

editorial
editorial

entrevista
interview

ágora
agora

tapete
carpet

artigo nomads
nomads paper

projetos
projects

expediente
credits

próxima v!rus
next v!rus

V!20

revista **V!RUS**
V!RUS journal

issn 2175-974x
ano 2020 year
semestre 01 semester
Julho 2020 July



ALGORITMOS PARTICIPATIVOS: METODOLOGIA PARA A CUSTOMIZAÇÃO ARQUITETÔNICA PARTICIPATORY ALGORITHMS: A METHODOLOGY FOR ARCHITECTURAL CUSTOMIZATION

LUIZ ALBERTO BACKHEUSER, PAULO FONSECA DE CAMPOS

PT | EN

Luiz Alberto Backheuser tem graduação e mestrado em Arquitetura e Urbanismo. É pesquisador do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. É docente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, onde integra o grupo de pesquisa Teoria e Projeto na Era Digital. Estuda Arquitetura algorítmica, customização em massa e fabricação digital. backheuser@gmail.com

Paulo Fonseca de Campos é graduado em Arquitetura e Urbanismo, Mestre em Engenharia de Construção Civil e Urbana e Doutor em Arquitetura e Urbanismo. É Professor Associado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo e do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da mesma instituição. Conduz pesquisas sobre arquitetura industrializada, projeto de produto, pré-fabricados, habitação, concreto de alto desempenho, urbanização e saneamento. pfonseca@usp.br

Como citar esse texto: BACKHEUSER, L. A. F.; FONSECA DE CAMPOS, P. E. Algoritmos participativos: metodologia para a customização arquitetônica. **V!RUS**, São Carlos, n. 20, 2020. [online]. Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus20/?sec=4&item=10&lang=pt>>. Acesso em: 22 Jul. 2020.

ARTIGO SUBMETIDO EM 10 DE MARÇO DE 2020

Resumo

Este artigo apresenta o resultado de uma pesquisa cujo objetivo foi desenvolver uma metodologia algorítmica para a aplicação do conceito de customização em massa na produção de arquitetura. Para tanto, toma-se outra pesquisa paralela, desenvolvida por um dos autores, onde a fabricação digital subtrativa vem sendo estudada a partir da construção em escala real de modelos exploratórios. O trabalho se inicia com o contexto de produção de habitação em larga escala, que tem caracterizado programas habitacionais em diversos países desde o século passado. Em seguida, o conceito de customização ou personalização em massa é apresentado, incluindo-se reflexões sobre sua aplicação na produção de edifícios. Em sua parte final, após uma breve descrição da pesquisa em fabricação digital realizada simultaneamente, descreve-se o algoritmo a que se chegou a partir de sua estrutura e resultados, contemplando-se três aspectos: adaptação a uma solução arquitetônica/construtiva, geração de variações e interface de diálogo com os futuros moradores. Assim, através de ferramentas digitais, busca-se um caminho para uma relação mais colaborativa nas definições arquitetônicas da habitação produzida em larga escala.

Palavras-chave: Habitação em larga-escala, Customização em massa, Arquitetura algorítmica, Arquitetura paramétrica, Arquitetura generativa

1 Introdução: habitação em larga escala no século XXI

Desde meados do século passado, exemplos internacionais têm evidenciado uma tendência de produção de grandes complexos residenciais massificados com unidades habitacionais idênticas. Essa tendência parece atender, particularmente nos países de economia emergente, a enorme demanda por habitação adequada, principalmente nas cidades em que as favelas e outras modalidades precárias de moradia geram problemas em grande escala (BUCKLEY, KALLERGIS, WAINER, 2016). Programas habitacionais em larga-escala foram amplamente produzidos no século XX, principalmente na Europa do Pós-guerra. Os *Khrushchyovkas* soviéticos, os *Plattebaus* da Alemanha Oriental, os *Paneláks* Tcheco-eslovacos, o *Million Programme* sueco, as *Tower Blocks* britânicas são exemplos dessas iniciativas, que almejavam grandes quantidades de unidades habitacionais, com repetições de plantas idênticas, ignorando demandas específicas de comunidades e famílias (URBAN, 2012). No entanto, o modelo francês teve um destaque pela enorme quantidade de unidades entregues: mais de 9 milhões de *Habitation à Loyer Modéré*¹ (HLM) construídas até os anos 1980 nos chamados *Grands Ensembles*² (POWER, 1993).

No entanto, uma mudança significativa difere os programas do Pós-guerra dos casos atuais: o papel do Estado. O Estado de Bem-estar Social foi o grande promotor desses programas do século XX, o que ficou evidente no discurso de 1953 do então ministro da reconstrução da França, Eugène Claudius Petit, que afirmou que ao invés de reconstruir o país, o que seria, segundo ele, olhar para o passado e não para o futuro, deveriam produzir novas casas para os franceses. Petit prometeu 14 milhões de novas unidades habitacionais em 20 anos, e embora não tenha conseguido cumprir o que disse, a França e outros tantos países europeus ergueram enormes quantidades de moradias para seus cidadãos (POWER, 1993). Já no modelo atual, o Estado não age mais como promotor, mas como um facilitador da construção. Essa tendência de transferência da promoção estatal para as mãos do estado para as mãos da sociedade remonta aos anos 1970, quando o Estado passa a estimular a demanda, e não a provisão direta (NOIA, 2017). Assim, o Estado facilita a produção de habitação por empresas privadas, através de financiamentos e outras vantagens aos construtores (BUCKLEY, KALLERGIS, WAINER, 2016).

Essas mudanças promoveram, a partir da segunda metade do século XX, uma revisão do paradigma, dando espaço a processos autogestionados (NOIA, 2017), que surgem como respostas aos problemas sociais que emergiram em grandes conjuntos habitacionais. A demolição do *Pruitt Igoe*, por exemplo, foi interpretada como o fim do Modernismo, e seu modelo de promoção de habitação, massificado, produtivista e indiferente às demandas reais. Outros tantos exemplos notórios de grandes blocos residenciais que tiveram o mesmo destino, como a *Cité de la Muette*, na França, ou o *Killingworth Towers*, na Inglaterra (FONSECA DE CAMPOS, 2016; REIS, LAY, 2006). Surge, assim, um novo paradigma da habitação social, em que comunidades específicas participavam de maneira direta da produção da própria casa, apoiada na ideia de “que a produção informal não deveria ser encarada como uma afronta social, mas como uma oportunidade para a promoção do controle e autonomia do habitante” (NOIA, 2017, p. 64).

A importância e as vantagens dos chamados processos participativos começam a ganhar defensores entusiastas e uma literatura própria a partir do final dos anos 1960, e, assim, um contorno melhor definido de seus objetivos. Diversas experiências mundiais de estímulo de processos de autogestão ou outros tipos de ações participativas se popularizaram tanto nos países ricos, quanto em economias emergentes. Experiências como as de Giancarlo de Carlo, na *Vila Matteotti*, em Terni, Itália; de Christopher Alexander, em *Mexicali*, no México; do Serviço de Apoio Local (SAAL), em Portugal; do egípcio Hassan Fathy no Egito; do inglês John F. C. Turner, no Peru; das Cooperativas Habitacionais Uruguaias; e do *Byker Wall*, de Ralph Erskine, na Inglaterra e MolenVilet na cidade de Papendrecht, nos Países Baixos, são casos notórios de aplicação de metodologias participativas.

No Brasil, são notáveis as realizações das assim denominadas *Assessorias Técnicas*, criadas no âmbito da gestão da prefeita Luíza Erundina na cidade de São Paulo (1989-1992) (FONSECA DE CAMPOS, 2016), além de exemplos como as experiências do grupo USINA CTAH e da ONG Peabiru. No entanto, embora iniciativas participativas e programas autogestionados continuem sendo praticados, modelos massificadores têm sido privilegiados por diferentes governos nesse início do século XXI. Diversos programas vêm surgindo, provendo a facilitação da produção de habitação em larga escala por construtoras e incorporadoras privadas, que se beneficiam de juros baixos e terras baratas distantes dos centros urbanos. Essas práticas são frequentes em países em desenvolvimento, como nos exemplos do quadro a seguir:

País	Programa
Argentina	Programa de Crédito Argentino del Bicentenario para la Vivienda Única Familiar (PRO.CRE.AR)
Brasil	Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)
Colômbia	Vivienda de Interés Social (VIS)
Etiópia	Integrated Housing Development Program (IHDP)
Índia	Rajiv Awas Yojana (RAY)
México	Esta es tu Casa
África do Sul	Comprehensive Plan for the Development of Sustainable Human Settlements a.k.a Breaking New Ground (BNG)
Tailândia	Baan Mankong (CODI)

Quadro 1: Programas recentes de promoção de habitação social em larga escala. Fonte: Adaptado de BUCKLEY, KALLERGIS, WAINER, 2016.

Essas realizações caracterizam-se pelos enormes recursos financeiros delegados aos juros subsidiados; pela preferência por construções novas ao invés da atualização do estoque habitacional existente; e pelo caráter massificador e homogeneizador de repetições de unidades idênticas. Trata-se, na verdade, de programas de financiamento, não de propostas arquitetônicas e urbanísticas (BUCKLEY, KALLERGIS, WAINER, 2016). Na América Latina, os casos Mexicano e brasileiro chamam a atenção pela enorme quantidade de unidades construídas. Entre os anos 2000 e 2015, as grandes cidades mexicanas testemunharam um crescimento significativo de suas periferias. Esse fenômeno é resultado de uma guinada da política nacional de habitação a partir de meados dos anos 1990, sob as prescrições do Banco Mundial, valorizando ações focadas no desenvolvimento do livre mercado. Assim, órgãos públicos passam a concentrar seus esforços no gerenciamento de hipotecas de créditos sociais; no caso mexicano, através do *Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores* (Infonavit), estimulando a produção privada de habitações sociais.

Se até então os órgãos públicos produziam e gerenciavam unidades residenciais verticalizadas, concebidas sob o modelo europeu dos *Grands Ensembles*, a partir desse momento, começa a prevalecer um padrão mais horizontalizado baseado em sobrados alinhados em renque, gerando urbanizações de alta densidade de moradias, mas baixa oferta de equipamentos e distantes dos centros urbanos, onde a maioria de seus moradores ainda depende de empregos nas áreas centrais, tornando a mobilidade um problema significativo (JACQUIN, 2012).

Ainda assim, em 2014, a *Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano* (Sedatu) identifica um déficit de quase três milhões de habitações, pois, apesar das milhões de unidades construídas, a preocupação meramente quantitativa das incorporadoras e a postura estatal de facilitação ignoraram que a habitação não é apenas uma casa. A má qualidade das construções, as dificuldades de locomoção até as áreas centrais e a falta de infraestruturas necessárias fizeram que muitas das milhões de unidades habitacionais construídas nas periferias mexicanas neste início de século fossem abandonadas, criando enormes complexos habitacionais subocupados e contribuindo com a degradação física e social dessas urbanizações (BLAS, 2015).

No caso brasileiro, o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) completou dez anos de existência em 2019, com um recorde quantitativo absoluto: mais de quatro milhões de unidades entregues (BRASIL, 2019). Lançado em 2009 pelo o governo federal, trata-se do mais ambicioso programa de habitação social da história do Brasil. Concebido pelos ministérios da Casa Civil e da Fazenda, em acordo com a indústria da construção civil, o PMCMV vem enfrentando dificuldades com aquilo que alguns autores chamam de uma leitura bastante simplificada do problema habitacional brasileiro, atacando o déficit segundo uma visão puramente produtivista, baseada, preponderantemente, em metas quantitativas (RIZEK, SANTO AMORE, CAMARGO, 2014). O programa perpetua de maneira mais acentuada, as características presentes em programas anteriores, como a experiência do Banco Nacional de Habitação (BNH) (NOIA, 2017), encarando o problema da habitação pela ótica financeira, relegando problemas arquitetônicos e urbanísticos a um segundo plano.

Entre as muitas críticas frequentes ao programa, pode-se citar a baixa porcentagem de financiamentos dedicados à faixa 1 (RIZEK, SANTO AMORE, CAMARGO, 2014), para famílias com renda mensal bruta de até R\$ 1.800,00, justamente o grupo mais necessitado. A busca por terrenos mais baratos também costuma afastar os empreendimentos dos centros urbanos, e as urbanizações impostas ignoram as dinâmicas cotidianas das famílias, fatores que dificultam a vida de seus moradores. No entanto, a atenção do presente estudo se volta para as unidades habitacionais e sua inadequação às famílias e seus hábitos cotidianos. A perpetuação do modelo de unidade mínima, dimensionado para uma família hipotética, afasta-se da realidade, comprovando que o programa atende mais aos interesses de quem constrói do que aos de quem habita.

A segunda fase do programa, iniciada em 2011, começa a atender às demandas de comunidades específicas, promovendo a realocação de população em situações precárias e a urbanização de favelas. Também surge uma nova modalidade, na qual o empreendimento é organizado e gerido diretamente por entidades populares de futuros moradores (PMCMV-ENTIDADES) (NOIA, 2017). No entanto, a modalidade Entidades configura-se como exceção dentro PMCMV, com um número bastante limitado de exemplos (NOIA, 2017). Além disso, é importante lembrar que a modalidade Entidades e toda a faixa 1 do PMCMV foram as que mais sofreram com os cortes orçamentários de 2018 (CAMBRICOLI, 2018).

Avaliações pós-ocupação em exemplos de empreendimentos financiados pelo PMCMV evidenciam a inadequação das unidades habitacionais não apenas nas diferentes composições familiares, mas no uso dos espaços. A concepção tripartida (em setores social, íntimo e de serviços) supõe um uso excessivamente racional dos espaços, o que não ocorre efetivamente na prática. Diferentes atividades se desenvolvem em um cômodo imaginado para um uso muito específico. Por exemplo, além de dormir e vestir-se, um dormitório pode ser usado para trabalhar e receber visitas. Uma sala pode ser frequentemente utilizada para dormir e cuidar das roupas (passar e dobrar). Ou seja, perpetua-se a concepção da arquitetura para um homem ideal, evitando-se o confronto com a realidade (VILLA et al., 2015). As composições familiares, frequentemente, fogem do modelo considerado tradicional. O modelo pai, mãe e dois filhos é a referência para o PMCMV (SANTO AMORE, SHIMBO, RUFINO, 2015), e seguramente também para outros programas similares ao redor do mundo, porém não considera a realidade das famílias que deve atender. Famílias com composições diversificadas (monoparentais, estendidas, casais sem filhos, pessoas sozinhas, etc) são mais frequentes que famílias tradicionais (pais e filhos) (VILLA et al., 2015). Esses arranjos diversificados têm crescido principalmente em grupos com menor renda (LEONE, MAIA, BALTAR, 2010).

A personalização dos espaços, ainda que através de uma oferta limitada de variações, pode contribuir com a atenuação dos conflitos entre arquitetura, composições familiares e usos reais dos espaços, adaptando-os aos desejos das pessoas que os ocuparão de maneira realista, a partir das demandas individuais de famílias específicas, que conhecem como ninguém seu cotidiano doméstico.

2 Customização em massa

Em 1987, Stan Davis cunha a expressão *Mass Customization*, ou Customização em Massa, em seu livro *Future Perfect*. Trata-se de um manifesto que defende um permanente estado de revolução econômica. Assim afirma que produtos e serviços devem ficar disponíveis no instante em que um cliente desenvolve uma necessidade; que produtos e serviços devem ser enviados aos clientes, e não vice-versa; que os fabricantes devem separar as informações contidas em um produto da matéria física que lhe dá forma; e que os processos de produção devem gerar uma variedade infinita de bens e serviços, adaptados exclusivamente aos clientes (DAVIS, 1990).

A Customização em Massa não é a disponibilização de produtos variados, mas a participação do consumidor na definição ou especificação de características desses produtos. Ou seja, não são ofertados apenas produtos, mas a capacidade de transformá-los, ou defini-los a partir de possibilidades previamente disponibilizadas. Isso quer dizer que o fornecedor deve definir quais atributos ou características do produto podem ser customizadas, obrigando-o a uma abordagem voltada ao cliente, e não voltada ao mercado e ao produto, como geralmente ocorre (MACHADO, MORAES, 2010). Assim, a eficiência da produção em série é associada à possibilidade de adaptação, frequentemente identificada como *Build to order*, *make to order*, *assemble to order*, *configure to order*, *engineer to order*, evidenciando a produção a partir da demanda (GARDNER apud AZUMA, 2016).

A aplicação da Customização em Massa tem sido facilitada ou mesmo viabilizada graças às tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), e aos processos *Computer Aided Design* (CAD) e *Computer Aided Manufacturing* (CAM) (PINE, 1994), permitindo um diálogo melhor com os consumidores, facilitando modificações, produzindo rapidamente novos produtos e fabricando-os com uma agilidade nunca vista antes (PINE, 1994). Para uma máquina de fabricação digital, como uma *Router Computer Numerical Control* (CNC), é tão fácil e econômico produzir 1000 objetos diferentes quanto produzir 1000 objetos idênticos (KOLAREVIC, 2004). Segundo Yolovich, o que distingue a Customização em Massa da simples customização é a integração de sistemas informatizados de concepção e produção, permitindo uma produção flexível, viabilizando produtos exclusivos para cada cliente de maneira rápida e sem custos adicionais (YOLOVICH apud BARDAKCI, WHITELOCK, 2003)

Uma coordenação modular pode facilitar a personalização do produto, permitindo a combinação de diferentes componentes. Quanto maior a quantidade de componentes mais variadas podem ser suas combinações (PINE, 1994). Essa modularidade do produto permite que esses componentes sejam fabricados em larga escala, apropriando-se da economia em escala e obtendo conseqüente redução de custo, com velocidade de produção e de entrega (AZUMA, 2016). Quanto a sua aplicação na produção de arquitetura, Kolarevic e Duarte (KOLAREVIC, DUARTE, 2018), afirmam que a coordenação modular deve atuar em níveis de questões

arquitetônicas e urbanísticas, considerando-se em um nível mais elementar os materiais e componentes que formariam ambientes, que por sua vez comporiam edifícios. Estes, por fim, comporiam os espaços urbanos. Assim, a definição de um sistema de coordenação modular deve considerar não apenas sua produção e montagem, mas seu impacto nas definições formais e espaciais dos edifícios e das cidades.

Kieran e Timberlake (2004) afirmam que deve haver uma maior integração entre os agentes envolvidos, buscando um melhor diálogo entre Arquitetura, Engenharia e produção. Os mesmos autores reconhecem a enorme importância das TICs e dos sistemas CAD/CAM para que essa integração possa acontecer efetivamente. Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001) também defendem que o diálogo CAD/CAM é fundamental, uma vez que viabilizam a participação do consumidor/usuário. Kolarevic e Duarte (KOLAREVIC, DUARTE, 2018) afirmam que, de uma perspectiva puramente tecnológica, a customização em massa é perfeitamente adequada para o setor imobiliário. Em vez de casas idênticas, poderiam ser ofertados produtos únicos, altamente personalizados, e disponibilizados para segmentos mais amplos da sociedade, e não apenas para os mais ricos. Isso é possível graças às tecnologias atuais, que permitem entregar economicamente casas altamente personalizadas, com design paramétrico, fabricação digital, sites interativos para seu design, visualização, avaliação e estimativa com a geração automática de dados de produção e montagem.

A participação do usuário auxiliada por recursos digitais nas definições arquitetônicas e urbanísticas já vinha sendo discutida desde meados do século XX. A influência da cibernética e a busca por critérios objetivos para o processo de criação levou à produção de trabalhos fundamentais como o artigo *Architectural Relevance of Cybernetics* (1969), de Gordon Pask, ou *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction* (1977), de Christopher Alexander. Buscava-se, então, a discretização do processo criativo em arquitetura para torná-lo mais objetivo, acessível e adaptável à realidade. Assim, a associação com os emergentes recursos digitais foi natural. Surgem trabalhos que buscam discutir essa relação como o *Soft Architecture Machines* (1975), de Nicholas Negroponte, *Towards a Scientific Architecture* (1975), de Yona Friedman, e *Design Participation* (1972), de Nigel Cross. Mais recentemente, a tese de doutorado de José Pinto Duarte (2001) também trouxe uma contribuição fundamental para essa discussão. Nesses trabalhos, o computador é visto como um interlocutor que proporciona com rapidez a produção de grandes quantidades de respostas distintas a serem avaliadas e escolhidas (VARDOULI, 2010).

3 O experimento construtivo

O presente trabalho apresenta o algoritmo criado na busca por uma estratégia de aplicação da customização em massa na produção de arquitetura em larga escala. Esse trabalho surge como desdobramento de uma pesquisa paralela, que não é o objeto deste artigo, mas sua apresentação, ainda que superficial, dada as limitações de extensão do texto, faz-se necessária para compreensão do algoritmo.

O grupo de pesquisa Teoria e Projeto na Era Digital (TPED) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie (FAU-UPM), vem, desde 2014, estudando a aplicação da fabricação digital subtrativa na produção de arquitetura. A pesquisa teve início com uma chamada pública do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), para o desenvolvimento de estudos que deveriam contribuir para o uso de novas tecnologias construtivas no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) e promover a pesquisa científica e tecnológica que contribua para a melhoria das condições de saneamento e de habitação (NARDELLI, BACKHEUSER, 2016). Inspirado em exemplos internacionais como a *Instant House*, a *Wikihouse* e o *Clip Hut*, além de exemplos nacionais, como a *Casa Revistas* da UFRJ e o projeto *WikiLab* da Universidade Federal do ABC, o TPED vem produzindo modelos em escala reduzida e em escala real (ver Figura 1), na busca de um aprimoramento das técnicas construtivas, adaptação ao contexto nacional e automação do processo de produção tanto de projeto quanto de execução (BACKHEUSER, CAMPOLONGO, 2017).



Fig. 1: Os modelos em escala real desenvolvidos pelo TPED. Da esquerda para a direita: Modelo 1 (2015), Modelo 2 (2016) e Modelo 3 (2019). Fonte: Acervo TPED, 2019.

Dentre os resultados obtidos, estão a definição de um dimensionamento de componentes e espaços, a definição de uma solução de coordenação modular, revisão dos encaixes e solução estrutural, e a redução da espessura do principal material escolhido para a construção tanto da estrutura quanto das vedações, o *Oriented Strand Board* (OSB). A solução baseia-se em pórticos paralelos, conforme Figura 2, erguidos a partir de componentes usinados em uma fresadora CNC, com chapas de OSB de 9,5mm de espessura, e

espaçamento entre pórticos de 1,10m, sendo a dimensão comercial dos painéis um dos condicionantes para a solução de coordenação modular (CAMPOLONGO, 2019).

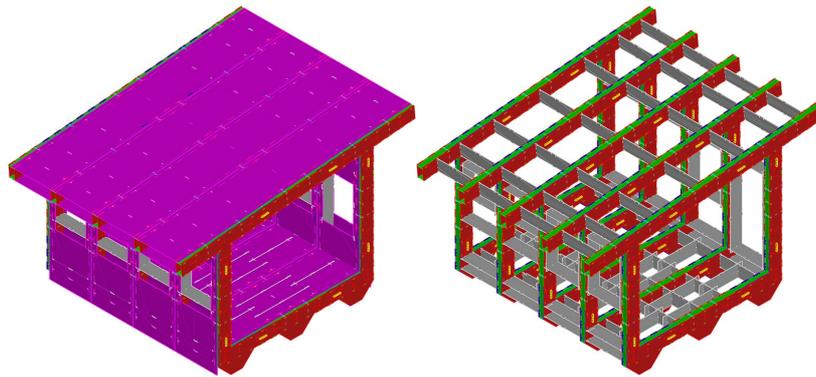


Fig. 2: Volumetria construtiva da proposta para o terceiro modelo. Fonte: Campolongo, 2019.

Assim, o algoritmo apresentado neste artigo apoia-se nos experimentos desenvolvidos pelo TPED desde 2014, principalmente no último modelo erguido em 2019, cujas características dimensionais e construtivas foram comprovadas com sua execução e uma série de ensaios laboratoriais desenvolvidos por um dos pesquisadores do grupo (CAMPOLONGO, 2019).

3.1 O algoritmo

O algoritmo surge da solução construtiva considerando suas características materiais, coordenação modular e dimensionamento dos componentes. Assim, o pórtico é o definidor inicial da proposta arquitetônica e das variações geradas pelo algoritmo. Logo, a expansão ou retração da construção se dá ao longo de um vetor, com adição ou subtração desses pórticos, conforme Figura 3.

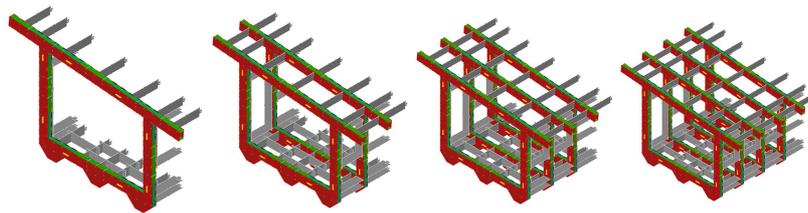


Fig. 3: Crescimento linear a partir da adição de pórticos. Fonte: Acervo TPED, 2019.

Todas as definições construtivas foram obtidas através dos experimentos construtivos, impondo ao algoritmo regras bastantes restritas. No entanto, a fim de aumentar as possibilidades de variações arquitetônicas, criou-se um pórtico duplo, que, embora não tenha sido construído, é constituído dos mesmos componentes, com poucas exceções, e apresenta o mesmo vão entre pilares e a mesma inclinação de cobertura (ver Figura 4). Assim, pode-se optar por dois tipos de pórticos, simples ou duplo, promovendo, além do crescimento linear, uma expansão lateral, ainda que mais limitada.

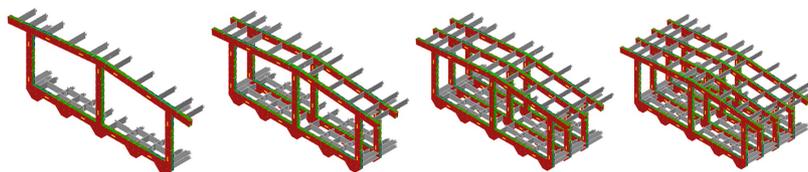


Fig. 4: Crescimento linear a partir da adição de pórticos duplos. Fonte: Autores, 2019.

Os componentes já estavam desenhados. Logo, são adicionados automaticamente pelo algoritmo, que trabalha adicionando-os ou subtraindo-os. Essa estratégia permite aumentar ou reduzir a dimensão dos ambientes com a repetição de peças idênticas, tirando proveito da economia em escala, mas com a possibilidade de gerar resultados distintos, viabilizando a adaptação arquitetônica. A solução construtiva racionalizada por meio da fabricação digital subtrativa e estruturada modularmente, vem ao encontro dos autores que defendem a customização em massa. A construção baseada no diálogo CAD/CAM, potencializada pelas interfaces viabilizadas pelas TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação –, facilita não apenas a oferta de escolhas por um futuro morador, como também a transmissão imediata das informações necessárias para a produção dos componentes (BARDAKCI, WHITELOCK, 2003; KOLAREVIC, 2004; PINE, 1994).

Todo o processo de criação do algoritmo se dá a partir dos desenhos arquitetônicos. Assim, foram projetados ambientes baseados na solução construtiva, ou seja, nos pórticos, que podem ser adicionados, removidos e combinados. Para a digitalização do processo e produção do algoritmo, foi utilizada uma série de programas computacionais. Nomeadamente: o *AutoCAD* para os desenhos das plantas, o *Sketchup* para o desenho dos modelos tridimensionais, e o *Rhinoceros* com o *plug-inGrasshopper* para a criação do algoritmo, que também contou com boa parte de sua estrutura escrita na linguagem de programação *Python*.

Por se tratar de uma abordagem exploratória, o trabalho se propôs, desde o início, a oferecer uma *Prova de Conceito*, e não uma aplicação a um caso real, o que, eventualmente, envolveria famílias em situação de vulnerabilidade, impondo uma responsabilidade que não convinha à pesquisa neste momento, considerado ainda preliminar e exploratório. Embora leve em consideração as críticas apresentadas quanto às composições familiares e aos usos reais dos espaços, este trabalho não pretende propor novas maneiras de morar, nem problematizar o modelo tripartido de habitação (áreas sociais, íntimas e de serviço). Considera-se que a possibilidade de escolha de quantidade de ambientes e seu dimensionamento, ainda que dentro de limites preestabelecidos, traz a flexibilidade necessária para a melhor adaptação da arquitetura às demandas reais do cotidiano das famílias.

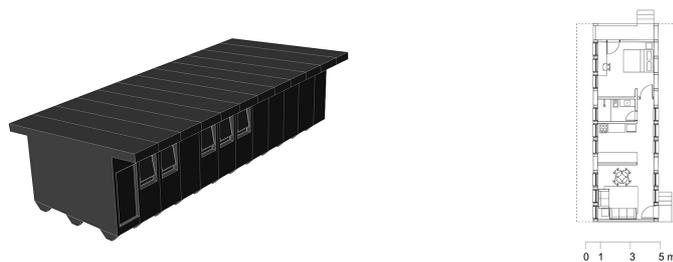


Fig. 5: Unidade mínima. Fonte: Autores, 2019.

Foi criada uma série de componentes, tanto em planta quanto em modelo tridimensional, para cada ambiente, que são adicionados ou removidos conforme o diálogo com o *software*, através do algoritmo. Parte-se, assim, de uma unidade mínima (ver Figura 5) com sala, cozinha, banheiro e um dormitório, onde cada ambiente, com exceção do banheiro, aceita três tamanhos de crescimento: pequeno, médio e grande; com a adição ou subtração desses componentes. Além disso, pode-se acrescentar mais dois dormitórios (ver Figura 6).

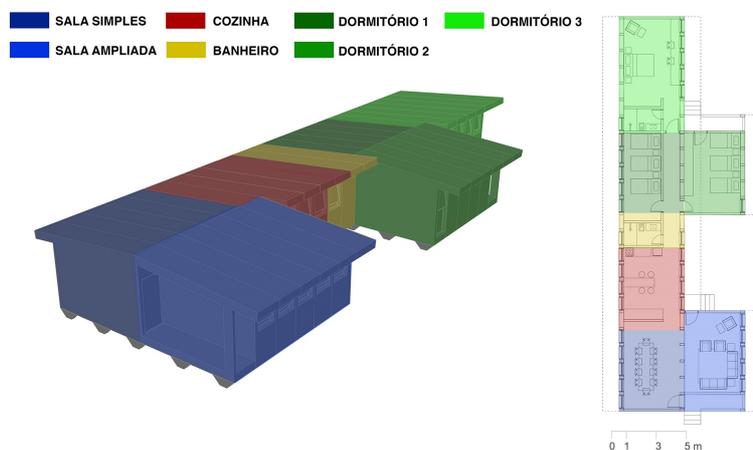


Fig. 6: Ambientes. Fonte: Autores, 2019.

Estabeleceu-se uma série de regras condicionais a partir dos ambientes (sala, cozinha, quarto e banheiros):

+ Sala: Duas opções de sala: com pórtico simples (simples - S) e com pórtico duplo (ampliada -A); Três tamanhos (tanto para a simples quanto para a estendida): pequena, média e grande;

+ Cozinha: Três opções: integrada (I) à sala, fechada (F) e tipo americanos (A); Três tamanhos: pequena, média e grande;

+ Banheiro: Duas opções de banheiro: pequeno e grande;

+ Dormitórios: estabeleceu-se um mínimo de um desses ambientes, e um máximo de três. Cada um deles conta com três opções de tamanho: pequeno, médio e grande.

São seis opções para a sala, nove opções para a cozinha, duas opções para o banheiro, três opções para o primeiro dormitório e quatro opções para o segundo e o terceiro dormitório. Em uma análise combinatória, trata-se de um caso de princípio fundamental da contagem, em que se tem $6 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 4 = 5184$. Ou seja, essa estratégia permite cinco mil cento e oitenta e quatro combinações diferentes de arranjos de ambientes.

SALA	COZINHA	BANHEIRO	DORMITÓRIO 1	DORMITÓRIO 2	DORMITÓRIO 3	
(S) Pequena	(I) Pequena	Pequeno	Pequeno	Inexistente	Inexistente	
(S) Média	(I) Média	Grande	Médio	Pequeno	Pequeno	
(S) Grande	(I) Grande	2 opções	Grande	Médio	Médio	
(A) Pequena	(F) Pequena		3 opções	Grande	Grande	
(A) Média	(F) Média			4 opções	4 opções	
(A) Grande	(F) Grande					
6 opções	(A) Pequena					
	(A) Média					
	(A) Grande					
	9 opções					
Total: 5.184 combinações						

Quadro 2: Combinações de arranjos de ambientes. Fonte: Autores, 2019.

Assim, a proposta de adaptação algorítmica se organiza numa sequência linear de decisões que surgem da própria arquitetura, com a definição das características de cada ambiente, além da solução construtiva, com a adição ou subtração de pórtico sucessivos, permitindo o aumento ao longo de um vetor. Tem-se:

+ A substituição de um ambiente por sua variação - por exemplo, temos duas opções de sala (S e A), três opções de cozinha (I, F e A) e duas opções de banheiro;

+ Adição ou remoção de um ambiente, por exemplo, podemos adicionar ou não um segundo e um terceiro dormitório;

+ Ampliação de cada ambiente, com exceção do banheiro, com três tamanhos possíveis (pequeno, médio e grande).

O algoritmo foi organizado em grandes blocos de comandos, a partir das:

+ Geometrias: plantas, layouts e modelo tridimensional;

+ Ações: parametrização das geometrias, cálculo da área construída, numeração da combinação e quantificação dos painéis a serem usinados e geração de um código para cada combinação possível.

A estrutura de comandos segue a lógica da concepção do algoritmo, utilizando-se, essencialmente, dos comandos *Move*, *Stream Filter* e *Linear Array*. O comando *Stream Filter* possibilita as escolhas entre as opções ofertadas (sala simples ou ampliada, por exemplo). O comando *Linear Array* define os tamanhos dos ambientes (pequenos, médio ou grandes). Já o comando *Move* desloca as volumetrias seguintes em função das escolhas de opções e tamanhos das geometrias anteriores.

Independentemente da metodologia participativa, o que se propõe é que a construção do algoritmo se dê depois de uma etapa de coleta de dados qualitativos de uma comunidade e da definição de características arquitetônicas que melhor atendam esta comunidade.

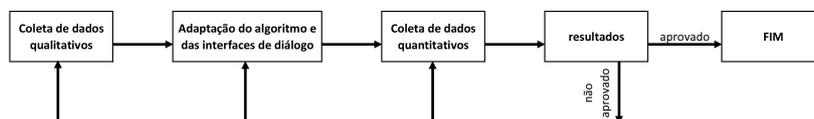


Diagrama 1: Sequência de ações propostas para um processo participativo auxiliado por computador. Fonte: Autores, 2019.

Como dito anteriormente, trata-se de uma prova de conceito e não a aplicação em uma situação real. Logo, a primeira etapa é representada neste trabalho pelo experimento construtivo. Quanto ao diálogo com os supostos usuários para a coleta de dados quantitativos, ele se dá de duas formas:

+ Opção interativa: Quando os resultados das escolhas surgem imediatamente, à medida em que elas são feitas, essencialmente através dos comandos *Slider* e *Boolean Toggle do Grasshopper*. Ou seja, o resultado é construído imediatamente à medida que os dados de entrada são alterados.

+ Opção iterativa: Quando os resultados das escolhas surgem somente após a conclusão de uma sequência de perguntas relacionadas, onde a cada uma delas depende da resposta da anterior. Um total de

onze perguntas conclui o ciclo. As perguntas surgem em um quadro flutuante gerado a partir do script *import rhinoscriptsyntax* no *Python*, que interage com o *Rhinceros*.

A opção iterativa parece ser mais flexível, pois as perguntas podem se adaptar ao repertório e vocabulário do usuário/futuro morador. Já a opção interativa pode exigir a participação de um agente intermediário para a operação da máquina, caso o consultado não tenha familiaridade com essa tecnologia. No entanto, ambas opções parecem válidas e adaptáveis a diferentes circunstâncias e metodologias de participação.

Os produtos gerados são: planta arquitetônica, modelo tridimensional e cálculo de área construída. Também é gerada uma planilha com uma numeração específica para cada combinação possível, além da quantificação de painéis para usinagem, cálculo do tempo de usinagem e estimativa de custo do principal material utilizado, o OSB. Essa quantificação só é possível, pois todos os painéis necessários para execução dos pórticos e seus fechamentos já foram definidos. Esses painéis com os componentes devidamente distribuídos em chapas de OSB (*nesting*) são numerados e organizados em grupos relativos a cada parte da construção. Por exemplo: pórtico duplo, cobertura, pisos, ligações, etc., conforme figura 7.

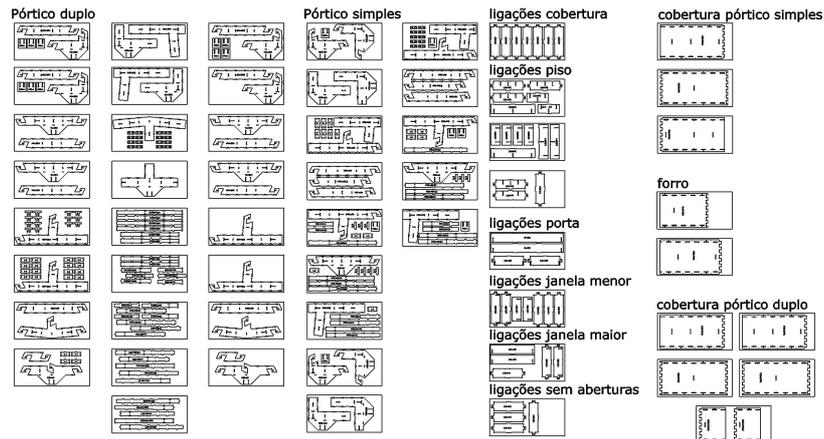


Fig. 7: Distribuição das peças a serem usinadas nos painéis de OSB (*nesting*). Fonte: Autores, 2019.

A planilha é gerada automaticamente no *software Microsoft Excel* (*.xlsx), na qual já estão registradas as características da máquina que serviu de base para as estimativas de tempo e custo. São informados dados como o modelo e fabricante da fresadora CNC, características das fresas utilizadas, velocidade de arrasto e velocidade de rotação. Também está registrado o valor de cada painel com link para a página do fornecedor escolhido, bem como a data da última consulta (ver Figura 8).

QUANTIFICADOR

DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM

número da combinação:

1 1 1 0 1 1 1 0 0

GRUPO	QUANTIDADE
GRUPO 0	0
GRUPO 1	15
GRUPO 2	14
GRUPO 3	14
GRUPO 4	1
GRUPO 5	3
GRUPO 6	16
GRUPO 7	2
GRUPO 8	14
GRUPO 9	14
GRUPO 10	0

Quantificadora gerada pelo Script na Grasshopper

Material utilizado:
 Oriented Strand Board (OSB)
 Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm
 Modelo: Home Plus
 Marca: LP Brasil
 Fornecedor: Leo Madeiras
https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil

Máquina de usinagem utilizada:
Fresadora Router CNC
 Modelo: Linha S-Duty
 Fornecedor: DS4
<https://www.ds4.com.br/linha-s-duty>

Fresas utilizadas:
 6,0mm (4c) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FTR520)
 Fornecedor: Walter&Walter
<https://www.fresascnc.com.br/>

Velocidade de rotação: 13.000 RPM
 Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto

julho e agosto de 2019

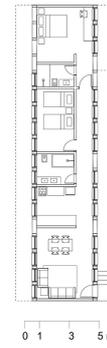
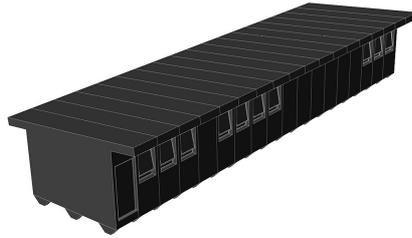
PAINEL	QUANTIDADE
01	0
02	0
03	0
04	0
05	0
06	0
07	0
08	0
09	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0
25	0
26	0
27	15
28	15
29	15
30	15
31	15
32	15
33	15
34	15
35	15
36	15
37	15
38	15
39	15
40	15
41	14
42	14
43	14
44	14
45	1
46	3
47	16
48	2
49	14
50	14
51	14
52	14
53	14
54	0
55	0
56	0
TOTAL	358

TOTAL	358	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
358	x	R\$ 66,28 (Leo Madeiras - 28/08/2019)
		R\$ 23.728,24
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
358	x	20 Minutos
		7160 Minutos
		ou (aproximadamente) 119 Horas
		ou (aproximadamente) 15 Dias

Fig. 8: Exemplo de arquivo *.xlsx resultante das informações provenientes do algoritmo. Fonte: Autores, 2019.

3.2 Exemplos de combinações possíveis

A seguir, seis combinações como exemplo da diversidade de arranjos possíveis.



QUANTIFICADOR DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM

número da combinação: 2 2 2 1 2 2 0 1

GRUPO	QUANTIDADE
GRUPO 01	20
GRUPO 1	20
GRUPO 2	20
GRUPO 3	20
GRUPO 4	11
GRUPO 5	7
GRUPO 6	23
GRUPO 7	18
GRUPO 8	20
GRUPO 9	20
GRUPO 10	0

Material utilizado:
 Oriented Strand Board (OSB)
 Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm
 Modelo: Home Plus
 Marca: LP Brasil
 Fornecedor: Leo Madeiras
https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil

Máquina de usinagem utilizada:
 Freadora Router CNC
 Modelo: Linha S-Duty
 Fornecedor: DS4
<https://www.ds4.com.br/linha-s-duty>

Fresas utilizadas:
 6,0mm (4) x 15mm área de corte x 50mm haste. (FRS20)
 Fornecedor: Walter&Walter
<https://www.fresascnc.com.br/>

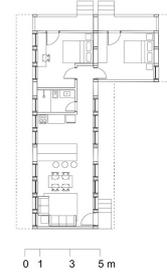
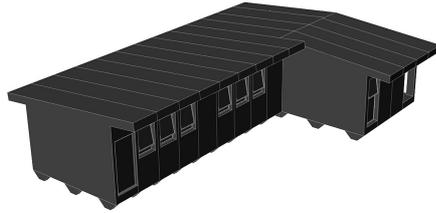
Velocidade de rotação: 13.000 RPM
 Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto

julho e agosto de 2019

TOTAL	499	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
499	x	R\$ 65,22 (preço médio - 30/04/2019)
		R\$ 33.073,72
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
499	x	20 Minutos
		9980 Minutos
		ou (aproximadamente) 166 horas
		ou (aproximadamente) 7 dias

PAINEL	QUANTIDADE
01	0
02	0
03	0
04	0
05	0
06	0
07	0
08	0
09	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0
25	0
26	0
27	0
28	0
29	0
30	0
31	0
32	0
33	0
34	0
35	0
36	0
37	0
38	0
39	0
40	0
41	0
42	0
43	0
44	0
45	1
46	7
47	23
48	8
49	20
50	20
51	20
52	20
53	20
54	0
55	0
56	0
TOTAL	499

Fig. 9: Opção com sala simples de tamanho médio, com cozinha pequena fechada, banheiro grande, dormitório 1 médio e dormitório 3 pequeno. (Número da combinação: 122212201). Fonte: Autores, 2019.



QUANTIFICADOR DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM

número da combinação: 1 2 1 1 1 1 1 0

GRUPO	QUANTIDADE
GRUPO 0	5
GRUPO 1	11
GRUPO 2	19
GRUPO 3	19
GRUPO 4	11
GRUPO 5	5
GRUPO 6	16
GRUPO 7	5
GRUPO 8	11
GRUPO 9	19
GRUPO 10	4

Material utilizado:
 Oriented Strand Board (OSB)
 Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm
 Modelo: Home Plus
 Marca: LP Brasil
 Fornecedor: Lpo Madeiras
https://www.lpomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil

Máquina de usinagem utilizada:
 Fresadora Router CNC
 Modelo: Linha S-Duty
 Fornecedor: DS4
<https://www.ds4.com.br/linha-s-duty>

Fresas utilizadas:
 6,0mm (4) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FRS20)
 Fornecedor: Walter&Walter
<https://www.fresanc.com.br/>

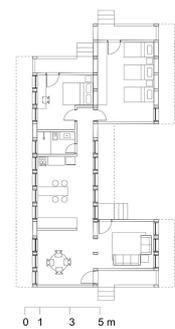
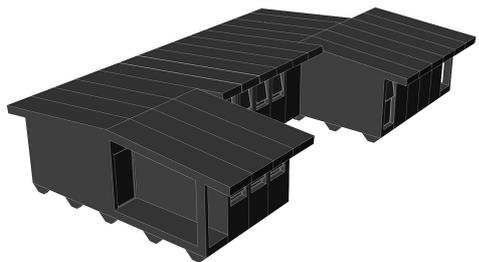
Velocidade de rotação: 13.000 RPM
 Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto

Julho e agosto de 2019

TOTAL	478	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
478	x	R\$ 65,23 (taxa média - 28/04/2019)
		R\$ 31.481,84
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
478	x	20 Minutos
		9560 Minutos
		ou (aproximadamente) 58 horas
		ou (aproximadamente) 159 horas
		ou (aproximadamente) 20 dias

PAINEL	QUANTIDADE
01	5
02	5
03	5
04	5
05	5
06	5
07	5
08	5
09	5
10	5
11	5
12	5
13	5
14	5
15	5
16	5
17	5
18	5
19	5
20	5
21	5
22	5
23	5
24	5
25	5
26	5
27	11
28	11
29	11
30	11
31	11
32	11
33	11
34	11
35	11
36	11
37	11
38	11
39	11
40	11
41	19
42	19
43	19
44	19
45	1
46	5
47	16
48	5
49	11
50	11
51	11
52	19
53	19
54	8
55	8
56	4
TOTAL	478

Fig. 10: Opção com sala simples de tamanho médio, com cozinha pequena americana, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno e dormitório 2 pequeno. (Número da combinação: 122111110). Fonte: Autores, 2019.



QUANTIFICADOR
DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM

número da combinação:

2 1 2 2 3 1 1 3 0

GRUPO	QUANTIDADE
GRUPO 0	10
GRUPO 1	19
GRUPO 2	25
GRUPO 3	25
GRUPO 4	1
GRUPO 5	1
GRUPO 6	19
GRUPO 7	17
GRUPO 8	9
GRUPO 9	25
GRUPO 10	5

Material utilizado:
 Oriented Strand Board (OSB)
 Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm
 Modelo: Home Plus
 Marca: LP Brasil
 Fornecedor: Lp Madeiras
https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil

Máquina de usinagem utilizada:
Fresadora Router CNC
 Modelo: Linha S-Duty
 Fornecedor: DS4
<https://www.ds4.com.br/linha-s-duty>

Fresas utilizadas:
 6,0mm (4) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FRS20)
 Fornecedor: Walter&Walter
<https://www.fresasnc.com.br/>

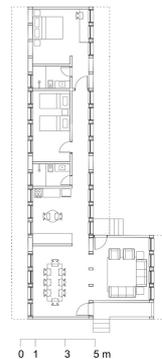
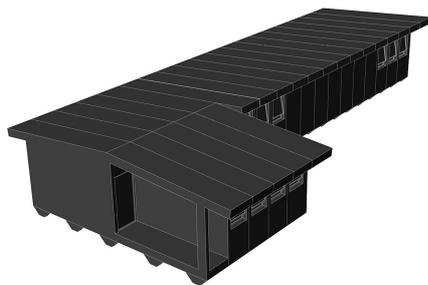
Velocidade de rotação: 11.000 RPM
 Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto

Julho e agosto de 2019

PAINÉIS	QUANTIDADE
01	10
02	10
03	10
04	10
05	10
06	10
07	10
08	10
09	10
10	10
11	10
12	10
13	10
14	10
15	10
16	10
17	10
18	10
19	10
20	10
21	10
22	10
23	10
24	10
25	10
26	10
27	9
28	9
29	9
30	9
31	9
32	9
33	9
34	9
35	9
36	9
37	9
38	9
39	9
40	9
41	25
42	25
43	25
44	25
45	1
46	1
47	19
48	7
49	9
50	9
51	9
52	25
53	25
54	16
55	16
56	5
TOTAL	631

TOTAL	631	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
631	x	R\$ 69,23 (até Março - 24/02/2019)
		R\$ 41.812,68
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
631	x	20 Minutos
		12620 Minutos
		ou (aproximadamente) 210 Horas
		ou (aproximadamente) 20 Dias

Fig. 11: Opção com sala ampliada de tamanho pequeno, com cozinha grande fechada, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno e dormitório 2 grande. (Número da combinação: 212231130). Fonte: Autores, 2019.



QUANTIFICADOR DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM

número da combinação: 2 2 2 2 2 1 2 0 1

GRUPO	QUANTIDADE
GRUPO 0	6
GRUPO 1	16
GRUPO 2	26
GRUPO 3	26
GRUPO 4	11
GRUPO 5	2
GRUPO 6	26
GRUPO 7	10
GRUPO 8	16
GRUPO 9	26
GRUPO 10	5

Material utilizado:
 Oriented Strand Board (OSB)
 Dimensões: 2,40x1,20x9,5mm
 Modelo: Home Plus
 Marca: LP Brasil
 Fornecedor: Leo Madeiras
https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_home_plus_240x120x95mm_LP_Brasil

Máquina de usinagem utilizada:
Fresadora Router CNC
 Modelo: Linha S-Duty
 Fornecedor: DS4
<https://www.ds4.com.br/linha-s-duty>

Fresas utilizadas:
 6,0mm (4) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FTRS20)
 Fornecedor: Walter&Walter
<https://www.fresanc.com.br/>

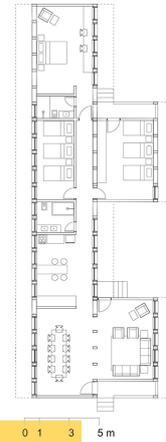
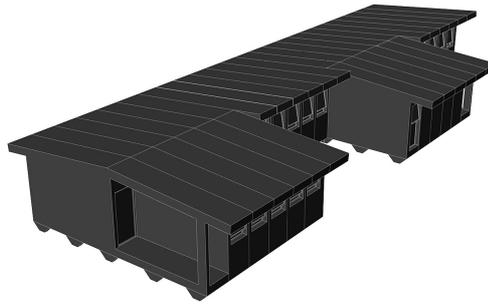
Velocidade de rotação: 13.000 RPM
 Velocidade de avanço: 3.400 mm/minuto

Julho e agosto de 2019

TOTAL	648	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
648	x	R\$ 69,22 (ao Material - 24/07/2019)
		R\$ 42.949,44
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
648	x	20 Minutos
		12960 Minutos
		ou (aproximadamente) 216 Horas
		ou (aproximadamente) 27 Dias

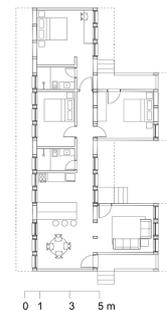
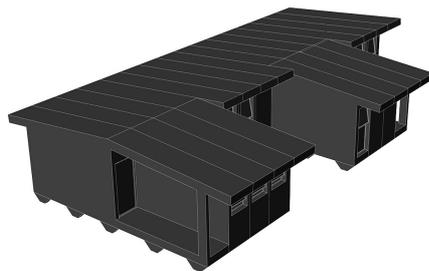
PAINEL	QUANTIDADE
01	6
02	6
03	6
04	6
05	6
06	6
07	6
08	6
09	6
10	6
11	6
12	6
13	6
14	6
15	6
16	6
17	6
18	6
19	6
20	6
21	6
22	6
23	6
24	6
25	6
26	6
27	6
28	6
29	6
30	6
31	6
32	6
33	6
34	6
35	6
36	6
37	6
38	6
39	6
40	6
41	6
42	6
43	6
44	6
45	1
46	2
47	26
48	10
49	16
50	16
51	16
52	26
53	26
54	10
55	10
56	5
TOTAL	648

Fig. 12: Opção com sala ampliada de tamanho médio, com cozinha média fechada, banheiro pequeno, dormitório 1 médio e dormitório 3 pequeno. (Número da combinação: 222221201). Fonte: Autores, 2019.



QUANTIFICADOR DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM		
Número da combinação: 2 3 2 2 3 2 3 3 3		
GRUPO	QUANTIDADE	PAINEL QUANTIDADE
GRUPO 0	14	01 14
GRUPO 1	14	02 14
GRUPO 2	39	03 14
GRUPO 3	39	04 14
GRUPO 4	11	05 14
GRUPO 5	3	06 14
GRUPO 6	39	07 14
GRUPO 7	12	08 14
GRUPO 8	15	09 14
GRUPO 9	39	10 14
GRUPO 10	12	11 14
		12 14
		13 14
		14 14
		15 14
		16 14
		17 14
		18 14
		19 14
		20 14
		21 14
		22 14
		23 14
		24 14
		25 14
		26 14
		27 14
		28 14
		29 14
		30 14
		31 14
		32 14
		33 14
		34 14
		35 14
		36 14
		37 14
		38 14
		39 14
		40 14
		41 39
		42 39
		43 39
		44 39
		45 1
		46 3
		47 30
		48 17
		49 15
		50 15
		51 15
		52 39
		53 39
		54 24
		55 24
		56 12
TOTAL	950	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
950	x	R\$ 69,22 por metro - 24/07/2019
		R\$ 62.966,00
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
950	x	20 Minutos
		19000 Minutos
		ou (aproximadamente) 317 horas
		ou (aproximadamente) 40 dias
		TOTAL 950

Fig. 13: Opção com sala ampliada de tamanho grande, com cozinha grande fechada, banheiro grande, dormitório 1 grande, dormitório 2 grande e dormitório 3 grande. (Número da combinação: 232232333). Fonte: Autores, 2019.



QUANTIFICADOR	
DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM	
Número da combinação: 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1	
GRUPO QUANTIDADE	PAINEL QUANTIDADE
GRUPO 0 10	01 10
GRUPO 1 10	02 10
GRUPO 2 27	03 10
GRUPO 3 27	04 10
GRUPO 4 11	05 10
GRUPO 5 2	06 10
GRUPO 6 18	07 10
GRUPO 7 13	08 10
GRUPO 8 11	09 10
GRUPO 9 27	10 10
GRUPO 10 8	11 10
	12 10
	13 10
	14 10
	15 10
	16 10
	17 10
	18 10
	19 10
	20 10
	21 10
	22 10
	23 10
	24 10
	25 10
	26 10
	27 10
	28 10
	29 10
	30 10
	31 10
	32 10
	33 10
	34 10
	35 10
	36 10
	37 10
	38 10
	39 10
	40 10
	41 27
	42 27
	43 27
	44 27
	45 1
	46 2
	47 18
	48 13
	49 11
	50 11
	51 11
	52 27
	53 27
	54 16
	55 16
	56 8
	TOTAL 669

TOTAL	669	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
x	R\$ 65,20	(= 669x65,20)
669	R\$ 44.341,32	
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
x	20	Minutos
669	13380	Minutos
		ou (aproximadamente) 223 Horas
		ou (aproximadamente) 28 Dias

Fig. 14: Opção com sala ampliada de tamanho pequeno, com cozinha pequena americana, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno, dormitório 2 pequeno e dormitório 3 pequeno. (Número da combinação: 212111111). Fonte: Autores, 2019.

4 Considerações finais

Embora a estratégia se organize a partir de uma solução construtiva, a proposta baseada na substituição, diminuição ou ampliação de ambientes pode se adaptar a diferentes soluções construtivas que contem com algum tipo de coordenação modular. Entende-se que a geração de mais de cinco mil combinações arquitetônicas possíveis mostra que a ferramenta oferece a variabilidade de soluções arquitetônicas a diferentes situações de organizações familiares e usos dos espaços. Já as duas opções de diálogo, interativa e iterativa, permitem que a ferramenta se adapte a diferentes metodologias participativas.

Assim, o presente trabalho se coloca como um passo inicial para a apropriação do conceito de customização em massa na produção de arquitetura, através de uma metodologia que se apropria de ferramentas digitais para efetivar a participação dos futuros moradores na produção de arquitetura e larga escala.

Conclui-se esta etapa da pesquisa como um ponto de partida para novos trabalhos e aplicações práticas, esperando que a ferramenta aqui proposta se adapte a diferentes soluções construtivas e arquitetônicas, e diálogos reais com futuros moradores, buscando uma alternativa à massificação da habitação em um mundo cuja complexidade é, reconhecidamente, cada vez maior.

Referencias

ALEXANDER, C. **A pattern language: towns, buildings, construction.** Oxford: Oxford University press, 1977.

AZUMA, M. H. **Customização em massa de projeto de Habitação de Interesse Social por meio de modelos físicos paramétricos.** 2016. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de

Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

BACKHEUSER, L. A. F.; CAMPOLONGO, E. P. S. Experimentação prática de encaixes em fabricação digital subtrativa. In: Congreso Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital SIGraDI, 21., 2017, Concepción. **Anais ...** São Paulo: Blucher, 2017.

BARDAKCI, A.; WHITELOCK, J. Mass-customisation in marketing: the consumer perspective. **Journal of consumer marketing**, Melbourne, v. 20, n. 5, p. 463-479, set. 2003.

BLAS, P. Las ruinas que dejó el boom de la vivienda popular en México. **Revista Universitaria del ITESO**. Guadalajara, 1º jun. 2015. Disponível em: <<https://magis.iteso.mx/content/las-ruinas-que-dej%C3%B3-el-boom-de-la-vivienda-popular-en-m%C3%A9xico>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

BRASIL, Ministério da Economia. **Boletim Mensal sobre os subsídios da União**. Brasília, DF, 2019.

BUCKLEY, R. M.; KALLERGIS, A.; WAINER, L. The emergence of large-scale housing programs: Beyond a public finance perspective. **Habitat International**, v. 54, p. 199-209, maio 2016.

CAMBRICOLI, F. Só 8% do Minha Casa Minha Vida acolhe faixa mais pobre. **O Estado de S. Paulo**. São Paulo, maio 2018. Disponível em: <<https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,so-8-do-minha-casa-acolhe-faixa-mais-pobre,70002296499>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

CAMPOLONGO, E. P. S. **MackHaus**: fabricação digital subtrativa aplicada à produção de habitações por meio de encaixes em madeira. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2019.

CROSS, N. **Design participation**. Londres: Academy Editions, 1972.

DAVIS, S. M. **Future perfect**. Londres: Palgrave Macmillan, 1990.

DUARTE, J. P. **Customizing mass housing**: a discursive grammar for Siza's Malagueira houses. 2001. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Departamento de Arquitetura, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2001.

FONSECA DE CAMPOS, P. E. **Design Arquitetônico**: Uma abordagem projetual com foco no usuário, como protagonista e agente de projeto, ou... Das cooperativas de habitação uruguaias ao dissenso modernista do "Byker Wall". 2016. Tese (Livre Docência em Arquitetura e Urbanismo)-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2016.

FRIEDMAN, Y. **Toward a scientific architecture**. Cambridge: MIT Press, 1975.

JACQUIN, C. Producir y habitar la periferia. Los nuevos conjuntos de vivienda de bajo costo en México (ZMVM). **Bulletin de l'Institut français d'études andines**, n. 41, p. 389-415, 2012.

KIERAN, S.; TIMBERLAKE, J. **Refabricating architecture**: How manufacturing methodologies are poised to transform building construction. Nova Iorque: McGraw Hill Professional, 2004.

KOLAREVIC, B. (Ed.). **Architecture in the digital age**: design and manufacturing. Nova Iorque: Taylor & Francis, 2004.

KOLAREVIC, B.; DUARTE, J. P. (Ed.). **Mass customization and design democratization**. Abingdon: Routledge, 2018.

LEONE, E. T.; MAIA, A. G.; BALTAR, P. E. Mudanças na composição das famílias e impactos sobre a redução da pobreza no Brasil. **Economia e Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 59-77, abr. 2010.

MACHADO, A.; MORAES, W. Por que adotar Customização em Massa?. **Revista de Negócios**, v. 15, n. 4, p. 30-48, 2010.

NARDELLI, E. S.; BACKHEUSER, L. A. F. Sistema Wikihouse aplicado ao Programa Minha Casa Minha Vida. In: Congreso Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital SIGraDI, 20., 2016, Buenos Aires. **Anais ...** São Paulo: Blucher, 2016.

NEGROPONTE, N. **Soft architecture machines**. Cambridge, MA: MIT Press, 1975.

NOIA, P. C. **Participação e qualidade do ambiente construído na habitação**: processo e produto no programa minha casa minha vida – entidades. 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PASK, G. The architectural relevance of cybernetics. **Architectural Design**, v. 39, n. 9, p. 494-496, 1969.

PINE, B. J. **Personalizando produtos e serviços**: customização maciça. São Paulo: Makron Books, 1994.

POWER, A. **Hovels to high rise**: State housing in Europe since 1850. Londres: Psychology Press, 1993.

REIS, A. T. L.; LAY, M. C. D. Avaliação da Qualidade de Projetos: uma abordagem perceptiva e cognitiva. **Ambiente construído**, v. 6, n. 3, p. 21-34, 2006.

RIZEK, C. S.; SANTO AMORE, C.; CAMARGO, C. M. Política social, gestão e negócio na produção das cidades: o Programa Minha Casa Minha Vida "entidades". **Caderno CRH**, v. 27, n. 72, p. 531-546, 2014.

SANTO AMORE, C.; SHIMBO, L. Z.; RUFINO, M. B. C. **Minha casa... e a cidade? avaliação do programa minha casa minha vida em seis estados brasileiros**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015.

SILVEIRA, G.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. Mass customization: Literature review and research directions. **International journal of production economics**, v. 72, n. 1, p. 1-13, 2001.

URBAN, F. **Tower and slab**: histories of global mass housing. Londres: Routledge, 2012.

VARDOULI, T. **"Architecture by yourself"**: early studies in computer-aided participatory design. S.l. 2010. Disponível em: <https://openarchitectures.files.wordpress.com/2011/10/literature-review_thvardouli.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2020.

VILLA, S. B.; SARAMAGO, R. P.; GARCIA, L. C.; REIS, P. A. S.; PORTILHO, G. B.; KRAUSE, C. **Avaliação Pós-Ocupação no Programa Minha Casa Minha Vida**: uma experiência metodológica. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

1 Habitação de aluguel moderado (Tradução livre)

2 Grandes conjuntos (Tradução livre)