

CONHECIMENTO GEOMÉTRICO E MODELAGEM ALGORÍTMICO-PARAMÉTRICA: UM EXPERIMENTO PRÁTICO-PEDAGÓGICO SOBRE O PROCESSO PROJETUAL

*GEOMETRIC KNOWLEDGE AND ALGORITHMIC-PARAMETRIC MODELLING:
A PRACTICAL-PEDAGOGICAL EXPERIMENT ABOUT DESIGN PROCESS*

FERNANDO TADEU DE ARAÚJO LIMA, RICARDO FERREIRA LOPES, JOSÉ GUSTAVO FRANCIS ABDALLA

RESUMO

Este artigo pretende contribuir para a discussão sobre a importância de um repertório de conhecimento geométrico, visando uma utilização mais frutífera de recursos algorítmico-paramétricos no processo de projeto. Assim, este texto descreve os procedimentos e analisa os resultados obtidos por meio de uma experiência prática realizada com alunos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, que trabalharam em um *workshop* cujo objetivo foi o de conceber e fabricar digitalmente um minipavilhão/expositor de maquetes. Portanto, este *paper* descreve um método exploratório e experimental para estudar o processo de projeto e, com isso, permitir observar e analisar, desde a concepção até a execução de um produto final, as possibilidades de associação entre conhecimento geométrico e tecnologias digitais de suporte projetual. Como conclusão, tem-se evidências nas relações entre o conhecimento da Geometria e a tomada de decisão em projeto, ainda que este seja mediado por recursos computacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Geometria. Modelagem algorítmico-paramétrica. Projeto.

ABSTRACT

This article seeks to contribute to the discussion about the importance of a geometric knowledge repertoire, aiming at a more fruitful use of algorithmic-parametric resources in the design process. Thus, this text describes the procedures and analyses the results obtained from a practical experience carried out with undergraduate students of Architecture and Urbanism who worked in a workshop to produce a mini-pavilion/model-display. Therefore, this work describes an exploratory and experimental method to investigate design process in order to enable the observation and analysis — from the conception to the execution of a final product — of the possibilities of association between geometric knowledge and digital design support technologies. As a conclusion, the investigation finds some evidences in the relations between the knowledge of Geometry and the decision making in design, even if it is mediated by computational resources.

KEYWORDS: Geometry. Algorithmic-parametric modelling. Design.



INTRODUÇÃO

“Δεν είναι ανάμεσα σε αυτούς που δεν ξέρουν γεωμετρία”

“*Que não entre quem não saiba Geometria*”

(Inscrição na entrada da Academia de Platão)

A complexidade das atividades de Arquitetura e Urbanismo tem sido acentuada com o desenvolvimento crescente de diferentes ferramentas e tecnologias que podem ser incorporadas ao processo de projeto na contemporaneidade. Se por um lado tem-se como fato que os processos de projeto são permeados por desenhos, representações e modelos das edificações e das cidades com uso progressivo de recursos computacionais, também é importante considerar que os objetos arquitetônicos — e as cidades —, são artefatos com signos e significados espaciais, temporais e éticos, entre outros. Nesse cenário, é possível levantar diversas questões relativas ao fazer arquitetônico e urbanístico e, entre elas, quais seriam as contribuições do conhecimento lógico-matemático (no contexto desta pesquisa, mais especificamente os conhecimentos de ordem geométrica e computacional) para a construção de um repertório propositivo do arquiteto, mais coerente com o contexto instrumental contemporâneo.

Nesse sentido, este artigo visa a contribuir para a discussão sobre a importância de um arcabouço adequado de conhecimentos de ordem geométrica, para uma utilização plena de recursos computacionais (mais especificamente aqueles relativos à lógica algorítmico-paramétrica)¹, a fim de potencializar o processo criativo em projetos de Arquitetura e Urbanismo. Assim, este trabalho se desenvolve por meio de: (a) uma apresentação de reflexões histórico-conceituais, que visam a relacionar processo de projeto e produção/fabricação, conhecimentos de Geometria e modelagem algorítmico-paramétrica, como suporte a atividades criativas; (b) uma análise e uma descrição do processo e dos resultados relativos a uma experiência prático-pedagógica, desenvolvida com alunos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, que desenvolveram, em ambiente computacional, um minipavilhão a ser digitalmente fabricado, e; (c) uma elaboração de considerações finais e reflexões sobre o tema, com base no referencial teórico apresentado e nos resultados obtidos com a experiência elaborada.

Defende-se, portanto, a necessidade de uma boa aquisição de conhecimentos de Geometria² (Euclidiana, Cartesiana e Mongeana) para uma compreensão e uma utilização plena da representação espacial, enquanto uma importante característica para o desenvolvimento de projetos de arquitetura e urbanismo, ainda que eles sejam mediados por ferramentas de CAAD (*Computer-Aided Architectural Design*). Emprega-se para tal, um método exploratório e experimental de estudo do processo de projeto, visando permitir observar, da concepção à execução de um produto final, os pontos de interseção entre conhecimento geométrico e novas tecnologias de suporte ao processo de projeto.

CONHECIMENTO LÓGICO-MATEMÁTICO EM ARQUITETURA

Para abordar minimamente, sob um viés histórico, o surgimento do que pode ser compreendido por conhecimento contemporâneo, que é relativo ao fazer das edificações e cidades, há que se retroceder no tempo e apontar o Renascimento como importante marco desse processo, não só pelo que foi o contexto das proposições estéticas, mas, sobretudo, pela ruptura do conhecimento científico, que trouxe uma nova compreensão de mundo (KOYRÉ, 1979). Decorrente daí, surgiram muitos avanços técnicos pelo incremento de conhecimentos científicos aos processos de produção das sociedades em geral e, particularmente, nas formações disciplinares atuais. Isso se dá, principalmente, em um primeiro momento, nos países da Europa. Ao que interessa neste artigo, como consequência das novas tecnologias, novos arranjos sociais se formaram. Eles não só modificaram os ambientes de produção, mas também de distribuição e de comércio de mercadorias (HUBERMAN, 1962; HENDERSON 1979). Essas transformações alteraram significativamente, ao longo do tempo, as sociedades e as formas de fazer, incluindo-se as edificações. Com o Renascimento, deixam de existir os moldes de produção feudal para se ter, a partir do artesanato, uma constante evolução das formas de produção (manufatura, fábricas e indústrias), até os sofisticados arranjos organizacionais e processuais das indústrias contemporâneas. Assim, a humanidade afasta-se da lógica de trabalho isolado, centrado e dependente da força da mão de obra, dado que o processo artesanal, e mesmo cooperativo, era exclusivamente de controle e competência do trabalhador, de sua capacidade intelectual (valores, experiência e conhecimento profissional), de sua habilidade e força física no uso das ferramentas e da capacidade físico-mecânica que possuía (trabalho braçal), entre outros aspectos do processo produtivo. Em um novo contexto, as máquinas substituíram a força e a destreza do homem, e as redes de informação, inseridas ao longo do processo, introduziram conhecimentos não relativos à pessoa isoladamente, mas a uma sociedade tecnologicamente dependente do saber científico e coletivo (USHER, 1993).

Por esse cenário, foi possível acrescentar gradativamente à abordagem intuitiva, a adoção de complexos modelos lógico-matemáticos como meio que permeia o raciocínio de produção (concepção, desenvolvimento e fabricação) em arquitetura e urbanismo. Pautado pela intelectualidade do conhecimento científico avançado, matemático e físico, tem-se efetivas transformações no processo de projeto das edificações, tanto para as fases de concepção, quanto para as demais. Entendendo-se que tais princípios são constructos mentais da atividade criadora, da geração da forma e de seu processo de modelagem, bem como, se observado o contexto objetivo da obra arquitetônica, que são reflexos de uma realidade perceptiva de um universo sensível material.

Segundo Barki (2003), a elaboração projetiva por meio do pensamento geométrico permite exibir um determinado contexto do mundo sensível e de suas possibilidades de intervenção, ou de transformação. O projetista, então, o faz por meio de um contexto de construção de imagens, modelando e materializando representações do real, tudo em con-

junto, o que o permite e o leva à sua própria avaliação crítica do e sobre o modelo em evolução. Desse modo, para o referido autor, um dos produtos mais notáveis da capacidade de abstração e racionalização humana que possibilita a medição, projeção e a modelagem do mundo sensível é a Geometria.

A Geometria (do grego “medida da terra”) surgiu para cálculos em superfícies planas e objetiva interpretar as coisas do mundo sensível, *i.e.*, interpretar as coisas com rigor matemático. Desde o Renascimento até os dias atuais, ocorreram fatos que demonstram íntima relação entre os avanços dos conhecimentos matemáticos e geométricos com o contexto tecnológico das construções. A título de exemplo, a cúpula da *Basilica di Santa Maria del Fiore*, em Florença (1436), de Filippo Brunelleschi, é um desses casos. Brunelleschi desenvolveu um modelo estrutural de projeto para a cúpula (com base na resistência dos materiais), planejou a execução da obra e representou o projeto sob a forma de plantas, elevações, cortes e perspectivas (JORDAN, 1969). Para entender as transformações atuais, que permitiram trazer a discussão sobre a importância do conhecimento geométrico no contexto do processo de projeto em arquitetura, foi importante que surgisse e que se consolidasse uma divisão clara entre projeto e obra. A Catedral de São Paulo, em Londres³, é um caso que exemplifica como o projeto e seus desenhos, combinando e integrando a visão geométrica e o modelo artístico, podem ser vistos como um modelo que torna possível dividir o ato de pensar a arquitetura do ato de fazê-la, o que também foi um aspecto sem precedente na história até então (JORDAN, 1969, p.244).

Segundo Evans (1995), o significado da Geometria na arquitetura mudou distintamente ao longo do tempo⁴. Entre os séculos XV ao XVII, a concepção espacial hegemônica no Ocidente europeu foi euclidiana (EVANS, 1995; SCHEER, 2014). Diversos tratados renascentistas iniciam seus conteúdos com um breve resumo de figuras geométricas e definições fundadas em Euclides, revelando a presença dessa Geometria no pensamento arquitetônico de formas inspiradas no pensamento platônico, *i.e.* “eternas e imutáveis”, que vigoravam nas concepções “ideais e divinas” que se uniam ao tangível e ao pragmático naquela época.

A Geometria Euclidiana permite a transposição de ideias espaciais em forma visível e mensurável. Os teoremas de Euclides estão presentes no cotidiano, especialmente na resolução de problemas métricos, pois as suas definições se detinham às razões e às equidades de linhas, áreas, ângulos e às propriedades dos círculos. Apesar de abstratas, assim como as ideias, as formas geométricas emergem de nossa experiência sensível na medição do espaço que nos rodeia, portanto, “elas devem certamente haver surgido de — e facilmente se transformam em —, tarefas de configurar artefatos, projetar edifícios e em levantamentos topográficos” (EVANS, 1995, p.xxxii, tradução nossa). As operações da Geometria Euclidiana clássica estabelecem um relacionamento claro entre desenhos arquitetônicos e construção, evitando a necessidade de especificar a localização de cada ponto individualmente. Nesse sentido, o processo de desenho prefigura isomorficamente

as linhas construtivas do desenho no espaço físico, pois o construtor, por exemplo, reconstrói a planta arquitetônica reproduzindo a geometria do desenho *in loco*, empregando-se os fundamentos supracitados⁵.

Sob a concepção Euclidiana de espaço, o objeto é o gerador do espaço, seu centro se torna o centro do próprio espaço. Isso permitiu que as igrejas maneiristas e barrocas espacializassem um *axis mundi*, simbolizando um universo entendido como tendo um centro absoluto (SCHEER, 2014).

No fim do século XVII, a noção Euclidiana de espaço foi suplantada pelo espaço cartesiano, neutro, sob o qual localizava objetos em uma malha descritiva, especificada por três eixos. O espaço cartesiano analítico unia a geometria e a álgebra e não tinha um centro ou qualquer outra posição absoluta. A localização de cada ponto no interior desse espaço é apenas determinada em relação aos demais pontos de referência. O centro, *i.e.*, a origem, é escolhido pelo observador e pode ser alterado para se adequar aos seus propósitos. Essa concepção do espaço deu origem a uma compreensão consistente sobre a projeção no desenho arquitetônico. O ponto de vista axial, situado no infinito, não tinha um significado especial e os projetos de construção acabaram por refletir a ausência de pontos de vista privilegiados (SCHEER, 2014). Com a implantação do espaço cartesiano na arquitetura, em especial a Neoclássica, o módulo regular substituiu o sistema de proporções que construíram edifícios Renascentistas.

No século XVIII, o conhecimento geométrico Cartesiano passou por um importante desenvolvimento, com o estudo da Geometria Descritiva, que visava uma sistematização da representação gráfica de elementos tridimensionais, por meio de um desenho descrito em um plano, *i.e.*, em duas dimensões. O método Bi-projetivo de Gaspard Monge consiste na dupla projeção ortogonal da figura do espaço. A sistematização dos objetos representados em projeções ortogonais (vistas superior e frontal) conformam uma *épure*, decorrente da interseção de dois planos perpendiculares entre si. Assim, as projeções passam a ser mostradas em um único plano por meio do artifício do rebatimento, garantindo (comprovando) a correspondência de duas representações para uma mesma posição no espaço de um determinado objeto. A Geometria Descritiva tornou possível o projeto e a construção de uma gama muito maior de formas, pois enfocava a normatização do desenho, tendo como pressuposto epistemológico a representação do espaço à luz da razão. Com o desenvolvimento de materiais construtivos, tais como o aço e o concreto armado no século XX, o conhecimento da Geometria Descritiva foi essencial aos arquitetos como ferramenta gráfica na descrição plana de formas complexas.

O avanço tecnológico seguiria, já no século XX, na direção dos recursos computacionais aplicados ao processo de projeto, que tiveram como marco, na década de 1950, o surgimento do conceito de CAD (*Computer Aided Design*). Nesse cenário, o Exército Norte-americano desenvolveu os primeiros *plotters* (traçadores gráficos), até hoje utilizados para a impressão de desenhos técnicos, por intermédio de parâmetros de computador.

Paralelamente, o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) apresentou o *Sketchpad*, o primeiro *software* de CAD, que permitia representar desenhos pelo computador por meio de *pixels* (MITCHELL & McCULLOUGH, 1991).

No início da implementação de *software* na lógica de CAD, o objetivo principal era aumentar a produtividade na elaboração de desenhos técnicos. Foram alcançados resultados significativos, e o CAD se popularizou na medida em que os microcomputadores foram se tornando mais poderosos e mais acessíveis. Entretanto, tais sistemas convencionais de CAD realizavam apenas a função de uma “prancheta eletrônica”, concentrando-se na geração de desenhos em duas dimensões. Desenhos tridimensionais mais sofisticados eram tarefa para complexos programas, desenvolvidos para computadores de custos elevados (àquela altura).

O contexto atual de suporte digital à concepção e ao desenvolvimento de projetos arquitetônicos e urbanísticos, se configura por meio de uma gama de recursos bem mais avançados, como os programas de lógica BIM (*Building Information Modeling*), os programas de modelagem paramétrica, e os equipamentos de impressão 3D e corte à *laser*, por exemplo. A esse respeito, entretanto, Batlle (2011) afirma que mesmo um *software* gráfico com grande tecnologia agregada se torna muito pouco útil nas mãos de um profissional que não tenha conhecimentos espaciais e geométricos suficientes para operá-lo e, assim, responder minimamente às demandas e às exigências pertinentes. Consonantemente, Pottmann *et al.* (2007) afirmam estar convencidos de que as novas possibilidades formais proporcionadas pelos mais avançados recursos digitais só podem ser plenamente exploradas por meio de uma sólida compreensão da Geometria.

Nesse cenário, Picon (2006) classifica as posturas frente às contribuições digitais/computacionais no processo de projeto em duas categorias. A primeira delas entende o computador apenas como uma ferramenta avançada de suporte ao projeto e que roda programas capazes de gerar formas sofisticadas. Desse pensamento, podem ser derivadas várias possibilidades formais, sem, no entanto, e por contrapartida, demandar conhecimento das regras de construção das entidades geométricas envolvidas nos processos de criação. A segunda categoria, todavia, considera inevitável o aprofundamento em questões de programação e do funcionamento interno dos *softwares*, para conferir um uso verdadeiramente criativo ao computador. Trabalhar nesse contexto demanda, além de conhecimento em programação, um sólido repertório dos processos que envolvem a geração da forma ou de qualquer aspecto que se precise modelar. Dentro desse pensamento, a ideia é não limitar as soluções de projeto em condições pré-definidas pelo mecanismo em si, mas explorar potenciais amplos, soluções alternativas e possibilidades criativas livres de limitações mecanicistas.

Em paralelo, Kilkelly (2015) afirma que o pensamento algorítmico é oposto ao pensamento intuitivo e que a modelagem algorítmica busca uma determinada qualidade na eficiência no processo de projeto. Terzidis (2006), por sua vez, define algoritmo como uma

sequência finita de instruções para resolver um problema, o que reforça o entendimento de que um algoritmo não representa, necessariamente, um *software*. Ou seja, combinar algoritmos com a capacidade de processamento do computador permite gerenciar grande quantidade de dados, números, cálculos e interações, o que aumenta as possibilidades propositivas e cria novos cenários de composição e de avaliação de desempenho.

Para Woodbury (2010), a modelagem algorítmico-paramétrica traz consigo uma modificação no processo de projeto, pois possibilita que as partes de um dado projeto se relacionem e se modifiquem juntamente, de maneira coordenada. Construir algoritmos parametricamente significa relacionar dados, condições e variáveis, o que implica em pensar na relação entre as partes e nas decorrências de recomposições dessas relações. Relacionar e recompôr, então, impõem modificações fundamentais nos sistemas de projeto e na maneira com que eles são empregados.

Entretanto, se por um lado os sistemas CAD, frequentes na prática de desenvolvimento de projetos de arquitetura, auxiliam na tarefa da representação gráfica do projeto, por outro, a automatização dos processos internos de construção de determinadas entidades geométricas, traz consigo o risco de um gradativo abandono do conhecimento geométrico. Por exemplo, ao se desenhar um pentágono regular, empregando-se um *software* como o AutoCAD® (Autodesk Inc., Califórnia, Estados Unidos), tem-se a necessidade de “apenas”: (1) conhecer e utilizar o comando “*polygon*”; (2) determinar o centro geométrico da figura no espaço (com apenas um clique); (3) especificar o número desejado de lados para o polígono (neste caso cinco), e; (4) informar o comprimento do lado do pentágono. Em contraponto, para se desenhar o mesmo polígono manualmente, com o auxílio de instrumentos, é necessário: (1) traçar um círculo; (2) conhecer (ao menos) parte dos postulados de Euclides (o centro e a circunferência enquanto lugar geométrico); (3) encontrar a mediatriz que divide o raio da circunferência em duas partes iguais; (4) traçar, a partir desse ponto médio, o centro de um arco que, ao encontro do eixo diametral, estabeleça com o vértice da extremidade do eixo ortogonal, o segmento de reta que vai gerar o lado do pentágono; (5) repetir a última operação até concluir a construção do pentágono.

Por outro lado, no caso da modelagem algorítmico-paramétrica, a ênfase se encontra no conhecimento das regras que permitem a construção de uma determinada entidade geométrica. Nessa lógica, é necessário definir os parâmetros para uma especificação completa ou relevante de um objeto geométrico (como o pentágono citado acima) ou modelo, uma vez que ele é regulado pela declaração de suas características. Isso ocorre, principalmente, porque a modelagem algorítmica contempla uma lógica de histórico explícito, em que cada elemento descrito traz consigo uma sequência de parâmetros, operações e procedimentos necessários para sua geração. Se por um lado essa lógica possibilita uma ampliação das possibilidades propositivas dos arquitetos, por outro, demanda a construção de um sólido repertório de conhecimentos matemáticos, ainda que os computadores executem virtualmente tais operações.

EXPERIMENTO PRÁTICO-DIDÁTICO-PEDAGÓGICO: O *WORKSHOP*

O *workshop* intitulado “Modelagem algorítmico-paramétrica + fabricação digital em máquina de corte laser” foi o objeto de estudo que serviu de base para a abordagem metodológica deste artigo. Essa oficina foi desenvolvida em ocasião da I Semana de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), que ocorreu no primeiro semestre letivo de 2015 e visou a permitir verificar a influência do repertório de ordem geométrica dos alunos para a concepção e desenvolvimento de um projeto com suporte computacional. Essas atividades tiveram um tempo de preparação de aproximadamente três semanas e contaram com a supervisão de professores da supracitada faculdade. Cabe ressaltar, ainda, o crescente espaço que *workshops* como esse têm ocupado no contexto da área de Arquitetura e Urbanismo, no sentido de promover diferentes possibilidades de implementação computacional em atividades de projeto, como vêm ocorrendo com certa frequência, por exemplo, em iniciativas de laboratórios como: o Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (LAPAC), da Unicamp; o Laboratório de Modelos e Fabricação Digital (LAMO), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); e, mais recentemente, o Laboratório de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagem (DOMVS), da UFJF (CELANI, 2013; LIMA; CAMPELLO; LOPES, 2017; LABORATÓRIO DE MODELOS E FABRICAÇÃO DIGITAL, c2018).

Com relação ao contexto de ensino — e ao repertório de conhecimentos de ordem geométrica e computacional proporcionado pelo curso em questão a seus alunos — é importante mencionar que: (a) desde o primeiro semestre letivo de 2013, passou a ser oferecida na grade curricular do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFJF uma disciplina intitulada “Modelagem Digital e Prototipagem” (MDP). Essa disciplina, de caráter obrigatório — e que se encontra programada para ser cursada no terceiro período do curso — possui duas horas-aula semanais e visa introduzir os alunos no universo da modelagem algorítmico-paramétrica⁶ e dos recursos de prototipagem rápida e fabricação digital aplicados a processos de projeto; (b) não há, entretanto, na matriz curricular vigente, disciplinas que abordem de maneira específica e direta, conhecimentos relacionados à matemática aplicada (como Geometria Descritiva ou Cálculo). Por exemplo, o conteúdo programático referente à Geometria Descritiva, anteriormente organizado e lecionado por meio de uma disciplina homônima, agora se encontra reduzido, simplificado e pulverizado em diferentes disciplinas do ciclo de fundamentação do curso, e; (c) ainda há pouca interação entre as atividades didáticas propostas nas disciplinas de representação e expressão (como a disciplina Modelagem Digital e Prototipagem, por exemplo) e as disciplinas de Projeto. Ou seja, apesar do curso proporcionar aos seus alunos a possibilidade de experimentar a implementação de recursos computacionais em tarefas projetuais, é possível perceber algumas lacunas em: (1) a construção de um *background* adequado de conhecimento geométrico, necessário para dar suporte à implementação computacional, e; (2) as possibilidades de utilização prática desses conhecimentos em atividades das disciplinas de projeto.

Nesse cenário, o *workshop* contou com a participação de dois tutores/professores e quinze alunos de graduação⁷ do curso de arquitetura e urbanismo em questão, que foram divididos em três equipes de cinco componentes. Não houve nenhum tipo de tutorial ou aula para realização das atividades do *workshop*, uma vez que se objetivava também verificar como os alunos utilizariam os conhecimentos adquiridos no curso para a elaboração das atividades. Dentre os quinze participantes do *workshop*, treze (o equivalente a 87%) já haviam cursado a disciplina MDP, enquanto dois (13%) ainda não haviam cursado a disciplina. Nenhum dos participantes possuía qualquer conhecimento prévio em algum outro tipo de linguagem de programação. A Tabela 1 traz informações sobre os participantes do *workshop* e seus respectivos repertórios em programação e Geometria.

Cada equipe esteve livre para conceber um projeto de um minipavilhão a ser modelado algorítmicamente e fabricado digitalmente (utilizando máquina de corte a laser), resguardadas as premissas apresentadas pelos professores, que foram: (a) o objeto proposto deveria ser fabricado na escala 1/1, de maneira que a instalação proposta pudesse ser adentrada, em uma clara intenção de trazê-la para a realidade e dimensão do objeto arquitetônico, e; (b) o projeto deveria considerar as limitações dimensionais e estruturais do material utilizado, bem como a área útil de corte da máquina⁸.

Sendo assim, cada uma das três equipes apresentou uma proposta de minipavilhão a ser desenvolvida e, após ampla discussão⁹ entre os participantes, foi escolhida uma das propostas para ser modelada, fabricada e montada por todos os participantes do *workshop*. Optou-se pela ideia que, segundo os próprios alunos, possuía maior potencial para explorar as possibilidades que a modelagem computacional e a fabricação digital proporcionam. No entanto, pode-se perceber uma preferência pela reprodução (ou readaptação) de uma forma já existente (um projeto de referência), ao invés de procurar por novas soluções e arranjos formais — o que provavelmente demandaria uma maior abstração e uma maior gama de conhecimentos de ordem geométrica e de programação.

TABELA 1 — Dados sobre os participantes do workshop e seus respectivos repertórios em programação e Geometria.

Perguntas	Sim		Não	
	n	%	n	%
Cursou a disciplina Modelagem Digital e Prototipagem?	13	(87)	2	(13)
Conhecimento de Linguagem de Programação Visual?	13	(87)	2	(13)
Conhecimento de algum outro tipo de linguagem de programação?	0	(100)	15	(100)
Concluiu o ciclo de fundamentação do curso ¹ (até o 3º período)?	14	(93)	1	(7)
Cursou alguma disciplina de matemática aplicada (GD ou Cálculo)?	0	(100)	15	(100)

Nota: ¹ De acordo com a matriz curricular vigente no curso, as disciplinas de representação e expressão gráfica manual e digital (nelas estão incluídos todos os conteúdos mais diretamente relacionados à Geometria) estão inseridas nos três primeiros períodos, ou seja, no ciclo de fundamentação do curso.

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

A ideia selecionada para desenvolvimento consistiu em um expositor de maquetes inspirado no projeto do Centro Cultural Jean-Marie Tjibaou (1993-1998), do arquiteto Renzo Piano, na Nova Caledônia, referência pelo seu caráter, que alia certa complexidade formal, tecnologia e uso da madeira.

Portanto, o conceito do minipavilhão/expositor escolhido baseia-se na “amarração” de dois conjuntos de elementos: as pás (elementos verticais) e as placas de travamento (elementos horizontais) — que objetivaram funcionar ainda como prateleiras para a exposição de maquetes produzidas no curso. Também compõem o expositor uma base e uma peça de coroamento, ambos derivados de uma elipse que serviu de elemento para a fixação e travamento das pás, que, por sua vez, eram também travadas pelas placas horizontais. Assim, em relação à opção pelo minipavilhão proposto para ser modelado parametricamente, é importante ressaltar que: (a) a modelagem paramétrica permitiu visualizar diferentes possibilidades e alternativas de composição formal (e de travamento das peças) em tempo real, de maneira a possibilitar aos alunos encontrar a configuração que, segundo eles, conferiria maior apelo estético e facilitaria a fabricação e a montagem do minipavilhão, uma vez que havia grande quantidade de elementos de desenho e dimensões distintos; (b) foram parametrizados: as dimensões da elipse da base do pavilhão, o número, o alinhamento, o desenho e as dimensões das pás, e o desenho, as dimensões e o espaçamento das prateleiras e a espessura das chapas de MDF a serem utilizadas; (c) as formas das pás foram descritas de acordo com diferentes e independentes definições, associadas axialmente. Isto é, modificar uma determinada pá significava alterar também aquela que estava diametralmente oposta a ela na base (havia, portanto, quatro tipos de pás: 0, I, II e III, conforme mostra a Figura 1); (d) o desenho e a alternância de posição das prateleiras era automaticamente obtido, de acordo com regras estabelecidas e de suas respectivas interseções com as pás. Sob esse aspecto, o modelo empregado é associativo. A Figura 1 ilustra a ideia inicial de concepção da proposta desenvolvida e mostra as diferentes pás existentes no modelo.

Com a concepção inicial definida, teve início o processo de modelagem algorítmico-paramétrica do minipavilhão/expositor, em que foram explicitados computacionalmente as operações geométricas e os parâmetros necessários para a definição do objeto concebido, o que implicou nas seguintes tarefas: (1) a descrição geométrica e paramétrica da elipse que conformaria a base do minipavilhão, bem como a distribuição e encaixe das pás na referida elipse; (2) a definição do desenho parametrizado das pás, de maneira a permitir visualizar (e avaliar) modificações na forma do conjunto, com a simples alternância de um ou mais pontos que conformavam o desenho das pás; (3) o desenho e o posicionamento parametrizado de cada uma das 21 diferentes placas de travamento horizontal (prateleiras), alternadas de acordo com o desenho proposto, e; (4) a planificação, a separação e a identificação e a preparação para fabricação de cada uma das peças componentes do minipavilhão. A Figura 2 ilustra a modelagem dos componentes do pavilhão proposto e a Figura 3 mostra alguns destes componentes já cortados e separados para montagem.

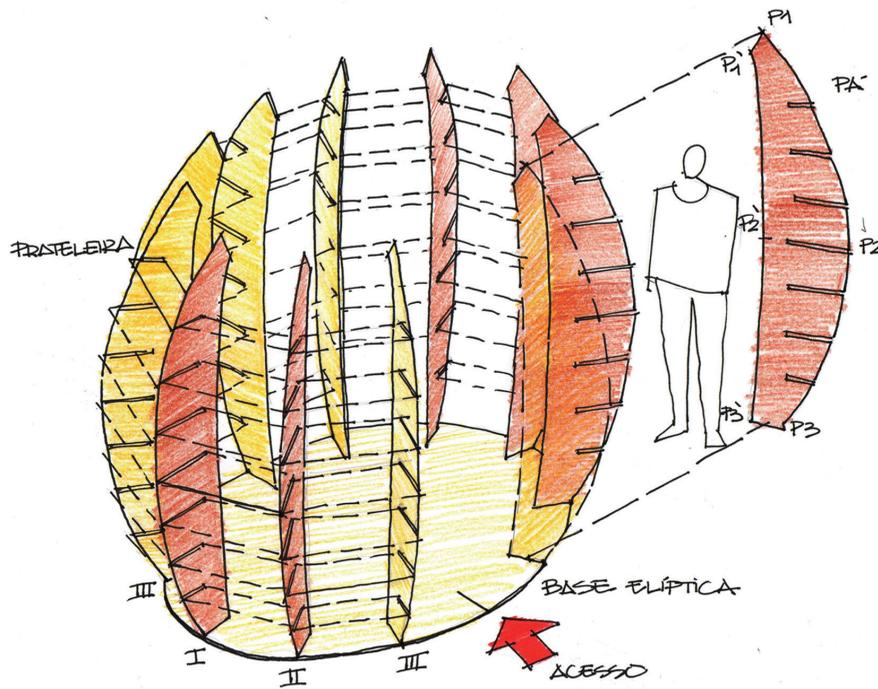


FIGURA 1 — Croquis da proposta selecionada para desenvolvimento (modelagem, fabricação das peças e montagem) pelos participantes do *workshop*. Diferentes pás e prateleiras em uma lógica de modelo associativo. **Fonte:** Elaborada pelos autores (2017).

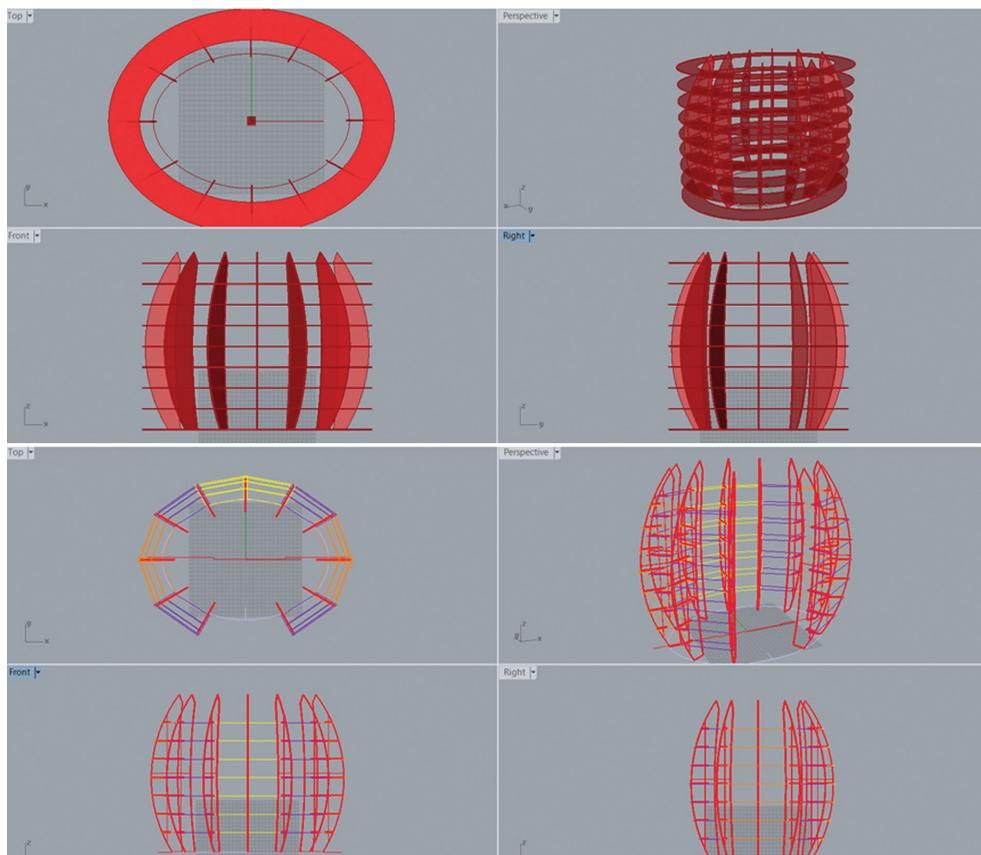


FIGURA 2 — Sequência de imagens ilustrando os elementos utilizados no processo de modelagem do minipavilhão/expositor proposto. **Fonte:** Elaborada pelos autores (2017).

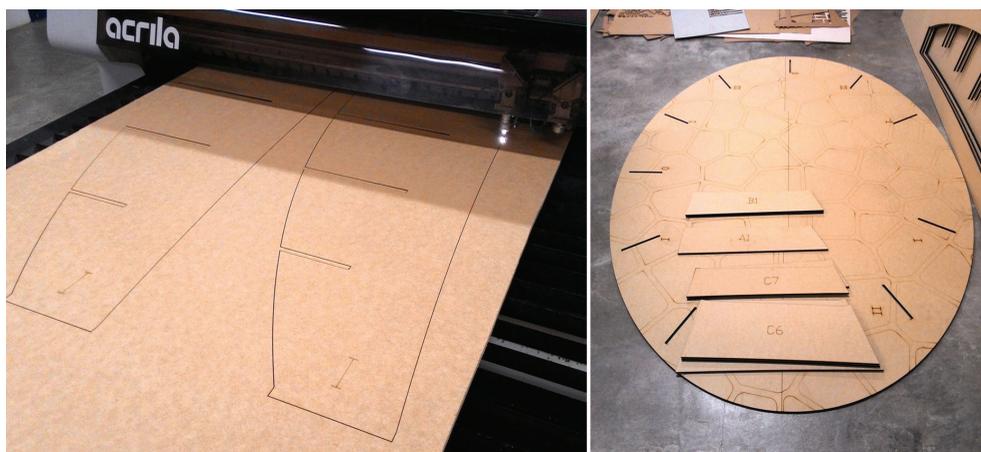


FIGURA 3 — Etapas de fabricação (corte) e preparação para montagem dos componentes do expositor. A forma desenvolvida resultou na obtenção de componentes com dimensões e formatos variados, o demandou diversos conhecimentos de Geometria para suas respectivas definições algorítmicas.

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

DISCUSSÃO

Nas etapas referentes ao *workshop* proposto, foi possível perceber que o repertório de conhecimentos geométricos dos alunos foi crucial para uma adequada definição/modelagem dos componentes do objeto proposto. Pôde-se verificar que a modelagem do objeto voltada à sua fabricação, exigiu a aplicação de conhecimentos geométricos em três “níveis” de Geometria:

a) Geometria Euclidiana (plana): necessária para explicitar algorítmicamente o desenho da base de forma elíptica, bem como para a formulação das operações que permitiram determinar o posicionamento das pás, as quais convergiam para o centro da elipse (optou-se por não adotar a tangente da curva elíptica para tal), por sua vez formado pela interseção entre seus dois eixos principais. Posteriormente, esses parâmetros foram seminais para se dimensionar e se distribuir uniformemente o encaixe das pás ao longo do perímetro da base, empregando-se recursos computacionais (*e.g.* divisão da curvatura elíptica em partes iguais);

b) Geometria Cartesiana (analítica): necessária para a formulação do desenho paramétrico da pá, considerando que o arco que a define deveria estar restrito à modulação da chapa de MDF utilizada. Este arco, foi geometricamente construído por meio de três pontos, obtidos por meio de funções e de maneira a permitir modificar suas características pela simples alternância de valores relativos às coordenadas de cada ponto nos eixos x e y , em um plano cartesiano. Nesse contexto, alterar o desenho da pá, significa modificar a volumetria do conjunto;

c) Geometria Mongeana (descritiva): necessária para definir a instrução que permitiu encontrar a interseção entre os planos verticais (pás) e os horizontais (placas), de maneira

a determinar o desenho preciso de cada uma das prateleiras (placas) e seus encaixes com as demais peças. A precisão nesse momento foi fundamental para garantir o travamento das peças e consequentemente uma estruturação adequada do minipavilhão/expositor.

Entretanto, e de uma maneira geral, pode-se destacar importantes aspectos com relação ao processo de modelagem, fabricação e montagem do expositor, são eles: (a) verificou-se uma certa dificuldade dos alunos em pensar abstratamente, na tarefa de descrever as instruções necessárias para definir algorítmica e parametricamente os atributos geométricos dos elementos do expositor, apesar de, inicialmente, parecer claro para eles como cada peça deveria ser “definida”; (b) foi possível perceber que alguns alunos imaginavam que as definições geométricas para a modelagem dos elementos se daria de forma “automática” pelo programa, de maneira que, por diversas vezes, foi necessário que os professores interferissem no processo para esclarecer determinadas questões, ou até mesmo realizar a programação dos elementos concebidos pelos alunos; (c) identificou-se, ainda, a necessidade por parte dos alunos de um repertório computacional e de programação mais amplo para poder explicitar plenamente as operações e regras que, intuitivamente, pareciam claras para eles; (d) notou-se, também, certa surpresa em alguns alunos ao visualizarem o pavilhão montado, de maneira que a materialização do projeto não correspondia totalmente à imagem mental que eles tinham previamente, e; (e) a montagem do minipavilhão/expositor revelou que, diferentemente do que se imaginava, o simples travamento por encaixe não seria suficiente para uma estruturação adequada do expositor, sendo necessário o uso de parafusos e perfis para conferir maior firmeza ao conjunto. A Figura 4 ilustra o resultado final do expositor.

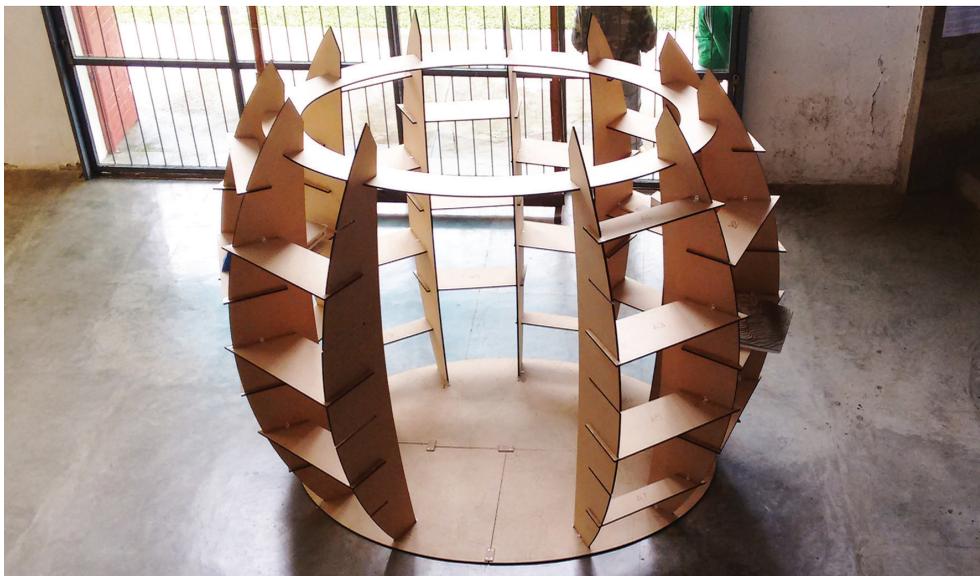


FIGURA 4 — O resultado final do *workshop*: a expositor montado.
Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do exposto, pelo experimento se tem a confirmação da argumentação principal do artigo, isto é, a importância de se construir um repertório de conhecimentos de ordem geométrica, no que concerne a conferir uma aplicação mais profícua dos recursos computacionais disponíveis em processos criativos de arquitetura e urbanismo. Apesar da lógica algorítmico-paramétrica poder ser enquadrada entre os mais avançados recursos de tecnologia de informação aplicado ao processo projetual, ainda assim ela não prescinde de se ter conhecimentos de Geometria por parte de seus utilizadores. Pelo contrário, mostrou-se que possuir bom arcabouço de conhecimentos geométricos é necessário para se conseguir uma implementação com maior eficácia desses recursos, uma vez que para modelar nessa lógica se notou ser relevante o conhecimento das regras necessárias para explicitar os parâmetros de descrição de um dado objeto. Nesse cenário, é de se ressaltar a importância de se construir, com os alunos, repertórios consistentes, não só de ordem geométrica, mas também de ordem computacional e de programação, o que implica em uma reflexão ampliada sobre como deve ser a formação do arquiteto e urbanista na contemporaneidade.

A dificuldade do sujeito em trabalhar com objetos abstratos, como são as formulações espaciais proposta pelas Geometrias (especialmente a Cartesiana e a Mongeana), leva ao fato que elas não se traduzem, nem são coincidentes, com uma percepção subjetiva para as coisas do ser. Em outros termos, as formulações matemáticas que a Geometria Mongeana traça sobre um entendimento do que seria um objeto não asseguram o modo como o objeto se apresenta em nossa presença. Na experiência vivencial, um objeto se apresenta por sua forma de uma perspectiva tomada pela distância do seu observador, e não por uma lei universal que possibilite, *a priori*, intelectualmente determinar a sua forma. Na visão humana, a imagem que vemos dos objetos se assemelha à perspectiva cônica, sendo esta, bem diferente da projeção ortogonal diédrica, proposta por Gaspard Monge.

Os autores deste artigo acreditam que é possível, também, relacionar esses obstáculos a um ensino lacunar, que vem eliminando disciplinas ligadas ao desenho geométrico dos segmentos do ensino fundamental e médio, por uma incompatibilidade com a lógica natural do pensamento, *i.e.*, tende-se a apreender o conhecimento do concreto para o abstrato. A experiência do *workshop* demonstrou que, embora os recursos computacionais forneçam suporte para ilimitadas possibilidades de proposição formal de alta complexidade, é fundamental que esses recursos sejam associados a conhecimentos de ordem geométrica para a sua plena utilização.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos especialmente aos alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) que participaram do *workshop*. À Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU-UFJF) por apoiar a realização do evento que abrigou esta oficina.

NOTAS

1. Lima (2017) define lógica algorítmico-paramétrica como aquela que objetiva o uso de programação e de procedimentos algorítmicos e paramétricos em atividades criativas e no processo de concepção e desenvolvimento de projeto.
2. Apesar de, neste *paper*, possuírem ênfase três categorias de conhecimento geométrico, os autores deste artigo têm clareza de que podem ser construídas outras taxonomias a respeito. Neste sentido, a abordagem proposta não pretende reduzir a Geometria a três níveis, mas sim, utilizar a classificação proposta como categorias de análise.
3. A Catedral de São Paulo, em Londres, foi projetada por Christopher Wren (1632-1723), e construída entre 1675 e 1710.
4. Ao identificar três tipos de Geometria (“Métrica, Projetiva e Simbólica”) nas arquiteturas de diferentes épocas, Evans (1995) aponta que cada uma destas categorias refletem as concepções espaciais prevaletentes ao longo do tempo, sendo o projeto arquitetônico decorrente de tal condicionamento. Assim, o autor questiona se a geometria é de fato uma base estável dos aspectos criativos, intuitivos ou retóricos da arquitetura. Apesar das categorias propostas por Evans tangenciarem em parte à proposição dos autores, é importante ressaltar que, neste *paper*, defende-se que seria o conhecimento das geometrias Euclidiana, Cartesiana e Mongeana que reitera o nexo entre a imaginação projetual e a realização das formas arquitetônicas, sem se deter, todavia, aos aspectos simbólicos inerentes à construção pictórica na relação entre arquitetura e geometria apresentados por Evans.
5. Em princípio, a Geometria Euclidiana apresenta limitações práticas, pois formas complexas, difíceis de serem representadas no papel e reproduzidas *in loco*, foram efetivamente suprimidas do vocabulário construtivo. Tais limitações práticas nas formas de edifícios não foram experimentadas como tal por arquitetos até o século XX, a exemplo do emprego de superfícies curvas situadas no campo da Geometria não-Euclidiana, que estuda as resoluções geométricas-matemáticas em superfícies não-planas, redefinindo os postulados de Euclides.
6. Mais especificamente, esta disciplina aborda modelagem na “plataforma” *Rhinoceros®* + *Grasshopper®*, que utiliza a Linguagem de Programação Visual.
7. Os alunos que participaram do *workshop* se encontravam entre o 1º e o 5º período do curso. Mais especificamente, treze alunos estavam cursando o 5º período, um estava no 1º período e havia ainda um que se encontrava no 7º período, mas que não havia feito a disciplina Modelagem Digital e Prototipagem (este aluno estava seguindo a matriz curricular antiga, em que não havia a obrigatoriedade de cursar a disciplina MDP). A equipe de professores/tutores do *workshop* possuía um bom nível de conhecimento em Linguagem de Programação Visual (*Grasshopper*) e pouca experiência em outras linguagens de programação.
8. Foram utilizadas chapas de MDF para fabricação do minipavilhão nas dimensões de 1,37x1,83m (previamente cortadas para se adequarem à área útil de corte da máquina). A máquina de corte laser utilizada (modelo Acrila 1525 da fabricante Automatisa) possui uma área útil de corte de 1,50x2,50m.
9. Considerando os objetivos do *workshop* e visando promover uma maior interação entre todos os participantes, bem como um processo de desenvolvimento do objeto mais participativo, optou-se pela execução de apenas uma proposta, escolhida após apresentação de ideias e votação por parte dos participantes. A discussão entre os participantes contemplou aspectos estético-formais das propostas, e considerou, também, a viabilidade de modelagem e fabricação dos objetos, consonantemente ao conhecimento dos participantes.

REFERÊNCIAS

- BARKI, J. *O risco e a invenção: um estudo sobre as notações gráficas de concepção no projeto*. 2003. 270f. Tese (Doutorado em Urbanismo) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- BATLLE, A.O. *O papel do desenho na formação e no exercício profissional do arquiteto: conceitos e experiências*. 2011. 202f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- CELANI, G. *LAPAC 2006-2013: laboratório de automação e prototipagem para arquitetura e construção*. Campinas: Unicamp, 2013.
- EVANS, R. *The projective cast: Architecture and its three geometries*. Cambridge: MIT Press, 1995. p.xxxii
- HENDERSON, W. *A Revolução Industrial*. São Paulo: Editora USP, 1979.
- HUBERMAN, L. *História da riqueza do homem*. Rio de Janeiro: Zahar, 1962.
- JORDAN, R. *Western architecture*. London: Thames and Hudson, 1969. p.244.
- KILKELLY, M. 5 razões para arquitetos aprenderem programação. *Archdaily*, 2015. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/764687/5-razoes-de-porque-os-arquitetos-devem-aprender-a-programar-sofware>>. Acesso em: 7 abr. 2015.
- KOYRÉ, A. *Do mundo fechado ao universo infinito*. Rio de Janeiro: Forense-Universitária, 1979.
- LABORATÓRIO DE MODELOS E FABRICAÇÃO DIGITAL. *Workshops*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2018. Disponível em: <<http://www.lamo.fau.ufrj.br/workshops>>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- LIMA, F. *Métricas urbanas: sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho*. 2017. 236f. Tese (Doutorado em Urbanismo) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- LIMA, F.; CAMPELLO, M.; LOPES, R. Explorando métodos de representação e simulação na etapa conceitual no processo de projeto arquitetônico: análise de um caso de estudo. *Cadernos PROARQ*, v.1, n.27, p.89-103, 2017.
- MITCHELL, W.; McCULLOUGH, M. *Digital design media*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- PICON, A. Foreword. In: TERZIDIS, K. *Algorithmic architecture*. New York: Routledge, 2006.
- POTTMANN, H. *et al. Architectural geometry*. Exton: Bentley Institute Press, 2007.
- SCHEER, D. *The death of drawing: Architecture in the age of simulation*. New York: Routledge, 2014.
- TERZIDIS, K. *Algorithmic architecture*. New York: Routledge, 2006.
- USHER, A. *Uma história das invenções mecânicas*. Campinas: Pairus, 1993.
- WOODBURY, R. *Elements of parametric design*. New York: Routledge, 2010.

FERNANDO TADEU DE ARAÚJO LIMA | ORCID iD: 0000-0001-7501-1466 | Universidade Federal de Juiz de Fora | Faculdade de Arquitetura e Urbanismo | Departamento de Projeto, Representação e Tecnologia | José Lourenço Kelmer, s/n., Campus Universitário, Martelos, 36036-900, Juiz de Fora, MG, Brasil | Correspondência para/Correspondence to: F.T.A. LIMA | E-mail: <fernando.lima@arquitetura.ufjf.br>.

RICARDO FERREIRA LOPES | ORCID iD: 0000-0003-3169-7851 | Universidade Federal de Juiz de Fora | Faculdade de Arquitetura e Urbanismo | Departamento de Projeto, Representação e Tecnologia | Juiz de Fora, MG, Brasil.

JOSÉ GUSTAVO FRANCIS ABDALLA | ORCID iD: 0000-0002-1555-5004 | Universidade Federal de Juiz de Fora | Faculdade de Arquitetura e Urbanismo | Departamento de Projeto, História e Teoria | Juiz de Fora, MG, Brasil.

ELABORAÇÃO

Todos os autores contribuíram na concepção e desenho do estudo, análise de dados e redação final.

Como citar este artigo/*How to cite this article*

LIMA, F.T.A. *et al.* Conhecimento geométrico e modelagem algorítmico-paramétrica: um experimento prático-pedagógico sobre o processo projetual. *Oculum Ensaios*, v.16, n.1, p.121-137, 2019. <http://dx.doi.org/10.24220/2318-0919v16n1a4020>

Recebido em
14/8/2017,
reapresentado
em 16/1/2018
e aprovado em
1/2/2018.