

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS ENCAIXES TRADICIONAIS *DOUGONGS* UTILIZADOS EM EDIFÍCIOS DO LESTE ASIÁTICO NA ARQUITETURA

Leonardo Wang Mauricio (IC) e Célia Regina Moretti Meirelles (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

O sistema de console *dougong* se destaca como um elemento essencial da arquitetura tradicional em madeira do Leste Asiático, sendo desenvolvido por antigos arquitetos, durante um período de pelo menos dois milênios. Esta estrutura, leve e resistente, permite o incremento de vãos e balanços, bem como, apresenta uma alta resistência antissísmica de até 10,1 na escala Richter, conforme verificado em pesquisas recentes. No entanto, aparte as interpretações limitadas por barreiras físicas e culturais entre continentes, pouco é conhecido sobre esse método construtivo no Brasil. Esse estudo traz reflexões sobre as concepções técnicas e teóricas que moldaram a evolução desse conjunto de encaixes, abordando questões pertinentes à atualidade, tais como questões relacionadas à sustentabilidade e à eficiência na construção civil na sociedade. Essa transformação é pesquisada e avaliada neste estudo com base na análise de três obras, representativas de períodos e localidades distintos: a Torre Miroku, em Ribeirão Pires, Brasil, a Estação Xinbeitou, em Taiwan, e a Yusuvara Wooden Bridge, no Japão. Adicionalmente, para complementar a premissa de adaptabilidade do sistema e a factibilidade de emprego da pré-fabricação, foi projetado e construído um modelo físico, em escala reduzida, a partir da modelagem digital, como parte do entendimento vernacular de seu corpo. Dessa maneira, a tradução do sistema para a linguagem digital contribui para a visualização e compreensão de sua forma, bem como possibilita a análise de propriedades estruturais e propicia a sua aplicação no contexto arquitetônico contemporâneo.

Palavras-chave: *Dougong*, Encaixes de Madeira, Técnicas Construtivas

ABSTRACT

The *dougong* bracket system was continuously developed by ancient architects over a period of at least two millennia and stands out as an essential element of East Asian wooden architecture. This light and resistant constructive method allows the increment of spans and overhangs, while presenting a high antiseismic resistance of up to 10.1 magnitude of Richter scale, as ascertained by recent research. However, apart from interpretations limited by physical boundaries and cultural barriers, it remains little known in Brazil. This study introduces reflections on the technical and theoretical conceptions that shaped the evolution of these joint sets, addressing issues relevant to the present time, such as sustainability and efficiency in civil construction in society. Its transformation is examined and evaluated in this study based

on the analysis of three representative works of different periods and locations: the Miroku Tower, in Ribeirão Pires, Brazil, the Xinbeitou Station, in Taiwan, and the Yusuvara Wooden Bridge, in Japan. Additionally, as part of the vernacular understanding of its body, the premise of the system adaptability and the feasibility of the employment of prefabrication techniques was complemented by designing and building a reduced-scale physical model using digital modeling. Thus, the translation of the system into digital language contributes to the visualization and understanding of its form, as well as enabling the analysis of the structural properties, while supporting its application in the contemporary architectural context.

Keywords: *Dougong*, Wooden Joints, Construction Techniques

1. INTRODUÇÃO

No século XXI, quando 50% das matérias-primas são desperdiçadas na construção civil, este impacto está diretamente relacionado às edificações produzidas em concreto e aço, a procura por meios sustentáveis de projetar se torna determinante para o futuro da arquitetura (ISAIA, 2007). A partir da convenção ECO92, foi destacada a necessidade de desenvolver técnicas de construção alternativas com materiais renováveis.

No Protocolo de Kyoto foram estabelecidas metas com o intuito de promover o desenvolvimento socioeconômico sustentável em países emergentes, assim como diminuir a pegada ecológica e incentivar a preservação ambiental. Entre elas, a redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEEs), de modo a conter efeitos nocivos do aquecimento global no planeta (AMARAL EL CHAER, 2015).

Em um relatório do *Department for Business, Innovation and Skills* (BIS, 2010) do Reino Unido, foi concluído que a construção civil representa 47% das emissões de carbono no mundo. Materiais não naturais emitem uma alta concentração de CO₂ na sua produção, como, por exemplo, o aço, um dos que mais contribuem para a poluição ambiental, com “1,46 toneladas de CO₂ por tonelada de aço” e o concreto armado, que emite “198 kg por tonelada” (MIRIZZI, WILSON, 2020).

A madeira, como material renovável, necessita de pouca energia para sua produção, incorporando o CO₂ emitido pelo uso indiscriminado de petróleo, em indústrias e automóveis. Aflalo (2005) destaca a ocorrência do oposto nas construções de madeira, pois o carbono está aprisionado no interior das fibras, que prolonga sua permanência na terra, contribuindo para a redução do gás na atmosfera de modo efetivo.

Entretanto, o emprego da madeira como principal recurso para construção civil na China, assim como a expansão de áreas de pasto e agricultura tiveram consequências desastrosas para os ecossistemas do seu território, que por milênios sofreram reduções drásticas sobre as áreas de coberturas verdes originais. Há quatro mil anos, a cobertura florestal, por exemplo, correspondia a “60% do território da China”, em contraste a “17% em 1840”, durante a dinastia Qing, e então a “12,5%”, antes da fundação da República Popular da China, em 1949 (MIAO *et al.*, 2012).

Um dos casos mais memoráveis referentes ao esgotamento de recursos naturais na China ocorreu no reinado do imperador Yongle (1360 – 1424 d.C.) no início da dinastia Ming, com a construção da Cidade Proibida, um dos inúmeros palácios imperiais concebidos antes do estabelecimento da república. A Galeria da Suprema Harmonia original, a maior edificação

de madeira bruta já documentada na história, constava com o dobro de área construída da atual, necessitando de colunas maciças para sustentar sua estrutura.

Para sua confecção, foi requerido o emprego da madeira de abeto chinês (*Cunninghamia lanceolata*) e *nanmu* (楠木, *Phoebe zhennan*), também denominada madeira celestial, então encontradas em florestas centenárias do sudeste da China, nas províncias de Guizhou e Sichuan (MILER, 2020). Não há registro de quantas árvores foram cortadas, porém entre 1441 e 1500, 380.000 troncos de grande porte, que restavam da obra, já haviam sido utilizados para a manutenção ou, senão, se apresentavam em estado de decomposição.

Em 1541, 1556 e 1584, a Cidade Proibida foi atingida por incêndios que devastaram o eixo central do palácio, composto pelas três principais galerias: a Galeria da Suprema Harmonia, Galeria da Harmonia Central e Galeria da Harmonia Preservada. No entanto, durante a reconstrução do palácio no reinado do imperador Jiajing (1507 – 1567), os supervisores de exploração de madeira constataram a escassez do material, necessitando ampliar a busca a regiões ainda mais longínquas, com maior custo e dificuldade de extração e transporte (MILER, 2020).

A inviabilidade no uso da madeira celestial, enfim, causou uma redução abrupta na escala dos edifícios da cidade imperial, e deu início a prática de “substituir o *nanmu* pelo abeto (以杉木代楠木)” e de compensar, nas colunas, o dourado natural pelo do ouro. Logo, vale ressaltar que mesmo nessa época, o consumo inconsequente de madeiras de lento crescimento e origem nativa, em oposição ao processo de silvicultura, ou madeiras de replantio, culminaram no esgotamento de insumos para os projetos monumentais do período, devastando o equilíbrio ecológico de florestas milenares e transformando o meio ambiente por séculos (MILLER, 2020).

Comparativamente, o método construtivo de pré-fabricação em madeira empregado nesse contexto, assim como o atual, possibilita a rapidez e eficácia na montagem, reduzindo a mão de obra, e aumentando a produtividade no canteiro, que, por fim, diminui o custo final da edificação. Posto isto, os tratados, ou manuais construtivos, compilados na China dinástica, e comentados aqui, não se destinavam aos carpinteiros da época, mas aos oficiais do governo, que visavam reduzir o custo material das obras, e reprimir desvios de verba e a corrupção (ZWEGER, 1997).

O conjunto de encaixes *dougong*, parte intrínseca da arquitetura leste-asiática, contém características pertinentes a essas necessidades, sendo definido por um material natural e leve, e apresentando uma boa resistência paralela à fibra. Seu corpo constituído historicamente de madeira maciça se distingue do aço e concreto difundidos pelo mundo, pretextos para o desperdício de matérias-primas e a poluição atmosférica, discutidos

anteriormente, além disso, permite o movimento estrutural, que tende a aprimorar a resistência dos edifícios a terremotos, proporcionando um método análogo a técnicas construtivas antissísmicas.

Este estudo inclui uma revisão de técnicas construtivas milenares analisadas de forma crítica no contexto histórico, reforçando problemáticas relevantes a atualidade, em que questões ecológicas, de eficiência e custo da construção civil são abordados, bem como ressaltar o papel da pré-fabricação, e o modo construtivo imposto pelo sistema. Essa multitude de fatores levanta a questão da aplicabilidade do objeto de forma prática ou conceitual na arquitetura contemporânea, levando-se em consideração a sua evolução, objetivo deste estudo.

Para alcançar o objetivo proposto, foram cumpridos os seguintes objetivos específicos:

- (1) Entender a técnica tradicional do encaixe *dougong* aplicada em edifícios do leste asiático;
- (2) Analisar a aplicação da técnica dos encaixes *dougong* na visão sistêmica no contexto do edifício tradicional, como, por exemplo na cobertura, estrutura, pilares e vigas;
- (3) Analisar a aplicação da técnica do encaixe na arquitetura tradicional e contemporânea em três obras específicas; e
- (4) Analisar as características que podem considerar esse material construtivo como sustentável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para estudar a aplicação do sistema de encaixes denominado *dougong* (斗拱) no cenário mundial contemporâneo, é primeiramente necessário compreender a amplitude de propriedades que compõem a arquitetura tradicional chinesa, e seu desenvolvimento estético formal ao longo de sua existência. O sistema construtivo chinês tem, de acordo com Liang Sicheng (1984), considerado o pai da arquitetura chinesa, uma origem de natureza autóctone que retém suas principais características desde os tempos pré-históricos, envolvendo uma extensa área de influência que compõe a esfera cultural do Leste Asiático: da província chinesa de Xinjiang ao Japão e da Manchúria à Indochina.

Não coincidentemente, similar a arquitetura modernista, concebida pelo patrono Le Corbusier sob influência da arquitetura nipônica, o esqueleto estrutural de colunas e vigas de madeira permite a concepção de edificações sem paredes estruturais, com liberdade total para a adequação de aberturas e fechamentos. Assim, a flexibilidade e adaptabilidade desse método construtivo proporciona uma diversidade de soluções para o conforto climático, independentemente do local de implantação, e da tipologia dessa arquitetura (LIANG, 1984).

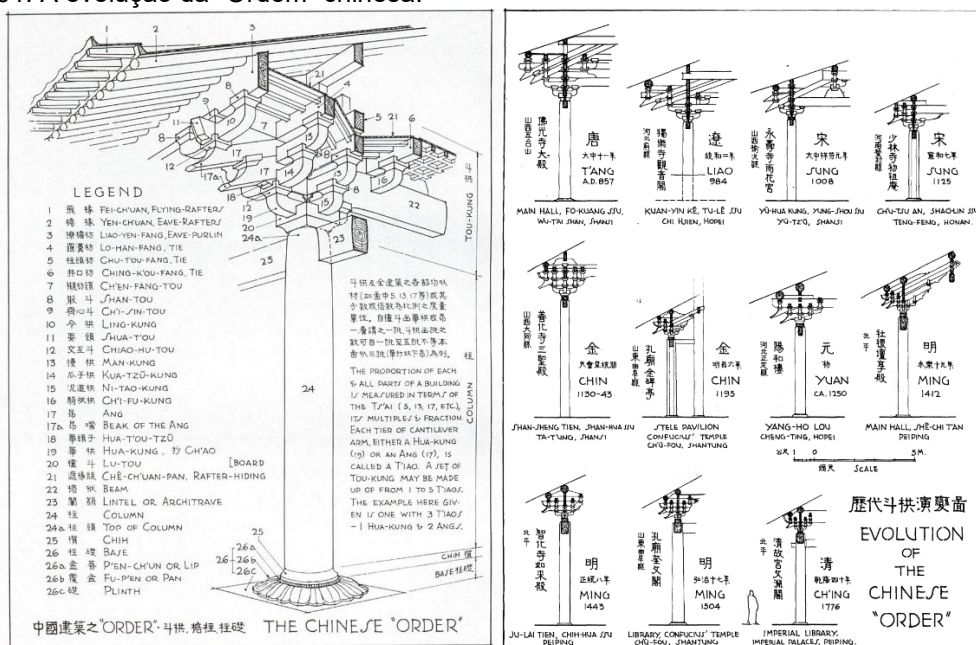
Nesse sentido, os elementos básicos que constam nesse sistema consistem em uma plataforma elevada, como fundação e sustento de um esqueleto estrutural de madeira que suporta a carga de um telhado curvo com beiral. Já os três principais componentes estruturais

empregados em seu corpo são: a coluna, que absorve e transfere a carga para o solo; viga, que suporta as lajes e o telhado; e finalmente os *dougongs*, que tem a responsabilidade de diminuir o estresse de vãos, e possibilitar o incremento de grandes balanços (LIANG, 1984).

A montagem desse conjunto de peças não necessita de pregos ou cola, além de permitir o movimento estrutural quando sob estresse, podendo resistir a atividade sísmica. No documentário *Secrets of China's Forbidden City* de Ian Bremmer, um modelo em escala reduzida de uma estrutura é testado em uma plataforma de interpretação sísmica, resistindo não apenas a 9,5 graus na escala Richter (o mais alto já registrado na história), mas 10,1 (COOKE, 2017). O grande número de peças em seu design complexo facilita a dissipação das forças pelo cisalhamento dos elementos, impedindo a ruptura individual (MILAY, 2017).

Localizado na província de Shanxi, China, e construído há quase mil anos na dinastia Liao (916 D.C. – 1125 D.C.), a torre Sakyamuni do templo Fogong é atualmente o pagode mais alto do mundo. Com 67,31 metros de altura, ele possui uma estrutura octogonal inteiramente de madeira, contendo 54 tipos únicos de *dougong*. A resistência sísmica deste e de outros pagodes antigos é devida à flexibilidade do material construtivo, como um dissipador eficiente da energia sísmica (YUAN, LI, 2001). Registros documentam a existência de pagodes com mais de 100 metros de altura na China Antiga.

FIGURA 01: A evolução da “Ordem” chinesa.



Fonte: Liang, 1984.

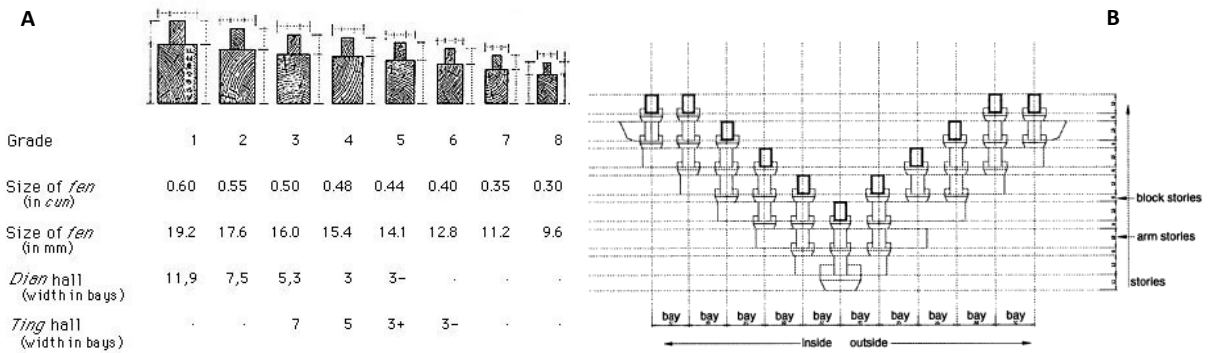
Para compreender a gramática construtiva da arquitetura chinesa, a seleção e análise do manual construtivo *Yingzao Fashi* (營造法式) de Li Jie é essencial para o estudo do funcionamento do sistema de encaixes de *dougongs*. Escrito em 1103 pelo, então, superintendente da construção durante o reinado do imperador Huizong, da dinastia Song

(960 – 1279), o *Yingzao Fashi* constitui um compilado de técnicas construtivas no ápice da complexidade estrutural da era pré-moderna chinesa (FIGURA 01).

Dessa maneira o *dougong* é categorizado em três espécies distintas: o *conjunto de coluna*, que se encontra sobre as colunas; o *conjunto intermediário*, que se encontra entre colunas; e o *conjunto de canto*, que se encontra sobre as colunas das extremidades, podendo suportar o espigão do telhado. Já estes são decompostos em três tipos de membros: o *dou* (料, bloco), sendo o *ludou* (櫨料) o bloco de rolamento principal; *gong* (栱, “braço”), sendo o *huagong* (華栱) o “braço”, ou viga, sobreposto ao *dou* (que se estende perpendicularmente a fachada; e o *ang* (昂), que atua de modo análogo a uma alavanca para o suporte do beiral pendente do telhado (FENG, 2012).

Similarmente à arquitetura ocidental, que estabeleceu sistemas de medidas e proporções como base de planejamento para edificações desde a Antiguidade Clássica, Li Jie define um conjunto de padronizações referentes a diferentes tipologias construtivas, priorizando a relação entre o dimensionamento e a escala do edifício, de acordo com sua função. Ou seja, as dimensões dos componentes estruturais seguem uma proporção específica, variando conforme a classificação da edificação (LEWIS, 2002).

FIGURA 02: (A) Tabela indicando graus de *cai* convertidos em polegadas e milímetros, ilustrada por cortes transversais de vigas com *enrijecedores*; (B) corte longitudinal demonstrando os saltos *tiao* entre cada eixo.



Fonte: (A) Archdaily.com, (B) Wu, 2003.

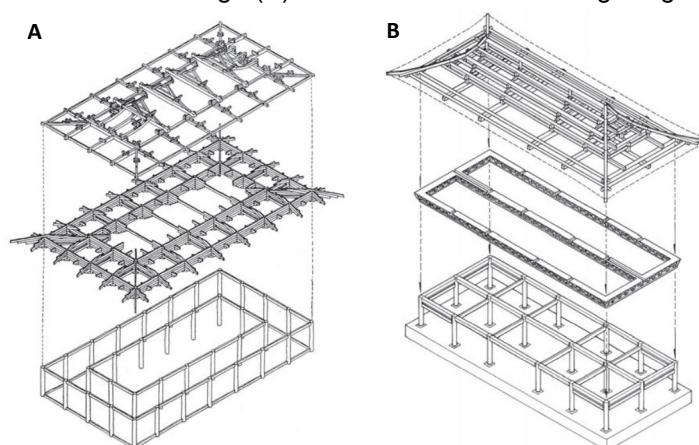
Desse modo, o manual introduz a terminologia *cai* como um módulo de medida a ser replicado em oito diferentes graus, preservando a proporção e diferindo na escala. Um *cai*, portanto, equivale a 15 partes iguais, denominadas *fen* (分), de altura e 10 *fen* de comprimento, em uma proporção de 3:2 (FIGURA 02-A). Esse sistema de medidas é aplicado para dimensionar desde membros estruturais e a curvatura do telhado, até a altura e a largura dos edifícios em si, sempre em concordância com o *fen* em relação ao grau do *cai* utilizado (ZWEGER, 1997).

Outra terminologia a ser evidenciada é o *qi*, que corresponde a 6 *fen* da mesma escala. Na dinastia Song, era habitual que as construções compreendessem um espaçamento entre os braços *gong*, de seção *cai*, onde um *dou*, dessa altura, era posicionado. Essa medida poderia, ou não, ser preenchida por um *enrijecedor* de mesma proporção do *cai* (材), correspondendo a 6 *fen* de comprimento por 4 de largura. Finalmente, um membro de altura igual à soma de um *cai* e um *qi* é denominado *zucai*, que assim como *qi* ou do *fen*, é usado para expressar qualquer parte de uma edificação daquele período (LIANG, 1984).

Para averiguar a amplitude do sistema, no contexto de balanços e beirais, a extensão do *Huagong* para interior ou exterior do edifício se contabiliza através de níveis, designados de *tiao* (跳), ou saltos, correspondente a 30 *fen*, podendo totalizar uma distância máxima de 5 *tiao* (FIGURA 02-B), ou 150 *fen*, em relação ao eixo da fachada (WU, 2003). É a partir dos saltos que podem ser posicionados *gongs* transversos, na medida do desejado, variando entre zero (*tou xin*), um (*dan gong*) e dois (*chong gong*) por *tiao*, assim estabelecendo diferentes tipos de combinações de *dougong* (LIANG, 1984)

Nas dinastias seguintes, Ming (1368 – 1644 d.C.) e Qing (1636 – 1912 d.C.), o aspecto formal adquire uma organização rígida, onde o *dougong*, que até o momento tinha sua complexidade, em termos de *cai*, associada ao *status* de cada edifício, passa a ter um caráter, em última análise, mais ornamental que estrutural. A leveza da arquitetura pré-Song é, por fim, substituída por uma tipologia muito mais lógica e funcional, seguida de manuais próprios, que vieram a possibilitar um controle ainda maior sobre o material das obras e, portanto, a produção em massa de peças pré-fabricadas nesse período (ZWEGER, 1997).

FIGURA 03: (A): estrutura da dinastia Tang / (B): estrutura da dinastia Ming/Qing.



Fonte: Zweger, 1997

O *dougong*, em última instância, permaneceu como um componente intermediário entre as colunas e o telhado, porém deixou de ser um elemento de conexão, que através do *efeito de folha horizontal*, produzido pelo cruzamento dos *gong*, permitia aos construtores usar vigas mais delgadas. Zwegger (1997) cita a introdução de vigas de contravento horizontal

entre as colunas, que visavam aumentar a estabilidade das construções, como um dos fatores para sua descaracterização estrutural.

Com sua gradual perda de funcionalidade, com o passar dos séculos, o *dougong*, que servia para diminuir a carga atuante nas colunas, passou a aumentá-la. E tendo se tornado uma construção excessivamente pesada para as vigas que os sustentavam, foi necessário que elas ganhassem dimensões muito superiores, conseqüentemente fazendo com que o tamanho dos encaixes também fosse reduzido (FIGURA 03-A, 03-B). Agora, um máximo de oito *conjuntos intermediários*, simples e menores, substituíram o limite de dois, estabelecidos no *Yingzao Fashi* (FIGURA 04-A, 04-B).

FIGURA 04: (A) série de oito conjuntos intermediários ornamentados na Cidade Proibida; (B) série de dois conjuntos intermediários no Templo Longxing.



Fonte: (A) Zweger, 1997; (B) David Chen, 2007

Em contrapartida no Japão, as técnicas construtivas, primordialmente importadas da China no século VII, não só retiveram inúmeros elementos do estilo arquitetônico em madeira Tang (690 – 904 d.C.), remanescente em apenas quatro edifícios chineses, como os adaptaram e aprimoraram, conforme a necessidade histórica regional vivenciada pelo país. Um exemplo disso foi a preservação do membro *renzi gong* (人字拱), em japonês *warikuza* (割束), como *conjunto intermediário*, que existe apenas em antigos afrescos e construções de pedra da China do primeiro milênio, mas que é aplicada em edifícios tradicionais japoneses até hoje (YU, HUANG, FONG, 2012).

3. METODOLOGIA

1- Pesquisa Bibliográfica

Foi elaborada uma análise técnica sobre a fabricação e uso das diferentes tipologias de *Dougongs*, e uma revisão bibliográfica sobre conceitos relacionados a construção sustentável segundo autores de relevância, se baseando nas anotações de livros, artigos e documentos, físicos ou digitais. Entre eles, podem ser citados:

- *A Pictorial History of Chinese Architecture*, Liang Sicheng, 1984;
- *Wood and Wood Joints: Building Traditions of Europe, Japan and China*, Klaus Zwerger, 1997;

- *Bracket Study: Textual, Computational, and Digital*, Qiong Wu, 2003;
- *Chinese Architecture and Metaphor: Song Culture in the Yingzao Fashi*, Feng Jiren, 2012.

2- Pesquisa Experimental

Foi construído um modelo em escala reduzida do objeto, para inspeção e análise do funcionamento dos encaixes, levando em conta a sua eficiência de fabricação e montagem. Um modelo digital das peças foi primeiramente produzido no Laboratório Prototipagem Digital para sua devida fabricação através de uma máquina de prototipagem rápida por subtração (SRP) MDX40A de eixo rotativo e posteriormente montado no Canteiro Experimental da FAU Mackenzie.

3- Estudo de Caso

Foram elaborados três estudos de casos: (1) Estação Xinbeitou, Taipei, Taiwan; (2) Torre Miroku, Ribeirão Pires, SP, Brasil; e (3) Yuhuhara Wooden Bridge, Kochi, Japão.

A partir de dados previamente coletados, foi realizado um estudo individual sobre a influência do Dougong nos encaixes japoneses encontrados na antiga estação Xinbeitou. Em relação a Yusuvara Wooden Bridge e a Torre Miroku, foram realizados levantamentos de dados através de livros, artigos e sites de relevância. Neles foram analisados a relação do projeto com o processo construtivo, técnicas construtivas e modo de produção do encaixe, nos seus respectivos contextos histórico-regionais.

A realização de visitas de campo com o intuito de coletar dados, através de fotos, desenhos e levantamento arquitetônico foi apenas parcialmente sucedida por conta da situação anormal imposta pela pandemia. Nesse sentido, apenas a Estação Xinbeitou pôde ser visitada previamente pelo autor deste trabalho.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Estudos de Caso

Para sintetizar a aplicação desse sistema construtivo e sua evolução nos últimos milênios, são selecionadas três obras, referentes a épocas distintas do contexto Leste Asiático, para o estudo de caso: a Torre Miroku, em Ribeirão Pires, como exemplo comparativo ao período Tang (618 – 907 d.C.), a Estação Xinbeitou, em Taiwan, visando a ocidentalização da tipologia japonesa, e a Ponte Yusuvara, no Japão, já representando a adaptação do sistema ao cenário contemporâneo.

4.1.1 Torre Miroku:

Projetada em 2000 e concluída em 2014, a Torre Miroku (FIGURA 05-A) pertence ao complexo Templo da Luz do Oriente localizado no município de Ribeirão Pires, São Paulo, sendo uma réplica, não exata, do pagode de cinco andares do Horyu-ji, construído em 604 d.C. na cidade de Nara, Japão. A arquitetura do edifício representa um estilo de tipologia religiosa, praticado originalmente na China, com influência indiana, e posteriormente exportada para outras regiões (LIANG, 1984).

FIGURA 05: (A) Torre Miroku, Ribeirão Pires. (B) Estrutura interna de concreto e estrutura externa de madeira; (C) Pagode do Horyu-ji, Japão.



Fonte: (A) temploluzdooriente.org.br; (B) temploluzdooriente.org.br; (C) scalemates.com

O formato do pagode budista, ou *ta*, de acordo com Liang, é o produto da combinação de dois componentes: a torre chinesa de múltiplos andares, e a estupa indiana, caracterizada pela espiral de discos metálicos. Curiosamente, é graças a fontes literárias, pinturas religiosas, como das grutas Yungang, Xiangtang Shan, Longmen, e de exemplares remanescentes do Japão, que se pode confirmar a configuração quadrada de madeira sobreposta por uma estupa, denominada *sha*, dos pagodes primitivos (LIANG, 1984).

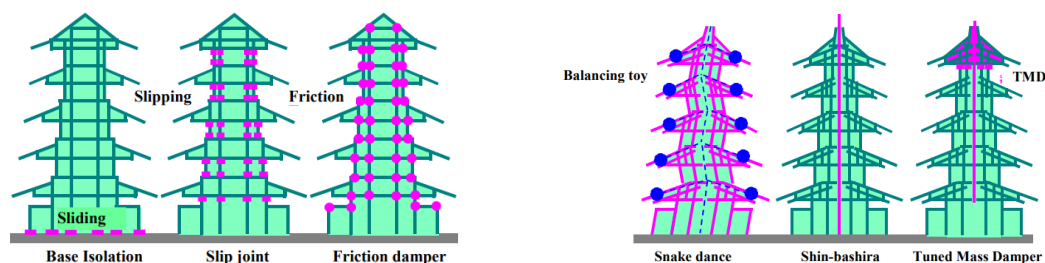
De volta ao Brasil, embora a área externa conte com estruturas complexas de encaixes de madeira, sem pregos ou parafusos, que visam a sustentar a carga do beiral do telhado, a estrutura principal interna, de vigas e colunas, é concebida como um esqueleto de concreto armado moldado *in loco* (FIGURA 05-B). Tal solução permitiu a execução de vãos livres até o seu topo, sem a necessidade de vigas secundárias, o que até o momento seria impossível com o uso de materiais vernaculares (A MAIOR, 2019).

Por outro lado, ambos possuem uma altura idêntica de 32,5 metros, bem como um exterior que conta com oito conjuntos de coluna e quatro de canto por pavimento - nesse caso acoplados a estrutura cinza - que se expandem em 3 *tiao* (saltos) para a área externa, resultando em largos beirais com comprimento de 2,2 metros, no primeiro pavimento, a 3 metros, no quinto (NAKAHARA, HISATOKU, NAGASE, TAKAHASHI, 2000).

Para a confecção da torre, foram necessárias 400 toneladas de madeira de replantio, que incluem angelim-pedra, jatobá e eucalipto, além de 15 mil telhas moldadas no local e esmaltadas com ouro líquido importado do Japão, portanto se distinguindo do original, que é

recoberto por telhas de argila preta, assim como do usual observado na arquitetura japonesa (DIÁRIO DO AÇO, 2019).

FIGURA 06: Fatores para a resistência a atividade sísmica, da esquerda para a direita: Isolamento da Base, Deslizamento das Juntas, Amortecedor de Fricção, “Dança da Cobra” / “Brinquedo de Balanço”, *Shinbashira*, Amortecedor de Massas Sintonizado.



Fonte: Nakahara *et al*, 2000

Em contraste a rigidez de suas ligações de concreto, que ocasiona um comportamento global desfavorável frente a terremotos, a flexibilidade dos pagodes antigos, analisada por Nakahara *et al* (2000), propiciou a proteção do Horyu-ji (FIGURA 05-C) sobre zonas sísmicas ao longo de quatorze séculos. Dentre outras teorias, a primeira resposta da estrutura destacada no estudo foi o “efeito de amortecimento por fricção dos encaixes”; em segundo, a atuação da coluna central, em japonês *shinbahira*, como um “agente fixador da estrutura que restringe deformações e o cisalhamento entre cada andar”; em terceiro, “o efeito de escala da estrutura, sua flexibilidade e a capacidade das juntas permitirem deformações plásticas através do deslizamento e de fendas”; em quarto, o “efeito de ‘brinquedo de balanço’ causado pela independência estrutural de cada andar, anulando a força de inércia entre eles”; e em quinto, o “sistema do pêndulo composto, onde a coluna central, em conjunto a estrutura principal, age como um pêndulo invertido, então neutralizando a força sísmica” (FIGURA 06).

Zweiger (1997) observa que apesar da imensa complexidade de encaixes evidenciados no Horyu-ji, o edifício em si exemplifica um período tipológico grosseiro, que faz o uso de técnicas recém-importadas do estrangeiro. Sua adaptação e, enfim, aperfeiçoamento, visível nos estilos construtivos dos séculos seguintes, se assemelham ao processo de assimilação e desenvolvimento vivenciado em meados do século XIX, quando o contato entre o Japão e a Europa formularia o início de uma nova arquitetura, com características intercontinentais.

4.1.2 Estação Xinbeitou:

FIGURA 07: (A) mansardas tipicamente europeias; (B) telhado de tipologia de duas águas e quadril.



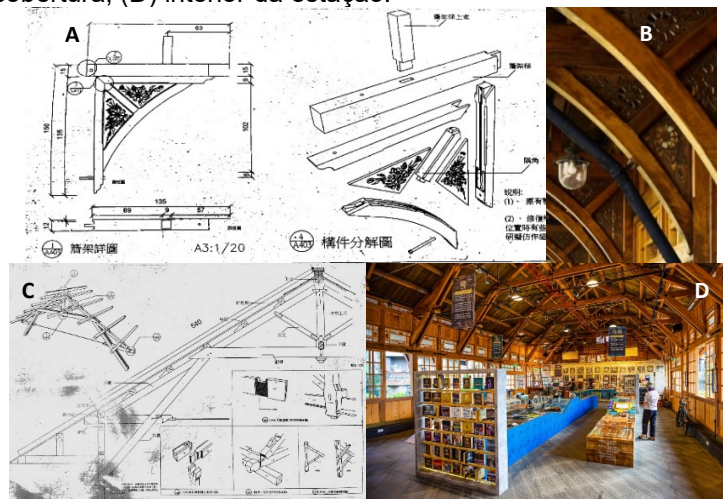
Fonte: (A) news.houseoffun.com.tw/; (B) autoria própria

Apesar do intuito nacionalista das reformas propostas pela Restauração Meiji, de 1868, fosse a modernização do país para conter a ameaça do movimento colonialista europeu, que então se expandia pelo continente asiático, foi adotado o modelo de desenvolvimento ocidental, que se estendia desde a emulação de estruturas políticas à economia e ao exército. Na arquitetura, o governo imperial demonstrava seu progresso através da incorporação de materiais, estilos e tecnologias construtivas estrangeiras (MAKOTO, 2013).

A Estação Xinbeitou, localizada na cidade de Nova Taipei, Taiwan, é uma antiga estação ferroviária, renovada como museu, construída em 1916, durante o período Taisho (1912 - 1926 d.C.) da ocupação japonesa, que interligava o centro da capital Taipei ao distrito Beitou, notável por casas de banho e parques de águas termais (TAIPEI, 2021). Seu corpo cipreste japonês possui um histórico de desmantelamentos, necessitando de ter sido realocado para um parque no interior do condado de Changhua em 1989, para dar lugar a uma nova estação de metrô que acomodasse um número maior de passageiros, e que retornou novamente a Beitou, em 2017, a pedido de moradores locais (ELLIS, 2020).

O edifício de madeira reinterpreta a tipologia europeia, adaptando métodos construtivos de ambas as culturas em sua composição, apresentando em sua fachada janelas de vidro e mansardas olhos de boi (FIGURA 07-A), tipicamente europeias, como também portas de correr e telhados com duas águas e quadril (FIGURA 07-B) baseados nas japonesas (TAIPEI, 2021). Assim, ao contrário da Torre Miroku, que apresenta membros estruturais tradicionalmente comuns entre os países da Esfera Cultural do Leste Asiático, o edifício não comporta elementos específicos da região em seu esqueleto, não apresentando nenhum *dougong*, na forma descrita pelos tratados milenares, então substituído pelo uso de mãos francesas para dar sustento aos seus beirais no perímetro externo.

FIGURA 08: (A) Montagem da mão francesa; (B) *Transennas* de madeira. (C) Tesoura simples com asas suportando a cobertura; (D) interior da estação.



Fonte: (A) foto de autoria própria. (B) foto de autoria própria; (C) foto de autoria própria; (D) Josh Ellis, 2020

A mão francesa que suporta o balanço (FIGURA 08-B) é composta por uma série de componentes menores conectados por encaixes pré-fabricados (FIGURA 08-A). Sua montagem depende de oito peças independentes, das quais quatro formam a estrutura deste componente, com duas retas e uma peça perpendicular à arqueada. Para resistir a tração causada pelo momento do telhado é introduzido um reforço no banzo superior, complementado por outra reta ligada ao telhado. Por fim, duas peças decorativas preenchem os vazios com *transennas* ornamentadas na madeira.

No interior da estação, se observa a aplicação da estrutura global (FIGURA 08-D) que suporta a cobertura, com mão francesa criando um espaço amplo, sem a necessidade de obstruir o antigo saguão de espera com pilares, e uma tesoura de madeira com seu banzo inferior deslocado para uma posição mais alta, travando os empuxos da cobertura de modo elegante. Os documentos originais fotografados na visita mostram que a estrutura usufrui de encaixes, trocando parafusos por cavilhas (FIGURA 08-C). Outro ponto interessante é que o projeto utiliza peças compostas em sanduíche tanto na mão francesa como no banzo inferior. Em paralelo ao observado nas técnicas indígenas do leste asiático, a utilização de elementos treliçados pôde dispensar o engrossamento das vigas, tanto no exterior, como no interior do edifício.

Apesar da não utilização do sistema de *dougongs*, como elemento físico, sua troca por um sistema alheio, como consequência da ocidentalização do Japão no período Meiji (1868 – 1912 d.C.), pode ser analisada por meio do conceito levantado na aplicação de técnicas autóctones e na função para qual ela foi empregada. A quebra do paradigma relacionado à ideia eurocêntrica de uma arquitetura pura, representada neste projeto, retrata uma fase de experimentações precedentes ao modernismo, que buscava reforçar o identitário japonês, ao mesmo tempo que propagava sua percepção de civilidade entre as potências europeias (MAKOTO, 2013).

4.1.3 Kengo Kuma Yusuhara Wooden Bridge

FIGURA 09: (A) Yusuhara Wooden Bridge; (B) Corte transversal indicando 19 eixos estruturais.



Fonte: KUMA, 2014

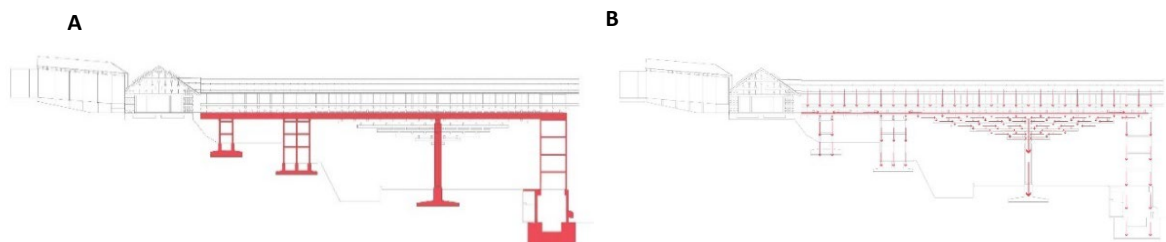
Confeccionado em 2011 na cidade montanhosa de Yusuhara, ao sudeste do Japão, o museu Yusuhara Wooden Bridge (FIGURA 09-A) de Kengo Kuma introduz um percurso aéreo

entre duas instalações, um hotel e um spa, separados anteriormente por uma rua, também oferecendo acomodações, salas de trabalho e de exposições a fim de atender programas de residência artística. O projeto procura evitar o uso do concreto e aço, adotando em sua estrutura principal a madeira laminada colada de Sugi, a madeira nacional japonesa, também conhecida como cedro-japonês (KUMA, 2014).

O museu é acessado por uma cota superior e dois núcleos verticais translúcidos, enfatizando a leveza concedida pela forma de estrutura de ponte, manifestada por uma longa viga e um pilar central, que reinterpreta o sistema estrutural de alavancas das arquiteturas tradicionais chinesas e japonesas. O vão de 47 metros é possibilitado por uma viga extensa repousada acima de um conjunto de centenas de membros menores, perpendiculares uns aos outros, que diminuem progressivamente em comprimento, se afunilando ao se aproximar da coluna central de madeira com núcleo de aço (KUMA, 2014).

Do mesmo modo que no sistema clássico, os membros estruturais se estendem em ambas as direções, combatendo o vão e o balanço transversal sob os quais uma plataforma, composta por vigas de madeira longitudinais de 180 x 700 mm, é posicionada (KUMA, 2014). Nesse caso, os eixos estruturais evidenciados no corte são comparáveis ao *tiao*, previsto no *Yingzao Fashi*, que coincide ao espaçamento entre os eixos (FIGURA 09-B), contudo excedendo o número máximo de 5 saltos de distância do membro central.

FIGURA 10: Elevações (A) estrutura principal; (B) distribuição de cargas.



Fonte: duan-ni.com

A aparência triangular e a escolha do material evocam a paisagem em que o projeto foi inserido, subsequentemente, possibilitando a distribuição de cargas na longitudinal das vigas em direção ao pilar (FIGURA 10-A, 10-B), sendo finalmente transferidas para o solo por uma haste de aço em seu interior que percorre da base da ponte para dentro da fundação de concreto (KUMA, 2014). Ademais, as cargas sísmicas são amortecidas através do isolamento da base de aço (900x900mm) e do afrouxamento das juntas, que propiciam a absorção de impacto.

Ainda que, neste caso, o objeto *dougong* não seja autenticamente aplicado, sua concepção é explorada por Kuma na estrutura ao empregar vigas análogas ao *gong*, sobrepondo-as umas às outras diretamente sobre encaixes, sem o uso do *dou*. A adoção de

técnicas inspiradas no tradicional é encontrada em diversos trabalhos do arquiteto, que tende a buscar respostas para instâncias atuais no passado, incorporando novas tecnologias, sem se ater a adversidades históricas ou práticas obsoletas.

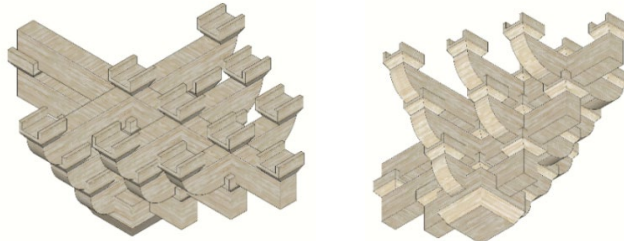
Tal transformação do construir leste asiático é certamente paralela à mudança crucial de convicções do ocidente em relação à sua arquitetura, mais precisamente do Japão nos últimos dois séculos, que ocorreu devido à necessidade de legitimar as postulações do Movimento Moderno (LÖFFLER, 2015). A heterogeneidade da atual arquitetura asiática, que parte do contexto nativo ao tecnocrata, é agora retratada em um corpo híbrido, ainda compreendido por uma visão orientalista, mas adepta à sua própria identidade.

4.2 Experimento

Para Löffler (2015), o imaginário ocidental sobre a construção asiática é limitado por barreiras físicas e sociais, que implicam desde fatores linguísticos ao nacionalismo cultural. O entendimento da história como base para o desenvolvimento da arquitetura contemporânea é expresso, nesse estudo, pela conceituação de Kuma em seus trabalhos, cuja valorização do tradicional, adentrada na modernidade, depende fundamentalmente do conhecimento vernacular (CASAMONTI, 2011).

4.2.1 Modelo Digital

FIGURA 11: Isométricas superior e inferior.



Fonte: autoria própria

Como análise, um modelo tridimensional projetado no SketchUp (FIGURA 11) foi realizado com base nos dados coletados no livro “A Pictorial History of Chinese Architecture”, de Liang Sicheng, 1984, no “Chinese Architecture and Metaphor: Song Culture in the Yingzao Fashi”, de Feng Jiren, 2012, e no artigo de mestrado “Bracket Study: Textual, Computational, and Digital”, de Qiong Wu, 2003, que exploram as metodologias estabelecidas pelo manual construtivo *Yingzao Fashi*. Assim, cada peça foi desenhada e projetada individualmente, usando o sistema de medidas e proporções *fen* em relação ao sistema de polegadas, segundo o grau do *cai* adotado, e convertido para o sistema métrico.

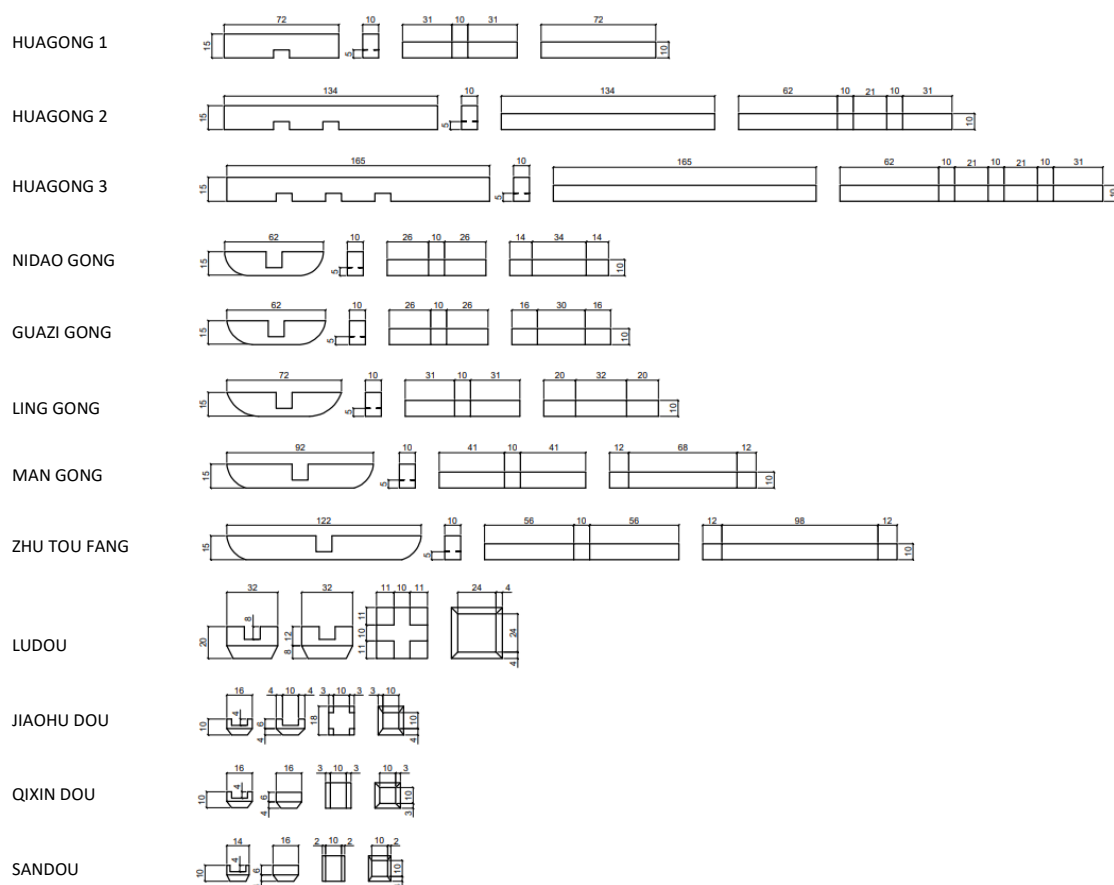
O modelo proposto emula, na escala 1:10, um *dougong* da tipologia do *conjunto de coluna*, descrito anteriormente, com balanço voltado para o uso externo, mas desprovido de *braços enrijecedores* e do membro *Ang*, que opera em uma inclinação de 30 graus das vigas

para suportar telhados. A medida adotada pelo sistema corresponde ao grau de maior escala, 1, do sistema *cai*, em que 1 *fen* equivale a 0,6 polegadas ou 19,2 milímetros. Suas dimensões contam com 3 níveis de altura, e extensões interna de 2 *tiao* e externa de 3.

Dessa forma o balanço pretendido pelo estudo replica a distância de 90 *fen* dos consoles da dinastia Song, que, nesse grau, se iguala a 1,37 metros. Relativamente, a quantidade máxima de 5 saltos permitida pelo tratado se equivale a 90 *fen*, ou 2,28 metros, suscetível para o apoio de beirais de até 3 metros, utilizando vigas padronizadas de seção *cai*, ou 38,10 x 25,40 cm, constituídas solenemente de madeira bruta, preferivelmente de abeto chinês (MILLER).

Por se tratar de uma representação de modelo genérico, ou convencional, a escolha da não utilização de certas peças, alude a ideia da multifuncionalidade do sistema concedida pela pré-fabricação dos encaixes e sua subsequente possibilidade de variação dos modos de montagem. Os desenhos técnicos denotam as respectivas vistas frontais, laterais, superiores e inferiores de cada uma das peças, na medida *fen* (FIGURA 12).

FIGURA 12: Da esquerda para direita: vista frontal, lateral, superior e inferior.



Fonte: autoria própria

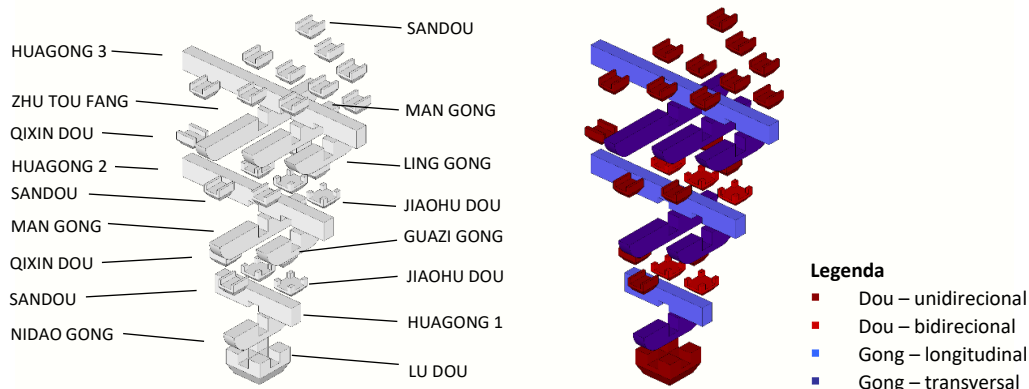
O modo de montagem do *dougong* (FIGURA 13) se inicia a partir do bloco de rolamento principal, *ludou*, posicionado diretamente acima da coluna, sobreposto pelo braço

nidao gong (泥道 拱) e, então, pelo primeiro *huagong*, perpendicular à fachada do edifício. Sobre o primeiro, dois blocos menores, *san dou*, são adicionados em suas extremidades, com um bloco central, *jiaohu dou* (交互斗), interseccionando os braços. Sobre o segundo, outro *jiaohu dou* externo à fachada marca a posição do cruzamento de dois membros *gongs* superiores e um *qixin dou* (齐心科) sustenta a viga superior no eixo central.

Na segunda camada, o processo é repetido, adicionando um braço maior, *man gong*, sobre o *qixin dou* do nível abaixo no eixo da fachada, e um *guazi gong* (瓜子拱) a um *tiao* de distância, na extremidade do primeiro *huagong*. Acima deste, um segundo *huagong*, alinhado ao primeiro, é posicionado, estendendo o sistema em um *tiao*. Novamente, os blocos *dou* são posicionados de acordo com suas devidas funções.

A terceira e última camada é constituída primeiramente por um *zhutoufang* (柱头枋), seguido de um *mangong* (慢拱) e um *linggong* (令拱), no sentido de montagem de dentro para fora, sendo, então, sobrepostos por um terceiro *Huagong*, que estende o sistema em mais um *tiao*. Nesse modelo de estudo, a ausência do *ang* impossibilita o emprego de telhados, entretanto o posicionamento de *sandous* (散料), no meio e nas extremidades dos *gongs* abaixo, permite o suporte de novas vigas e lajes, como o de sacadas.

FIGURA 13: Perspectivas Explodidas.



Fonte: autoria própria

4.2.2 Modelo Físico

FIGURA 14: Modelo físico finalizado.



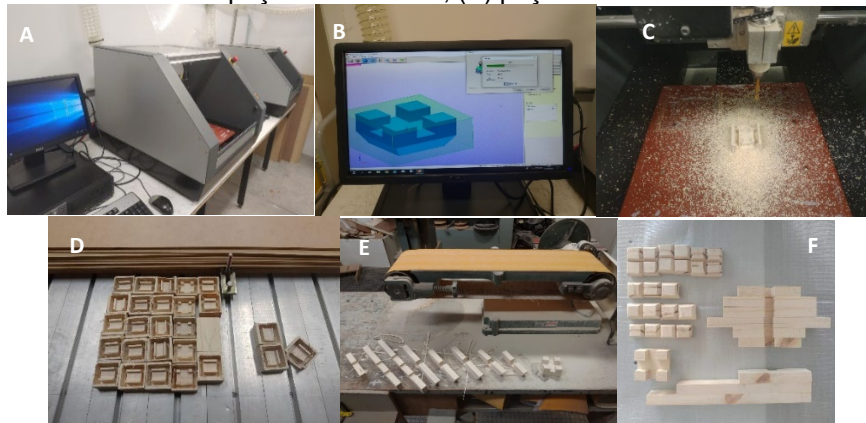
Fonte: autoria própria

A construção de um modelo físico do mesmo *dougong* (FIGURA 14), projetado digitalmente, contou com uma máquina CNC modelo Roland MDX 40A Milling Machine, de três eixos (FIGURA 15-A), com suporte para um dimensionamento máximo de 300x300x50mm, assim como o uso da carpintaria para retoques e acabamentos, ambos pertencentes a FAU Mackenzie. A preferência pela madeira pinus aparelhado como material é justificada pelo baixo custo e sua relativa boa resistência, tendo como fonte um caibro de 45 x 45 x 3000 mm.

Por conta disso, foi definida uma escala de 1:10 do tamanho original, dado que a medida da maior peça, *Huagong* 3, teria 25,15 cm, ou seja, inferior ao valor máximo dado pela máquina, e com uma dimensão compatível para o entalhe dos encaixes, por uma broca de 6 mm de diâmetro. Nesse sentido, assim como o comprimento, agora definido, foi estimada uma altura máxima de 3,05 cm para a maior peça, e 12,04 cm para o conjunto inteiro.

Seguindo o princípio da pré-fabricação, já implícito no contexto da dinastia Song, a economia de gastos materiais foi levada em conta, e o caibro foi subdividido em pedaços menores, visando minimizar as perdas. Para isso, foi organizado um diagrama de cortes, deixando 1 cm de margem longitudinal para cada peça a ser cortada, poupando quase 1 metro de madeira, apesar de erros de corte.

FIGURA 15: (A) máquina CNC; (B) programação da máquina; (C) corte das peças; (D) *dous* presos a base; (E) lixadeira de bancada e peças destacadas; (F) peças sem cavilha.



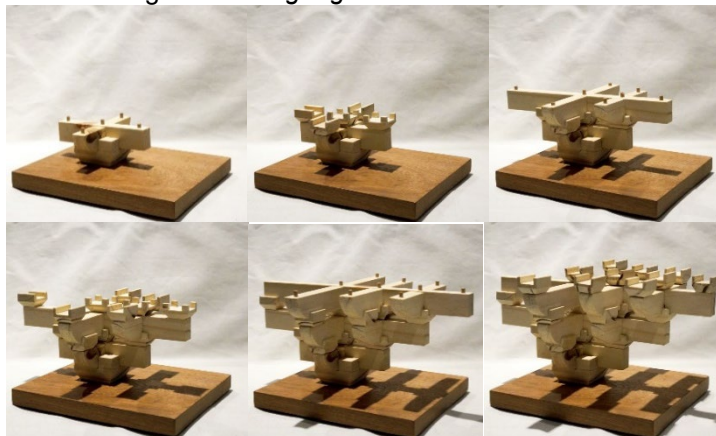
Fonte: autoria própria

Para a confecção do objeto, cada peça necessitou ser separada em arquivos independentes e convertidos na extensão STL, linguagem própria para a programação da máquina (FIGURA 15-B). No entanto, pelo fato dos eixos se limitarem a apenas 3 direções, foi priorizado que a precisão desse corte fosse feita nas juntas, dispensando o posterior uso da lima. Assim, o material, já no tamanho apropriado, foi colado com fita dupla face na mesa, onde a broca é calibrada, e enfim automaticamente entalhado (FIGURA 15-C).

Já na marcenaria, foi utilizada uma lixadeira de bancada (FIGURA 15-E) para retirar o excesso de material na base das peças (FIGURA 15-D), criar os chanfros nos *dou* e aprimorar

as conexões dos *gongs*. Além disso, uma serra de fio foi necessária para retificar algumas quinas, e por último uma furadeira de bancada, com broca de diâmetro 4 mm, para o encaixe das cavilhas, que fixam os blocos sobre as vigas (FIGURA 15-F). No total foram preparadas 23 *dou* e 10 *gong* para finalizar o modelo do *dougong*.

FIGURA 16: Processo de montagem do *dougong*.



Fonte: autoria própria

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento contínuo do *dougong*, que tem origem no período de Primavera e Outono na China (771 – 476 a.C.) há quase dois milênios e meio, como parte integral da arquitetura leste-asiática, evidencia sua utilidade no incremento de vãos e balanços, considerados desafios por diversas civilizações que buscavam projetar espaços mais amplos. Sendo assim, o estudo de seu corpo aplicado a uma série de obras, que remontam a seu passado distante, serve de parâmetro para a análise do seu funcionamento no construir contemporâneo.

Foi investigado o papel da pré-fabricação, tendo em vista o interesse da economia dos gastos de obras e verificou-se uma característica determinante neste modelo construtivo: a possibilidade da padronização de membros estruturais com redução de suas dimensões. Como exemplificado pela análise de ambos os modelos físico e virtual, a arquitetura Song tinha capacidade de arcar, com vigas de apenas 38,10 cm de altura, balanços de mais de 1,37 metros, alcançando até 2,28 metros, conforme o limite de *tiaos* permitidos.

Nesse sentido, o resgate dessas técnicas construtivas milenares também simboliza sua adequação aos benefícios e desafios do contexto atual, que variam desde a adoção de novas tecnologias digitais de modelagem e produção, demonstrados por Kuma em Yusuvara, aos atuais critérios de sustentabilidade, desconhecidos na China Antiga. Portanto, a adaptabilidade histórica do seu uso, seja ele embasado em condicionantes funcionais ou decorativos, retrata a importância de novos estudos, que empreguem a modelagem digital, reafirmando a constante evolução do sistema de encaixes *dougong*.

5 REFERÊNCIAS

AFLALO, Marcelo. **Madeira como Estrutura: A história da Ita.** Paralaxe, 2005.

AMARAL EL CHAER, Cíntia Regina. **Apresentação do Programa Carbono Neutro e Proposta de Cálculo e Emissão e Neutralização Pela Construção Civil.** Projeto Final de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, UFRJ. Rio de Janeiro. 89 p. 2015.

BIS. **Low Carbon Construction Innovation and Growth Team: Final Report.** London: Department for Business Innovation and Skills. Londres, 2010.

CASAMONTI, Marco. **Coleção Folha Grandes Arquitetos: Kengo Kuma.** São Paulo, Folha de S.Paulo, 2011.

COOKE, Lacy. **The 2500-year-old bracket that protects China's Forbidden City against earthquakes**, Inhabitat, 2017. Disponível em: <https://inhabitat.com/the-2500-year-old-bracket-that-protects-chinas-forbidden-city-against-earthquakes/>. Acesso em 20 Fev. 2020.

A MAIOR Torre Japonesa do Brasil. **Diário do Aço**, 2019. Disponível em: <https://www.diariodoaco.com.br/noticia/0067249-a-maior-torre-japonesa-do-brasil>. Acesso em 16 de jun. 2021.

DUAN, Ni. **Construction Study for Yusuhara Wooden Bridge Museum.** Duan-Ni. Disponível em: <https://duan-ni.com/Sequence>. Acesso em 05/08/2021.

ELLIS, Josh. **Xinbeitou Historic Station (新北投車站).** Ellis Josh Photography. Disponível em: <https://www.goteamjosh.com/blog/xinbeitou>. Acesso em 07 set. 2021.

FENG, Jiren. **Chinese Architecture and Metaphor: Song Culture in the Yingzao Fashi Building Manual.** Hong Kong, Hong Kong University Press, 2012.

ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais.** São Paulo: Ibracon, 2007.

KUMA, Kengo. **Kengo Kuma: Atmospheric Works.** Madrid, Arquitectura Viva, 2015.

LIANG, Sicheng; FAIRBANK, Wilma. **A pictorial history of Chinese architecture: a study of the development of its structural system and the evolution of its types.** Cambridge, MA: MIT Press, 1984.

LEWIS, David Chambers. **Revealing Pantheon's Logos Optikos.** Starkville, Mississippi State University, 2002.

LÖFFLER, Beate. **The Perpetual Other: Japanese Architecture in the Western Imagination.** Leiden, Brill, 2015.

MAKOTO, Ikegaya. **Geographic Study of Historic Preservation: Evolving Cultural Landscape and Development of Modern Japan**. Greensboro, University of North Carolina at Greensboro, 2013.

MIAO, Lijuan; ZHU, Feng; HE, Bin; FERRAT, Marrion; LIU, Qiang; CAO, Xue; CUI, Xuefeng. **Synthesis on China's land use in the past 300 years**. Amsterdam, Elsevier, 2012.

MILAY, Jessica. **Dougong: These Ancient Chinese Brackets Make Buildings Earthquake-Proof, Interesting Engineering**, 2017. Disponível em: <https://interestingengineering.com/dougong-ancient-chinese-brackets-make-buildings-earthquake-proof>. Acesso em 22 maio 2020.

MILLER, Ian. **The Distant Roots of Beijing's Palaces**. Environment and Society Portal. Disponível em: <https://www.environmentandsociety.org/arcadia/distant-roots-beijings-palaces>. Acesso em 06 jun. 2021.

MIRIZZI, Francesco; WILSON, Catherine. **HEMP: A Real Green Deal**. Brussels, European Industrial Hemp Association, 2020.

NAKAHARA, Koji; HISATOKU, Toshiharu; NAGASE, Todashi; TAKAHASHI, Yoshinori. **Earthquake Response of Ancient Five Story Pagoda Structure of Horyu-ji Temple in Japan**. Sendai, Proceedings of the WCEE, 2000.

TAIWAN. **Xinbeitou Historic Station**. Disponível em: <https://www.xbths.taipei/>. Acesso em: 07 ago. 2021.

WU, Qiong; **Bracket Study: Textual, Computational, and Digital**. Nanjing, Southeast University, 2003.

YANG, Yu-Fu; TUNG, Hsuang-Chih; HSU, Fong-Chi. **Primary Research on Wood-construction Tectonic of Chinese Traditional Architecture**. Taipei, Taiwan National University, 2012.

YUAN, Jianli; LI, Shengcai. **Analysis and investigation of seismic behavior for multistory-pavilion ancient pagodas in China**. Ashurst, WIT Transactions on The Built Environment, 2001.

ZWERGER, Klaus. **Wood and wood joints: building traditions of Europe, Japan, and China**. Basel, Birkhäuser, 1997.

Contatos: leonardowangarc@gmail.com; moretimeirelles@gmail.com

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à comunidade de asiáticos, e descendentes, vítimas de racismo e xenofobia durante a pandemia de COVID-19 no Brasil.