

Processo de projeto performativo para edificações energeticamente eficientes

Proceso de diseño performativo para edificios energéticamente eficientes

Sessão Temática: ST01. O processo de projeto

SOUTO, Ana Elisa; Doutora; Universidade Federal de Santa Maria
anaearq@gmail.com

Resumo

A educação do arquiteto enfrenta vários desafios frente as demandas contemporâneas. As universidades precisam centrar-se na qualificação dos processos de projeto e nas metodologias de ensino. O impacto educacional gerado pelo uso de tecnologias digitais na concepção arquitetônica será cada vez maior. O trabalho reflete sobre a necessidade de proposição de metodologias que visam o desenvolvimento de edifícios com alto desempenho aplicadas nas etapas iniciais de concepção. Durante o exercício projetual é necessário avaliar diferentes alternativas e combinações de parâmetros, priorizando alguns em detrimento de outros. As ferramentas de análise aliadas a modelos paramétricos introduzidas no ateliê geram e avaliam várias alternativas. O que resulta em projetos cuja configuração emergem da resposta aos condicionantes. O aporte teórico realizado é fundamental para compreender e refletir sobre a prática do projeto performativo e as possíveis formulações metodológicas de ensino.

Palavras-chave (3 palavras): processo de projeto arquitetônico, desempenho, metodologia de ensino.

Abstract

Architect education faces several challenges facing contemporary demands. Universities need to focus on qualifying design processes and teaching methodologies. The educational impact generated by the use of digital technologies in architectural design will be increasing. The work reflects on the need to propose methodologies that aim at the development of buildings with high performance applied in the initial stages of conception. During the design exercise, it is necessary to evaluate different alternatives and combinations of parameters, prioritizing some over others. The analysis tools combined with parametric models introduced in the studio generate and evaluate several alternatives. This results in projects whose configuration

emerge from the response to constraints. The theoretical contribution made is essential to understand and reflect on the practice of the performative project and the possible methodological formulations of teaching.

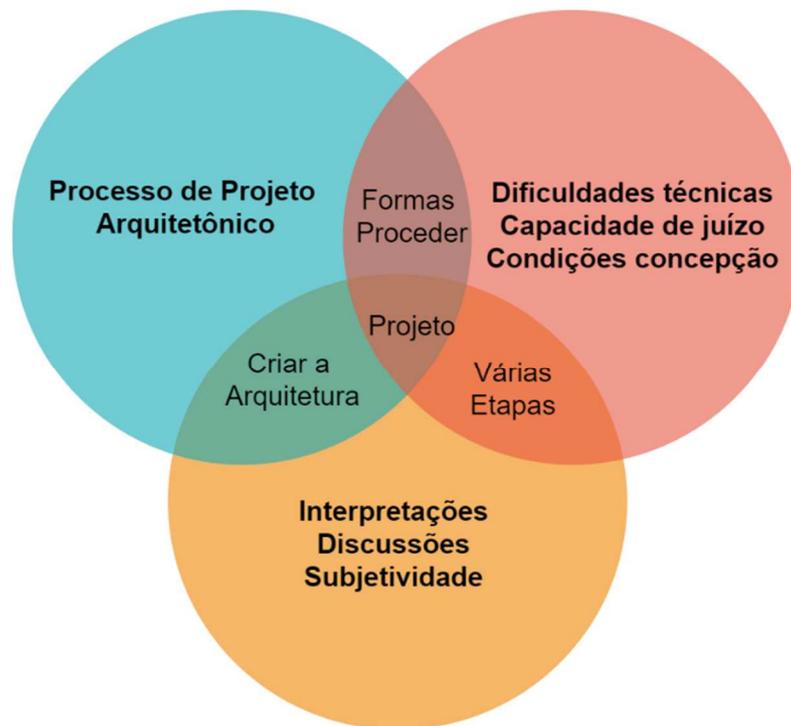
Keywords: architectural design process, performance, teaching methodology.

1. Introdução

A arquitetura é um fenômeno complexo e contraditório. É complexo porque envolve uma verdadeira infinidade de fatores intervenientes: fatores culturais, econômicos, técnicos, ambientais, programáticos, condicionantes físicos etc. É contraditório porque um mesmo fator pode significar coisas diametralmente opostas, dependendo do contexto em que se verifique. O que é verdade em uma situação poderá não ser em outra. Como qualquer fenômeno complexo, a arquitetura admite ser estudada segundo inúmeros ângulos e, portanto, oferece diversas faces ao observador (SILVA,1983).

O projeto arquitetônico é uma ferramenta para criar a arquitetura e pode ser entendido como um processo. Por processo entendem-se as formas de proceder do arquiteto que além de enfrentar as condições e dificuldades técnicas próprias do trabalho a ser desenvolvido, põe em jogo suas capacidades específicas de juízo e concepção (LEMOS,2007). Para Quintanilha (2013), os processos de concepção de um projeto envolvem diversas etapas que nem sempre são claras, pois são cercadas de interpretações, discussões e subjetividade. Ao arquiteto não cabe apenas investigar ou interpretar a realidade, mas de projetá-la e construí-la. Segundo Piñón (2006), o projeto condensa em cada caso de um modo diverso, porém preciso a ideia de arquitetura com que atua o autor, ao mesmo tempo em que intensifica os valores em que tal ideia se baseia.

Figura 1: Diagrama processo de projeto arquitetônico tradicional.

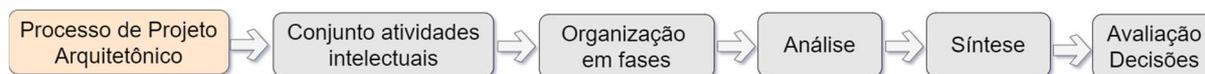


Fonte: desenvolvido pela autora,2022.

Píñón (2006), declara que o processo projetual consiste em uma série de fases sucessivas em que a passagem de uma à seguinte se apoia em um juízo estético subjetivo realizado sobre a primeira, de modo que o itinerário depende da estratégia a que os sucessivos juízos dão lugar. O processo projetual varia em função da natureza do problema de projeto, do perfil do projetista e das necessidades do cliente, entre outros fatores (Figura 1). Pode empregar métodos mais explícitos e sistemáticos ou subjetivos e pouco sistemáticos (ANDRADE; RUSCHEL; MOREIRA, 2011).

De acordo com Lawson (2011), pode-se considerar o processo projetivo como um conjunto de atividades intelectuais básicas organizadas em fases de características e resultados distintos. Essas atividades são análise, síntese, previsão, avaliação e decisão (Figura 2). A análise se constitui como a tarefa pela qual é decomposto o problema arquitetônico. É na análise que também são definidas as metas, os objetivos, critérios de desempenho e restrições relativas ao cliente e ao lugar. A síntese relaciona-se à fase de concepção e criação, onde se apresentam um conjunto de soluções que possam atender as problemáticas definidas pela análise. (ANDRADE; RUSCHEL; MOREIRA,2011). De acordo com Kalay (2004), a síntese é constituída de etapas que vão desde a geração da geometria, escolha dos materiais, iluminação até a conformação do edifício como um todo. No que diz respeito à etapa de avaliação, pode-se afirmar que seu objetivo visa garantir a escolha de uma solução que seja mais adequada para o problema. Para tal, é necessário detectar as falhas do processo antes de sua produção, a fim de evitar que as alterações se tornem onerosas para o projetista.

Figura 2: Fases do processo de projeto arquitetônico.



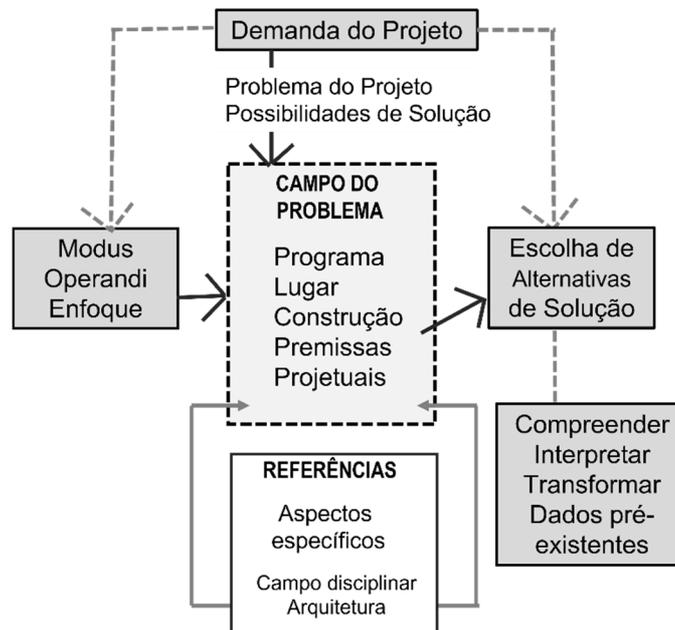
Fonte: desenvolvido pela autora, 2022.

Na prática algumas atividades podem ser realizadas através da intuição, subjetividade e outras através de padrões e normas. O ponto de partida de um processo projetual varia conforme as características e as configurações do problema. Deste modo, a sequência de atividades desenvolvidas deve permitir uma flexibilidade e interações em ciclos para se obter resultados e soluções mais satisfatórias. Embora as metodologias variem muito considera-se que as etapas de análise, síntese e avaliação são fundamentais e comuns em quaisquer processos de projeto em arquitetura (LAWSON, 2011). O campo projetual também possui conhecimento universal e normalizado com padronizações, conhecimentos específicos que devem ser aplicados e relacionados em cada caso. Assim sendo, todo o problema é único e, portanto, cada solução está baseada em um conjunto de diferentes critérios (KOWALTOWSKI et. al., 2006).

O entendimento das palavras-chaves que são: arquitetura, projeto arquitetônico, metodologia de ensino em projeto são fundamentais para a relação entre estas, e de que forma, elas interagem na prática docente, profissional e no ensino de arquitetura. O conceito dado pelo arquiteto Lúcio Costa vem a ser um dos mais pertinentes ao que se entende por Arquitetura. Segundo Costa (1995), a arquitetura deve ser entendida como construção concebida com a intenção de ordenar e organizar plasticamente o espaço, em função de uma determinada época, de um determinado meio, de uma determinada técnica e programa. Esta compreensão de observar a época, o meio, a técnica e o programa são fundamentais, pois são determinantes projetuais que dialogam diretamente com o produto deste processo, a edificação é resultante da interlocução destas variantes.

A proposta projetual se submete à verificação tanto do programa como das condições do lugar; dessa confrontação surgem as modificações que podem afetar tanto o modo de estruturar a atividade como a incidência no sítio e o desempenho da obra. Sob a mesma perspectiva, Maciel (2003) afirma que a realização de um projeto de arquitetura como qualquer outro trabalho tem premissas que lhe são próprias: há um programa a ser atendido, há um lugar em que se implanta o edifício e existe um modo de construir determinado. Para Mahfuz (2004), o arquiteto deve compreender, interpretar e transformar os dados pré-existentes do problema arquitetônico, que se constituem em fundamento para seu trabalho (Figura 3).

Figura 3: Aspectos gerais do processo de projeto arquitetônico.



Fonte: desenvolvido pela autora,2022.

Esta abordagem não determina um procedimento lógico e racional que concatenaria numa sequência de resultados obtidos cientificamente a partir da observação dos condicionantes. No processo de projeto a compreensão e interpretação de cada aspecto colocado como premissa exige por parte do arquiteto a tomada de sucessivas decisões. Cada uma dessas decisões é um ato racional e operado a partir do conhecimento específico do problema, relativizado pela experiência vivida do arquiteto e pelo momento em que realiza o projeto (SOUTO,2021).

Celani (2012), reitera que além dos fatores contextuais, o projeto arquitetônico deve incluir características consideradas como boas condutas em arquitetura, como o conforto ambiental, o desempenho energético, a sustentabilidade e a responsabilidade econômica. Na maioria dos casos, a otimização simultânea de todas essas variáveis é praticamente impossível, sendo necessário encontrar o melhor equilíbrio entre elas por meio da priorização de determinados fatores. Martino (2015), diz que projeto arquitetônico não possui soluções únicas e definitivas, mas apenas soluções satisfatórias. Desta forma, o exercício projetual constitui-se em um exercício de análise multicritério, em que é necessário avaliar diferentes alternativas e combinações de parâmetros, priorizando alguns deles em detrimento de outros.

A diversidade de meios para se conceber um edifício conduz, portanto, a procedimentos que podem ter um caráter mais subjetivo ou racional, tendo em vista que não existem métodos rígidos ou universais no processo de criação (KOWALTOWSKI et. al.,2006). A metodologia do projeto deve ser encarada como um procedimento organizado para transportar o processo de criação a certo resultado, procura racionalizar as atividades criativas e apoiar o projetista e ou estudante para a resolução de problemas cada vez mais complexos, uma vez que a

tomada de decisão significa escolher um curso de ação entre muitas possibilidades (SOUTO,2021). Segundo SCHÖN (2000), o profissional experimenta e repensa seu processo de conhecer-se na ação de modo a levantar novas questões e possibilidades a partir do problema de projeto. Assim do mesmo modo que reestrutura a forma de conceber o problema, inventa experimentos para testar sua compreensão, situação em que as ferramentas digitais podem assumir um papel fundamental.

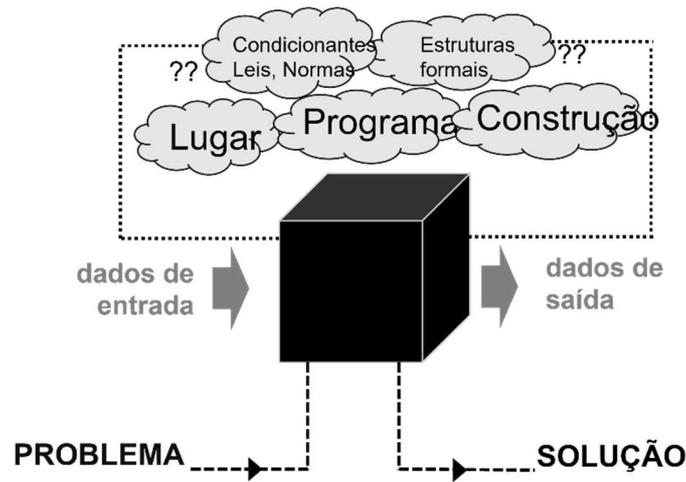
Durante a realização do projeto, o aluno deve ser capaz de realizar pelo menos três ações cognitivas: o reconhecimento do problema, a reestruturação do problema e a manipulação para a solução dos problemas. Nesse sentido o estudante deve ser preparado para abordar novas questões como também ser habilitado a respondê-las, tanto em relação aos aspectos estéticos e funcionais, técnico construtivos como também relacionados ao desempenho dos edifícios (MARTINO,2015). Para Goel (1995), na solução de problemas, desenvolvemos nossa capacidade de reconhecer em um conjunto de soluções insatisfatórias e transformá-las em soluções satisfatórias. Assim, a reflexão na ação é um tipo de experimentação que poderá contribuir para que o aluno adquira novas compreensões e descobertas durante o processo de projeto, a partir de situações de incertezas e dúvidas.

Até a década de 1960, os processos projetuais buscavam resolver os problemas de projeto através de procedimentos heurísticos (CELANI,2012; MARTINO, 2015). Esses processos não deixavam evidentes os procedimentos adotados na solução dos problemas. Para Martino (2015), o processo heurístico consiste em aplicar um procedimento que garanta uma solução razoável para o problema sem necessariamente obter sua otimização. Via-se a clara necessidade de uma sistematização que permitisse compreender melhor os processos mentais adotados pelos arquitetos e a possibilidade de realizar análises em cada fase do processo, o que possibilitaria exercer um maior controle sobre o processo projetual e identificar as possíveis incongruências (JONES,1992).

A partir de um contexto embasado no desenvolvimento tecnológico com ênfase na manipulação e gerenciamento de informações, percebe-se a clara influência nas discussões sobre a sistematização dos processos mentais adotados pelos projetistas. Assim, o pensamento deveria ser externado e inteiramente explicado através de uma estruturação lógica do processo. Sendo definido previamente os objetivos, as variáveis e os critérios de avaliação (JONES,1992).

O modelo tradicional de concepção projetual, denominado por Bryan Lawson (1980), Amaral (2007), Biselli (2011), dentre outros autores por caixa preta, modelo tradicional baseado em conhecimentos implícitos, no qual o processo de geração e avaliação não são formalizados ou explícitos, está associado ao mito do gênio criativo do arquiteto (Figura 4). Neste processo, a estrutura interna do fazer projetual é desconhecida e não analisada, sendo avaliados somente os estímulos de entrada e a resposta de saída (JONES,1992).

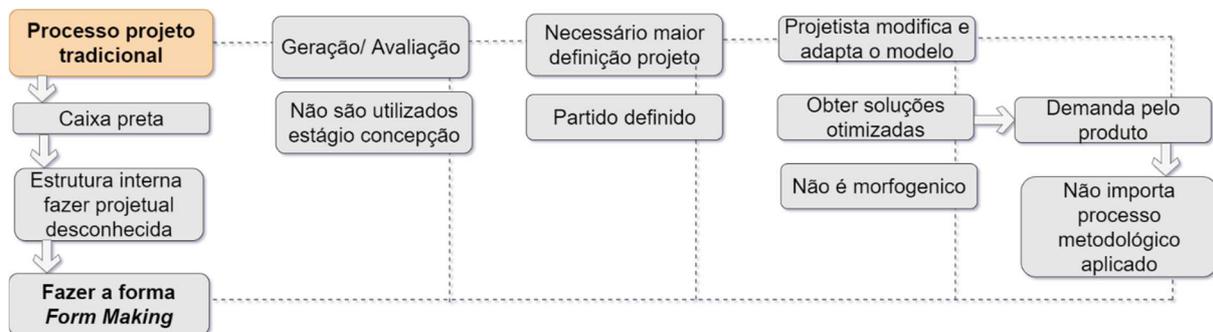
Figura 4: Modelo de processo de projeto Caixa Preta.



Fonte: desenvolvido pela autora,2022, adaptado de Martino,2015,p.74.

Para Lawson (1980), o modelo tradicional da caixa preta, vai ao encontro da demanda pelo produto, não importando o processo metodológico aplicado (Figura 5). E em oposição ao processo projetual da caixa preta, o autor defendia que o processo de projeto deveria ser uma caixa de vidro, a qual expõe claramente todo o método. Na caixa de vidro, os objetivos, as variáveis e os critérios são fixados com antecedência e a avaliação segue uma estrutura lógica, permitindo justificar todas as tomadas de decisões.

Figura 5: Processo de projeto *Form making*.



Fonte: desenvolvido pela autora,2022.

Schön (2000) ressalta que para muitos estudantes de Arquitetura o processo de projeto é bastante confuso, e que muitos consideram misteriosa a experiência do ateliê. Existe uma necessidade de abordagens mais sistemáticas, a fim de estabelecer procedimentos que possam caracterizar o método de projeto e facilitar o ensino e a aprendizagem em sala de aula. Neste sentido, apresentar procedimentos metodológicos claros e objetivos contribui para a organização do pensamento do estudante e o entendimento na busca de soluções para os problemas de projeto. Desse modo, as metodologias de projeto se caracterizam, portanto,

como processos organizados para comunicar a tarefa de criação em etapas racionais que auxiliam o projetista no enfrentamento de problemas mais complexos, ao mesmo tempo que se obtém resultados mais precisos (KOWALTOWSKI et. al.,2006). Para Martino (2015), é possível detectar minimamente a lógica intrínseca por traz do fenômeno projetivo, de forma a auxiliar na compreensão dos modelos mentais de projetos, os quais, com o auxílio da tecnologia têm desenvolvido novos conceitos e formulações.

Celani et al. (2017), declaram que mesmo diante da popularização das novas tecnologias, sua inserção no ensino de arquitetura no Brasil ainda se dá de maneira pulverizada, por meio de disciplinas que vão sendo adicionadas ao currículo de maneira isolada e com foco no ensino de software. Nem sempre ocorre uma real integração com o ensino de projeto. Mas a experiência em algumas escolas no exterior e no Brasil, tem demonstrado a viabilidade desse processo de projeto, com resultados que surpreendem pela sua qualidade conceitual, técnica e plástica.

Nos métodos contemporâneos de projeto os processos computacionais são utilizados como ferramenta generativa e não apenas para a representação. Esses processos se caracterizam por um intenso uso de recursos de avaliação de desempenho. Nessa nova maneira de projetar há uma grande ênfase no processo, e isso se reflete também no ensino de projeto (OXMAN,2008; OXMAN,2012). A utilização de *scripts*, algoritmos e ferramentas paramétricas são indispensáveis para essa abordagem (SEDREZ; CELANI,2014). Durante seu desenvolvimento, a forma vai sendo reconfigurada e testada, buscando atender aos requisitos ambientais, estruturais etc. A forma emerge de um processo de procura pelo desempenho ótimo, tal como definido por Oxman (2008).

Ao introduzirmos as ferramentas de análise simplificada aliadas a modelos paramétricos no ateliê de projeto, é possível gerar e avaliar rapidamente inúmeras alternativas. Isso resulta em projetos mais adequados, cuja configuração emerge, efetivamente, da resposta aos condicionantes ambientais e às demandas intrínsecas ao problema de projeto (Figura 6). Para Celani e Sedrez (2014), a consequência da integração de mídias digitais no processo de projeto é a liberdade com relação a definição da forma. A forma pode ser facilmente alterada por meio da manipulação dos parâmetros, e cada alternativa pode ser facilmente testada atendendo as demandas ambientais, ergonômicas ou estruturais (MEREDITH,2008).

Figura 6: Ferramentas de análise e o *Form Finding*.



Fonte: desenvolvido pela autora, 2022.

A agilidade em alterar e comparar diferentes configurações entre si é extremamente desejável no processo de projeto. Na busca por diferentes soluções, o estudante de arquitetura pode optar por aquela considerada mais apropriada diante dos propósitos do projeto. Todavia, não se trata de buscar a forma mais inovadora, mas sim, a que melhor atende às questões técnicas e os requisitos propostos pelo problema de projeto. O método de processo de projeto convencional (caixa preta) onde a forma arquitetônica emerge unicamente através da capacidade criativa do arquiteto é substituído por um método com maior embasamento, os parâmetros definidos pelas necessidades do projeto irão compor a lógica capaz de gerar as inúmeras possibilidades capazes de resolver as questões. Cabe ao arquiteto, com o uso da sua capacidade criativa, conhecimento teórico, técnico e senso crítico determinar a opção mais pertinente e eficiente em cada situação.

O trabalho reflete sobre o processo de projeto performativo e o ensino de arquitetura e pondera sobre a importância de proporcionar ainda no estágio inicial de concepção um aporte para o desenvolvimento de edificações energeticamente eficientes introduzindo aspectos das didáticas contemporâneas de projeto e buscando compreender como realizar a inclusão de novas tecnologias no processo de projeto unindo a teoria e a prática.

2. Observações sobre o processo de projeto arquitetônico e a ruptura de alguns paradigmas

A partir dos anos 1960, a prática arquitetônica começou a sofrer grandes mudanças, que vêm se propagando até hoje. Essas alterações, envolvem a introdução de novas metodologias e

tecnologias que se desencadearam a partir da tentativa de responder às demandas surgidas após a Segunda Guerra Mundial: maior complexidade dos programas arquitetônicos, que passaram a exigir a participação de equipes multidisciplinares, necessidade de aceleração no processo de projeto, industrialização da construção, exigências ambientais entre outras (SEDREZ; CELANI,2014).

Desde a crise do petróleo, ocorrida em 1970, a eficiência energética tem sido um fator preponderante para a redução do consumo de energia em todo o mundo. No entanto, a expansão dos centros urbanos e a crescente demanda por novas edificações tem colocado o setor da construção civil nas últimas décadas como o maior consumidor de energia elétrica a nível mundial. Sua representatividade beira cerca de 31% do total dos gastos com uma taxa de crescimento de 0,9% ao ano no cenário projetado para 2040 (INTERNACIONAL...2019). Em função disso, pode-se inferir que uma melhoria qualitativa na eficiência das edificações é um dos meios mais eficazes para a redução do consumo da energia elétrica.

Na década de 1970, a crise de energia e as questões relativas à sustentabilidade atingiam a agenda da arquitetura e urbanismo internacionais trazendo novos paradigmas com reflexos no Brasil nos anos 1980 e 1990. Leone e Florio (2021), afirmam que a concepção arquitetônica está intimamente ligada às condições climáticas, exigindo que as estratégias de projeto contribuam para o melhor desempenho da edificação, e viabilizem maior conforto aos usuários. Os procedimentos de avaliação, essenciais para a sequência de decisões dentro do processo de projeto, adquiriram uma importância singular com a adesão do computador, pois possibilitaram maior precisão e segurança na verificação dos requisitos de desempenho.

Vivemos na era digital e as inovações tecnológicas não param de surgir, e nossa sociedade aos poucos de torna mais permeável e sensível aos novos tempos. Nesse cenário, os novos modelos digitais incidem de forma cada vez mais efetiva sobre nossas vidas. Na prática projetual e conseqüentemente, da criação ao produto começam a provocar alterações nas metodologias utilizadas tanto na práxis quanto no ensino de projeto (LIMA; SOUSA; ROMCY,2015).

Na construção civil, a digitalização dos processos penetrou no cerne da prática projetual, com a mediação de informações e a criação de ferramentas, de modo que foi possível o desenvolvimento de novas metodologias. O projeto digital causa impactos não apenas por conta do desempenho ou do conteúdo formal, mas sim também pela estrutura única de teorias projetuais e conteúdos arquitetônicos. Segundo Oxman (2006), o projeto digital se refere as práticas de projeto apoiadas em novas tecnologias, que trazem especificidade em suas metodologias, formas de interação projetual e conteúdo formal. O arquiteto contemporâneo se posiciona como um articulador de informações e processos e esse modo de pensar requer novas bases epistemológicas, ruptura de paradigmas de projeto e novos métodos de ensino. Segundo Nardelli (2007), além do instrumental, a arquitetura digital corresponde a um grande salto paradigmático a partir de uma alteração epistemológica, que impõe uma revisão

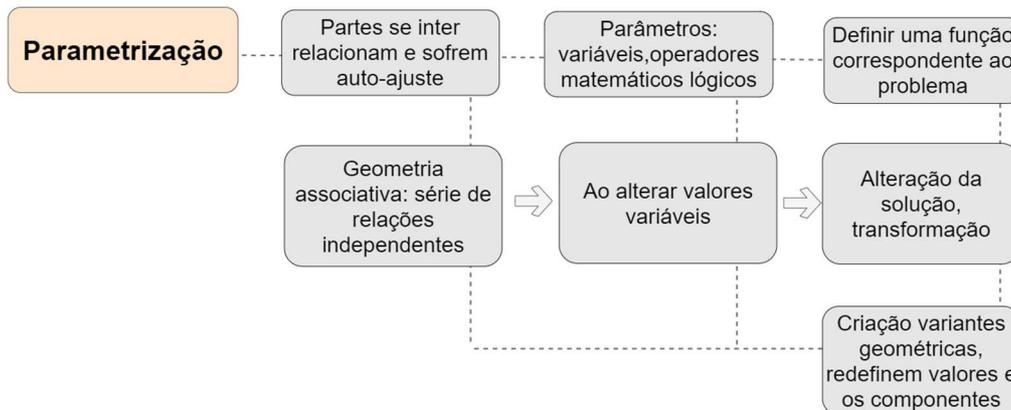
conceitual, mais do que o adestramento em novas técnicas. A forma como essa tecnologia passou a ser utilizada é que gera uma mudança de paradigma.

Para Oxman (2006), uma das questões centrais quando se trata da prática do projeto digital é que, de fato, é um fenômeno único e se configura como uma nova forma de projetar, não apenas a realização de procedimentos com o auxílio de novas mídias. São modificadas a interação entre homem e o projeto, porém, as competências humanas ainda são extremamente necessárias para as decisões e os critérios técnicos. Alguns autores afirmam que a eficiência dos aparatos tecnológicos tem contribuído para a mudança do processo criativo, para a elaboração da forma arquitetônica e a realização das avaliações de desempenho (KOLAREVIC, 2003; MEREDITH, 2008; MARTINO, 2015; CELANI et al., 2017).

A primeira década do século XXI, presenciou uma efetiva transformação em tecnologia do projeto de arquitetura aplicada ao processo criativo de maneira acessível a profissionais liberais e estudantes e não apenas restrita aos grandes escritórios de arquitetura. Para OXMAN (2017), o uso do parametrismo desponta como uma das soluções na geração da forma que apresenta as respostas mais eficazes para os problemas de concepção projetual, na medida em que, por meio dessa técnica os limites da criatividade e possibilidades formais não são somente ampliados, como também passíveis de serem concretizados.

Para Leone e Florio (2021), o relacionamento histórico entre a arquitetura e seus meios de produção estão sendo alterados pelos novos processos controlados digitalmente, tanto na prática de projetos quanto na construção. A modelagem paramétrica abre um novo campo de experimentações, onde pode-se testar e investigar mais profundamente as formas sob diversos enfoques e perspectivas. Além de permitir a geração de alternativas de projeto, auxilia nas decisões a partir das análises comparativas entre as várias opções geradas de projeto (Figura 7).

Figura 7: Processo projeto paramétrico.



Fonte: desenvolvido pela autora, 2022.

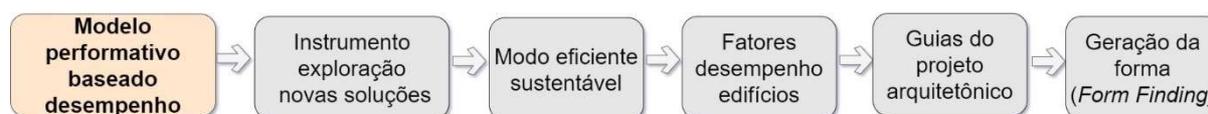
Arquitetos e pesquisadores na atualidade, como Schumacher (2009), Scheurer (2010), Burry (2005), Carpo (2011), Celani et al., (2017), Leone e Florio (2021), entre outros, têm destacado alterações significativas na prática projetual da arquitetura contemporânea, com propostas de edifícios com geometrias cada vez mais complexas decorrentes, sobretudo da aplicação de tecnologias digitais no processo de projeto. Para Kolarevic (2003), a revolução digital faz emergir uma nova arquitetura, ao encontrar sua expressão em formas curvilíneas de alta complexidade. Com o aumento da complexidade dos edifícios na atualidade, as técnicas de modelagem tradicionais CAD, embora fundamentais tornaram-se insuficientes para atender às novas demandas de precisão e rapidez no ciclo de vida dos edifícios. Diante deste cenário novas técnicas de modelagem avançada devem ser incorporadas como a modelagem paramétrica (FLORIO, 2009).

Apenas o ensino tutorial de ferramentas não é suficiente para uma aprendizagem paramétrica em todo o seu potencial, sendo necessário vislumbrar um percurso didático que inclua tanto uma mudança de olhar sobre o objeto projetado quanto a própria atividade projetual (RONCY; TINOCO; CARDOSO, 2015). Para Florio (2011), a maior alteração do projeto auxiliado por computador CAD tradicional para a modelagem paramétrica é a possibilidade de interação entre usuário e o modelo. Ressalta-se, porém que a capacidade para a geração de novos modelos é altamente dependente das habilidades perceptivas e cognitivas do projetista através de processos dinâmicos de interpretação e manipulação do modelo digital. Carpo (2011), declara que a era digital permitiu variabilidade das formas, na qual a diferenciação é programada e torna-se parte de um projeto automatizado. Picon (2010), aborda o conceito de *versioning*, isto é, a criação de diferentes versões de uma mesma ideia, por meio da manipulação de parâmetros. A repercussão automática das mudanças por todo o modelo, assim como as alternativas a serem geradas dependerão das restrições impostas pelo projetista, cabendo a ele explorar as alternativas e julgar qual a mais viável dentro do problema projetual. Cada problema pode apresentar uma infinidade de soluções adequadas, porém diferentes entre si.

O profissional contemporâneo deve saber lidar com os equipamentos e ferramentas digitais de que dispomos e, ao mesmo tempo, ser capaz de coordenar o fluxo de toda essa informação. Um profissional com ampla formação multidisciplinar que tem caracterizado os arquitetos desde os tempos remotos acrescido agora de uma sólida formação em tecnologia digital.

Martino (2015), declara que uma importante questão considerada no desenvolvimento de projetos tem sido o desempenho. Neste sentido, o termo costuma ser associado a eficiência a ser alcançada por determinado quesito (Figura 8). Contudo, o modo como o desempenho é compreendido na arquitetura é comumente contraditório e associa-se a temas distintos (KOLAREVIC,2005). Um ponto de convergência, que permite sua caracterização, é determiná-lo por meio de uma avaliação que considere a forma ou outros atributos físicos do modelo (KALAY,2004). O interesse atual no desempenho do edifício como elemento de projeto deve-se, em suma, ao surgimento da sustentabilidade como uma importante questão atrelada aos aspectos socioeconômicos, tecnológicos e culturais (KOLAREVIC,2003).

Figura 8: Processo projeto baseado no desempenho.



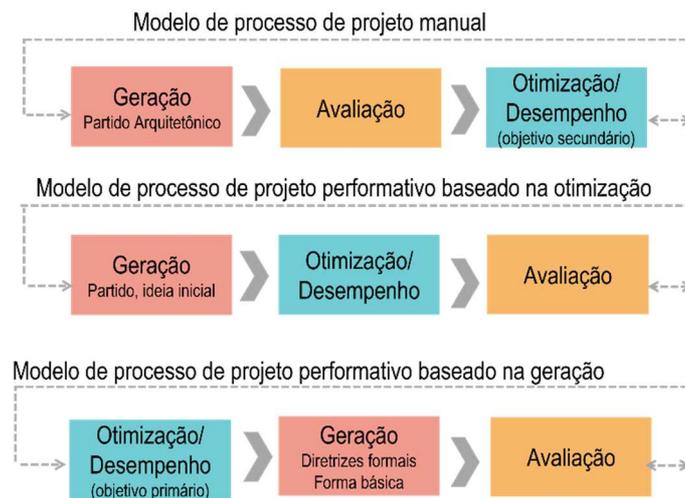
Fonte: desenvolvido pela autora,2022.

Para Martino (2015), é necessário ressaltar que o projeto baseado no desempenho não deve ser visto apenas como uma maneira de enfrentar problemas práticos, mas também de conciliar objetivos que, em geral, são conflitantes de forma criativa e eficaz. Diante deste cenário, foi adotado o termo performativo para descrever projetos que suportam a transformação e geração de modelos geométricos e auxiliam na avaliação analítica do desempenho com base em simulações de condições físicas como insolação, carga térmica, consumo de energia, entre outros (OXMAN,2008). Sendo assim, a morfogênese performativa em sua perspectiva teórica conduz a transição do paradigma de projeto do ato de “fazer a forma” para “encontrar a forma” (*form finding*) (SCHODEK et al.,2004).

Martino (2015), declara que uma importante questão considerada no desenvolvimento de projetos tem sido o desempenho. Neste sentido, o termo costuma ser associado a eficiência a ser alcançada por determinado quesito. Contudo, o modo como o desempenho é compreendido na arquitetura é comumente contraditório e associa-se a temas distintos (KOLAREVIC,2005). Um ponto de convergência, que permite sua caracterização, é determiná-lo por meio de uma avaliação que considere a forma ou outros atributos físicos do modelo (KALAY,2004). O interesse atual no desempenho do edifício como elemento de

projeto deve-se, em suma, ao surgimento da sustentabilidade como uma importante questão atrelada aos aspectos socioeconômicos, tecnológicos e culturais (KOLAREVIC,2003).

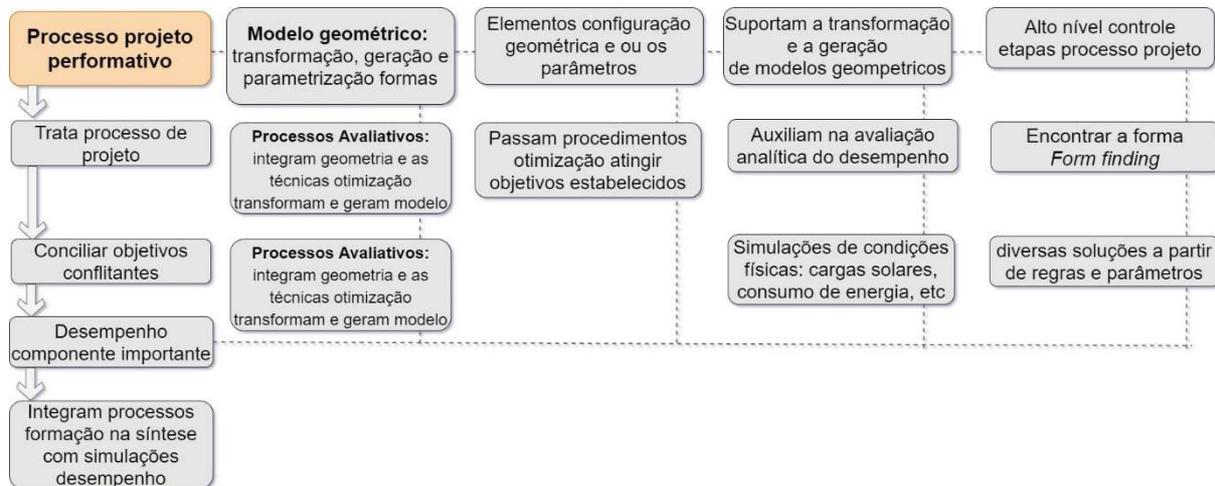
Figura 9: Comparação entre os processos projetuais.



Fonte: desenvolvido pela autora, adaptado de Andrade;Ruschel,2012.

Para Martino (2015), é necessário ressaltar que o projeto baseado no desempenho não deve ser visto apenas como uma maneira de enfrentar problemas práticos, mas também de conciliar objetivos que, em geral, são conflitantes de forma criativa e eficaz (Figura 9). Diante deste cenário, foi adotado o termo performativo para descrever projetos que suportam a transformação e geração de modelos geométricos e auxiliam na avaliação analítica do desempenho com base em simulações de condições físicas como insolação, carga térmica, consumo de energia, entre outros (Figura 10) (OXMAN,2008). Sendo assim, a morfogênese performativa em sua perspectiva teórica conduz a transição do paradigma de projeto do ato de “fazer a forma” para “encontrar a forma” (*form finding*) (SCHODEK et al.,2004).

Figura 10: Processo projeto performativo.

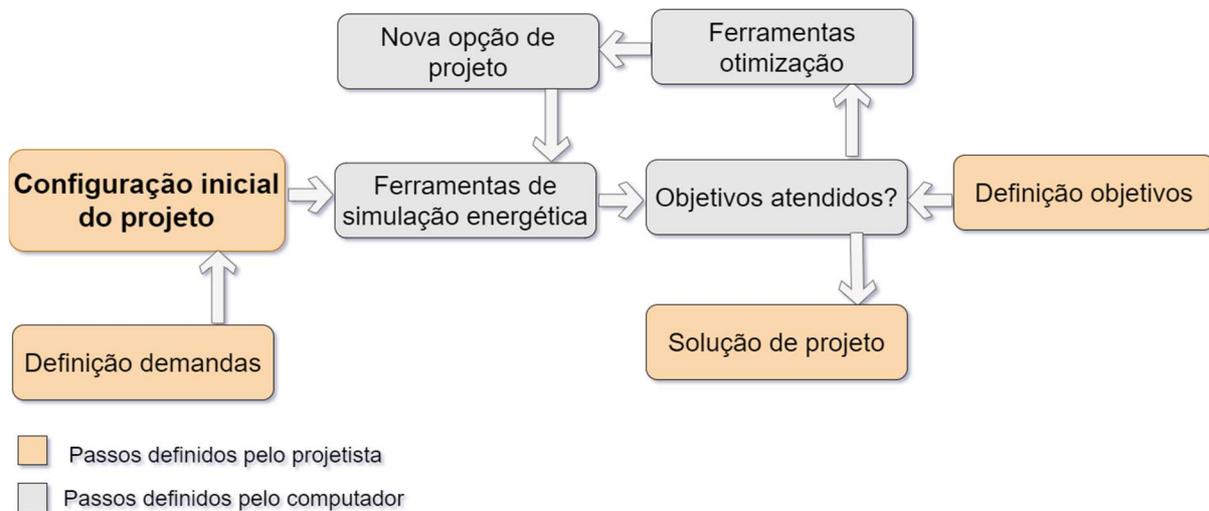


Fonte: desenvolvido pela autora, 2022.

A definição do processo cognitivo pode ocorrer de maneira implícita ou explícita. No processo convencional, desde o século passado, a exposição do conhecimento é realizada de forma implícita, devido a sua relação com a inspiração, criatividade e os meios dos quais se utiliza. Já a forma explícita, no conceito digital, se baseia em formulações, implementações que interagem de forma direta com o conhecimento. No processo de adaptação para o projeto digital os modelos CAD, foram os pioneiros na substituição do papel pelas mídias digitais. Em continuidade, os modelos de formação possibilitaram ao projetista uma estrutura geométrica e forma mais definida permitindo altos níveis de interação e controle. Por outro lado, os modelos generativos se constituem pelo fornecimento de mecanismo computacionais como aporte para os processos de geração (OXMAN, 2006).

Para Martino (2015), dentre as particularidades do método performativo na prática do projeto digital, a modelagem paramétrica adquire um caráter singular quanto a flexibilidade e inter-relação de parâmetros na elaboração de modelos computacionais dos edifícios. Isso se deve as suas características fundamentais, as quais são ancoradas no conceito da geometria associativa, no estabelecimento de esquemas topológicos relacionais e na reedição de processos (JABI, 2013; WOODBURY, 2010). Uma das principais diferenças para os sistemas tradicionais de modelagem é que, nesses casos, as partes do projeto se relacionam e mudam de maneira coordenada sem que o projetista precise manipular os elementos de forma direta (WOODBURY, 2010). Tendo isso em vista, é cada vez mais visível as transformações na etapa de concepção do projeto tanto pelo desenvolvimento de novas ferramentas assim como pela aplicação das técnicas de parametrização (Figura 11).

Figura 11: Processo projeto digital.



Fonte: desenvolvido pela autora, 2022.

Segundo Jabi (2013), para a elaboração de uma modelagem paramétrica, é necessário que se tenha como premissa processos baseados em pensamentos algoritmos que permitam definir o conjunto de regras nas quais se estabelece o projeto. Esse novo modo de pensar foi descrito por Oxman (2017) como *parametric design thinking*, ou seja, pensamento paramétrico de projeto. A autora destaca que partes do processo criativo do projeto que eram elaboradas por meio do lápis e papel agora tem sido gradualmente substituídos pelo modo algorítmico de resolução de problemas dos computadores. Isso não significa perda de autonomia do projetista, muito menos que esboços, croquis e maquetes não serão mais utilizados, mas que há uma tendência crescente no uso de softwares que empregam os algoritmos para resolver, organizar ou explorar problemas com maiores complexidades (TERZIDIS, 2006). O pensamento algorítmico, na concepção de projetos, pode ser definido, portanto como um conjunto de regras de um código fonte, com instruções explícitas, que iniciam os processos computacionais para a geração de formas digitais (OXMAN, 2017).

Na modelagem paramétrica, a configuração inicial do projeto parte da elaboração de scripts (códigos) com o uso de *Visual Programming Language* (VPL), conhecidas como linguagem de programação visual ou linguagens de programação diagramática. De acordo com Celani e Vaz (2012), as VPLs permitem aos usuários criarem e manipularem elementos gráficos sem usar códigos em linha. Desse modo, são usadas representações analógicas dos algoritmos caracterizadas como componentes, tornando o processo mais intuitivo para profissionais que não são da área da computação, como é o caso dos arquitetos. Para Martino (2015), uma das interfaces mais amigáveis para o desenvolvimento de modelos paramétricos é o Grasshopper, editor de algoritmos do software Rhinoceros 3D. Nele, é possível tanto a geração e a representação gráfica, como também aplicação de diferentes tipos de linguagem de programação, tendo como centro as VPLs. O programa é mais utilizado quando se refere a estudos científicos realizados na etapa inicial de projeto.

Se a aplicação de procedimentos paramétricos emprega a interatividade de componentes a fim de identificar a melhor combinação entre parâmetros e regras para uma determinada intenção de projeto, o processo pode ser caracterizado como uma técnica de projeto generativo (MONIZZA; BENDETTI; MATT,2018). No entanto, ainda no final do século XX, começaram a surgir uma série de definições do que seria o sistema generativo, como a de Soddu (1994) que o caracterizou como um processo morfogênico que utiliza algoritmos estruturados por meio de um código fonte. O termo também pode ser definido como um procedimento cíclico baseado em uma ideia abstrata de onde são aplicadas regras ou algoritmos. O que se pode destacar é que esse processo tem como objetivo auxiliar na geração de novas ideias e soluções de projeto ampliando os recursos e possibilidades dos projetistas.

Na construção civil o processo de otimização é requerido na resolução de objetivos conflitantes como é o caso de estudos relacionados a iluminação natural e à eficiência energética. Os principais incentivos para a adoção de sistemas generativos na arquitetura são a sua capacidade de automatizar tarefas durante processo de projeto e explorar um amplo campo de soluções. Essa abordagem fornece um novo paradigma para a arquitetura, com uma visão mais sistêmica, dinâmica e adaptável dos processos de projeto (COATES,2010). Apesar de suas potencialidades, ainda há uma carência de estudos recentes que tentam compreender ou explicar a inserção dos algoritmos na concepção de edifícios, como é o caso de Terzidis (2006), Burry (2011), Andrade (2012), Ruschel e Moreira (2015), Celani e Vaz (2012), Martino (2015), Costa e Alvarez e Martino (2021) entre outros.

3. Considerações Finais

No meio acadêmico, a produção de pesquisas tem crescido nos últimos anos, com a proposição de metodologias que visam o desenvolvimento de edifícios com alto desempenho. Muitas abordagens têm direcionado o seu foco para a etapa inicial de projeto nas diversas perspectivas do desempenho na arquitetura. Durante a concepção arquitetônica, a forma inicial se origina de construções mentais que divagam para o uso de sistemas digitais baseados em algoritmos, passando a explorar os espaços de soluções por meio da forma já concebida. O processo de projeto é composto por diversas sequências de decisões e conforme se avançam as etapas, maiores são os números de restrições impostas (ANDRADE,2012; MARTINO, 2015). As características aqui destacadas possibilitam um aporte necessário para a prática do projeto performativo bem como possíveis formulações metodológicas.

Ao introduzir as ferramentas de análise aliadas a modelos paramétricos no ateliê de projetos, é possível gerar e avaliar rapidamente inúmeras alternativas. Isso resulta em projetos cuja configuração emerge da resposta aos condicionantes do projeto. As estratégias generativas diferem-se de abordagens tradicionais de projeto, pois o projetista elabora um método para a

produção do objeto, ao invés de projetar diretamente o elemento. O algoritmo opera como uma população de possíveis soluções, através de operações combinatórias cruzando dados e melhorando a gestão dos projetos.

A educação do arquiteto frente a essas demandas contemporâneas enfrenta vários desafios. As universidades precisam centrar-se na qualificação dos processos de projeto. O impacto educacional gerado pelo uso de tecnologias digitais na concepção arquitetônica será cada vez maior, particularmente nos cursos de graduação e pós que certamente deverão adequar-se as novas realidades. Pesquisas devem ser realizadas objetivando contribuir de forma teórica e prática para aprimorar a capacidade dos estudantes de arquitetura em resolver seus projetos, aperfeiçoar suas concepções e incentivar o uso de ferramentas computacionais e que permitam análises de desempenho no ateliê.

Referências:

AMARAL, C.S. **Descartes e a caixa preta no ensino-aprendizagem da arquitetura.** *Arquitextos*, São Paulo, ano 08, n. 090.07, Vitruvius, nov. 2007 <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.090/194>>.

ANDRADE, M. **O projeto baseado no desempenho na prática arquitetônica recente: estrutura conceitual.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

ANDRADE, M.; RUSCHEL, R.; MOREIRA, D. **O processo e os métodos.** In: **O processo de projeto em arquitetura da teoria a tecnologia.** Org: KOWALTOWSKI, Dóris et. al., São Paulo: Oficina de Textos, 2011, pg80-108.

BISELLI, M. **Teoria e prática do partido arquitetônico.** *Arquitextos*, São Paulo, ano 12, n. 134.00, Vitruvius, jul. 2011 <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.134/3974.neves>>.

BURRY, M. **Homo Faber.** *Architectural Design*, v.75, n.4, p.30-37, 2005.

CARPO, Mario. **O alfabeto e o algoritmo.** Mit Press, 2011.

CELANI, G. **Além da avaliação energética e ambiental nas etapas iniciais do processo de projeto.** *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 3, n. 2, p. 63-71, 2012.

CELANI, G.; MONTEIRO, A. M. G.; FRANCO, J.; CALIXTO, V. **Integração de tecnologias CAD/CAE/CAM no ateliê de arquitetura: Uma aplicação no projeto de edifícios altos.** *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Carlos. v.12 n.1 p29-52 Jan/Abr 2017.

CELANI, G. VAZ, C. **Scripts em CAD e ambientes de programação visual para modelagem paramétrica: uma comparação do ponto de vista pedagógico.** *Cadernos Proarq. Revista do Programa de Pós-graduação em Arquitetura da UFRJ*, Rio de Janeiro, v. 1, n.18, p.177-194, 2012.

- COSTA, L. M.; ALVAREZ, C.; MARTINO, J. **Proposta de método de projeto baseado no desempenho para edifícios energeticamente eficientes.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.21, n.2, p.409-433, abril. /jun.2021.
- COSTA, L. **Registro de uma vivência.** São Paulo, Empresa das Artes,1995.
- COATES, P. **Programming. Architecture.** Oxon: Routledge, 2010.
- FLORIO, W. **Modelagem paramétrica no Processo de Projeto em Arquitetura. Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído.** ANTAC. 18 a 20 de novembro de 2009, São Carlos, SP, Brasil, USP.
- _____. **Modelagem Paramétrica, Criatividade e Projeto: Duas Experiências com Estudantes de Arquitetura.** Gestão & Tecnologia de Projetos, 6(2), 43-66, dez. 2011.
- GOEL, V. **Sketches of Thought.** MIT Press, Cambridge, MA,1995.
- GOLDBERG, S. A. **Computational Design of Parametric Scripts for Digital Fabrication of Curved Structures.** International Journal of Architectural Computing, IJAC, vol. 4, nº 3, p. 99-117, 2006.
- JABI, W. **Parametric Design for Architecture.** Laurence King Publishing, 2013.
- JONES, J. C. **Design methods** / John Chris Jones; with prefaces by C. Thomas Mitchell and Timothy Emlyn Jones. 2.ed. New York: Wiley, 1992.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency 2019.** Rio de Janeiro, 2019.
- KALAY, Y. **Architecture's new média:principles, theories and methods of computer-aided design.** Cambridge: MIT Press, 2004.
- KOWALTOWSKI, D.; et al. **Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico.** Ambiente construído, v.6, n.2, p.7-19, 2006.
- KOLAREVIC. B.**Architecture in the digital age:design and manufacturing.** New York: Spon Press, 2003. 314 p.
- _____. **Back to the future: performative architecture.** International Journal of Architectural Computing, v. 2, n. 1, p. 43–50, 2005.
- LAWSON, B.**How designers think: the design process desmystified.** Oxford: Architectural Press,1980.
- _____. **Como arquitetos e designers pensam.** São Paulo: Oficina de textos,2011.
- LEMOS, C. **O que é arquitetura.** São Paulo: Brasiliense, 2007.
- LEONE, C.; FLORIO, W. **Análise paramétrica de iluminação natural e de proteção solar de edifícios torcidos.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 247-270, out./dez. 2021.

LIMA, P. G.; SOUSA, D.; ROMCY, N. **Bases epistemológicas para uma abordagem contemporânea ao ensino de projeto. Os meios digitais, o profissional reflexivo e a ruptura de velhos paradigmas.** XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital, novembro 2015, vol.2 nº3, p602-608.

MACIEL, C. A. **Arquitetura, projeto e conceito.** *Arquitextos*, São Paulo, ano 04, n. 043.10, Vitruvius, dez. 2003 <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.043/633>>.

MAHFUZ, E. **Reflexões sobre a construção da forma pertinente.** *Arquitextos*, São Paulo, ano 04, n. 045.02, Vitruvius, fev. 2004 < <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.045/606>>.

MARTINO, J. de. **Algoritmos evolutivos como método para desenvolvimento de projetos de arquitetura.** Campinas, Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP, 2015.

MEREDITH, M. **From control to design: parametric/algorithmic architecture.** Barcelona: Actar,2008,239p.

MONIZZA, G.; BENDETTI, C.; MATT, D. **Parametric and Generative Design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry.** *Automation In Construction*, [s.l.], v. 92, p.270-285, ago. 2018.

MOREIRA, D. C.; RUSCHEL, R. C. **O procedimento de análise em projeto: do programa arquitetônico à avaliação de edifícios.** *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 6, n. 1, p. 69-71, abr./jun. 2015.

NARDELLI, E.. **Arquitetura e projeto na era digital.** *Arquitetura Revista*, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 28-36, 2007.

OXMAN, R. **Educating the Digital Design Thinker.** *Whatdo we Teach Ehen we Teach Design*,2006.

____. **Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium.** *Design Studies*, v. 29, n. 2, p. 99-120, 2008.

____. **Digital design didactics: re-thinking design theory, methodology and pedagogy.** 2012. In: STEINO, Nicolai; ÖZKAR, Mine, Org. *Shaping design teaching: explorations into the teaching of form.* Aalborg: Aalborg University Press, 2012.

____. **Early Building Design: Informed decision-making by exploring multidimensional design space using sensitivity analysis.** *Energy and Buildings*, v. 142, p. 8–22, 2017.

PICON, A. **Digital culture in architecture.** Boston:Birkhauser,2010.

PIÑÓN, H. **Teoria do projeto.** Porto Alegre: Livraria do Arquiteto,2006.

QUINTANILHA, R. P. **Metodologia de Projeto em Arquitetura: do objeto ao sujeito.** *Colloquium Humanarum*, São Paulo v. 10, n. Especial, p. 346-352. jul./dez. 2013.

- RONCY, N.; TINOCO, M.; CARDOSO, D. **Reflexões sobre a introdução da abordagem paramétrica no ensino de projeto.** VI RUS, São Carlos, n.11,2015.
- SEDREZ, M.; CELANI, G. **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.
- SILVA, E. **Uma introdução ao projeto arquitetônico.** Porto Alegre, Ed. da Universidade, UFRGS: Brasília, MEC,1983.
- SCHEURER, F. **Complexidade de materialização.** Projeto arquitetônico, v. 80, n. 4, pág. 86-93, 2010.
- SCHÖN, D. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e aprendizagem.** In: ARTMED, Porto Alegre,2000.
- SCHODEK, D., et al. **Digital design and manufacturing CAD/CAM applications in architecture and design.** Longon: John Wiley & Sons, 2004
- SCHUMACHER, Patrik. **Parametricism: a new global style for architecture and urban desing.** Architectural Design, v. 79, n. 4, p. 14-23, 2009.
- SOUTO, Ana Elisa. **As mudanças da gênese da forma contemporânea: Análise do processo de projeto na obra de Frank Gehry.** PIXO. Revista de Arquitetura, Cidade e Contemporaneidade. V.5, n.17, Outono de 2021, pg82-105. ISSN: 2526-7310.
- TERZIDIS, Kostas. **Algorithmic architecture.** Amsterdam:Elsevier/Architectural,2006.
- WOODBURY, Robert. **Elements of parametric design.** Routledge, 2010.