

TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO PARA HABITAÇÃO SOCIAL, UTILIZANDO TUBOS DE PAPELÃO E BAMBU

Lígia da Silva Oliveira (IC) e Roseli Maria Martins D'Elboux (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

O propósito deste trabalho de pesquisa é compreender a utilização de materiais alternativos como processo de inovação tecnológica na construção de habitações sociais no Brasil. Procurou-se compreender o déficit habitacional brasileiro e as opções de materiais com maior viabilidade para ser encontrado e trabalhado no país. Os elementos escolhidos para serem aplicados como possibilidades de estruturas e vedações são tubos de papelão, experimentados pelo arquiteto japonês Shigeru Ban, e bambu, tradicionalmente utilizado nas construções da Ásia e atualmente empregado nas habitações sociais em países da América Latina, como Colômbia e México. Considera-se a questão ambiental, preocupação pertinente para a atualidade, valorizando o caráter sustentável dos materiais, desde sua extração e fabricação, utilização em obra e os resíduos deixados, até seu descarte ou reuso. Também são consideradas as propriedades mecânicas, estruturais, montagem e custos dos elementos. A principal ferramenta para o estudo é a pesquisa bibliográfica, em artigos, teses e dissertações sobre as potencialidades dos materiais, seguido da análise de quatro estudos de casos, sendo duas habitações sociais estruturadas em bambu construídas no México, e duas habitações estruturadas em tubos de papelão, uma implantada no Japão, outra no Brasil como protótipo que analisa o material e sua resistência às condições climáticas e intempéries brasileiras.

Palavras-chave: Tubos de papelão, bambu, habitação social.

ABSTRACT

The purpose of this research is to understand the use of alternative materials as a process of technological innovation in the construction of social housing in Brazil. We sought to understand the Brazilian housing deficit and the options of materials with greater viability to be found and worked in the country. The chosen elements to be applied as possibilities of structures and fences are the tubes of cardboard experienced by the Japanese architect Shigeru Ban, and bamboo traditionally used in the constructions of Asia and currently employed in social housing in countries of Latin America, such as Colombia and Mexico. The environmental question is considered relevant concern for the present, valuing the sustainable character of the materials, from their extraction and manufacture, use in the work and the residues left until their disposal or reuse. Were also considered the mechanical, structural,

assembly and costs of the elements. The method used in the study was the documentary research, with articles, theses and dissertations about the potential of the materials, followed by the analysis of four case studies, two social housing structured in bamboo built in Mexico, and two houses structured in tubes of one in Brazil as a prototype that analyzes the material and its resistance to Brazilian climatic and weather conditions.

Keywords: Paper tube, bamboo, social habitation

1. INTRODUÇÃO

Devido ao intenso crescimento populacional das últimas décadas, há um aumento do consumo de recursos naturais para suprir as demandas da sociedade. De acordo com o CIB, Conselho de Informações sobre Biotecnologia (2000 apud SALADO, 2011, p. 20), a construção civil é o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e sua manutenção produz cerca de metade dos resíduos urbanos, que não são descartáveis ou reaproveitáveis facilmente.

A preocupação com a exploração desses recursos tem aumentado nas últimas décadas, devido à consciência sobre os problemas causados ao meio ambiente e o acúmulo de resíduos produzidos pela sociedade contemporânea. A sustentabilidade visa suprir as atuais necessidades sem comprometer gerações futuras, em busca de um equilíbrio entre as necessidades da sociedade e viabilidade econômica (SALADO, 2011).

Outra preocupação recorrente é o déficit habitacional que, de acordo com Douglas Gravas (2019), do jornal *O Estado de São Paulo*, o já elevado déficit habitacional, aumentou em mais de 220 mil imóveis, entre os anos de 2015 e 2017.

Considerando a desigualdade social e conseqüentemente a falta de moradia digna para atender a demanda populacional, a construção civil, aliada à projetos sociais, desenvolve habitações para atender famílias de baixa renda. Entretanto, são necessárias novas alternativas construtivas para gerar moradias mais tecnológicas e sustentáveis, considerando os valores ambientais e socioeconômicos.

O uso de materiais tradicionais que produzem resíduos trazem impactos negativos, afetando diretamente o meio ambiente. Contudo, é necessário evidenciar que os materiais sustentáveis por si só não resolvem os problemas sociais, ainda que evitem maiores problemas ambientais.

Para um bom uso dos recursos alternativos na construção, deve-se atentar aos materiais locais, com alternativas industrializadas para larga escala, baixo custo e fácil mão de obra para uso popular.

A presente pesquisa propõe a análise de elementos de construção de baixo custo e recicláveis, evidenciando dois materiais utilizados na construção sustentável, as estruturas de bambu e as tubulares de papelão. Através da comparação entre ambas, pretende-se analisar as vantagens e desvantagens de seu possível uso nas habitações sociais no Brasil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A pesquisa desenvolveu-se em etapas distintas, inicialmente através de levantamento bibliográfico, que buscou caracterizar a necessidade da concepção de construções utilizando técnicas alternativas para habitações sociais, assim como a análise dos materiais sugeridos

como alternativas construtivas nesta pesquisa: tubos de papel e bambu roliço. Em seguida, foram analisados estudos de casos em modelos que utilizam tubos de papelão e bambu como opção de uso de materiais sustentáveis e econômicos para a construção. De fato, conforme Radaik e Lopes,

O homem sempre teve a necessidade de se proteger das intempéries o que o levou à criação de locais habitáveis, utilizando materiais locais disponíveis. A escassez dos recursos naturais e a demanda crescente por matérias primas vem incentivando novas pesquisas com materiais não convencionais, visando o desenvolvimento de maneira sustentável e à melhoria da qualidade de vida, tanto econômica como social (RADAIK, LOPES; 2016, p.371).

Os crescentes problemas do déficit habitacional somados ao dinâmico mercado consumidor e os novos materiais industrializados da construção civil, faz com que alguns indivíduos caracterizem erroneamente os elementos e técnicas construtivas vernaculares como “arquitetura de baixa renda”.

De acordo com Sant’ana e Vaz Filho (2013), Países como Colômbia, Costa Rica e Equador utilizam-se do bambu em programas de habitação de interesse social por seu potencial socializador e integrador em locais menos desenvolvidos.

Já o tubo de papel não tem o caráter recorrente nas habitações sociais permanentes, em parte por ser considerado novo e ainda não ter estudos mais aprofundados de sua capacidade e resistência, e também por considerar-se ideal para habitações temporárias, que visa abrigar vítimas de tragédias e refugiados.

Mas o uso de tais materiais em construções não é recente, pois há mais de cinco mil anos a Ásia mantém a tradição, utilizando bambu em pontes e habitações, tanto estruturalmente quanto em acabamentos. O papel também tem caráter marcante no continente, sendo bastante empregado como divisória de residências tradicionais, porém sem grandes estudos sobre seu uso estrutural.

3. METODOLOGIA

A pesquisa coloca em questão o uso dos materiais convencionais nas habitações sociais e as possibilidades das construções alternativas, preservando a qualidade de moradia, com baixo custo e valorização da arquitetura sustentável e vernacular. Os materiais escolhidos para a pesquisa têm algumas singularidades e contrastes em seus usos, mas ambos podem ser utilizados tanto estruturalmente como em acabamentos, além de seu baixo custo e seu recorrente uso em habitações.

- **Bambu**

Na América do Sul, o uso do bambu, também conhecido por *guadua*, é bastante explorado, principalmente na Colômbia sendo o arquiteto Simón Vélez um dos maiores precursores no uso do material, em projetos icônicos como o Pavilhão ZERI (2000), construído para a Expo Hannover 2000; a Catedral Alternativa Pereira (2000) e o Museo Nómada em Zócalo (2005).

No Brasil, o bambu era utilizado originalmente pelos indígenas, para a construção de malocas, cabanas e habitações em geral, na sua forma íntegra ou como chapas e lâminas. Ainda hoje é possível encontrar inúmeras aldeias com suas ocas estruturadas em bambu, principalmente em Amazonas.

A aldeia Guarani no Saco do Mamangá, localizada da Região Sul Fluminense do Rio de Janeiro, é uma das mais novas da região e nela encontra-se, nas construções, a utilização de bambu em construções de pau a pique (bambu, barro e madeira), juntamente com elementos não usuais da tradição guarani, como portas em madeira com dobradiças metálicas (RIPPER, 2009).

Atualmente temos referências de alguns arquitetos que fazem uso do material como elemento estrutural. A arquiteta Celina Llerena (2018) é fundadora da Escola de Bioarquitetura e Centro de Pesquisa e Tecnologia Experimental em Bambu (EBIOBAMBU), fazendo pesquisas de materiais naturais e sustentáveis para construção civil.

Outra arquiteta brasileira dedicada à projetos sustentáveis é Leiko Hama Motomura, que prioriza o uso de técnicas alternativas e materiais vernaculares. Sua obra de maior destaque é o Centro Cultural Max Feffer, em Pardinho (SP), com a estrutura de cobertura construída em bambu e apoiada em vigas e pilares cilíndricos de madeira de eucalipto.

A escolha de materialidade e da técnica utilizada, se analisada de acordo com suas potencialidades e condicionantes, pode auxiliar na proteção do meio ambiente e na economia da sociedade. O bambu tem sido incorporado na construção civil como alternativa sustentável, sendo um material renovável, com baixo custo, resíduos biodegradáveis e estando presente na maior parte do mundo. Entretanto, há poucos estudos e pesquisas sobre sua aplicação em comparação aos materiais convencionais (BELLESTÉ, 2017).

O bambu tem um ótimo potencial socializador e em países “pobres” é de importância vital no seu desenvolvimento e inclusão social das pessoas. Países como Equador, Colômbia e Costa Rica desenvolvem programas de habitação de interesse social que empregam o bambu como matéria prima (SANT’ANA, VAZ FILHO; 2013, p. 01).

Pertencendo à família das gramíneas (*Poaceae*), subfamília *Bambusoideae*, há 16 gêneros e 134 espécies de bambu lenhoso no Brasil e sua maior diversidade localiza-se na

Mata Atlântica e nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná. Contudo, segundo a International Network of Bamboo and Rattan - INBAR (2016), nem todas as espécies são adequadas para o uso na construção civil. Os gêneros mais comuns utilizados como material construtivo são *Bambusa tuldoídes*, *Dendrocalamus asper*, *D. latiflorus*, *B. vulgaris*, *B. Oldhamii*, *Gigantochloa*, *Guadua angustifolia*, *Phyllostachys pubescens* e *Phyllostachys bambusoides*, todos da família dos bambus lenhosos. (BELLESTE, 2017)

De acordo com Radaik e Lopes (2016) várias tribos indígenas aplicavam bambu em suas construções, como a *Kaingang* que utilizava frequentemente o bambu “Taquaruçu” (*Guadua Chacoensis*), os *Guaranis* que além do “Taquaruçu”, aplicavam o “Takuapi” (*Merostachys clausenii*) e o “Tacuarembó” (*Chusquearamossina*), juntamente com a taipa-de-mão.

Segundo D'Elboux (2004), os bandeirantes, nos primeiros séculos da colonização, também aderiram ao uso do material em suas construções imediatas por sua simplicidade, rapidez e custo.

A composição do bambu tem características mecânicas que o fazem apto a ser utilizado na construção civil, como a capacidade de resistir aos esforços de tração e compressão. Porém, diferentemente dos materiais convencionais como aço e concreto, não permite modificações em sua forma estrutural, limitando a geometria construtiva.

Gernot Minke (1980) destaca as vantagens do material pois é leve, possui alta resistência mecânica, rápido crescimento e seu uso é pouco prejudicial ao meio ambiente. Já as desvantagens estão ligadas às variações de comportamento estrutural de acordo com sua espécie e cultivo, ao material ser vulnerável à radiação solar e água, a ação dos agentes biológicos, sendo necessário um tratamento e proteção adequada, e sua geometria roliça que dificulta encaixes e vedações com outras peças.

Um fator determinante para o corte do bambu no uso civil é sua idade, pois a partir do terceiro ano o colmo atinge sua resistência máxima e a partir do oitavo ano começam a diminuir o período de vida útil e, conseqüentemente, enfraquecer. Diferentemente do eucalipto, madeira utilizada no reflorestamento e que atinge seu ponto de corte entre seis e dez anos.

Desde a idade de três anos, o bambu é caracterizado pela grande presença de amido em suas células parenquimáticas, o que o torna vulnerável à presença de carunchos, logo necessita de um tratamento adequado para extração do amido, boa preservação e durabilidade. Há vários métodos baseados no tratamento de madeiras, conforme mostra a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (LÓPEZ, 2003).

O tratamento usual do bambu é feito com sais hidrossolúveis a base de boro. Há outros produtos sustentáveis ainda pesquisados como o óleo de Neem - *Azadirachta*, o Ácido Pirolenhoso e o tanino condensável de Acácia Negra (Acácia mimosa). Também pode ser tratado com compostos CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) e CCB (Borato de Cobre

Cromatado) em autoclave, contudo esses produtos contradizem o conceito sustentável do bambu (RADAIK, LOPES; 2016).

A estabilidade da estrutura, segundo Belleste (2017), está entre a superfície lisa e o vinco/nó, distribuindo as cargas de um colmo ao outro. Essas conexões podem ser em amarrações de sisal e outras cordas, como também através de braçadeiras metálicas.

Figura 1: Corte longitudinal do colmo.



Fonte: FREIRE, W. J; BERALDO, A. L. (2003)

De acordo com Liese (1998), o bambu possui propriedades mecânicas limitadas pela umidade do colmo e por não ter crescimento radial, influência de maneira desfavorável na resistência ao fendilhamento¹ e ao cisalhamento² paralelo às fibras.

Cada gênero possui uma resistência diferente, e a espécie também pode sofrer variações de crescimento de acordo com o local e a forma de plantação. Para López (2003), deve-se considerar, também, que o bambu é uma planta de resiliência elevada e se adapta a situações e contextos diversos. As propriedades mecânicas são padronizadas pela norma internacional ISO 22157-1:2004 – *Bamboo - Determination of physical and mechanical properties*, que estabelece os requisitos para avaliar as características do material. Além dessa norma, vários países desenvolveram códigos próprios de construção para o material, como China, Índia, Colômbia, Equador e Peru.

¹ Fendilhamento: Ato ou efeito de fendilhar ou de abrir pequenas fendas. In Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2013, <https://dicionario.priberam.org/fendilhamento> [consultado em 27-07-2019].

² Cisalhamento: Deformação de um corpo com deslocamento em planos diferentes, mantendo o volume constante. In Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2013, <https://dicionario.priberam.org/cisalhamento> [consultado em 27-07-2019].

No Brasil não existem normas específicas para utilização e caracterização do bambu na construção civil, prejudicando seu uso em larga escala. Utiliza-se, de forma adaptada e como alternativa, a norma NBR 7190:1997 (Estruturas de madeira), porém, conforme Beraldo e Riveiro (2003) há resultados inconclusivos (RADAIK, LOPES; 2016).

Como material estrutural, tem uma curta vida útil em comparação a outros materiais estruturais, por isso é importante atentar-se à conservação e manutenção regular, além de prever, na execução do projeto, alternativas fáceis para substituição de peças. Por ser um material combustível e ter seu interior oco, deixando-o mais vulnerável, deve-se tratá-lo adequadamente para que tenha uma combustão lenta, e protegê-lo de intensas condições climáticas como sol e chuva. Também não deve ser apoiado diretamente no solo, para proteção da umidade direta.

Em seu emprego, não é necessário mão de obra ou equipamentos altamente especializados, o que contribui para sua aplicação na construção de baixa renda. Na forma natural, utiliza-se o colmo do bambu inteiro, minimizando o desperdício do material, e adotar outros materiais complementares para o encaixe de peças, como por exemplo o graute, que é um tipo específico de concreto de alta resistência indicado para preencher vazios, aumentando assim sua capacidade autoportante, bastante utilizado pelo arquiteto Simón Vélez em ligações estruturais (NÓIA, 2012).

- **Tubos de Papel**

Shigeru Ban é precursor na experimentação em tubos de papel como estrutura autoportante na construção civil, com testes elaborados durante os últimos 20 anos em diversas obras de abrigos emergenciais, pavilhões e igrejas. Em 1994 projetou o *Paper Emergency Shelter for UNHCR*, após a guerra civil em Ruanda, em que mais de 2 milhões de pessoas ficaram desabrigadas. As estruturas possuem qualidades significativas como o baixo custo, versatilidade, reciclagem, e é um material comum à diversos países. Além disto, possui um grande caráter estético, podendo ter diferentes usos, como mostra Shigeru Ban em suas experimentações (SALADO, 2006). Em virtude da experiência de Ban, Campos (2009) afirma:

O fato é que Ban superou o juízo comum, o fato de agradar ou não. O desenvolvimento do uso do papel na arquitetura já não é mais uma dúvida. É real, é possível e ainda é importante e necessário. A arquitetura deve ser durável o tempo que seja preciso, não importa se para uma hora, um século ou séculos (CAMPOS, 2009).

No ano 2000, ao colaborar com o arquiteto Frei Otto em um projeto de estrutura para o Pavilhão do Japão 2000 Hannover, Ban aperfeiçoou seus métodos, ao desenvolverem uma

estrutura com mais de 35 metros de comprimento, feita em treliças de tubos de papelão e fixado com arcos de madeira.

Na elaboração de seus projetos, o arquiteto considera a reciclagem do material e seu fácil acesso. Por serem projetos majoritariamente de caráter social, o baixo custo e facilidade na montagem e manutenção é fundamental, utilizando produtos locais e biodegradáveis (GRAÇA, 2014).

Os tubos promovem a utilização dos resíduos de papéis e permite que sejam reutilizados diversas vezes. Além disso, esses resíduos não necessitam de processos de transformação para reciclagem, gerando baixo consumo energético e pouco impacto ambiental.

Para a execução dos tubos de papelão, são utilizadas faixas de papel kraft com largura entre 54 e 240mm e espessura entre 1,5 e 20mm, formando as paredes do tubo. Em seguida, é banhado em cola líquida a base de silicato de sódio. Depois da formação, é banhado novamente em cola à base de acetato de polivinila, conhecido com PVA (SALADO, 2006).

No Brasil, os tubos de papelão são fabricados há alguns anos como forma para pilares de concreto e lajes tipo caixão perdido, por empresas como a Dimibu, em razão de sua leveza e fácil colocação e remoção.

Foram feitos alguns ensaios e estudos sobre as seções tubulares em no Brasil, como de Firmo (2003) na Universidade Federal de Ouro Preto; Santos (2009) na Universidade do Vale do Paraíba; e Salado (2011) na Universidade de São Paulo, em São Carlos, que é o ensaio escolhido para ser analisado nessa pesquisa.

A avaliação de desempenho técnico e estrutural do painel de vedação realizado por Salado (2011) analisa segurança estrutural (estabilidade e resistência, deformação e fissura, impactos de corpo mole e duro), estanqueidade, durabilidade e manutenibilidade, considerando a NBR 15585 - *Edifícios habitacionais até cinco pavimentos - Desempenho*. Entretanto não há normas específicas para o material estudado, sendo necessário a elaboração de normas adaptadas dos materiais utilizados comumente, o que foi feito pela pesquisadora.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão simples em corpos de prova secos e sem revestimentos; secos e revestidos com resinas impermeabilizantes; e revestidos e umedecidos em câmara durante sete dias. Para analisar a estanqueidade foram realizados ensaios de absorção de umidade em corpos de prova sem e com impermeabilização.

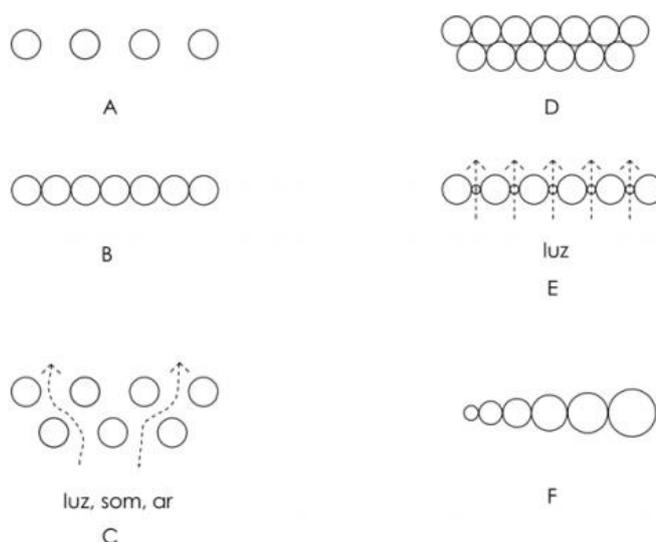
Após os ensaios, a pesquisadora elaborou um protótipo de habitação no Brasil com os tubos testados, parte utilizando resina comum e parte com duplo filtro solar, mostrando um melhor desempenho e durabilidade no material revestido com filtro solar.

O protótipo tinha como objetivo solucionar alguns problemas encontrados nas construções de Shigeru Ban, como aumento do pé-direito, transporte e armazenamento dos

materiais, montagem e desmontagem com pouca mão de obra e a liberdade de mudança de configuração da planta, pelos módulos.

Nos estudos realizados pela pesquisadora, percebe-se que apesar da aparente fragilidade do papel, o formato tubular permite maior resistência do material. Pode gerar diversos modelos de sistemas estruturais, como arcos, treliças, painéis portantes e tesouras, e disposições dinâmicas, considerando iluminação, ventilação e conforto termo-acústico. As paredes curvas proporcionam, além das particularidades estéticas e plásticas, aumento significativo de balanços (SALADO, 2006).

Figura 2: Esquema com diferentes formas de uso dos tubos de papel



Fonte: Gerusa Salado (2006)

O sistema dispensa acabamentos, grandes fundações e mão de obra especializada, porém, por ter caráter leve, deve-se considerar coberturas leves. Em estruturas treliçadas, é necessário considerar o contraventamento e ancoragem até a fundação, semelhantemente as treliças metálicas. Já as tesouras de papel possuem características similares à madeira (SALADO, 2006).

O material pode ser montado e desmontado com facilidade, com fácil mobilidade por causa de seu perfil leve e projeto de montagem com peças pré-definidas, proporcionando menos resíduos em obra e reaproveitamento dos tubos.

A estrutura tubular também possibilita conforto termo-acústico, pois seu interior oco proporciona uma camada de ar entre os ambientes internos e externos e o papel kraft colado em camadas é caracterizado por ser isolante e absorvente.

Em relação a custos, o material é rentável devido ao seu perfil reciclado e possibilidade de construção rápida e com pouca mão de obra. Porém deve-se considerar os custos dos

materiais de ligação e o tratamento. A elaboração do projeto também interfere no valor, considerando racionalidade na montagem e execução.

Em entrevista com Galani (2016) para o jornal *A gazeta do Povo*, Shigeru Ban afirma que muitos profissionais descartam o uso de materiais novos e sustentáveis por falta de tempo e energia para realizarem experimentações. Os estudos promovem novas possibilidades com o material, e de acordo com Buck (1997) o tubo de papel pode ser utilizado como alternativa construtiva em diversos casos, principalmente em obras de baixo custo.

- **Estudo de caso**

1. Producción Social de Vivienda – Comunal Taller de Arquitectura

A Comunal é um escritório de arquitetura comunitária localizado na Cidade do México, que aborda problemas habitacionais nas comunidades rurais, buscando soluções adequadas às condições socioambientais locais, com inovações tecnológicas, materiais regionais e tipologias vernaculares (GRAJALES, CARRERAS; 2018).

A proposta de projeto residencial na cidade de Tepetzintan, inicialmente utilizava o bambu local em uma estrutura modular pré-fabricada, além da madeira e pedra. Contudo, foi vetado em 2016, pela Comissão Nacional de Habitação do México (CONAVI) pois a nova regulamentação para obter subsídios federais, negou o uso de materiais e sistemas tradicionais de construção, como o bambu, sendo considerado precário.

Então, em 2018, a ONG fez um novo projeto com um layout semelhante, na cidade Cuetzalan del Progreso, importando o bambu dos Estados Unidos, mas preservando o sistema de construção modular e pré-fabricado. Foi montada em menos de uma semana com a ajuda de moradores locais, que aprenderam a técnica para ser replicada com facilidade.

Figura 3: Fachada principal da Producción Social de Vivienda



Fonte: Grajales, Carreras (2018)

A residência, de 60m², utiliza bambu nas treliças e vigas, formando um telhado de duas alturas e pendendo para cobrir duas varandas. Nas paredes, há painéis de bambu revestidos com um tecido local, chamado *ixtle*³, e argamassa. Também é utilizado como persianas, portas e janelas.

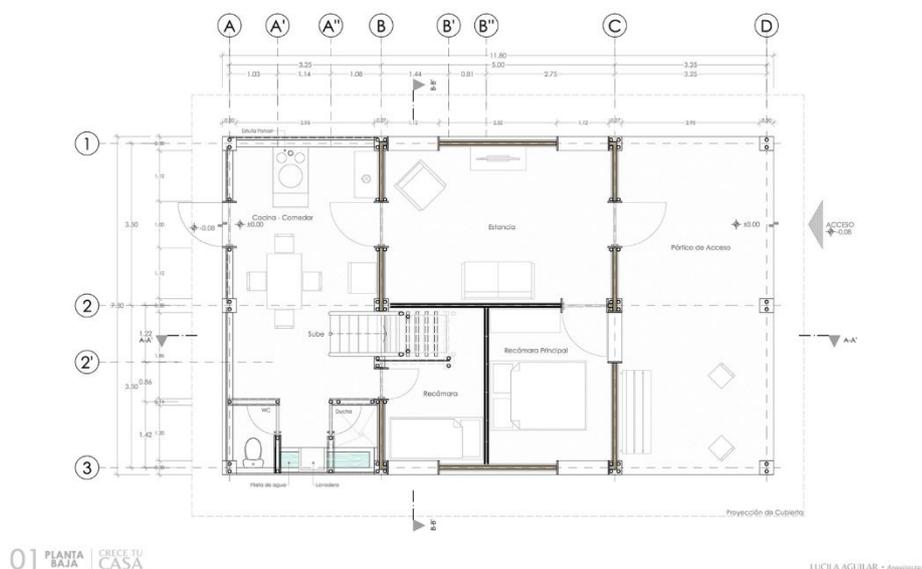
O projeto também proporciona um bom desempenho ambiental através da captação de chuva, reaproveitamento de água cinza e um biodigestor para o tratamento de esgoto, além das alternativas de ventilação elaboradas em função da região.

2. Crece tu casa - Lucila Aguilar Arquitectos

A proposta de moradia social sustentável da arquiteta Lucila Aguilar, feita em 2018 e localizada em Tuzantán, México, busca a essência da arquitetura tradicional mexicana através de espaços amplos e cores. Com 127m² o projeto propõe um modelo feito em módulos de 46m² e podendo ser adaptável e expansível, além de sua fácil construção, feita entre sete e oito semanas, utilizando bambu, terra e palha.

Sua viabilidade está nos materiais locais e adequados para o clima onde pode ser implantado. Foram construídas quatro tipologias de moradias com diferentes materiais de vedação e cobertura, analisando-se o resultado de cada uma com relação ao conforto térmico.

Figura 4: Planta baixa modular da residência Crece tu casa



Fonte: Lucila Aguilar Architecture (2018)

³ O *ixtle* é uma fibra vegetal conhecida por sua resistência, que tem sido usada no México desde o período pré-colombiano. Provém principalmente da *Agave funkiana* ([syn. A. lophantha](https://en.wikipedia.org/wiki/Ixtle)), *Agave lechuguilla* or *Agave univittata* e *Yucca carnerosana*. Tradução da autora. *Ixtle*. Disponível em: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ixtle> e <https://en.wikipedia.org/wiki/Ixtle>. Acesso em 18.nov.2018.

Um dos modelos de moradia optou pela técnica bahareque como opção de isolamento térmico e que utiliza materiais naturais com o bambu *Guadua* e *Olhami* como estrutura autoportante em elementos pré-fabricados. As paredes são feitas em três camadas preenchendo o bambu, sendo a primeira com uma mistura de barro bastante úmido, areia e muitas fibras; a segunda mistura com barro, areia meio úmida e um pouco de fibras, aplicados em cima da primeira camada já seca; a terceira é feita em argila, areia e selador, dando o acabamento final. A cobertura é feita com lâminas galvanizadas e estruturada com bambu.

Outro modelo utilizou o Bloco de Terra Compacta (BTC) que são blocos de terra unidos com argamassa, similar às alvenarias tradicionais. Possui bom resultado térmico e o benefício da produção local. A finalização da parede também é feita com bambu *Guadua* e *Olhami* e a cobertura se forma através esteiras de bambu coberta por lâmina galvanizada, que capta água da chuva na fachada posterior e principal e compõe um sanduíche duplo com impermeabilizante asfáltico, diminuindo o calor interno.

O terceiro modelo é formado por muros de palha que são compostos compactos e uniformes com trigo, aveia, alpistes sem sementes, emparelhados alternadamente e unidos com barra de aço. Seu acabamento é feito com barro ou argamassa e pintado. A cobertura é similar ao bloco de terra compacta (BTC).

O pamacon⁴ foi o quarto modelo trabalhado com painel de fibras de madeira em concreto. Sua aplicação é simples, além de ser um ótimo isolante. Na parede, foram utilizados bambus roliços para sustentação do painel pamacon. Sua cobertura também é a mesma utilizada na tipologia BTC.

3. Log House - Shigeru Ban

Em 1995 o terremoto “Grande sismo de Hanshin-Awaji” atingiu a cidade de Kobe - Japão, deixando muitas famílias desabrigadas e seis meses após o desastre, Ban projetou um modelo de residência de 16m² as abrigasse temporariamente, com capacidade para 4 a 6 pessoas, com resistência maior que as tendas provisórias, gera conforto e prolonga a estadia. A construção baseia-se em baixo custo e rápida execução, utilizando materiais descartáveis, que não gerem resíduos na desmontagem e possibilitam a reutilização dos materiais. Segundo Ban (1997), cada unidade custou em média U\$1970.

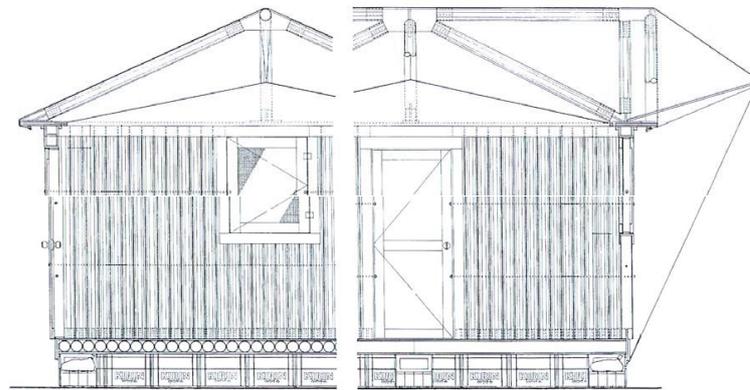
Um grupo de voluntários foi mobilizado a construir as casas projetadas por Ban, que conta com quatro metros de comprimento por quatro metros de largura, utilizando materiais

⁴ Papel pré-fabricado de fibras de madeira com concreto. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/905808/crece-tu-casa-lucila-aguilar-arquitectos>. Acesso em 14.jun.2019

doados, e as equipes se dividiram em 10 pessoas por residências. Cada uma foi construída em seis horas, totalizando cerca de 27 modelos construídos (McQUAID, 2003).

A fundação da residência é feita com engradados plásticos de cerveja doados contendo sacos de areia; na estrutura e vedação utiliza-se tubos de papelão com 108 mm de diâmetro, 4mm de espessura e 2m de comprimento como painéis portantes. A cobertura, foi feita em tesoura de tubos de papelão com ligações de madeira, formando duas águas, e revestido com uma membrana de tenda permitindo maior ventilação através de abertura lateral. Para portas e janelas, foi utilizada madeira compensada (MIYAKE, 2009).

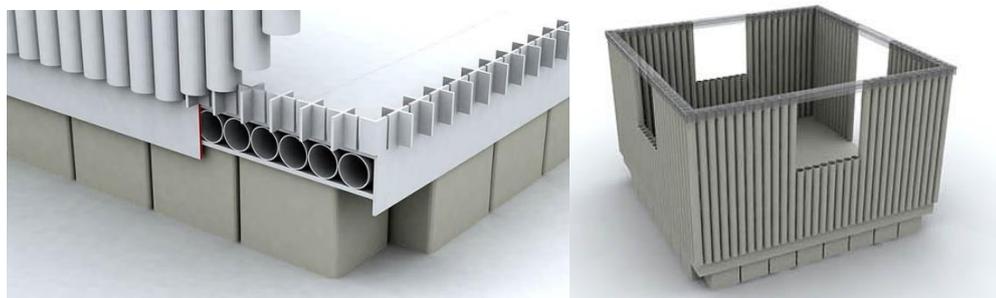
Figura 5: Painel vertical com cabos de aço e cobertura com tesoura de tubos de papelão.



Fonte: Miyake (2009)

Os painéis foram sustentados em vigas de madeira com diafragma na parte inferior, e na superior há cintas de madeira em formato “U” invertido, servindo como amarração e base para a cobertura.

Figura 6: Diafragma inferior e cinta de madeira em formato “U” invertido superior



Fonte: Nachtz (2007)

Os tubos foram unidos com uma espuma impermeável adesiva sob pressão, proporcionando isolamento, e são ligados horizontalmente por cabos de aço em duas alturas diferentes, aumentando a rigidez da estrutura (SALADO, 2006).

4. PAINEL DE VEDAÇÃO VERTICAL DE TUBOS DE PAPELÃO - GERUSA SALADO

Em sua tese de doutorado, a arquiteta Gerusa Salado realizou uma extensa pesquisa sobre o desempenho técnico dos tubos de papel e seu uso na construção civil. Como produto, desenvolveu um protótipo de habitação considerando o clima local e baixo custo de produção. A importância de seu trabalho é demonstrar a relação dos tubos de papel utilizados por Shigeru Ban com o clima brasileiro e a duração de sua preservação, pois todos os trabalhos até então foram realizados em outros países, com destaque para o continente asiático, com condições climáticas divergentes do Brasil.

Como resultado, foi projetado uma célula-teste estruturada em tubos de papelão, em planta de dimensão 2,5x2,5m e pé direito de 2,5m de altura mínima e 3,4m de máximo devido à inclinação da cobertura.

Os tubos foram criados e tratados no laboratório de pesquisa da USP em São Carlos, com as medidas exatas para projeto. As esquadrias de portas e janelas foram colocadas durante a montagem, deixando os módulos prontos apenas para encaixe no canteiro. A fim de evitar umidade no material foi utilizada resina poliuretana à base de óleo de mamona de duas maneiras diferentes, nas bases em alguns modelos e, em outros, aplicado no todo do tubo, para análise de desempenho de ambas as soluções.

As peças de ligações que travam os painéis na parte inferior, em contato com a fundação, foram feitas em argamassa armada moldada em forma de madeira e revestida com poliestireno.

A fundação rasa do tipo radier, de 15cm de altura, foi feita com a concretagem em cima de um plástico com função de impermeabilização, nas medidas 3,5x3,5m e uma tela soldada de 20x20cm de espaçamento.

Já na cobertura, foi utilizado telha de fibra vegetal reciclada, estruturada em madeira de eucalipto. Para facilitar a execução em obra, a estrutura da cobertura é montada previamente para apenas ser inserida na célula-teste.

Figura 7: Foto do protótipo



Fonte: Gerusa Salado (2011)

Como conclusão do projeto, Salado (2011) observou uma economia considerável ao utilizar os tubos na construção, podendo diminuir em até 30% em materiais e 82% em execução, em comparação à alvenaria de bloco cerâmico. A promoção sustentável também é significativa, considerando-se a racionalidade de montagem, os módulos e o desempenho técnico do material. Alguns ajustes foram necessários para solucionar problemas de vedação, porém não acarretou grandes contratemplos.

Após a análise de 20 semanas da célula-teste frente às intempéries e clima local, foi observado a ocorrência de infiltrações e manchas de umidade nos painéis. Salado conclui sua pesquisa ressaltando as vantagens ambientais e econômicas do material e discorre sobre a necessidade de maiores pesquisas e buscas por soluções para um melhor tratamento (SALADO, 2011).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A pesquisa desenvolveu-se inicialmente analisando, ainda que superficialmente, a problemática do insuficiente número de moradias para suprir a necessidade de toda população, assunto abordado em profundidade em outros estudos. Também foi considerada a problemática dos resíduos deixados por construções convencionais, que não podem ser reutilizados ou descartados facilmente, o que gera grandes quantidades de entulhos na construção civil e inevitavelmente afeta o meio ambiente.

A partir da identificação dos problemas resultantes do déficit habitacional e da degradação ambiental, a pesquisa propõe o uso de materiais alternativos para construção que minimizem a quantidade de resíduos e sejam acessíveis à população de baixa renda. Foi evidenciado o bambu e os tubos de papelão, como alternativas viáveis.

O bambu já é utilizado em habitações sociais, devido ao seu fácil e rápido plantio, e mesmo tendo alguns tratamentos, é uma opção barata, prático manuseio e diversos modelos construtivos que se adaptam às necessidades do morador. Contudo não é possível aplicá-lo como estrutura em edificações de alto gabarito, limitando-se a residências de dois pavimentos.

O tubo de papel é uma opção construtiva ainda considerada recente para os estudos e com poucas pesquisas e testes de material, principalmente no Brasil, o que dificultou consideravelmente a análise de dados e sua viabilidade na presente pesquisa. Através dos estudos de Salado, foi possível considerar o elemento no clima brasileiro, e sua resistência.

A estrutura tubular já é empregada em construções temporárias, e Ban ressalta a potencialidade do material e sua atemporalidade, por sua flexibilidade. Como resultado, foi observado que os tubos não têm caráter mais duradouro como estrutura sujeita às condições

climáticas do Brasil, mas continua sendo um bom elemento para vedações internas, por causa da leveza, resistência termo acústica, fácil manuseio e remodelagem.

Há grandes potenciais nos elementos para a arquitetura social, com conforto e plasticidade, e ambos demonstram grande desempenho de resistência e sustentabilidade, além da fácil extração e tratamento no Brasil.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esta pesquisa foi possível analisar e demonstrar as possibilidades do emprego do bambu e dos tubos de papelão na construção de habitações sociais, considerando a sustentabilidade, mecânica dos materiais, tratamento, desempenho técnico e custos, não sendo possível aprofundar-se no último item em virtude de pouca informação disponível.

Existem mais estudos de caso e pesquisas sobre o bambu como material construtivo, comparado ao tubo de papel, porém ainda é possível ver que há possibilidade de expandir significativamente os estudos sobre o bambu como estrutura, principalmente ao analisar seu uso no Brasil, evidenciando sua viabilidade sustentável e auxílio para diminuição do déficit habitacional.

No Continente asiático é possível observar o uso do bambu nas construções tradicionais. Na América do Sul, o material é utilizado em larga escala para habitação social, como é observado na Colômbia e México. Entretanto, no Brasil, ainda é pouco utilizado como estrutura com o caráter de suprir as necessidades sociais, talvez pela cultura da utilização de alvenaria, concreto e outros materiais já bastantes difundidos nas construções brasileiras, ou até pelas ideias disseminadas do material como um recurso para populações pobres, o que acabam criando certo preconceito. Independente do motivo, são necessários mais estudos e experimentações com o bambu, extraindo suas potencialidades.

Também é necessário um incremento considerável nas pesquisas sobre tubos de papel, pois o material ainda é considerado novo, principalmente no Brasil. Gersa Salado, em suas pesquisas, analisa criteriosamente o material, porém conclui que ele ainda não tem possibilidade de ser utilizado como estrutura em habitação social, principalmente por sua baixa resistência a intempéries e curta durabilidade. Conclui-se que há viabilidade da utilização dos tubos como material alternativo em caráter temporário, em primeiro momento. Também é uma ótima opção como vedação interna, diminuindo custos e resíduos, além de proporcionar possibilidade de fácil alteração de *layout* em planta.

Os dois materiais, apesar de suas limitações, apresentam-se como potenciais alternativas para substituir elementos tradicionais da arquitetura brasileira e que podem nem sempre ser opções mais propícias para atender todas as demandas. É necessário considerar todos os pontos determinantes antes de selecionar qualquer técnica na construção, e as

habitações sociais em especial, precisam de atenção para alternativas baratas, duráveis, com qualidade e que não causem grandes danos ao meio ambiente, sempre tendo em mente que arquitetura não se limita a construção do presente, mas deve ser pensada nos resultados futuros. Uma obra arquitetônica pode durar seis meses, um ano ou setenta anos. Não há como limitar sua duração, mas há como controlar seu impacto social e ambiental.

5. REFERÊNCIAS

BELLESTÉ, Joan Font. **Desempenho construtivo de estruturas de cobertura com colmos de bambu**. 222 f. Tese (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017

BUCK, David N. **Shigeru Ban**: Introdução. Minnesota: Gustavo Gili, 1997.

CAMPOS, Bruna Caroline Pinto. **Shigeru Ban e sua contribuição para a arquitetura efêmera**. 2009. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/10.115/5>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

GALANI, Luan. **Arquiteto japonês alia sustentabilidade, ação humanitária e criatividade**. 2016. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/arquitetura/arquiteto-do-povo/>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

GRAÇA, Daniela Alexandre Rodrigues. **Intervenção em edifício pombalino através da atitude sustentável**. 407 f. Dissertação (Mestrado) – Curso Design de Produção, Design de Ambientes, IADE- Instituto de Artes, Design e Empresa – Universitário, 2014.

GRAJALES, Mariana Ordóñez; CARRERA, Jesica Amescua. **Comunal**. 2018. Disponível em: <<https://www.comunaltaller.com/>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

D'ELBOUX, Roseli. 2004. **“Vale do Paraíba: fusão de saberes e técnicas”**. VIII Seminário de História da Cidade e do Urbanismo, Niterói, 2004.

GRAVAS, Douglas. **Déficit habitacional é recorde no País**. 2019. Disponível em <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,deficit-habitacional-e-recorde-no-pais,70002669433>> Acesso em: 10 fev.2019

INBAR – **International Network of Bamboo an Rattan**. 2016. Disponível em: <<http://www.inbar.int.>> Acesso em: 08 fev. 2019.

FIRMO, Célio da Silveira. **Estruturas tubulares enrijecidas por superfícies de dupla curvatura (hiperbólicas)**. 2003. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologia e materiais alternativos de construção**. Campinas: UNICAMP, 2003. cap.6, p.145-190

LIESE, Walter. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing: INBAR. Ebook, 1998.

LLERENA, Celina. **Ebiobambu**. 2018 Disponível em: <https://www.ebiobambu.com.br/>> Acesso em: 19 mar. 2018.

LÓPEZ, Oscar H. **Bamboo: The gift of the gods**. Bogotá: D'Vinni, 2003.

McQUAID, M. **Shigeru Ban**. Nova York: Phaidon Press, 2003.

MINKE, G. **Bauen mit paper**. In: **Alternatives Bauen**. Kassel (Alemanha), 1980.

MIYAKE, R. **Shigeru Ban: Paper in Architecture**. Nova York: Rizzoli. International Publications, 2009.

NÓIA, Paula R. C. **Sustentabilidade socioambiental: Desenvolvimento de sistemas construtivos em bambu no Vale do Ribeira, SP**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012

RADAIK, Carlos Eduardo; LOPES, João Marcos de Almeida. O uso do Bambu como Material Construtivo: Da Arquitetura Popular Paulista à Arquitetura como Campo Disciplinar. In: PÓVOAS, Rui Fernandes; MATEUS, João Mascarenhas. **2º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira - Culturas Partilhadas**. Porto: Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 2016. p. 371-382. (Volume 1).

RIPPER, Lucas Alves. **Por Políticas Habitacionais Sustentáveis no Rio de Janeiro: materiais não-convencionais em interatividade com as particularidades socioambientais do território carioca**. 172 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2009.

SALADO, Gerusa de Cássia. **Construindo com tubos de papelão: Um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban**. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-05122006-154315/pt-br.php>>. Acesso em: 17 mar. 2018.TEGNESTUE

SALADO, Gerusa de Cássia. **Painel de vedação vertical de tubos de papelão: Estudo, proposta e análise de desempenho**. 309 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-22052013-084606/pt-br.php>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

SANT'ANA, Rogério Ribeiro de; VAZ FILHO, Hélio Ferreira. **Bambu na arquitetura: Potencial construtivo e suas vantagens econômicas.** Revista E-rac, Uberlândia, v. 3, n. 1, p.1-24. 2013. Anual.

SANTOS, Alessandra Anselma Rocha. **Tecnologia construtiva utilizando tubos de papelão.** Artigo - Engenharia Civil, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2009.

Contatos: Lígia da Silva Oliveira (ligiasioli@gmail.com)

Prof. Dr. Roseli Maria Martins D'Elboux (roseli@mackenzie.br)