Casula: o projeto paramétrico aplicado a um protótipo experimental construído por seccionamento.

Casula: parametric design applied to an experimental prototype built using the sectioning technique.

Ana Luisa Oliveira Rolim

Doutora em Desenvolvimento Urbano, Professora Assistente III do curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil
ana.rolim@unicap.br

Vinícius Lemos Santos

Arquiteto e Urbanista, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil
viniciuslvalentim@gmail.com

RESUMO:

Apresenta-se um artefato arquitetônico como um caso de aplicação de uma geometria não euclidiana à arquitetura de um protótipo de uso temporário, denominado Casula. Concebido pelos autores e construído com a participação de um grupo de alunos de graduação em arquitetura e urbanismo, o objeto traduz uma geometria complexa, obtida a partir da deformação de uma forma cúbica, utilizando softwares de modelagem e codificação, com base na técnica do seccionamento por empilhamento paralelo. Insere-se no universo das experimentações com objetos tridimensionais acentuadamente nos últimos vinte anos, que utilizam de métodos digitais, visando expandir as possibilidades da produção material e formal. Neste contexto, casos de experimentos na escala de 1:1, como o aqui discutido, têm desempenhado um papel importante no design e na arquitetura, já que os limites entre pensar e o fazer, projetar e fabricar, protótipo e projeto final tornam-se tênues, passando a incorporar um processo interativo e com meios de inovação não lineares. Inicia-se o estudo com uma contextualização acerca do projeto paramétrico e da técnica do seccionamento. Em seguida, discorre-se sobre o processo digital de geração da forma proposta e as etapas envolvendo a construção do protótipo. Na conclusão são discutidos os desafios e resultados positivos obtidos com o experimento.

Palavras-chave: projeto digital; geometrias complexas, protótipo arquitetônico; design paramétrico

ABSTRACT:

We present an architectural artifact as a case of a non-Euclidean geometry applied to an architectural prototype named Casula. Conceived by the authors and built with the participation of a group of architecture and urbanism undergraduate students, the object translates a complex geometry, obtained from the deformation of a cubic form, using modelling and coding software, based on the technique of parallel stacking sectioning (IWAMOTO, 2009). It fits within the architectural and design experiments, markedly in the last twenty years, using digital methods to expand the possibilities of the material and formal production. In this context, cases of 1:1 scale experiments, such as the one discussed here, have played an important role as an interactive and non-linear process, which blurs the limits between thinking and doing, design and fabrication, prototype and final design. The study begins by situating parametric design within the architectural context and, focusing on the sectioning technique. Next, the proposed form-generating process is presented, followed by the description of construction phases. In conclusion, we discuss the challenges and positive outcome encountered through the experiment.

Keywords: digital design; complex geometries; prototype; parametric design

1. INTRODUÇÃO

Talvez seja impossível, hoje em dia, pensar em projetar edifícios (ou outras estruturas arquitetônicas) sem computadores, que são usados em todas as etapas do processo, desde a concepção até, em muitos casos, sua construção. Modelos tridimensionais e visualização, estudos generativos da forma, codificação para modulação de sistemas, análises estruturais e térmicas, gestão e coordenação de projeto e produção “do-arquivo-à-fábrica”, são exemplos de algumas das práticas digitais empregadas por arquitetos e consultores no setor da construção.

A conexão entre cibernética e arquitetura não é um fenômeno do século XXI, suas origens remontam aos anos de 1960, à Inglaterra e aos Estados Unidos, e às figuras de Lionel March e Christopher Alexander, dentre tantos outros. As colaborações iniciais enfocavam na análise de problemas urbanos e arquitetônicos complexos e na criação de ambientes que aproximavam o usuário e o computador, apontando para uma nova maneira de se pensar diferentes possibilidades em arquitetura (ZARDINI, 2013).

Neste contexto, a associação entre o britânico Cedric Price e Gordon Pask para o projeto do Fun Palace é um exemplo fundamental. Através de espaços multivalentes e funções e programas mutáveis do projeto, a intenção de Price era que um sistema de controle cibernético autônomo permitisse os usuários moldar seus próprios ambientes (MATTHEWS, 2007).

Arquitetos já desenham digitalmente há mais de trinta anos. A partir do final dos anos de 1980 e na década seguinte houve um intenso debate sobre arquitetura digital, que tem acompanhado a maioria da produção e discussão no campo, com produção assídua em periódicos, livros e websites (ZARDINI, 2013).

Os *softwares* conhecidos como *Computer-aided Design* (CAD) tornaram o desenho em duas dimensões eficientes e fáceis de editar. Porém, enquanto o CAD substituiu o desenho analógico, os edifícios não acompanharam essa mudança. Graças à modelagem tridimensional computacional e à fabricação digital houve uma espécie de energização que levou à expansão dos limites tradicionais da forma e da construção em arquitetura. Segundo Zardini (2013), além dos arquitetos – dentre os quais, Peter Eisenman, Frank Gehry, Chuck Hoberman e Shoji Yoh são pioneiros – o constituinte tecnológico ganhou vida própria, tornando possível a produção de projetos.

Nas décadas de 1980 e 1990, a pesquisa e iniciativas arquitetônicas pressionaram por investigações em avanço tecnológico e ferramentas computacionais, tornando a adoção de recursos digitais algo instrumental na produção da arquitetura. Os anos de 1990 também são marcados por uma tendência de aversão à história e à teoria, privilegiando práticas com enfoque na tecnologia, uma mudança acentuada pelo acesso fácil à Rede Mundial de Computadores, telefones celulares, *software* e uma capacidade operacional mais ágil por parte dos computadores.

O escritório Gehry Partners, por exemplo, começou a usar CAD e *Computer-aided Manufacturing* (CAM) em 1989, no projeto do Disney Concert Hall. O escritório adaptou um programa da indústria aeroespacial, o *Computer-aided Three Dimensional Interactive Application* (CATIA), para modelar a vedação externa da sala de concertos utilizando protótipos produzidos com ferramentas para máquinas de corte computadorizadas derivados de modelos de superfícies digitais. Com a criação da Gehry Technologies (2002), o escritório desenvolveu o *Digital Project*, uma versão do CATIA adaptada e especializada para atender a projetos arquitetônicos complexos, e hoje presta consultoria a outros escritórios e empresas do ramo da construção civil.

O estudioso inglês, Robin Evans (1997), em sua obra “Translations from Drawings to Building” discute sobre a separação inevitável vivenciada pelo arquiteto entre desenho, o meio tradicional do projeto, e a construção, seu resultado, defendendo que as grandes invenções ocorrem justamente nesta lacuna. Similarmente ao desenho tradicional, as práticas digitais têm o potencial de reduzir o hiato entre representação e construção, oferecendo uma conexão mais sólida entre o projeto e sua edificação. Contudo, como em qualquer processo projetual, é praticamente inviável eliminar-se por completo estas lacunas, que variam de acordo com as técnicas empregadas, cada uma com seus limites (IWAMOTO, 2009).

Imbuído no que Lynn (2013) considera o aspecto mais relevante do projeto digital, que é tratá-lo não somente como um instrumento, mas como um meio criativo integral e extensivo ao processo do projeto, no protótipo Casula foi utilizada a técnica do seccionamento por empilhamento paralelo para especular sobre a deformação de um volume cúbico que servisse de suporte para usuários, nos jardins de um campus universitário.

O processo projetual envolveu o uso do *software* Rhinoceros e o *plugin* Grasshopper aplicados na transformação de uma geometria inicialmente euclidiana (um cubo maciço) em uma forma complexa, processo que envolveu diversas iterações em tempo real, possibilitadas pelos referidos recursos digitais. A intenção foi minimizar a natureza visualmente impermeável da forma inicial, gerando um artefato mais maleável, que otimizasse a permeabilidade visual e física desejáveis no sítio de inserção, uma área de jardins margeada por elementos vegetativos, passeios, uma via pública e edificações em altura.

2. SOBRE O PROJETO PARAMÉTRICO

A natureza do processo de projeto de arquitetura é, na maioria das vezes, iterativa. Projetistas concebem soluções que geram novas questões, as quais, por sua vez, são investigadas de forma a produzir soluções aprimoradas ou novas. Na área do projeto paramétrico, que se insere no campo mais amplo do projeto generativo, a intuição dá lugar a uma metodologia técnica precisa para se chegar a soluções, as quais levam a resultados que respondem a regras determinadas e *inputs* (ROLIM; CANUTO, 2016).

Esse processo está intimamente ligado ao pensamento algorítmico, que permite ao projetista racionalizar, controlar, iterar, analisar, e procurar por alternativas em um espaço de solução definido. *Softwares* usados em projetos paramétricos permitem especificar relações entre os vários parâmetros de um modelo através da mudança de alguns destes parâmetros, de modo que o restante do modelo reage e se atualiza compativelmente. (JABI, 2013).

Este tipo de concepção, em sua essência, independe do computador, tendo sua origem na matemática enquanto um processo interativo baseado nas relações entre objetos, e não em quantidades métricas fixas (MEREDITH, 2008). Sobretudo devido ao avanço de modelos 3D de geometrias não-euclidianas complexas, os problemas aumentaram, estimulando o uso de *softwares* paramétricos na arquitetura, pois facilitam a especificação de relações entre vários parâmetros destes modelos.

Portanto, diferente de programas de manipulação direta do desenho ou de modelagem, *softwares* paramétricos¹ ultrapassam a edição da geometria do projeto, facilitando a expressão e exploração da intenção projetual em si, já que as mudanças possíveis de serem efetuadas são baseadas em regras associativas criadas pelo projetista.

Através deste tipo de lógica projetual, é possível explorar e otimizar uma multitude de possibilidades, em uma quantidade de tempo bem menor do que em aproximações tradicionais do projeto. Há de se observar que estes processos paramétricos requerem uma mudança de mentalidade em quem projeta, já que sugerem a saída de um processo de manipulação de representações do projeto rumo à codificação da intenção projetual a partir de uma lógica sistemática (JABI, 2013).

Para Schumaker (2009), os temas fundamentais do parametrismo são versionamento, iteração, customização em massa e diferenciação contínua. Versionamento implica em criar-se diferentes versões de algo, conforme novas forças e condições sugerem. Quanto à iteração, trata-se de repetir uma série de passos - tamanho e forma de uma planta, por exemplo- permitindo gerar e testar soluções rapidamente. Já customização em massa significa ir além do ideal de produção em massa, trazida com a Revolução Industrial, para explorar tecnologias de fabricação digital que permitem que se modifiquem as instruções da manufatura de cada objeto. Em um processo parametrizado e robotizado, customizar produtos manufaturados pode custar o mesmo do que produzir-se a mesma quantidade de produtos idênticos.

Além dos três temas acima descritos, todos os sistemas paramétricos têm em comum as seguintes características: orientação a objetos (ou *object-oriented*), classes de família, métodos e parâmetros. Algo já sedimentado na ciência da computação, a orientação a objetos implica na interação do usuário

¹ Alguns exemplos utilizados no projeto da arquitetura são: Rhinoceros e seu *plug-in* Grasshopper, Revit, e seu *plug-in* Dynamo, Processing e MAXScript.

com um sistema paramétrico de modo que esta relação reflete a estrutura do algoritmo interno ao criar e modificar objetos, tais como círculos, esferas, portas e paredes. Um sistema paramétrico normalmente armazena estes componentes em uma base de dados de orientação a objetos que pode ser acessada e modificada (JABI, 2013).

Como consequência, em lugar de um vasto conjunto de instruções que especificam como desenhar círculos, quadrados e triângulos, um sistema orientado a objetos encapsula estas instruções na classe ou família de cada objeto e o modo como este é construído ou modificado é codificado como um método na própria entidade. Em um círculo, por exemplo, um método seria construir o círculo especificando a posição do seu centro ou o valor do atributo de seu raio.

A palavra “parâmetro” deriva do grego *para* (além de, antes ou em vez de) e *metron* (medida), indicando algo que significa ou determina outra medida. Em *softwares* de CAD, um parâmetro normalmente expressa algo variável que determina outros valores. Em um sistema paramétrico, é particularmente atraente a possibilidade de explorar muitas variações a partir da modificação do valor de alguns parâmetros controladores.

No código para o protótipo Casula, objeto deste estudo, a partir dos parâmetros de controle criados, poder-se-ia, por exemplo, ampliar a escala do objeto àquela de um edifício. Obviamente, outros problemas surgiriam, a materialidade e requerimentos estruturais sofreriam alterações severas, contudo, quanto à natureza da forma, o modelo parametrizado criado poderia funcionar como uma matriz geradora inicial.

Antes de se mostrar o código criado para o objeto proposto, contudo, discorre-se a seguir sobre a técnica do seccionamento, que foi determinante na idealização do processo digital e na consequente construção física da Casula.

3. SOBRE A TÉCNICA DO SECCIONAMENTO

Na arquitetura, modos de representação e construção têm um papel essencial, ainda mais atualmente, quando mídias digitais e tecnologias emergentes transformam de modo radical o que é concebido em termos de forma, espaço e materialidade.

Dentre estes modos, projeções ortográficas (plantas e cortes ou seções) são ferramentas valiosas, indispensáveis para comunicar sobre um projeto. Montenegro (1978), em seu livro referência, largamente utilizado em escolas de arquitetura no Brasil, nas décadas de 1980 e 1990, comentava que:

Na grande maioria dos casos, as plantas e fachadas não são suficientes para mostrar as divisões internas de um projeto de arquitetura. Para indicar bem os espaços internos, são necessários os cortes feitos por planos verticais. (MONTENEGRO, 1978 p. 52).

Percebe-se dois pontos importantes nessa descrição do autor. O primeiro é a ênfase na capacidade do corte como representação de algo já resolvido, no caso plantas e fachadas. Em seguida, há o enfoque na seção enquanto seu potencial para mostrar o interior do edifício (ver Figura 1).

Figura 1: a representação tradicional do corte através de um plano vertical.

Fonte: Montenegro (1978, p.50), editada pelo autor.

Já Lewis *et al* (2016) argumentam que o corte deve ser visto tanto como um tipo de representação e como uma ferramenta de projeção para a invenção espacial e material na arquitetura, que revela seus perfis internos e externos, o espaço interno em si e a materialidade (membrana ou parede) que separa seu interior do exterior. Para os autores, cortes fornecem uma “ [...] forma única de conhecimento, que, por necessidade, mudam da ênfase na imagem à performance, da superfície à intersecção da estrutura e materialidade, que compõe a lógica tectônica da arquitetura.” (LEWIS *et al* 2016, p.7, tradução nossa)

Iwamoto (2009) refere-se à evolução da definição tradicional do corte, afirmando que este tipo de representação contribuiu para um método de fabricação digital, bastante popular hoje em dia, denominado seccionamento. A autora explica que, com a modelagem via computador, desenhar cortes não é mais necessariamente um exercício bidimensional, convertendo-se em um processo de seccionar um objeto tridimensional modelado.

Especialmente no caso de geometrias não-euclidianas complexas, bastante em voga na arquitetura contemporânea, “fatiar” a forma é uma operação eficiente no quesito tempo gasto, que revela muito da natureza formal e espacial do objeto. Lewis *et al* (2016) ratificam esse aspecto ao

exporem que, atualmente, cortes são usados para ilustrar, testar e explorar projetos arquitetônicos e que, como a arquitetura precisa responder a cargas gravitacionais (verticais) e do vento (laterais), podem fornecer o investimento material e a invenção espacial necessários para que um edifício resista, de modo criativo, a estas cargas.

Em *softwares* de modelagem, ferramentas como *sectioning* (seccionamento) ou *contouring* (contorno), podem criar seções paralelas em objetos em intervalos desejados, o que agiliza o processo da construção de seções paralelas em série (ver Figura 2). Como será exposto a seguir, foi justamente a partir dessa lógica que se deu a modelagem da Casula.

Figura 2: a geometria complexa da obra Dunescape (SHoP Architects, 2001) e os múltiplos cortes realizados com auxílio de *software* paramétrico.

Fonte: Iwamoto (2009, p.12), editada pelo autor.

O uso do princípio do seccionamento não é algo recente na indústria da construção, como nas manufaturas aeromodelística e naval, onde estruturas de avião e de cascos de barcos são definidas a partir de uma série de costelas estruturais, que depois recebem um revestimento, através do método do *loft*. Na cobertura da capela de Ronchamp, do arquiteto Le Corbusier (1955), exemplar da era pré-digital em arquitetura, adota-se o mesmo princípio, ao trazer uma série de costelas estruturais em concreto, conectadas lateralmente por vigas, gerando uma estrutura leve que fornece perfis bem definidos para uma forma não uniforme, com a qual é possível alinhar-se o material de superfície, nesse caso, o concreto. (IWAMOTO, 2009)

O mesmo método do *Loft*, que determina a forma do revestimento ou painéis a serem instalados pela construção de perfis seccionais curvos nos caso mencionados é análogo ao input *lofting*, comum em *softwares* digitais, uma operação também empregada no projeto da Casula (ver Figura 3). Contudo, enquanto nos exemplos citados, o seccionamento foi usado como um substrato para a aplicação de um material de superfície e atingir uma forma final suave, no protótipo, o sistema construtivo é totalmente exposto: lâminas de fina espessura e forma curva em planta, empilhadas horizontalmente e

afastadas de modo equidistante entre si, são suportadas por barrotes em madeira. (ver Figura 4)

Figura 3: exemplos de modelos criados com a técnica *loft* aplicada na Casula

Fonte: elaborado pelos autores. (2018)

Figura 4: o seccionamento por empilhamento horizontal é exposto na Casula

Fonte: elaborado pelos autores. (2018)

4. DESENVOLVIMENTO DA CASULA

O projeto foi desenvolvido durante um curso de extensão ofertado a doze alunos de um curso de graduação em arquitetura e urbanismo, com 20 horas de duração, sob coordenação de um docente. O objetivo principal era aplicar ferramentas de design paramétrico e construção digital à concepção e execução de um objeto arquitetônico de pequeno porte e uso temporário a ser localizado em um campus universitário. Como objetivos secundários, tinha-se adaptar esses processos digitais a procedimentos usuais de construção analógica usando recursos de marcenaria convencional e aproximar alunos de graduação da experiência em um canteiro de obra real.

Contando com apoio de 4 funcionários da marcenaria da instituição de ensino em questão para auxiliar na operação de máquinas e princípios

básicos de marcenaria, a construção da Casula ocorreu em um período de três dias e teve com verba o montante de cinco mil reais.

4.1 Processo do projeto

Para a geração da geometria, é iniciado um código no plug-in Grasshopper a partir da criação de uma *Center Box*, que permite gerar um cubo centrado em um plano no espaço, posicionado no centro das coordenadas do sistema. A partir deste *input*, há a possibilidade de serem acrescentados parâmetros nos eixos X, Y e Z, sendo estes, relativos à largura (L), comprimento (C) e espessura (E) do material a ser utilizado na construção do artefato, placas de maiderite plastificado, medindo 1,22 x 2,44 x 0,18 m (L x C x E).

Após este passo inicial, é necessário empilhar-se as placas, o que é feito através do *input Move*, para, em seguida, conectar ao *Motion* (que determina em que direção o objeto irá mover-se), permitindo que, com a ferramenta *Unit Z* (eixo de deslocamento), o empilhamento desejado aconteça.

Na sequência, no *input Factor*, adiciona-se o comando *Series*, que fornece o quantitativo de repetição do objeto referenciado, que é orientado por *Start*, *Step* e *Count*, coordenadas que indicam, respectivamente, onde este começa, o intervalo entre os objetos e a quantidade destes a ser repetida.

Depois de executado este processo, é desenhado um plano no Rhinoceros, que é referenciado no Grasshopper como *Plane*. Uma vez neste ambiente, é possível conectar o plano à base do *Center Box* criado inicialmente para que seja fornecida a localização da placa de madeirite adjacente (ver Figura 5).

Figura 5: etapas iniciais da modelagem com o empilhamento das placas madeirite.

Fonte: elaborado pelos autores. (2018)

Obtém-se o plano de corte, através de duas ou mais linhas curvas referenciadas a pontos de controle no Rhinoceros, que deverão interseccionar a forma anteriormente modelada, distanciando-se, no mínimo, a mesma altura estabelecida para o total das placas a serem empilhadas.

As curvas são referenciadas no Grasshopper como *Curve* e conectadas via comando *Loft*, que gera uma superfície a partir de duas ou mais curvas. Para ativar o plano de corte em si, a superfície obtida deve separar a geometria das duas pilhas de placas, para que estas sejam conectadas (através do comando *Mesh Split*) à superfície do *Loft* (via input *Splitters*). Finalizando, ativa-se o comando *Bake* e a geometria passa a ser editável no ambiente do Rhinoceros (ver Figuras 6, 7 e 8).

Figura 6: plano de seção da forma base.

Fonte: elaborado pelos autores. (2018)

Figura 7: resultado da forma editável no Rhinoceros.

Fonte: elaborado pelos autores. (2018)

Figura 8: o código da modelagem do protótipo Casula.

Fonte: elaborado pelos autores. (2018)

4.2 O processo construtivo

O tipo de seccionamento utilizado na construção da Casula foi o empilhamento paralelo, conforme identificado por Iwamoto (2009). O nome deriva da aplicação de seções paralelas entre si, cuja frequência determinada entre as peças, geralmente de geometria variada, tende a intensificar visualmente o material de que são compostas.

Estas peças podem ser empilhadas verticalmente (como no projeto Dunescape) ou horizontalmente, como na Casula, onde chapas de madeirite plastificado de 18mm, empregadas devido à boa resistência às intempéries e à compatibilidade com os recursos financeiros limitados disponíveis para a obra, apresentam veios bem pronunciados em sua espessura, os quais foram fornecidos com estas faces pintadas na cor azul. Com o empilhamento das chapas, essa materialidade é ainda mais ressaltada, ampliando a relação entre forma e tectônica do material (ver Figura 9).

Figura 9: os diferentes efeitos da materialidade da Casula.

Fonte: autor (2018).

Figura 10: as seções da Casula permitem formas diversas de acomodação.

Fonte: autor (2018).

Outro aspecto relevante do seccionamento por empilhamento é que, mesmo que este normalmente demande mais material para compor um volume do que superfícies tradicionais o fariam, o desenho das seções é facilmente adaptável, por exemplo, à espessura do material que se venha a utilizar. No caso da Casula, questões orçamentárias levaram a sucessivas alterações na espessura das chapas, o que pode ser facilmente compatibilizado alterando-se os parâmetros estabelecidos no código.

Outro aspecto é o potencial desse tipo de técnica para acomodar reentrâncias e saliências. Na Casula, o empilhamento gera certos trechos nos quais pessoas podem sentar sozinhas ou em grupos, em diferentes posições e posturas (ver Figura 10).

O sequenciamento é parte fundamental de qualquer processo construtivo e, no caso do protótipo, foi particularmente relevante. Como não se dispunha de recursos financeiros para extrair as seções das chapas através de cortes à laser² - dentre as técnicas de construção digital, aquela que é mais acessível no mercado local -, todos os perfis curvos que compunham a forma tiveram seus desenhos transferidos analogicamente para as chapas, e, à medida que isso ocorria, estas eram numeradas de acordo com o sistema criado.

Como o orçamento não permitia utilizar um número muito grande de chapas, foi preciso racionalizar o layout de modo a aproveitar, ao máximo, suas superfícies. Cada nível de empilhamento do objeto, que, em seu total, utilizou 38 chapas de madeirite, era composto de um perfil extraído de uma chapa inteira e outro retirado de metade de uma placa.

O sistema de divisão e consequente numeração incluía peças de três tipos: base (base 01 a 08); intermediárias (entre a base e metade do objeto); superiores (entre as intermediárias e o topo) e, por fim, peças de topo, que funcionavam como vigas responsáveis pelo travamento do objeto (ver Figuras 11 e 12).

Figura 11: layout e numeração dos cortes a serem realizados nas chapas.

Fonte: elaborado pelos autores. (2018)

Outro elemento de controle importante para assegurar a materialidade e permeabilidade da Casula foi o espaçamento entre as chapas. Chegou-se a um espaçamento padrão de 7cm para equalizar o efeito desejado, o número de chapas disponíveis e o elemento estrutural de suporte entre as peças, barrotes em madeira pinus, que são fornecidos em peças lineares com seção aproximada de 7cm x 7cm, as quais foram cortadas para geração dos barrotes propriamente ditos (ver Figura 12).

² Conforme pesquisa feita na cidade do Recife, há indicativos de que o serviço de corte à laser chegue a representar um acréscimo de até 70% em relação ao corte feito manualmente por profissionais de marcenaria.

Figura 12: layout dos barrotes e montagem dos níveis a partir de uma chapa e meia.

Fonte: autor (2018)

No primeiro dia de trabalho houve o recebimento do material e o desenho manual dos perfis nas chapas. Cada nível a ser executado foi impresso, onde foram determinados pontos na curva de corte com cotas verticais e horizontais, determinantes para obter um desenho mais preciso das curvas. Posteriormente, as chapas foram empilhadas na sequência correta, conforme o sistema de divisão descrito acima. No total, foram cortadas 83 peças, com perfis previamente cotados pelos alunos e impressos em papel para facilitar a transferência de coordenadas (ver Figura 13).

Figura 13: desenho dos perfis nas chapas e organização das peças.

Fonte: autor (2018).

No segundo dia, foram feitos quase todos os cortes com uma serra Tico Tico e, logo após, as peças foram lixadas, limpas, retocadas com tinta (bordas e superfície) e novamente organizadas na sequência predeterminada. Uma vez implantado o layout dos barrotes sobre as mesmas, as chapas da base foram montadas para se testar o sistema de divisão e o acabamento dos cortes, além de familiarizar os participantes com esta etapa, a mais delicada da montagem. Até este momento, os trabalhos aconteceram em um galpão onde está localizada a oficina de marcenaria da instituição de ensino (ver Figura 14).

Figura 14: corte, acabamento e organização das chapas.

Fonte: autor (2018)

A partir da metade do segundo dia, as peças foram transportadas para o sítio no qual o protótipo seria instalado, uma área de jardins aberta aos usuários do Campus. Algumas lâminas foram então instaladas. No dia seguinte, o processo do empilhamento continuou, com a fixação de barrotes nas chapas usando parafusos rosqueados de cabeça chata. Estes barrotes foram espaçados de modo aleatório visando bloquear o mínimo possível da visão quando as chapas fossem empilhadas umas às outras. Uma vez fixados a uma dada chapa, a lâmina seguinte era sobreposta à primeira e assim sucessivamente, levando à conclusão do objeto 24 horas após o início da construção (ver Figura 15).

Figura 15: a montagem do protótipo no sítio

Fonte: autor (2018)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O caso aqui apresentado adota o princípio de projeto e construção digital chamado de seccionamento, porém, por limitações orçamentárias, a sua manufatura envolveu procedimentos analógicos. Apesar disso, um aspecto positivo é o de que a Casula inclui-se nas experiências embebidas na atitude do “faça-você-mesmo” e do *design-build*, as quais têm viabilizado, em diversos campos de atuação ao longo do século XXI, uma série de artefatos em pequena escala, reveladores de técnicas pioneiras em processos de concepção e fabricação.

Como um projeto de extensão, a experiência foi bastante positiva por reunir atividades que despertam a vocação profissional dos estudantes, alinhando-se com os desejáveis pilares do ensino, pesquisa e extensão. Além disso, trata-se de uma instalação, de uso temporário, concebida a partir de um processo colaborativo que envolveu professor e alunos dos diversos períodos do curso de arquitetura e urbanismo. A Casula também valoriza os espaços livres do Campus, reforçando seu caráter enquanto locais de convivência que estimulam relações de trocas de saberes de forma espontânea e interativa.

Enquanto aplicação de ferramentas computacionais ao projeto digital, para viabilizar um protótipo de geometria não-euclidiana complexa, fez-se uso destes recursos, não apenas como um meio de representação de uma ideia, mas como uma parte integral do processo criativo e das adequações em resposta às restrições que um projeto a ser construído demanda.

Vivenciar a materialização de uma forma complexa através de um material acessível e de natureza plana, como o madeirite, forneceu aos alunos, mesmo com a ausência de processos digitais na fase de construção, uma aproximação acerca da necessidade de se pensar esta etapa de modo racional e sistêmico, características inerentes a vários casos de obras contemporâneas nas quais os recursos digitais puderam ser aplicados do projeto à obra.

Por fim, do ponto de vista da aplicação de princípios paramétricos de projeto, a Casula relaciona-se positivamente aos três temas apontados por Schumaker (2009): o **versionamento** permitiu a elaboração de inúmeras versões para que a forma proposta se adequasse às restrições de orçamento e materiais para tornar o projeto exequível; a **iteração** ocorreu na repetição de uma série de passos (tamanho e espaçamento das chapas) para testar soluções compatíveis e, quanto à **customização em massa**, mesmo que o protótipo não tenha sido construído digitalmente, foi explorada uma técnica – a do seccionamento - de fabricação digital, a qual, em um processo construtivo parametrizado, poderia levar à manufatura de inúmeras versões customizadas da forma inicial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IWAMOTO, Lisa. **Digital fabrications**: architectural and material techniques. New York: Princeton Architectural Press, 2009. 144p.

JABI, Wassim. **Parametric design for architecture**. London: Laurence King Publishing Ltd., 2013. 208p.

LEWIS, Paul *et al.* **Manual of section**. New York: Princeton Architectural Press, 2016. 208p.

LYNN, Greg (Ed). **The archaeology of the digital**: Peter Eisenman, Frank Gehry, Chuck Hoberman and Shoei Yoh. Montreal: Canadian Centre for Architecture and Sternberg Press, 2013. 396p.

MATTHEWS, Stanley. **From agit-prop to free space**: the architecture of Cedric Price. London: Black Dog Architecture, 2007. 352p.

MEREDITH, Michael *et al.* (eds). **From control to design**: parametric/algorithmic architecture. Barcelona: Actar, 2008. 239p.

MONTENEGRO, Gildo. **Desenho arquitetônico**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1978. 142p.

EVANS, Robin. **Translations from drawings to Building**. Cambridge: MIT Press, 1997. 294p.

ROLIM, Ana; CANUTO, Robson. Estratégias de desenho para reabilitação de assentamentos precários em áreas ribeirinhas do Centro do Recife. In: **Anais do 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**: Pluris : contrastes, contradições, complexidades: desafios urbanos no Século XXI, Maceió, 5 a 7 de outubro de 2016.

SCHUMAKER, Patrick. Parametricism: a new global style for architecture and urban design. **AD/Architectural Design**: digital cities, London, 2009. Vol. 79 (4), p. 14-23.

SPEAKS, Michael. Design intelligence and the new economy. **Architectural Record**, New York, 2002. Vol. 190 (1), p. 72-76.

ZARDINI, Mirko. Archaeologists of the digital: some field notes. In: LYNN, Greg (Ed.). **The archaeology of the digital**. Montreal: Canadian Centre for Architecture and Sternberg Press, 2013. Cap. 1, p. 5-10.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Antônio Santos Abranches (FASA), pela bolsa que custeou o projeto; à direção do Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) e à coordenação do curso de Arquitetura e Urbanismo, da Unicap, pelo apoio institucional; à marcenaria Unicap e à Divisão de Manutenção Predial (DMP), que nos auxiliou na fase de construção e, em especial, aos alunos que muito se dedicaram para materializar o protótipo.