

# O POTENCIAL DAS NOVAS TECNOLOGIAS DIGITAIS E SUAS IMPLICAÇÕES NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE HABITAÇÃO EM MADEIRA

Uma experimentação

**LIMA, FERNANDA (1); MEIRELLES, CÉLIA M. (2); FLORIO, WILSON (3); CUGNASCA,  
MARIANA M. (4)**

1. Universidade Presbiteriana Mackenzie. Arquitetura e Urbanismo,  
Rua da Consolação, 930. Consolação Cep 01302-090. São Paulo SP  
fvl.fer@gmail.com

2. Universidade Presbiteriana Mackenzie. Arquitetura e Urbanismo,  
Rua da Consolação, 930. Consolação Cep 01302-090. São Paulo SP  
cerellesm@mackenzie.com |

3. Universidade Presbiteriana Mackenzie. Arquitetura e Urbanismo,  
Rua da Consolação, 930. Consolação Cep 01302-090. São Paulo SP  
wflorio@uol.com.br

4. Universidade Presbiteriana Mackenzie. Arquitetura e Urbanismo,  
Rua da Consolação, 930. Consolação Cep 01302-090. São Paulo SP  
marimotta@gmail.com

**Palavras-chave:** Madeira, Habitação; processo de produção digital

A pesquisa discute a interface entre o projeto e seu modo de produção criando novas possibilidades para o uso da madeira no projeto de habitação, explorando métodos de produção através da fabricação digital e resgatando técnicas tradicionais por encaixes. Uma ampla revisão da literatura foi realizada e constituiu a base para a criação de modelos experimentais. Os modelos apresentaram como base os sistemas criados por Lawrence Sass entre 2006 e 2008, mas inova em experimentar novas formas de composição da estrutura. Os modelos foram desenhados digitalmente e transformados em modelos físicos através do método de prototipagem rápida por corte a laser. As análises experimentais demonstram que existe um amplo campo de investigação e possibilitaram a percepção dos detalhes das deficiências e das potencialidades desta nova técnica aplicadas ao projeto de habitação.

## 1. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa avalia as técnicas construtivas em madeira para produção de habitação social e emergencial, explorando as novas tecnologias de produção. A madeira foi selecionada como matéria prima principal por ser um material que tem expressivo potencial a ser explorado no Brasil, devido a grandes reservas florestais existentes. A madeira é fonte natural renovável e contribui diretamente com a diminuição do dióxido de carbono emitido, porém só começa a ter grande importância a partir da 2ª Conferência Mundial para o Desenvolvimento e Meio Ambiente- Rio'92 e do Protocolo de Kyoto no ano de 1997, onde a noção de planeta sustentável passa a ser compreendida, QUEIJO (2006). Internacionalmente a madeira já foi muito utilizada na construção civil e na habitação com diferentes desenvolvimentos tecnológicos desde o início do século XIX, em especial, países como Canadá e Estados Unidos apresentam uma forte tradição no uso da madeira para a produção de habitações, com grandes nomes como Frank Lloyd Wright e Walter Gropius que exploravam novos métodos de utilização da madeira, como no desenvolvimento do 'Wood Frame'. No Brasil, houve poucas tentativas que englobasse a questão economia e social no uso da madeira. As construções com madeira de alta resistência permitiram aos japoneses o domínio tecnológico das técnicas de ligação por encaixe, atributo explorado no oriente desde o séc. X D.C. a técnica foi desenvolvida originalmente na China e aprimorada pelos Japoneses. Os carpinteiros japoneses apresentavam uma grande habilidade manual e precisão geométrica, porém para a produção de uma construção com encaixe eram necessários conhecimentos específicos das técnicas de carpintaria, a técnica era passada de mestre a mestre (ESTUQUI, 2006), (GONÇALVES, 2002). Já a técnica abordada pelos americanos que tinham como conceito aplicação em grande escala, montagem rápida e não precisava de um conhecimento específico de carpintaria. A presente pesquisa procurou unir as duas técnicas, criando novas visões para a construção madeira, com o advento das novas tecnologias digitais, possibilitando novos processos construtivos. As novas tecnologias digitais incorporam o conceito de *Mass Customization*, onde é possível produzir uma arquitetura com formas diferentes, composta de peças variáveis através de modelagem 3D. A técnica quebra os paradigmas da produção em massa aplica a arquitetura é sempre vista como uma arquitetura de pobre, e pode se tornar uma estratégia de produção, Pesquisas antecedentes realizadas por ECKELMAN et al (2002), SIMONDETTI (2002), PUPO (2008), CELANI; BERTHO (2007), OCTAVIO (2006), SASS (2006), (2007), SASS (2008), ORCIUOLI (2010), sobre fabricação digital têm renovado o interesse a respeito dos diversos meios de representação e simulação em arquitetura. Explorando estes novos métodos de produção, passa a ser possível a construção rápida e eficiente de habitações, sejam elas emergenciais para atendimento de vítimas de grandes tragédias naturais, famílias removidas de áreas de risco, ou em situação de pobreza extrema sem condições mínimas de moradia, ou no âmbito social, para atendimento do déficit habitacional do país através de projetos inovadores e com baixo custo. (FREITAS et al, 2001).

## 2. METODOLOGIA

A primeira etapa consistiu em levantamento de dados e referencias bibliográficas para a execução da pesquisa, em livros, revistas, artigos, sites, e literatura internacional.

O início do levantamento consistiu em, pesquisar referências que ampliasse o conhecimento sobre os métodos de encaixes japoneses, para que esta técnica pudesse auxiliar na concepção dos encaixes para o sistema proposto posteriormente. No momento seguinte da pesquisa foram pesquisadas referências sobre 'Wood Frame', e outras técnicas de construção em madeira. Em paralelo foram pesquisados modelos de habitação social construídas em madeira no Brasil e em outros países, como resultados foram encontrados exemplos de construção em madeira no Brasil de arquitetos renomados como Marcos Acayaba, Andrade Morettin, etc. projetos únicos de grande qualidade que utilizam a construção em viga e pilar e madeira de alta resistência. No outro extremo exemplo como a Ong 'Um teto para o meu País', casas provisórias e produzidas de forma artesanal, apesar da boa intenção do grupo, seu processo acaba por induzir nas pessoas que madeira uma marca de construção de baixa qualidade. Enquanto que grupos de pesquisa ligados a instituições reconhecidas buscam a inovação tecnológica aplicada à madeira, um destes exemplos discutidos nesta pesquisa é o modelo de habitação criado no Instituto de Arquitetura Avançada de Catalunã (IAAC) que aplica as altas tecnologias digitais em sua produção. E para completar a pesquisa, foram levantados exemplos, teses e artigos sobre fabricação digital, principalmente no âmbito da habitação social e emergencial. Um dos exemplos mais renomados nesta área é do pesquisador Lawrence Sass, professor da Universidade MIT, que realiza pesquisas sobre prototipagem rápida e sua aplicação na construção civil desde 1990.

Na segunda etapa foram estudados e experimentados os encaixes isoladamente, utilizando materiais alternativos como isopor, entre outros materiais ainda produzidos de maneira artesanal, proporcionando maior visão para aplicabilidade dos diversos materiais, seu construtivo na modelagem digital.

Na terceira etapa foram propostos três modelos digitais de sistemas estruturais voltados para produção de habitação, desenhados por um processo digital. O programa sketch-up e o Auto-cad, entre outros

A quarta etapa o corte do modelo físico chamada de prototipagem. Para a produção os modelos físicos foram utilizados papel Paraná de 2mm, que foi cortado pelo método de fabricação digital, através de corte a laser em duas direções pelo Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (LAPAC) na Unicamp.

A quinta etapa consistiu na montagem dos modelos físicos cortados, bem como a análise dos resultados e das dificuldades encontradas na produção e durante o processo de montagem do modelo. Foram produzidos 3 modelos físicos para estudo com base na associação Wood frame e encaixes produzidos a partir chapas planas.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

Lawrence Sass pesquisador do MIT *Massachusetts Institute of Technology*, um dos principais pesquisadores sobre prototipagem rápida e sua aplicação no processo de produção de habitações.

Sass (2007) produziu a pesquisa "*Synthesis of design production with integrated digital fabrication*", a pesquisa explorar o processo de fabricação chamado '*Mass Customization*' como um novo meio de pensar em arquitetura. No '*Mass Customization*' os desenhos arquitetônicos são produzidos pelos programas de modelagem e enviados para a máquina de corte a laser, para corte e fabricação os de forma precisa e

independente do número de repetições de peças, cada peça pode ser única. A pesquisa desenvolve através da aplicabilidade deste processo de fabricação, um projeto de habitação mínima, denominado 'Abrigo'. A intenção predominante da pesquisa era criar uma habitação de baixo custo para produção em um curto espaço de tempo.

Em 2008, Sass produziu juntamente com Daniel Cardoso a pesquisa "*Generative Fabrication*". A pesquisa procurou explorar formas e sistemas simples de prototipagem rápida, e a produção através do corte a laser de placas. As junções exploradas foram propostas dentro da lógica do corte a laser do painel em 2 D, portanto o corte das chapas foi realizado nos eixos X e Y, por ser produzido através do equipamento Laser Systems X-660 (50 watts) de corte a laser por CNC. As peças são produzidas com encaixes e se assemelham a um quebra-cabeça e a intenção inicial era que a estrutura adquirisse rigidez através do encontro das peças, sem que fosse necessário outro método de ligação, como pregos ou cola. (CARDOSO; SAAS)

Em 2008, Larry Sass teve a oportunidade de colocar em prática sua pesquisa na produção de um protótipo em escala 1:1. A pesquisa "*A Digitally Fabricated House for New Orleans*" demonstra a qualidade que a produção por prototipagem rápida pode alcançar na produção de uma casa. A casa foi projetada e montada para a exposição '*Entrega a Domicílio*' no Museu de Arte Moderna de Nova York (MOMA) realizada no ano de 2008. A mostra abrangia casas pré-fabricadas, que explorassem diferentes e revolucionárias soluções de produção e montagem. A casa produzida por Sass foi convidada a participar da exposição, por ter sido produzida pelo mesmo processo apresentado nas pesquisas anteriores realizadas por ele, através da fabricação digital por prototipagem rápida, processo considerado inovador. A casa foi proposta para a reconstrução de *New Orleans*, que sofreu com os desastres naturais proporcionados pelos furacões Katrina e Rita no ano de 2005. A preocupação estética apresentada no projeto teve a intenção de resgatar a identidade do lugar, proporcionando um reconhecimento e uma apropriação do projeto, por parte da população atingida. O protótipo de habitação produzido em madeira apresenta um baixo consumo energético e baixo custo de produção com alta qualidade, fatores importantes que influenciam positivamente para a substituição das casas construídas. Através da fig. 1 (A) pode ser analisado o modelo físico produzido por Sass em escala reduzida e na figura 1 B antes da construção final em escala 1:1.



Figura 01: A) Protótipo final utilizado como modelo de construção da '*House for New Orleans*' e B) montagem da '*House for New Orleans*' para exposição do MOMA.

Fonte: <http://www.treehugger.com/files/2008/07/home-delivery-digital-house.php>

O modelo em escala 1:1 ganhou o nome de *'House for New Orleans'* e ficou exposto num terreno ao lado do museu, servindo de experimento para avaliar o desempenho e durabilidade. O modelo suportou ventos fortes, chuvas, variações climáticas. Foi realizada a análise do comportamento da estrutura produzida por prototipagem rápida, e sua aplicação na habitação. Na figura 2 A pode ser observado a casa em visitação, e na figura 2 B os métodos de encaixes das peças e os painéis de fechamento. O arquiteto usa o painel de fechamento como elemento de enrijecimento da constru o. (SASS, 2008)



Figura 2: A) *'House for New Orleans'* na exposi o do MOMA e B) Detalhe das peças durante a montagem;  
Fonte: [http://casa.abril.com.br/noticias/noticias\\_294384.shtml?id=img1](http://casa.abril.com.br/noticias/noticias_294384.shtml?id=img1).

Pode-se perceber que o grau de detalhamento no recorte das peças   extremamente alto, pois o processo utiliza encaixes, sendo a busca de processos para a estabilidade do conjunto   ponto mais relevante. Um pr -estudo em rela o ao tamanho dos encaixes e posi o   importante no modelo de produ o, pois se houver qualquer desalinhamento entre eles, o conjunto não consegue ser montado. Nas questões espaciais a produ o do modelo físico em escala reduzida, torna-se imprescindível para a identifica o de falhas.

Contemplando novos meios de produ o pelo método da fabrica o digital, destacou-se a pesquisa *"Digital Wood Craft"*, realizada por Martin Tamke e Mett Ramsgard Thomsen (2009). Esta pesquisa foi de grande relevância na compreensão das potencialidades que a fabrica o digital reserva, demonstrando a importância dos novos programas computacionais na produ o arquitet nica, expandindo para novas soluçoes est ticas, como pode ser analisado na figura 3 A. Este caso demonstra o potencial da madeira no processo de produ o por prototipagem rápida, além de estar entre os materiais mais sustentáveis dentro da constru o civil, permite formas geométricas complexas com a aplica o de peças e encaixes diferentes em cada encontro, e articula oes. A pesquisa mostra no processo de prototipagem rápida não existem as restri oes da técnica tradicional de produ o, onde o maior número de peças deve ser igual para baratear a produ o. Neste caso o projeto foi inteiramente experimental, revelando formas incomuns. Diferente da pesquisa de Sass (2008), os cortes são feitos por outro tipo de máquina, através de três eixos X, Y e Z, ou seja, tridimensionalmente, e os encaixes são produzidos com a precisão numérica do desenho, como pode ser observado na figura 3 B.

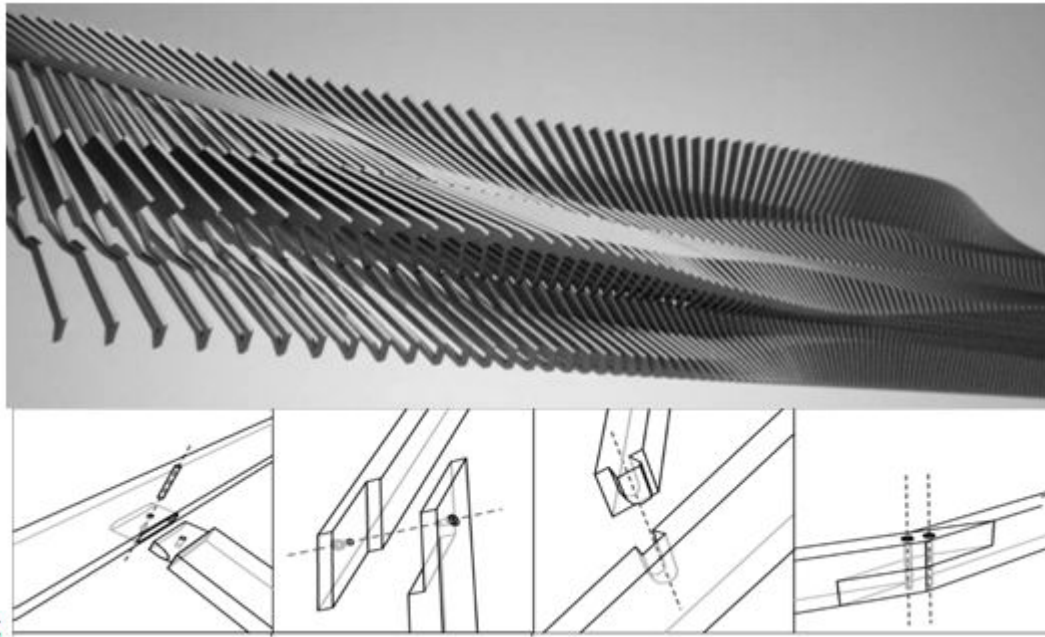


Figura 03A: Modelo Digital em 3D que mostra a variação dos elementos  
B: Encaixes e junções utilizados nos projetos em 1:1;  
Fonte: TAMKE, THOMSEN (2009).

Para que fosse possível analisar o tema através de outros paradigmas o projeto do FABLAB pelo Instituto de Arquitetura Avançada de Catalunã (IAAC) foi essencial. Trata-se de um protótipo de habitação. Primeiramente o padrão de produção é distinto da industrialização em massa de produtos padronizados, é utilizada a técnica de desenho digital sobre a produção pelo processo em CAD/CAM, questão discutida e de grande relevância nesta pesquisa, o projeto criado pelo FABLAB demonstra como o processo de fabricação digital une o design à produção seriada. Para a criação do protótipo proposto pelo FABLAB, o IAAC aprofundou seus estudos sobre outro ponto importante dentro da arquitetura, a eficiência energética, relacionando a eficiência de um material fotossensível, por exemplo, sobre preço, disponibilidade e complexidade, e facilidade de instalação na aplicação de um projeto, concentrando seus esforços para que a utilização de recursos energéticos eficientes torne-se acessíveis.

Na fig. 04, pode-se analisar que o projeto de habitação criado pelo IAAC (2010), nomeado como '*Fablab House*', foi produzido através do corte a laser, em painéis de madeira serrada laminada, chamadas *Laminated Veneer Lumber* (LVL) com 300x1800x45 mm, que se tornam peças, onde a fibras longas da madeira que são coladas em direções paralelas, formando o conjunto. Estas peças são variáveis em relação ao tamanho, em alguns casos são inteiriças para reproduzir a função estrutural dos elementos propostos. O projeto utilizou formas curvas, como pode ser observado na fig. 4 D. Comparativamente, a lógica em relação à construtibilidade deste protótipo é diferente do protótipo proposto por Sass (2008). Neste caso, não há peças repetidas, cada peça tem uma forma única e um papel único dentro do conjunto. Já na '*House for New Orleans*', são utilizadas basicamente as mesmas peças repetidas em sequencia. Apesar de se tratar de grandes painéis, o processo de produção partiu do corte realizado em 2D e a montagem em 3D.





Figura 04: A) Corte dos painéis de LVL B) peças sendo embaladas para o transporte C) Montagem da base, início da construção da casa D) “Fablab House” montada em 1:1 Fonte: site do FABLAB

Os estudos de caso acima referidos demonstram que a madeira e seus derivados, podem ser considerados uma das matérias-primas mais indicadas para este tipo de produção por fabricação digital, a utilização da madeira é unânime em todos eles.

Com estas afirmações pode-se atestar a importância em aprimorar os conhecimentos sobre o uso da madeira e seus derivados, iniciamos o estudo do tema com a pesquisa “*Tecnologia das construções em madeira: a busca de sistemas construtivos contemporâneos*” que permitiu uma melhor compreensão da técnica convencional de construção por pilares e vigas, e como ela se difere da técnica de produção por fabricação digital proposta. A pesquisa demonstrou que a construção convencional por pilares e vigas trabalha com peças inteiras e maciças, que dependem diretamente de cuidados específicos com a madeira, e com o transporte e construção, portanto com um custo da construção é mais alto. A técnica de construção convencional também é diferente no aspecto da ligação das peças que é feita através de conectores metálicos, pregos e ou parafusos e peças longas com maiores espessuras. No Brasil esta é a técnica mais utilizada até hoje para construção em madeira. Outra técnica estudada que ainda não é muito difundida no Brasil, mais que é utilizada em países como Canadá e Estados Unidos que ainda mantêm forte a tradição de produzir casas em madeira, é a técnica americana chamada ‘*Wood Frame*’ com montantes espaçados entre 40 a 60 cm, formado uma estrutura espacial, e com peças de pequena espessura. (MEIRELLES et al, 2009)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O início da pesquisa foi dedicado aos estudos dos encaixes tradicionais japoneses, depois de serem estudados isoladamente e compreendidos em sua função estrutural. Estes encaixes ajudaram a compreender o método utilizado na produção das peças, que em suma, acontece em três dimensões, porém um conforto que existe nesta pesquisa esta fundamentada na produção por corte a laser em placas, ou seja, um sistema em duas dimensões. A partir deste entendimento, foi necessário adaptar e o sistema para duas dimensões, para que pudesse ser produzido pelo método de fabricação digital disponível para a produção das peças e correspondente ao estudo. Com isso houve a necessidade da ampliação do campo de estudo, e para obter mais informações referentes a outras técnicas construtivas.

O entramado pesado é constituído de pilares e vigas em madeira nativa ou reflorestado, na qual as cargas são transmitidas das vigas para os pilares, que são modulados entre vãos de 2,4m a 7m de distancia. A técnica foi descartada, pois os encaixes teriam que ser produzidos por uma máquina de três eixos (especialmente), não sendo possível a produção por corte a laser no LAPAC, pois a máquina utilizada trabalha com chapas bidimensionais. Foi então decidido utilizar como conceito estrutural um sistema aproximado ao sistema Wood frame, pois ele é produzido a partir de um entramado leve. A técnica tem como base, inúmeras peças em madeira com pequenas dimensões organizadas com pequenos espaçamentos entre elas, ou seja, uma estrutura espacial autoportantes, que pode ser comparada a estrutura de uma gaiola como o *Wood frame*, com um diferencial nesta pesquisa, as ligações aplicaram a técnica por encaixe. Experimentamos e criamos diversas situações para analisar a aplicabilidade da técnica proposta, buscando um processo de montagem rápido e simples. A preocupação da equipe é fazer um paralelo a técnicas construtivas possíveis de serem aplicadas na escala 1:1, e a proposta se remete ao uso de painéis produzidos a partir de madeira de reflorestamento, tornando o sistema mais econômico e sustentável, possibilitando a produção pelo método de fabricação digital a partir de elementos bidimensionais, que é um dos preceitos principais da pesquisa.

Para avaliar a proposta projetual aplicada a uma habitação em madeira, como base um módulo de 3,60mx 3,60m, foram construídos modelos em escala reduzida, desenhados e produzidos por um sistema digital. Para analisar e identificar os problemas existentes no novo processo construtivo e sua forma de produção foi decisivo as revisões da literatura, as investigações e experimentações. Nesta etapa, os estudos de caso do arquiteto Lawrence Sass (2006, 2007, 2008) foram essenciais, especialmente as análises dos encaixes que ele propôs em seus projetos e dos preceitos extraídos dos encaixes japoneses. Inicialmente a criação e a produção de modelos físicos simplificados, para o estudo dos primeiros encaixes, utilizaram chapas de isopor de 5 mm, cortadas manualmente com um estilete.

### A primeira experimentação

O primeiro experimento parte de um sistema onde todas as peças da estrutura têm pequeno comprimento, em média 1,20 m, e tem como princípio fundamental a ligação em fêmea-fêmea. O sistema intercala os dois eixos, nas duas direções (horizontal e vertical), com isso o conjunto ganha a rigidez necessária para se manter estável nas duas direções. Cada peça recebeu três encaixes um em cada ponta e um no meio da peça. A abertura no eixo de cada peça possibilitou que elas pudessem ser transpassadas e montadas, como pode ser visto na figura 5.



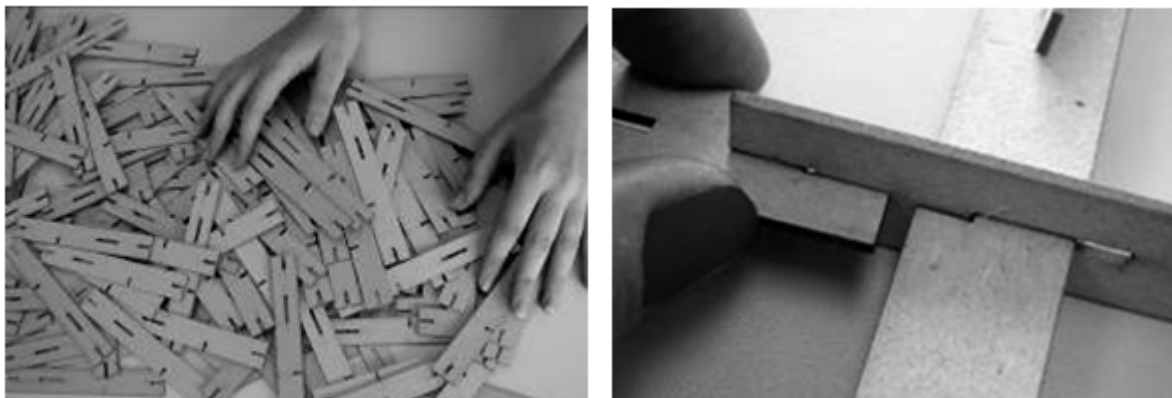


Figura 5: A) Peças cortadas à laser. B) Detalhe do encaixe fêmea-fêmea e da abertura no eixo da peça.  
Fonte: LIMA (2010).

O sistema demonstrou diversas fragilidades estruturais, pois possui uma alta complexidade no processo de montagem dos encaixes e na ligação das peças, como pode ser analisado pela imagem 6. Durante a montagem do modelo físico percebeu-se que o conjunto não cria estabilidade e rigidez, quando mais elementos são inseridos no modelo, e ao decorrer da montagem quando ocorre alguma movimentação, desmonta facilmente. Outro ponto que merece destaque é a fragilidade da ligação fêmea-fêmea, onde uma das peças apresenta a menor inércia, figura 6 A e 6 B. A montagem das peças também exigiu seguir uma ordem regular e de difícil entendimento, durante a transposição e ligação das peças, este fato durante a concepção do modelo digital não foi possível analisar. As dificuldades constatadas tornaram esta proposta de modelo incapaz de atender as necessidades do sistema, já que o sistema que alvejamos deve ser de fácil entendimento e, por conseguinte deve possibilitar rápida montagem, para que não exista a necessidade de haver mão de obra especializada, e possa ser montado por qualquer pessoa, além de apresentar uma boa estabilidade global. Devemos destacar que no sistema digital as dificuldades de montagem podem ser minimizadas, pois cada peça recebe um código numérico para orientar a montagem.

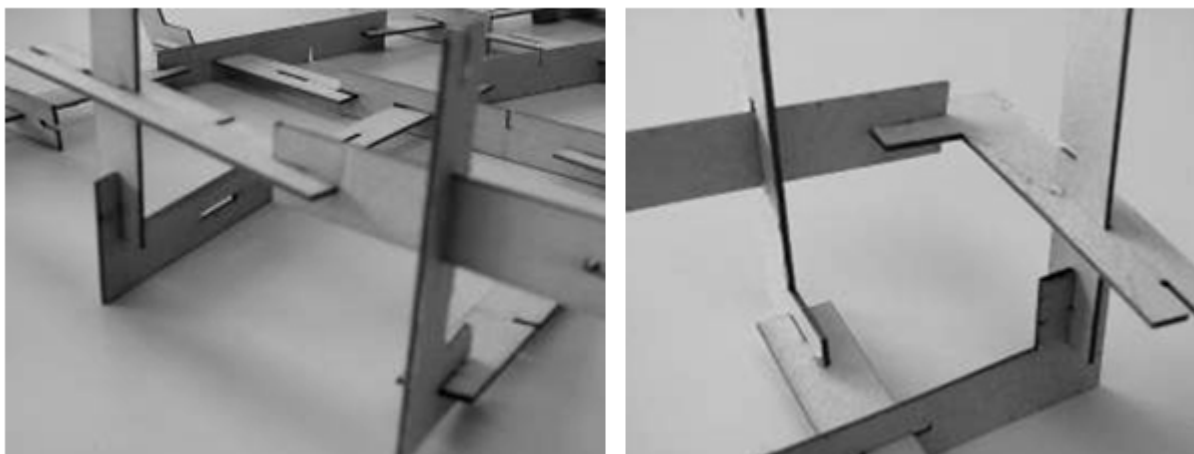


Figura 6: a) Trecho do modelo físico montado, demonstrando a instabilidade do modelo. B) Detalhe do canto da proposta;  
Fonte: LIMA (2010).

Relacionando tipos possíveis de vedações ao modelo, constatamos algumas dificuldades para associar à vedação a estrutura, pois a distância entre as peças verticais que estão posicionadas no mesmo eixo é extensa e dificulta a ligação do painel e da estrutura. Esta análise condicionou mudanças primordiais na

concepção estrutural do sistema criado posteriormente. A figura 7 mostra o modelo volumétrico produzido pelo programa sketch-up para melhor compreensão do sistema, e para orientar a montagem, pois todas as peças são produzidas todas em 2D.

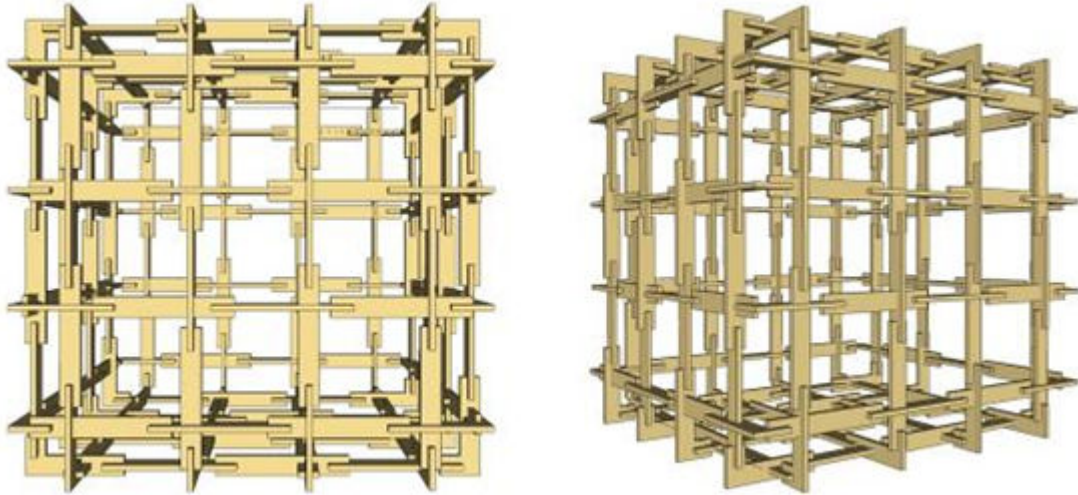


Figura 7: Perspectiva produzida pelo programa Sketch-up.  
Fonte: LIMA (2010).

## A segunda experimentação

A nova experiência apresentou como base o projeto do Sass (2008), com peças de pequeno comprimento e aplicando o encaixe macho e fêmea de topo e colado. Nesta pesquisa foi proposta uma modificação, produzindo cortes no centro das peças verticais, para transpassar as peças horizontais, como pode ser observado na figura 8, com as peças horizontais, posicionadas na maior inércia.

Neste modelo como quase todos os encaixes estão no mesmo eixo das peças, somente o contato criado com o encaixe tipo macho-fêmea não demonstrou ter a estabilidade necessária ao conjunto, por isso, assim como no projeto do Sass (2008), elas tiveram que ser coladas, no caso, com fita adesiva. Para gerar uma estabilidade maior as peças horizontais que compõe a parede vertical passaram a ser transpassadas e encaixadas.

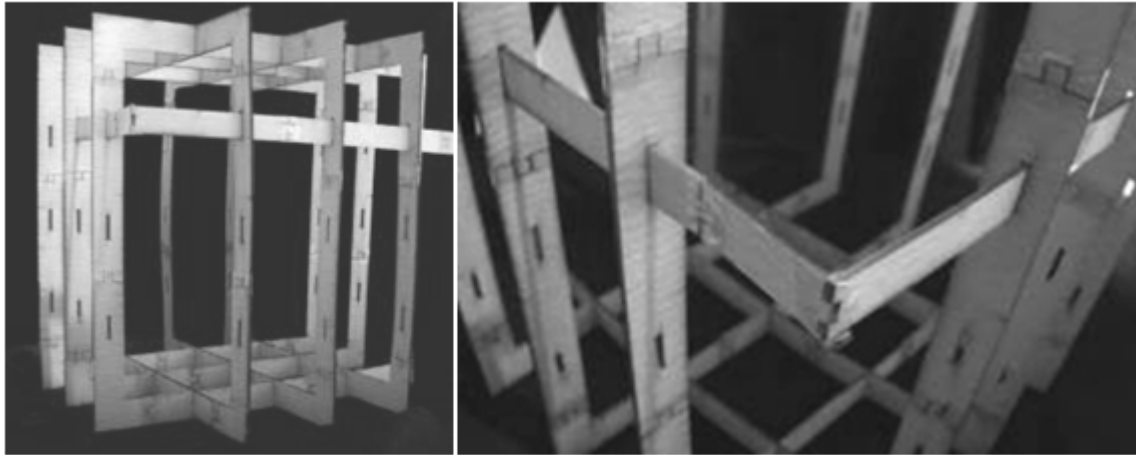


Figura 8: Protótipo nº 1 cortado a laser e montado por encaixes e colado com fita adesiva.  
Fonte: LIMA (2010).

Neste modelo existem no pilar 3 encaixes de topo colados. A discussão do grupo questiona a estabilidade global da construção promovida pelos encaixes de topo colado e discute a possibilidade de produção de elementos contínuos para os pilares, em função da leveza da madeira, permitindo que dois homens façam a montagem e carreguem uma peça de 2,60 metros de comprimento. O Brasil não produz os painéis de grande comprimento como os painéis LVL produzidos na Europa, que apresentam comprimentos de 18 metros. A figura 9 constata que para entender a montagem do sistema foi desenhado o modelo volumétrico em 3D de cada peça e a união das mesmas pelo programa sketch-up.

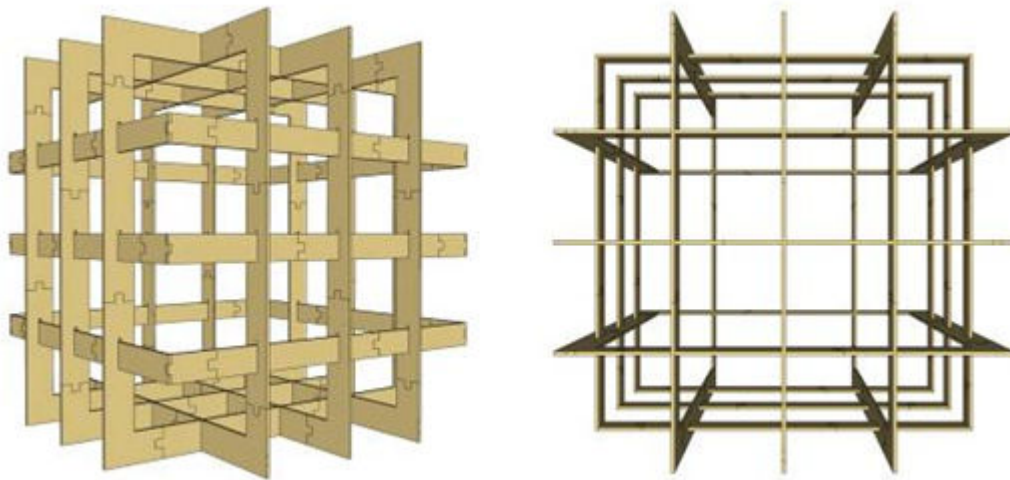


Figura 9: Modelo criado produzido pelo programa sketch-up.  
Fonte: LIMA (2010).

### A terceira experimentação

As principais mudanças na produção deste modelo estão relacionadas à proporção, ele adquiriu proporções mais exatas e modulares para possa funcionar como habitação, os módulos foram projetados baseados nos tamanhos dos painéis OSB ou "*Oriented Strand Board*" produzidos a partir de tiras curtas retiradas paralelas as fibras da madeira e coladas em direções ortogonais. Os painéis OSB apresentam tamanho padrão de

120x240 cm, com resistência mecânica para trabalhar com vedação e com baixo peso específico, eficaz em construções leves como do estudo proposto nesta pesquisa. Outra mudança foi posicionar as peças horizontais na “menor inércia” e encaixe macho e fêmea. As peças verticais posicionadas por fora e as horizontais por dentro. Em função da menor inércia da peça horizontal das distancia entre montantes, ficou menor, colaborando com a adequação entre painel de vedação e estrutura. Observações demonstradas pela figura 10.

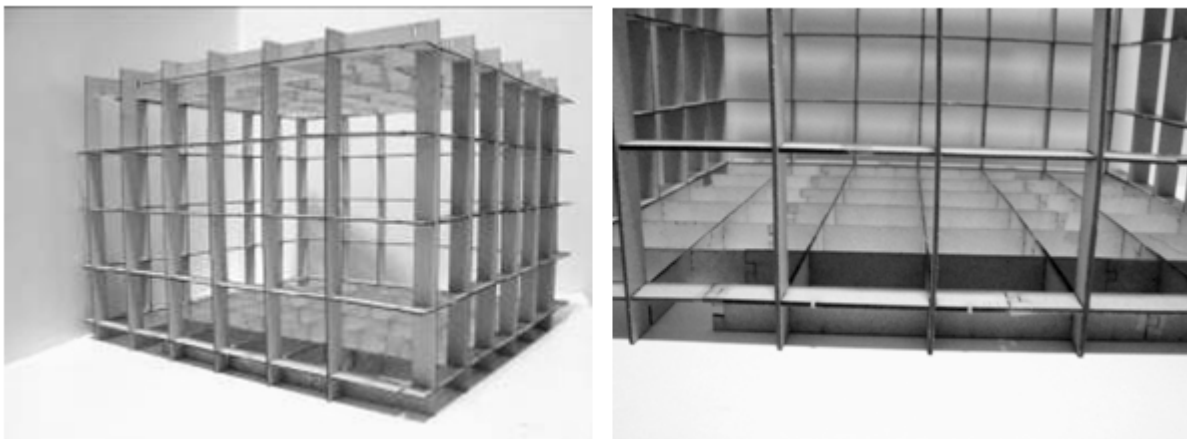


Figura 10: Modelo físico montado.  
Fonte: LIMA (2010).

Além destes fatores, houve a intenção de tornar a estrutura mais simples e estável contornando a dificuldade apresentada no modelo anterior, à estrutura ganhou uma peça única na direção vertical que tem a intenção de funcionar como ‘pilar’ (figura 11 A), apesar do peso da peça ter ficado maior, ainda assim é possível ser carregada com facilidade. Esta modificação foi feita para que o conjunto estrutural ganhasse mais rigidez, este fato pode ser comprovado pelo modelo físico (figura 11 B).

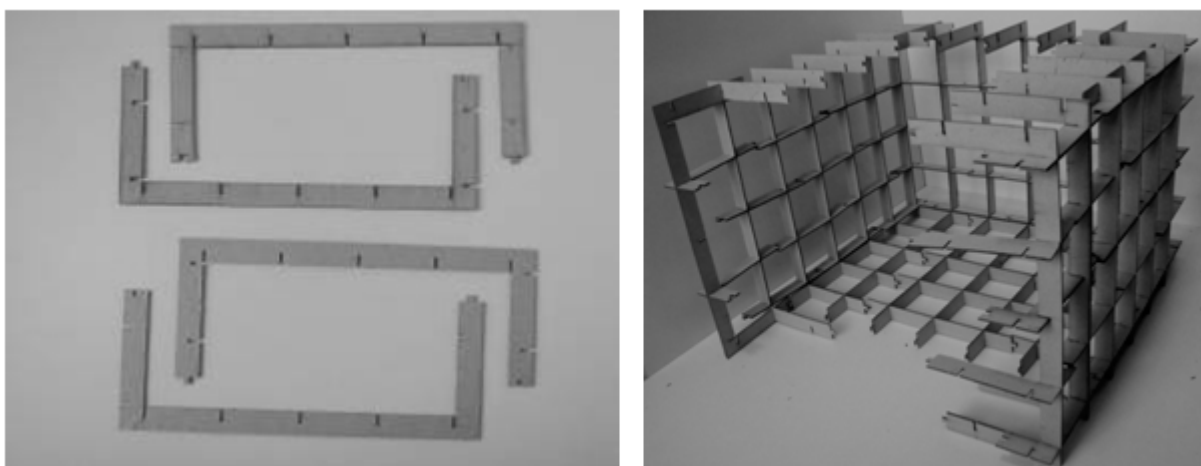


Figura 11: A) Peças verticais e B) Modelo sendo montado.  
Fonte: LIMA (2010).

As peças que estão na direção horizontal, voltaram a ter a menor inércia, pois neste caso em específico o sistema como um todo compensa essa fragilidade, já que a rigidez principal acontece através do conjunto, que funciona como uma estrutura espacial (figura 12). Outro fato que colaborou para isso foi à diminuição das

distâncias entre os montantes, nesta proposição estão com apenas 60 cm e foram pré-dimensionadas a partir da medida padrão dos painéis OSB, criando a possibilidade de aplicação desta chapa como fechamento.

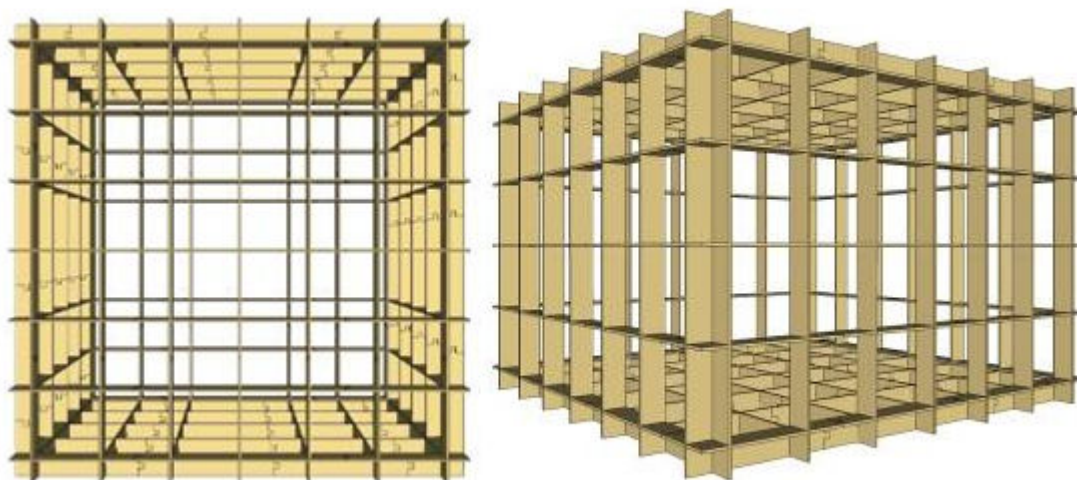


Figura 12: Perspectiva produzida pelo programa sketch-up.  
Fonte: LIMA (2010).

Houve uma evolução durante a criação dos modelos, e pode-se constatar que esta foi a melhor solução encontrada, porém durante a montagem do modelo foi identificado um detalhe impreciso no sistema. Diferente do modelo anterior que apresentou imprecisões que incapacitavam o modelo, este pode ser facilmente ajustado. Trata-se da existência de duas peças verticais que se encontram no canto, dificultando a montagem e a ligação com as peças horizontais. Um pequeno descolamento em uma das peças verticais posicionadas no canto foi suficiente para solucionar o problema da montagem. Para o corte das peças, foi utilizado o mesmo método dos modelos anteriores de corte a laser por CNC no LAPAC. O corte foi feito no laboratório da Unicamp, pelo Profº Wilson Flório e equipe.

## 5. CONCLUSÃO

A pesquisa é de grande relevância, pois associa os processos por prototipagem rápida e o funcionamento do corte a laser por CNC, a materiais considerados sustentáveis como madeira e seus derivados como os grandes painéis laminados produzidas na Europa e os painéis OSB, aplicados a os processos direcionados a habitação. Os estudos e pesquisas realizadas sobre a utilização da madeira em suas diversas aplicações foram de extrema importância para que se fossem traçadas conceitos e metas que permitiram definir os limites da tecnologia e sua aplicação ao projeto e experimentação.

De uma maneira geral a eficiência do sistema foi comprovada, quanto ao seu desenvolvimento e quanto à rapidez, permitindo a produção de peças e encaixes mais complexos, que comprovadamente não poderiam ser produzidos manualmente.

A pesquisa procurou abordar as possibilidades de encaixes para a produção de uma habitação, através de experimentos físicos procurando um entendimento dos fenômenos que acontecem no processo aplicado. Entretanto os modelos propostos, não foram avaliados de forma numérica em programas estruturais, ficando esta etapa para uma próxima pesquisa, onde deverá ser analisada a capacidade portante dos materiais e dos encaixes propostos e sua adequação a normas Brasileiras relacionadas à estrutura de madeira.



Esta pesquisa procurou determinar os limites da tecnologia, mas é apenas o início de uma série de discussões e possibilidades, a serem desenvolvidas acerca do tema no Brasil. Existe um amplo campo de pesquisa que devem ser desenvolvidas, para que esta técnica possa ser aprimorada e contribua efetivamente no combate do déficit habitacional e/ou para o atendimento de famílias em diversas situações com qualidade de vida. Para ter grande aplicabilidade à habitação o sistema deve ser de fácil entendimento e, por conseguinte deve possibilitar rápida montagem, para que não exista a necessidade de haver mão de obra especializada, e possa ser montado por qualquer pessoa, além de apresentar uma boa estabilidade global. Portanto o sistema não deve introduzir na montagem complexidades, entretanto como um processo de pesquisa e investigação buscamos estudar e experimentar sistemas e ligações complexas para buscar identificar os problemas e a potencialidade desta tecnologia.

A pesquisa demonstra a importância do desenvolvimento de experimentos nas mais diversas escalas para a aplicação da técnica no projeto de arquitetura em especial quando buscamos um processo inovador para a produção de um projeto de habitação.

## REFERÊNCIAS

- ACAYABA, Marcos. *Marcos Acayaba*. São Paulo: Cosac&Naify, 2007.
- BLASER, Werner. *Structure und Gestalt in Japan*. Verlag für Architektur: Zürich, 1963.
- CARDOSO, Daniel; SASS, Lawrence. *Generation Fabrication*. Massachusetts Institute of Technology, USA, 2008.
- CELANI, Gabriela; BERTHO, Beatriz C. *A prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de arquitetura*. Anais do **Graphica**, Curitiba, 2007.
- ECKELMAN, Carl; AKCAY, Huseyin; LEAVITT, Robert; HAVIAROVA, Eva. *Demonstration Building constructed with round mortise and tenon joints and salvage material from small diameter tree stems*. In: Wood Engineering, november/dezember, 2002.
- ESTRUTURAS de madeira. *Encaixes Japoneses*. Disponível em: <<http://estruturasdemadeira.blogspot.com/>> Acesso em: 10 mar. 2010.
- ESTUQUI Fº, Carlos Alberto. *A durabilidade da madeira na Arquitetura sob a ação dos fatores naturais: estudo de casos em Brasília*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2006.
- GONÇALVES, Décio. *Apresentação e análise de algumas obras residenciais brasileiras recentes executadas em madeira*. 2002. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2002.
- GÖTZ, Karl-Heinz; HOOR, Dieter; MÖHLER, Karl; NATTERER; *Timber design & construction sourcebook: a comprehensive guide to methods and practice*. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1989.
- IAAC. *Fablab*. Universidade da Cataluña. Disponível em <<http://www.fablabhouse.com/>>. Acesso em: 10 set de 2010.
- FREITAS, Carlos Geraldo Luz de; BRAGA, Tânia de Oliveira; BITAR, Omar Yazbek; FARAH, Flávio. *Habitação e Meio Ambiente: abordagem integrada em empreendimentos de interesse social*. Programa de tecnologia de habitação. São Paulo: Habitare, 2001
- LEAL, Ubiratan. *Popular com Tecnologia: Light Wood Frame*. Revista Técnica, São Paulo, nº59, fev. 2002.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti Meirelles; Henrique Dinis; Segall, Mário Lasar, Sant'anna Silvio Stefanini. *Tecnologia das construções em madeira: a busca de sistemas construtivos contemporâneos*. Relatório Técnico Científico, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Mackpesquisa, 2009.

OCTAVIO, Lacombe. *Diagramas Digitais: pensamento e gênese da arquitetura mediada por tecnologias numéricas*. São Paulo: FAU-USP, 2006.

ORCIUOLI, Affonso. *O impacto das tecnologias de fabricação digital nos processos de design*. São Paulo, Revista AU, n° 183. Disponível em: <<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/183/imprime141180.asp>> Acesso em: 01 mar. 2010

PUPO, Regiane T. *Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura*. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Campinas, Campinas, 2008.

QUEIJO, Camila. *Arquitetura sustentável em madeira: aplicações e técnicas construtivas*. PIBIC, Iniciação Científica, MackPesquisa. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2006.

SASS, Lawrence; BOTHA, Marcel. *The Instant House: A Model of Design Production with Digital Fabrication*. In: International Journal of Architectural Computing, vol. 4, n° 4, p. 109-123, 2006.

SASS, Lawrence. *Synthesis of design production with integrated digital fabrication*. In: Automation in Construction, vol. 16, p. 298-310, 2007.

SASS, Lawrence. *A Digitally Fabricated House for New Orleans*. In: AIA Report on University Research, New York, Volume 4, 2008.

SILVA, Ricardo D. *Habitação de Emergência com Resíduos de Madeira e Derivados*. Londrina: EESC-USP, 2007.

SIMONDETTI, A. *Computer-generated physical modeling in the early stages of the design*. In: process. Automation in construction, v.11, n.2, p. 303-311, 2002.

TAMKE, Martin; THOMSEN, Mette R.. *Digital Wood Craft*. Royal Academy of Fine Arts, Denmark, 2009

UM TETO para o meu país. *Reportagem*. Disponível em: <<http://umtetoparaomeupaís.org.br/>> . Acesso em: 20 out. 2010

#### AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo apoio financeiro e ao PIBIC-MACKENZIE

Ao LAPAC e a UNICAMP e ao Prof° Wilson Flório e equipe pela produção das peças