um processo de projeto arquitetônico. Projetat: Projeto e Percepção do Ambiente, v. 8, n. 2, p. 156–168, 19 abr. 2021.

CAMPO, Matias del.; CARLSON, Alexandra When Robots Dream: in conversation with Alexandra Carlson. In: LEACH, Neil; CAMPO, Matias del (ed.). **Architecture and Artificial Intelligence**. 3. ed. Oxford: Architectural Design, 2022. p. 47 – 53.

CAMPO, Matias del; LEACH, Neil. Can Machines Hallucinate Architecture? AI as design method. In: CAMPO, Matias del; LEACH, Neil (ed.). **Architecture and Artificial Intelligence**: machine hallucinations. 3. ed. Oxford: Architectural Design, 2022. p. 6-13.

CELANI, Gabriela; SEDREZ, Maycon. **Arquitetura contemporânea e automação**: prática e reflexão. São Paulo: Probooks, 2018. 256 p.

CHARLES, Patrick P.; THOMAS, Charles R.. Building Performance Simulation In Undergraduate Multidisciplinary Education: learning from an architecture and engineering collaboration. In: Eleventh International IBPSA Conference, 11., 2009, Glasgow. **Proceedings of Eleventh International IBPSA Conference**. Glasgow: Building Simulation, 2009. p. 212-219.

Complex Systems. **Science At The Edge Of Chaos**. Helsinki University Of Technology: Heikki Hyötyniemi, 2004.

DERVISHAJ, Arlind. From Sustainability to Regeneration: a digital framework with bim and computational design methods. **Architecture, Structures And Construction**, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 315-336, 13 jul. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s44150-023-00094-9>.

KOVACS, Adam Tamas; SZOBOSZLAI, Mihaly; CSUSZ, Istvan. Key for Entering Industry 4.0 in the AEC Sector: BIM Organisation **Development. Ecaade 37 / Sigradi 23**: Building Information Modelling, v. 1, n. 1, p.275-282, set. 2019.

LEACH, Neil. Architectural Hallucinations: what can ai tell us about the mind of an architect?. In: LEACH, Neil; CAMPO, Matias del (ed.). **Architecture and Artificial Intelligence**. 3. ed. Oxford: Architectural Design, 2022. p. 66-71.

LLACH, Daniel Cardoso. **Builders of the Vision**: software and the imagination of design. Nova Iorque: Routledge, 2015. 241 p.

LOUKISSAS, Yanni Alexander. **Co-Designers**: Cultures of Computer Simulation in Architecture. New Yoork: Routledge, 2012. 204 p.

MARIANO, Pedro Oscar Pizzetti. **Processo de projeto paramétrico de elementos de fachada com características da geometria fractal**. 2018. 189 f. Dissertação (Mestrado) — Curso de Arquitetura e Urbanismo, Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MARIANO, Pedro Oscar Pizzetti et al. Autonomous parametric process for daylight simulation applied to the proposal of a daylighting of buildings performance tool. In: SIGRADI XXIV, 24., 2020, Medellin. Proceedings of V International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics. Medellin: Sigradi, 2020. p. 534-539.

MARIANO, P. O. P.; PEREIRA, A. T. C.; MALLMANN, G. P. Elementos de fachada com características fractais: processo de projeto paramétrico e seu consequente comportamento à luz do dia. Gestão & Tecnologia de Projetos. São Carlos, v17, n2, 2022. <https://doi.org/10.11606/gtp.v17i2.185169>.

MCNEEL, R.; Associates. **Rhinoceros 3D modelling Software**. v. 5. 2014.

MENEZES, A. M. O uso do computador no ensino de desenho nas escolas de arquitetura. In: **IV Congresso da Sociedade Ibero Americano de Gráfica Digital – SIGRADI. Anais**. Rio de Janeiro: SIGRADI, 2000.

MORALES, I. de S. Differences: **Topographies of Contemporary Architecture**. Cambridge: MIT Press, 1997.

OMENA, Thiago Henrique et al. A dialética entre criação arquitetônica e desenho paramétrico: experiências didáticas. **Peer Review**, [S.L.], v. 5, n. 8, p. 235-249, 14 maio 2023. Uniao Atlantica de Pesquisadores. <http://dx.doi.org/10.53660/438.prw1104b>.

ONU (org.). 2021 **Global Status Report For Buildings And Construction**: towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. [S.I]: United Nations Environment Programme, 2021. 105 p.

ONU (org.). **Progress on the Sustainable Development Goals**: the gender snapshot. [S.I]: ONU - Departemet of Economic and Social Affairs, 2023. 36 p.

OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 229-265, maio 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>.

OXMAN, Rivka. Performance-Based Design: current practices and research issues. **International Journal Of Architectural Computing**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-17, jan. 2008. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1260/147807708784640090>.

OXMAN, Rivka. The Role of the Image in Digital Design Processing the Image Versus Imaging the Process. In: BHATT, Mehl; SCHULTZ, Carl. People-Centered Visuospatial Cognition. **Next-Generation Architectural Design Systems and Their Role in Conception, Computing, and Communication**. [S.L.]: Springer-Verlag, 2017. p. 1-2. 10.1007/978-3-319-56466-1_6. a.

OXMAN, Rivka. Thinking difference: theories and models of parametric design thinking. **Design Studies**, [S.L.], v. 52, n. 1, p. 4-39, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001>.

REZAEE, Roya et al. Constructing and Exploring Building Configurations Based on Design and Multi Performance Criteria. In: **International Building Performance Simulation Association**, 16., 2019, Roma. Proceedings of the 16th IBPSA Conference. [S.L.]: Ibpsa, 2019. p. 2290-2297.

RIBEIRINHO, Maria João et al (org.). **The next normal in construction**: how disruption is reshaping the worlds largest ecosystem. [S.I]: McKinsey & Company, 2020.

ROUDSARI, Mostapha Sadeghipour; PAK, Michelle. Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. In: **Proceedings of the 13th International IBPSA 2013 Conference Held in Lyon, France**, 2013.

RUMIEZ, Agnieszka. Fractal Architecture. **Architecture And Urban Planning**, [s.l.], v. 8, p.45-49, 19 dez. 2013. Riga Technical University. <http://dx.doi.org/10.7250/aup.2013.019>.

SETH, Anil. **Being You**: a new science of consciousness. Faber & Faber, 2021. 385 p.

STANGL, B. (2013). **How Digital Tools Shape the Way Architects Think**: the digital design process in architecture. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Technische Universität Wien Für Architektur Und Raumplanung, Viena.

VENTURI, Robert. **Complexity and Contradiction in Architecture**. Nova Iorque: The Museum Of Modern Art Papers On Architecture, 1977. 133 p.