

Conexões Wikihouse – projeto generativo e fabricação digital de componentes em madeira

Edital:	Edital Piiic 2023/2024
Área do Conhecimento (CNPq):	Ciências Sociais Aplicadas
Subárea do Conhecimento (CNPq):	Arquitetura e Urbanismo
Título do Projeto:	Ecologias de Projeto
Título do Subprojeto:	Conexões Wikihouse – projeto generativo e fabricação digital de componentes em madeira
Professor Orientador:	Prof. Dr. Bruno Massara Rocha
Estudante:	Luiza Furlani

Resumo

Este subprojeto de pesquisa avalia a interatividade de sistemas construtivos de código-aberto (Rocha e Lima, 2021) feitos em madeira, tais como Wikihouse, na realidade brasileira. Com base nos conhecimentos divulgados sobre estes métodos, descritos em Venancio et al (2022), Rocha et al (2021), Passaro e Rohde (2016), Nardelli e Backheuser (2021), Griz e Queiroz (2012), Branco e Canuto (2017), entre outros, faz-se necessário constante seu aperfeiçoamento e aprofundamento, objetivo deste subprojeto. Propomos aqui o estudo detalhado dos métodos de fabricação roboticamente controlados para a produção de componentes em madeira, analisando tipos de encaixes, materiais de complementação, processos de concepção e montagem, e o fluxo de trabalho mais recomendado para a execução dos componentes. Foi realizada uma atividade prática com estudantes de arquitetura e urbanismo na qual foi desenvolvido um projeto e uma maquete em madeira baseada no sistema Wikihouse. Os resultados de cada ciclo de desenvolvimento são apresentados ao final do relatório.

1 Introdução

É importante mencionar que este subprojeto de pesquisa sofreu algumas modificações em sua estrutura desde a proposta inicial, tendo sido necessário incluir uma etapa preliminar sobre os condicionantes de uso da madeira como material de construção civil, etapa esta que não havia sido proposta mas que se tornou fundamental para complementar a análise dos tipos de sistemas de construção baseados na *Wikihouse*. Neste sentido, a proposta atual é incluir uma revisão bibliográfica complementar detalhada sobre diferentes enquadramentos no uso da madeira na arquitetura, sendo eles: aspectos legais, características da composição do material, modos de utilização de estruturas auxiliares, como contraventamentos, enrijecedores e encaixes, aspectos de proteção e segurança e a sustentabilidade. Além disso, fez-se necessário incluir um levantamento de dados relativos aos aspectos estéticos associados ao uso da madeira, sua adequação climática e dados relativos aos custos. Para isso foram adicionadas novas referências bibliográficas.

Portanto, anteriormente ao levantamento de informações relativos aos avanços nos métodos de design e fabricação de componentes em madeira originalmente proposto, este subprojeto irá apresentar um novo conteúdo

imprescindível dedicado aos novos temas, em especial, condicionantes e regulamentações sobre o uso da madeira na construção civil e na arquitetura.

2 Objetivos

- . Realizar uma pesquisa relacionada aos condicionantes para uso da madeira na arquitetura;
- . Realização de pesquisa bibliográfica acerca dos avanços na modelagem generativa, paramétrica e nos processos de fabricação digital de componentes em madeira por meio de cortes computadorizados;
- . Realizar um mapeamento das versões mais atualizadas do sistema Wikihouse e estudar sua configuração no que se refere ao tipo de sistema estrutural adotado, tipos de encaixes entre os componentes, materiais recomendados para sua execução, fluxo de trabalho de montagem e potencialidades da nova versão em comparação com as versões anteriores;
- . Realizar oficinas práticas e estudar as informações gráficas digitais necessárias que permitam orientar a concepção de componentes e espacialidades baseadas no sistema Wikihouse, explorando sua potencialidade;
- . Avaliar os condicionantes de projeto e fabricação aos quais estarão sujeitos os módulos vivenciais e desenvolver análises conceituais com os princípios de solução e adequação;
- . Prototipar soluções estruturais, de vedação e mobiliário em escala reduzida em tipologias diferentes;
- . Comparar as respostas em termos de performance dos padrões de encaixe de componentes executados nas diferentes tipologias e sistematizar os resultados objetivando definir orientações precisas para a implementação em projetos de arquitetura.

3 Embasamento Teórico

3.1. Uso da madeira e seus condicionantes

Um dos principais pontos positivos da construção com madeira é a sua sustentabilidade. A madeira, como mencionado antes, é um material renovável, biodegradável e com baixo consumo de energia em sua produção. Além disso, a floresta plantada para a extração de madeira contribui para a redução do desmatamento de florestas nativas e para a fixação de carbono na atmosfera. A utilização da madeira na construção é uma alternativa eficiente na redução das taxas de carbono na atmosfera já que, no processo de crescimento, as árvores absorvem o carbono no processo da fotossíntese e liberam oxigênio no meio ambiente. Ao utilizarmos a madeira, estamos retardando o momento em que o carbono, absorvido na fotossíntese, será novamente lançado à atmosfera.

Segundo Gazin-Müller (2010), “para a maioria dos governos europeus, o combate ao efeito estufa passa pelo incremento do uso da madeira na construção”, isso se dá tanto pela questão do carbono, quanto pela pouca energia que é necessária no processamento, transporte e utilização da madeira. Ainda, a poluição do ar, da água e do solo advindas do processamento desse material são bem pequenas. Já no processo da construção, o canteiro de obras de uma construção de madeira apresenta menos ruído, poeira, custo, geração de resíduos e um menor tempo de conclusão de obra.

Na Europa, os governos incentivam o emprego da madeira na construção, de maneira que ela é cada vez mais utilizada, o que tem ocasionado um crescimento significativo desse material no setor de habitação. Essa

crecente utilização, é uma resposta compatível com as aspirações dos usuários a uma melhor qualidade de vida. No Brasil, a legislação ambiental é bastante rigorosa em relação ao uso da madeira, devido à necessidade de preservação das florestas e da biodiversidade. A extração da madeira só pode ser feita mediante autorização dos órgãos competentes, como o Ibama, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, que garantem que a extração da madeira seja feita de forma sustentável e legal.

Os países europeus que possuem florestas, em sua maioria, adotaram os princípios de gestão sustentável nessas áreas, de modo que a retirada de madeira permanece inferior à produção biológica. No entanto, quando falamos sobre a gestão das florestas tropicais, estima-se que 13 milhões de hectares dessas florestas desaparecem por ano, sendo a agricultura a principal causa desse desaparecimento, enquanto a construção é responsável por cerca de apenas 6% do desmatamento nessas áreas. Além disso, a madeira utilizada na construção deve ser certificada, ou seja, deve ser proveniente de florestas manejadas de forma sustentável e legalizada. As certificações mais conhecidas no Brasil são o FSC (Conselho do Manejo Florestal) e o Cerflor (Programa Brasileiro de Certificação Florestal), porém uma série de certificações florestais já existem em vários países da Ásia, América Central e África.

Já no âmbito internacional, existem acordos e convenções que regulamentam o comércio de madeira, como o Acordo de Paris e a Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e Flora Selvagem Ameaçadas de Extinção (CITES), que visam garantir a preservação ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais. Quanto aos derivados da madeira, esses são obtidos através do processamento da madeira, gerando uma otimização de desempenho. Algumas vantagens são: são menos suscetíveis à umidade que a madeira maciça, também são muito eficientes do ponto de vista mecânico. Segundo Gazin-Müller (2010), “esses materiais transformaram a imagem que a madeira tinha na construção, conferindo-lhe as qualidades que faltavam para se tornar um verdadeiro material industrial, capaz de concorrer com o concreto e o aço. Sob uma forma fisicamente mais estável e com qualidades inalteráveis, esses produtos bastante diversificados conservam o aspecto aconchegante da madeira. Uma preocupação pertinente sobre o tópico são as colas utilizadas na sua produção, visto que a maioria dos produtos derivados de madeira utilizam colas que contém COVs (compostos orgânicos voláteis) e que apresentam certa toxicidade. No entanto, em testes realizados por pesquisadores, materiais como o laminado colado, os OSB e produtos à base de grandes partículas de madeira, apresenta emissões insignificantes (cerca de 3% de cola). Ainda, como resposta a essa preocupação, já existem placas que não utilizam cola disponíveis no mercado.

Outro fator a considerar é a sustentabilidade da madeira como material de construção. A madeira é um recurso renovável e biodegradável, o que significa que sua produção e utilização têm um impacto ambiental menor em comparação com materiais não renováveis. Isso pode resultar em benefícios adicionais, como acesso a incentivos fiscais e certificações de construção verde, que podem ajudar a reduzir os custos totais do projeto. No entanto, é importante ressaltar que os custos das construções de madeira podem variar dependendo de diversos fatores, incluindo a disponibilidade e o tipo de madeira utilizada, a complexidade do projeto, os requisitos de mão de obra e os regulamentos locais de construção. Portanto, é fundamental realizar uma análise abrangente dos custos e benefícios antes de decidir pelo uso da madeira em um projeto de construção. Em muitos casos, a escolha da madeira pode não apenas resultar em economias financeiras, mas também em benefícios ambientais e estéticos significativos.

O peso das emissões de carbono em construções de madeira é uma consideração fundamental quando se trata de avaliar o impacto ambiental desses projetos. Enquanto as construções tradicionais tendem a gerar grandes quantidades de emissões de carbono durante sua produção e uso, as construções de madeira têm o potencial de reduzir significativamente essa pegada de carbono. Um dos principais motivos para isso é que a madeira é um material renovável e de baixo carbono. As árvores absorvem dióxido de carbono da atmosfera enquanto crescem, armazenando-o em sua estrutura. Ao utilizar madeira como material de construção, esse carbono é efetivamente sequestrado e retido no edifício, ajudando a mitigar as emissões de carbono na atmosfera. Além disso, o processo de produção da madeira consome menos energia e gera menos emissões de carbono em comparação com materiais como o concreto e o aço.

3.2. Processos digitais no uso da madeira

Pesquisas computacionais dedicadas à fabricação digital de estruturas em madeira consideram sempre o fato de se tratar de um material não-padrão, ou seja, por ser orgânico, tem uma estrutura interna não-linear susceptível a variações formais sobre as quais não temos muito controle a priori. Devadass et al (2016) comentam haver uma tendência de se tratar a madeira a partir de modelos retangulares, desconsiderando a variabilidade intrínseca ao próprio material. Segundo os autores, essa abordagem convencional sacrifica a força interna da madeira e deixa de aproveitar sua resistência natural. Conscientes desta qualidade, os autores propõem explorar o uso da madeira em sua forma original. Para isso foi utilizada interface paramétrica para o desenvolvimento de sistemas de referência, escaneamento de peças, estratégias de fresagem, visando elaborar uma plataforma única com as soluções integradas. Ao final, este trabalho estabeleceu um fluxo de trabalho inovador para transformar seções ramificadas de árvores em componentes de construção complexos e valiosos, sem aumento significativo no tempo de produção em comparação com métodos tradicionais (Devadass et al (2016).

O uso da computação em processos destinados a aplicação da madeira tem apresentado bons resultados em processos que envolvem a montagem de estruturas de forma automatizada, como é o caso apresentado por Willmann et al (2016). Neste projeto, o uso de processos tradicionais de corte por CNC foi complementado por técnicas avançadas de posicionamento geométrico de peças, que pode ser considerada uma técnica aditiva. Os autores afirmam que técnicas robotizadas podem economizar tempo em projetos com materiais não-padrão como a madeira. Para cumprir o objetivo de projetar e construir treliças espaciais para uma cobertura, foram utilizadas técnicas computacionais para análise estrutural e roteiros de montagem. Os autores afirmam que o projeto de estruturas robotizadas em madeira deve adotar metodologias centradas nas características do material e nos métodos de fabricação específicos, e ter abertura para se adaptar a inúmeros requisitos que surgem ao longo do processo. Ao final, o fluxo de trabalho de projeto e fabricação digital permitiu por em prática um modo intuitivo de se projetar arranjos complexos e estruturais em madeira por meio da decomposição da cobertura em componentes menores em uma sequência de montagem viável por meios robóticos (Willmann et al, 2016).

A aplicação de processos paramétricos para projetos estruturais em madeira pode ser realizada em diferentes situações, como por exemplo no auxílio da configuração das conexões e aperfeiçoar os parâmetros de relação entre os componentes (Kang, Byun & Lee, 2023). Sistemas paramétricos podem também auxiliar com o escaneamento de peças existentes em projetos de intervenção em patrimônio (Kang, Byun & Lee, 2023)

representando junções complexas invisíveis externamente. São inúmeras as possibilidades de correção para unir peças tanto retas quanto curvas, levando em conta que a madeira é um material de características não uniformes e que pode apresentar variações em sua forma e estrutura. Neste sentido, auxilia uma aplicação em larga escala de um material que ainda traz um legado artesanal de utilização. Isso sem falar nas possibilidades de criação de bibliotecas de componentes e projetos para a preservação patrimonial (Kang, Byun & Lee, 2023). A investigação de técnicas tradicionais de arquitetura em madeira por meios paramétricos foi objeto de pesquisa em Kanasaki e Tanaka (2013). O projeto envolveu a criação de blocos pequenos utilizando técnicas tradicionais para testar sua aplicabilidade para além da arquitetura tradicional. Trata-se de uma tentativa de refinamento dos métodos tradicionais como forma de reutilização. Há uma grande contribuição no resgate e digitalização destas técnicas, como *tugite* e *shiguchi*, por serem extremamente difíceis de transmitir para as novas gerações em função de sua complexidade. Com base nestas técnicas, novas articulações paramétricas podem ser experimentadas combinando variáveis como força e liberdade, características nos encaixes tradicionais japonesas. Assim, muitas variações podem ser criadas a partir dos princípios básicos adquiridos da tradição e do conhecimento vernacular. Por meio da parametrização, ajustes relativos ao tipo de processo de fabricação e desenho dos encaixes podem ser mais facilmente realizados. Kanasaki e Tanaka (2013) afirmam haver uma intenção de automatizar o uso destes encaixes em projetos futuros tanto no contexto da arquitetura quanto do design.

É notável o crescimento dos processos de automação aplicado a estruturas em madeira. No entanto, Kramberger et al (2022) alertam para desafios ainda existentes relacionados com a especificidade de cada peça de madeira, nas variações da forma em função dos efeitos climáticos, das imprecisões geométricas e tolerâncias existentes no processo. Os autores comentam sobre as contribuições da técnica denominada *Learning by Demonstration (LbD)* que facilita a configuração dos movimentos de translação e rotação dos braços robóticos ao trabalharem com a peça de madeira. Neste processo, o humano realiza manualmente o movimento em um simulador e o algoritmo grava a sequência destes movimentos reproduzindo-a posteriormente nas demais peças e componentes. Esta técnica, também denominada aprendizado e execução, visa auxiliar o processo de automatização e simplificar a tarefa de programar a complexa trajetória do braço robótico no trato do material. O ciclo de desenvolvimento do processo inclui o projeto digital e a simulação das trajetórias, seguido do processo LbD e posterior envio das instruções à central de controle do braço robótico (Kramberger et al, 2022). Segundo os autores, com esse ciclo de procedimentos grandes estruturas de madeira podem ser montadas.

3.3. Novas versões do sistema Wikihouse

O sistema Wikihouse, por ser de código aberto, está sujeito a constantes atualizações. A versão mais atual é apresentada em dois tamanhos: Skylark250 e 200. A numeração é definida em função das dimensões básicas dos componentes de vedação terem 250mm ou 200mm de espessura visando alojar os materiais isolantes. Esta versão nos é apresentada oficialmente a partir de uma segmentação de 10 elementos, sendo eles: vedações externas, internas, cobertura, ventilação, aberturas, isolamento, instalações, revestimento, acabamento interno e fundações, que são aplicados de forma integrada sobre a estrutura (chassi) principal. Para um entendimento geral desta versão e dos princípios construtivos da Wikihouse, serão realidades descrições sintéticas de cada elemento, para posterior aprofundamento dos itens diretamente relacionados ao tema desta

pesquisa, os elementos de vedação. Mas antes, faremos uma breve explicação do chassi, que é a estrutura, o esqueleto sobre o qual todos os outros elementos são acoplados.

O chassi é formado por 5 elementos básicos, disponibilizados em módulos de diferentes tamanhos, sendo eles: pilares verticais, pré-esquadrias (nas quais serão adaptadas as janelas e portas), vigas de piso (barrote), vigas de cobertura (inclinadas) e as escadas. Todos estes elementos pressupõem conectores de diferentes modelos e tipos.

O conceito de paredes no sistema deve ser compreendido diferentemente de painéis de alvenaria, concreto ou bloco, mas como um sanduíche de placas de OSB ou similar com um recheio de material isolante. Para a correta construção deste tipo de parede, existem especificações importantes que se devem atentar, como por exemplo, o controle da umidade das vedações externas, que pode ser feito através de um envelopamento prévio do chassi com uma “membrana de respiro” que pode ser encontrado no mercado brasileiro como, membrana hidrófuga, barreira de vapor ou barreira de água variando a denominação conforme fornecedor. Essa membrana permite que qualquer umidade retida no interior das paredes evapore (Wikihouse, 2022). Ainda, se recomenda a utilização de proteção contra incêndio nas paredes e nas estruturas dos cantos das fachadas, especialmente em caso de edificações geminadas. Para o acabamento, podem ser usados os mais variados tipos de revestimento tais como: plaquetas de tijolos, cerâmicas, fachada ventilada com ripado de madeira ou material similar. no caso da fachada ventilada, as ripas podem ser parafusadas em qualquer ponto do compensado. Também é possível aplicar placas de fibrocimento, muito utilizadas nas construções a seco que, apesar de fornecerem uma defesa mais robusta contra vandalismo ou incêndio criminoso do que o revestimento de madeira, exigem uma instalação mais trabalhosa, sendo necessários andaimes fixos.

O chassi da Wikihouse deve ser instalado sobre trilhos de madeira, que devem ser retos e nivelados. Esses trilhos podem ser suportados por qualquer tipo de fundação. Como as estruturas da Wikihouse são mais leves que os prédios de tijolos, o trabalho das fundações é tanto suportar o peso próprio da estrutura quanto prevenir que esforços laterais (como o efeito de ventos) deformem o projeto.

A edificação construída com sistema Wikihouse deve ter alto nível de estanqueidade e ter cuidado especial de garantir a ventilação adequada. Além de utilizar a ventilação cruzada natural, é recomendado a adoção de sistema de Ventilação Mecânica com Recuperação de Calor (MVHR) com *bypass* total de verão. Ademais, os blocos de piso e telhado skylark preveem orifícios de 100mm para a passagem de dutos de ar pelo edifício (WIKIHOUSE, 2022). Sobre as divisões internas, a retidão e a precisão dos chassis tornam simples a adição ou remoção paredes e divisórias de ambientes. Essa característica torna possível a alteração do layout do edifício durante sua vida útil, para que ele possa se adaptar a diferentes necessidades (Wikihouse, 2022).

O chassi Wikihouse inclui uma zona aberta em seu interior para a passagem de instalações elétricas e hidráulicas, facilitando sua montagem e manutenção. Pelo fato do sistema Wikihouse ter enorme precisão de montagem, em função dos processos computadorizados de fabricação, a encomenda de peças de esquadrias se torna potencialmente menos problemática do que nas construções tradicionais nas quais se faz necessário realização do *as built*.

No que se refere ao elemento de cobertura é possível usar variados tipos de materiais tais como: telhas individuais (cerâmica, pedra, etc.), painéis ondulados, membranas e mantas ou telhados verdes. Dentro dessas possibilidades de tipos materiais de cobertura existem também formas possíveis de se projetar esses elementos, sendo elas: cobertura plana (de piso ou apenas vedação), dotadas de inclinação mínima de 1:80 (1,5%) para

permitir o escoamento das águas das chuvas. Uma grande vantagem dessa opção formal é a facilidade de acesso durante a montagem e manutenção (Wikihouse, 2022).

Para o desenvolvimento das coberturas dedicadas ao uso como pavimentos de piso (terraço), deve-se usar as vigas de piso mais robustas no lugar de vigas de telhado. Sendo totalmente planas, tornam-se úteis para ocupação de pessoas, instalação de painéis solares independentes, além de possibilitar uma expansão vertical futura. Nesse caso, é necessário priorizar a drenagem de águas pluviais e atentar aos detalhes de impermeabilização e instalação de calhas. Esse tipo de cobertura, sendo bem executada conforme as recomendações, drena bem as águas pluviais e são fáceis de acessar durante a montagem e manutenção, o que elimina a necessidade de andaimes, economizando nos custos de obra.

Recomenda-se que, para todas as coberturas, as folgas (juntas, encontros, emendas) entre as placas estejam totalmente isoladas e protegidas da ação das chuvas com a instalação de rufos, fitas, vedações expansíveis ou selantes de silicone (Wikihouse, 2022).

Granello et al (2022) expõem benefícios da madeira pela sua trabalhabilidade em processos de fabricação digital. Há uma integração no fluxo do processo de projeto com o ambiente industrial. Há uma contaminação direta de processos industriais de código-aberto, mas desta vez operacionalizada por redes locais menores. Definem-se conexões integrais as ligações madeira-madeira nos encaixes (Granello et, al,2022). Em termos estruturais, as peças Skylark não deformam como um elemento monolítico, mas uma grande parte de suas defleções detorções vem da rotação de cada uma de suas juntas.(Granello et, al, 2022).

4 Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do subprojeto combinou uma revisão bibliográfica sistematizada e posterior desenvolvimento de um projeto experimental. A etapa de projeto recorreu ao modelo *Design Science Research* (Van Aken, 2004), e consiste em um modelo de pesquisas efetivamente direcionadas ao projeto de artefatos que sustentem melhores soluções para os problemas existentes (Lacerda et al., 2013). Trata-se de um conhecimento de caráter não descritivo-explicativo, mas prescritivo, ou seja, é mais pragmática, normativa e sintética, baseada em experimentações práticas, neste caso a concepção, desenvolvimento e aprimoramento do sistema Wikihouse. Esta etapa foi desenvolvida em um workshop realizado com alunos da graduação da UFES e da UVV, numa colaboração entre os professores Bruno Massara (orientador do IC) e Cynthia Marconsini (pesquisadora da UVV). A etapa de experimentação, realizada após revisão bibliográfica ocorreu da seguinte forma:

O primeiro ciclo de desenvolvimento realizou a análise de toda a documentação relativa ao sistema construtivo *Wikihouse* visando a compreensão dos procedimentos necessários para se iniciar um projeto de código-aberto e do nível de conhecimento de modelagem tridimensional para seu desenvolvimento. No que se refere aos arquivos 3d (*design kits*) com componentes estruturais, eles foram avaliados sob a ótica da sua trabalhabilidade, variabilidade e compatibilidade com um projeto ecológico de rápida execução. Após discussão sobre a manipulação das informações gerou-se um relato desta experiência que foi acompanhada da prototipagem de alguns componentes básicos como forma de assimilação introdutória dos procedimentos do segundo ciclo.

O segundo ciclo de desenvolvimento teve como objetivo compreender, na prática, o processo de fabricação e montagem dos componentes individualmente, avaliando o nível de complexidade desta etapa, o que

inclui o tempo de produção, a qualidade dos arquivos de corte e a melhor sequência de montagem e encaixes. Ao final deste ciclo, foi realizada uma rodada de discussões com objetivo de avaliar aspectos relacionados à produção local de componentes arquitetônicos em madeira, o nível de dificuldade para correta montagem dos componentes e o resultado qualitativo dos componentes em termos físicos e estruturais. O material utilizado nos protótipos foi o MDF cru com 3mm de espessura.

O terceiro ciclo de desenvolvimento do projeto teve como objetivo a união de todos os componentes e a montagem final do modelo reduzido. Neste ciclo foram analisados os encaixes entre componentes, o alinhamento entre eles e a sequência de montagem mais providencial.

5 Resultados e Discussão

O primeiro ciclo de desenvolvimento, realizado em ambiente de sala de aula, foi iniciado com duas apresentações de fundamentação prática e teórica cujos temas se relacionam com os mencionados na seção anterior deste artigo. Após o debate sobre os temas, houve uma divisão de grupos de trabalho para a análise de toda a documentação relativa ao sistema construtivo *Wikihouse* visando a compreensão dos procedimentos necessários para se iniciar um projeto de código-aberto e do nível de conhecimento de modelagem tridimensional para seu desenvolvimento. No que se refere aos arquivos 3d (*design kits*) com componentes estruturais, eles foram avaliados sob a ótica da sua trabalhabilidade, variabilidade e compatibilidade com um projeto ecológico de rápida execução. Cada grupo de trabalho foi capaz de desenvolver em um período de duas horas o projeto de um chassi estrutural para uma construção de um pavimento por meio da montagem dos *design kits*. Uma rodada de discussão sobre a manipulação das informações gerou um relato desta experiência que foi acompanhada da prototipagem de alguns componentes básicos como forma de assimilação introdutória dos procedimentos do segundo ciclo. Ao final, todos os integrantes elegeram uma das versões dos projetos desenvolvidos para se tornar o objeto da etapa seguinte. Seus componentes foram quantificados, foi conduzido o download dos arquivos vetoriais das peças selecionadas e encaminhados para a *laser cutter*.

Figura 1: Workshop realizado com alunos da UFES e UVV para desenvolvimento do protótipo de projeto baseado no sistema Wikihouse (Primeiro Ciclo)



Fonte: Autores (2023)

O segundo ciclo de desenvolvimento foi realizado no FabLab da UVV e teve como objetivo compreender, na prática, o processo de fabricação e montagem dos componentes individualmente, avaliando o nível de complexidade desta etapa, o que inclui o tempo de produção, a qualidade dos arquivos de corte e a melhor sequência de montagem. Uma nova divisão de trabalho foi realizada, ficando cada um dos grupos responsáveis por um tipo de componente, sendo eles:

Tabela 1: Tipos e modelos de componentes utilizados para o desenvolvimento do protótipo.

	TIPO DE COMPONENTE	CÓDIGO	QUANTIDADE	PEÇAS COMPONENTE POR
1	WALL	SKYLARK250_WALL-M	2	7 (14)
2	CORNER	SKYLARK250_CORNER-M	4	4 (16)
3	ROOF	SKYLARK250_ROOF-XS42	10	11 (110)
4	VERGE	SKYLARK250_VERGE42-XS	4	36 (144)
5	DOOR	SKYLARK250_DOOR-M1	1	5 (5)
6	WINDOW	SKYLARK250_WINDOW-M3	2	8 (16)
7	WINDOW	SKYLARK250_WINDOW-M4	1	8 (8)
8	FLOOR	SKYLARK250_FLOOR-XS-0	5	22 (110)
9	END	SKYLARK250_END-XS-0	2	36 (72)
10	WALL EMPENA	SKYLARK250_WALL-M42-1	1	11 (11)
11	WALL EMPENA	SKYLARK250_WALL-M42-2	1	12 (12)
12	WALL EMPENA	SKYLARK250_WALL-M42-3	1	14 (14)
13	WALL EMPENA	SKYLARK250_WALL-M42-7	1	14 (14)
14	WALL EMPENA	SKYLARK250_WALL-M42-8	1	12 (12)
15	WALL EMPENA	SKYLARK250_WALL-M42-9	1	11 (11)
	TOTAL		37	569

Fonte: Autores (2023)

Conforme exposto na tabela acima, foram necessários 15 tipos diferentes de componentes, totalizando 37 componentes e 569 peças. O modelo utilizado, *Skylark 250*, tem como padrão 250mm de espessura para todos os componentes. O tempo de duração da produção e montagem individual de todos os componentes do projeto, numa única máquina de corte a laser, com área de trabalho de 80 x 100cm, foi 3 dias. Ao final deste ciclo, foi realizada uma rodada de discussões com objetivo de avaliar aspectos relacionados à produção local de componentes arquitetônicos em madeira, o nível de dificuldade para correta montagem dos componentes e o resultado qualitativo dos componentes em termos físicos e estruturais. O material utilizado nos protótipos foi o MDF cru com 3mm de espessura.

Figura 2: Workshop realizado com alunos da UFES e UVV para desenvolvimento do protótipo de projeto baseado no sistema Wikihouse (Segundo Ciclo)



Fonte: Autores (2023)

O terceiro ciclo de desenvolvimento do projeto ocorreu em laboratório do Grupo de Pesquisa OMITIDO e teve como objetivo a união de todos os componentes e a montagem final do modelo reduzido. Foram necessários 03 dias para a montagem total do modelo com todos os 37 componentes. Neste ciclo foram analisados os encaixes entre componentes, o alinhamento entre eles e a sequência de montagem mais providencial.

Figura 3: Workshop realizado com alunos da UFES e UVV para desenvolvimento do protótipo de projeto baseado no sistema Wikihouse (Terceiro ciclo)



Fonte: Autores (2023)

6 Conclusões

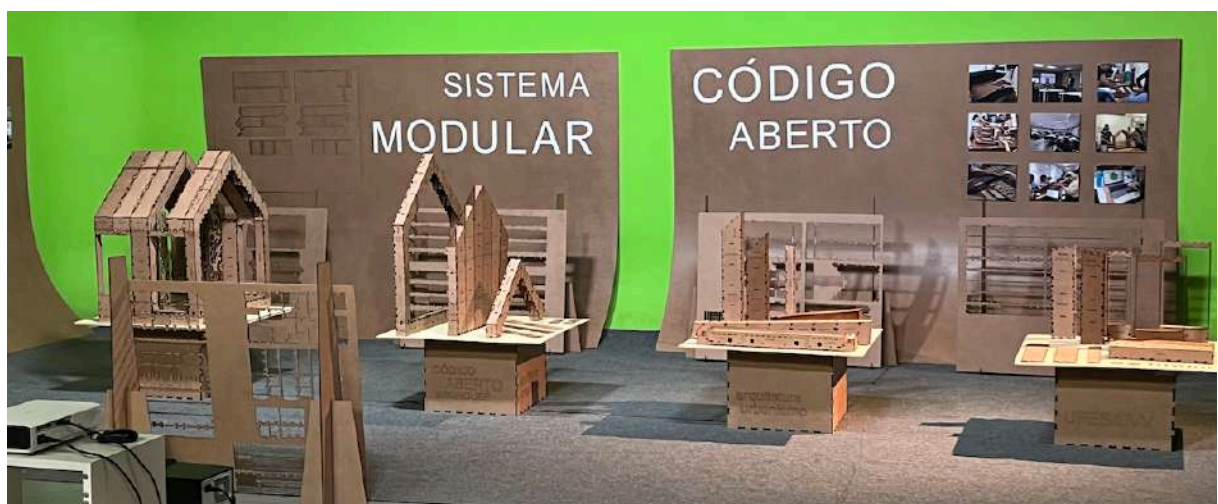
Numa análise inicial sobre o impacto do conteúdo e da abordagem do sistema Wikihouse, percebeu-se no primeiro ciclo um expressivo potencial da temática da abertura no processo de projeto, e uma rápida absorção dos conceitos e dos procedimentos de aquisição e manipulação dos dados, notadamente em se tratando dos arquivos 3d digitais. Por se tratar de uma materialidade construtiva distinta da convencional, houve muitos

questionamentos acerca dos custos do sistema em comparação com métodos tradicionais não industrializados, sobre os tipos possíveis de acabamento, modos de produção, transporte e a performance final do construto face aos requisitos arquitetônicos. Foi também objeto de discussão a pouca clareza sobre como seriam inseridas paredes e divisórias internas, uma vez que não haviam componentes disponíveis para atender a essa demanda específica. A versão *Skylark v.0.2* é extremamente limitada nas suas possibilidades de inserção de aberturas (portas e janelas) considerando o uso exclusivo dos componentes disponibilizados. Entende-se que o chassi de madeira pode ser facilmente customizado a posteriori mas a possibilidade de inserir aberturas em apenas duas das quatro faces externas da edificação prejudica consideravelmente a performance arquitetônica. Durante o processo, observou-se que alguns arquivos vetoriais planejados, disponibilizados na plataforma *Wikihouse*, possuem algumas imperfeições nos encaixes, como é o caso do tipo *Skylark250 Door M01*, impossibilitando sua montagem adequada sem correção manual.

O segundo ciclo de desenvolvimento, mais direcionado para a fabricação e montagem, ampliou significativamente o nível de complexidade processual que pôde ser observada na dificuldade encontrada para decifrar as sequências de montagem de determinados componentes constituídos por mais de 30 peças menores, como é o caso do tipo *End* e *Verge*. Para a construção dos protótipos físicos fez-se necessário o constante acompanhamento e consulta aos modelos digitais, seus grupos de identificação e separação das peças oriundas de pranchas de corte grandes e com vários tipos misturados, grupos de montagem, colagem, estabilização da estrutura e conferência. Em muitas ocasiões foram necessárias várias idas e vindas no processo até a consolidação do componente.

O terceiro ciclo, dedicado à montagem e combinação final entre todos componentes em uma única maquete, revelou a importância de uma minuciosa montagem individualizada com a conferência do alinhamento das faces e dos espaçamentos das juntas. Houve situações em que este tipo de imprecisão decorrente de uma falta de tempo e atenção com relação à qualidade da produção ocasionou distorções significativas e de difícil ajuste em partes das paredes laterais e cobertura. Diante da redução do modelo executado para a escala 1/6, foi necessário a utilização da colagem de algumas peças, uma vez que na escala reduzida os encaixes são prejudicados.

Figura 4: Workshop realizado com alunos da UFES e UVV para desenvolvimento do protótipo de projeto baseado no sistema Wikihouse (Exposição)



Fonte: Autores (2023)

Agradecimentos

Agradeço ao laboratório Conexão VIX da UFES, que disponibilizou os recursos tecnológicos e bibliográficos necessários para realização dessa pesquisa. E também ao meu orientador prof. Bruno Massara Rocha Matos que acompanhou durante todo processo de elaboração desse trabalho e contribuiu para seu desenvolvimento fornecendo orientações valiosas. Por fim gostaria de agradecer a FAPES pelo recurso financeiro destinado ao Prof. Bruno Massara no Edital Universal 2022 e aos colegas do Grupo de Pesquisa Conexão VIX do DAU/PPGAU/UFES.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190/97-Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT. 1997.
- BAUMAN, I., HARKER, K. (2020), **New Infrastructure for Communities Who Want to Build**. *Archit.Design*, 90: 38-45. <https://doi-org.ez43.periodicos.capes.gov.br/10.1002/ad.2588>
- BRANCO, B, CANUTO, R. **Fabricação digital aplicada à habitação de caráter emergencial: Um estudo sobre a adaptação de Wikiphouses ao contexto ambiental brasileiro**. SIGraDi2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americanade Gráfica Digital–24 November, 2017–Concepción, Chile.
- GAUZIN-MÜLLER, Dominique. **Arquitetura Ecológica**. São Paulo: Senac São Paulo, 2010.304 p
- GRIZ, C, QUEIROZ, N. **Edificação modular: Estudo de caso e protótipo de um sistema construtivo de código aberto utilizando prototipagem rápida**. SIGraDi 2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital–24 Noviembre, 2017–Concepción, Chile.
- LACERDA, Daniel P.; DRESCH, Aline; PROENCA, Adriano; ANTUNES JUNIOR, José A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. *Gest. Prod.*[online].2013, vol.20,n.4, pp.741-761.
- LIMA, C. S. de, & ROCHA, B. M. (2020). **Open design: compartilhamento e democratização nas práticas de projeto**. *Gestão & Tecnologia De Projetos*, 15(3), 6-18.
- _____. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Brasília: MMA, 2017B. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-enc/ arquivos/pdf/acordo_paris.pdf.
- _____. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies Silvestres Ameaçadas de Extinção**. Brasília: MMA,1975. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/phocadownload/cites/legislacao/convencao_citesconf1115.pdf
- NARDELLI, E. S, BACKHEUSER, L. A. F. **Sistema Wikihouse aplicado ao programa Minha casa minha vida**. SIGraDi 2016, XX Congreso de la Sociedad Ibero-americana deGráficaDigital 9-11,November, 2016-Buenos Aires, Argentina.
- OLIN, H. B. WOOD, cap. 201. In: **Construction: Principles, materials & methods**. Ed. VanNostrand Reinhold, New York, 1990. p: 201-1-201-45.

- PALMA, Hernando Alfonso Lara. **Determinação de propriedades elásticas e de resistência em compensados de Pinus elliottii**. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr51/cap4.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2024.
- PASSARO, A.; Rohde, C. **Casa Revista: arquitetura de fonte aberta**. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 11, n. 2, p. 25-41 jul-set. 2016.
- STAMATO, Guilherme Corrêa. **Ligações em estruturas de madeira compostas por chapas de madeira compensada**. 2002. 142 f. Tese (Doutorado)-Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-03062016-100611/pt-br.php>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- ROCHA, B. M.; BOLSSONI, G.; BUSSOLOTTI, V. **Ecologias de Projeto: métodos e processos em arquitetura digital**. Anais do 9º Fórum de Pesquisa FAU-Mackenzie: Projeto e processos em tempos de transição. Timburi, SP: Editora Cia do eBook, 2019, 265-276.
- ROCHA, B. M, DE LIMA, C. S. **Open design: Principles, interfaces and values analysis**. SIGraDi 2018, XXII Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital—07 Novembro, 2018—São Paulo, Brasil.
- ROCHA, Bruno Massara; ALVARENGA, Augusto; BOLSSONI, Gabriela; **"Open-Source Social Housing Architecture: Wikihouse “Sr. Manoel”**”, p. 91-102 . In: XXV International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics. São Paulo: Blucher, 2021. ISSN2318-6968, ISBN: 978-65-5550-232-9 DOI 10.5151/sigradi2021-49
- DEVADASS, P., DAILAMI, F., MOLLICA, Z., & Self, M. (2016). **Robotic Fabrication of Non-Standard Material**. ACADIA proceedings. <https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2016.x.g4f>.
- WILLMANN, J., KNAUSS, M., BONWETSCH, T., APOLINARSKA, A., GRAMAZIO, F., & KOHLER, M. (2016). **Robotic timber construction—Expanding additive fabrication to new dimensions**. *Automation in Construction*, 61, 16-23. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2015.09.011>
- KANG, H., BYUN, H., & LEE, J. (2023). **Parametric modeling technology for applying hbim tokorean traditional wooden architecture**. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-m-2-2023-815-2023>.
- KANASAKI, K., & TANAKA, H. (2013). **Traditional Wood Joint System in Digital Fabrication**. eCAADe proceedings. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2013.1.711>
- KRAMBERGER, A., KUNIC, A., ITURRATE, I., SLOTH, C., NABONI, R., & SCHLETTE, C. (2022). **Robotic Assembly of Timber Structures in a Human-Robot Collaboration Setup**. *Frontiers in Robotics and AI*, 8. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.768038>.
- GRANELLO, Gabriele, REYNOLDS, Thomas, PREST, Clayton. **“Structural Performance of Composite WikiHouse Beams from CNC- Cut Timber Panels.”** *Engineering structures* 252(2022) <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113639>
- REQUENA, Gustavo. **Casa Conectada**. Estúdio Guto Requena + PAX Arquitetura. São Paulo, Brasil, 2021. Disponível em <https://gutorequena.com/casaconectada/>
- SECCHI, C., PIAIA, L., AVILA, P. e SCARIOT, A. **Applying the Wikihouse Constructive System in Architecture Atelier: from teaching to the materialization of urban furniture**. In: Proceedings of the XXIV Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, SIGraDi. (pp. 750-757). 2020. <https://doi.org/10.5151/sigradi2020-103>.