

NOVAS POÉTICAS ARQUITETÔNICAS A PARTIR DOS SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS: POSSIBILIDADES DA ARQUITETURA DE TERRA E MADEIRA NA 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Ketlin Siqueira Cavalcanti (IC) e Guilherme Antônio Michelin (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

Com o advento da Primeira Revolução Industrial no final do século XVIII e a necessidade de rápida ampliação do número de habitações nas grandes cidades, a arquitetura teve com paradigma a eficiência máxima dos materiais e processos construtivos, impulsionando a substituição de métodos e materiais construtivos vernáculos pelo uso do aço e concreto, modificando com isso a estética das construções. A partir da década de 70, as consequências da industrialização, como poluição e baixas condições de habitabilidade e higiene, impulsionaram a busca por uma arquitetura sustentável com materiais e técnicas construtivas com maior eficiência e menor geração de gás carbônico e resíduos em sua cadeia produtiva na construção civil. Nesse contexto, nota-se um retorno a materiais de conhecimento milenar, mais ecológicos, como a terra crua, a madeira e o bambu, e seus sistemas construtivos derivados. Atualmente o retorno a técnicas e materiais artesanais tem ainda como questão o uso de alta tecnologia, desenvolvida com a indústria 4.0, na concepção e construção dos projetos. A pesquisa teve como objetivo compreender as arquiteturas contemporâneas industrializadas de madeira e terra crua e seus respectivos métodos construtivos. Para análise foi feita revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento dos sistemas construtivos, e busca e compilação de obras contemporâneas de madeira e terra crua.

Palavras-chave: Industrialização. Tecnologias construtivas. Sustentabilidade.

ABSTRACT

With the advent of the First Industrial Revolution at the end of the 18th century and the need for rapid expansion of the number of houses in large cities, architecture had as a paradigm the maximum efficiency of materials and construction processes, driving the replacement of vernacular construction methods and materials by use of steel and concrete, thus modifying the aesthetics of buildings. From the 70s onwards, the consequences of industrialization, such as pollution and low conditions of habitability and hygiene, boosted the search for a sustainable architecture with materials and construction techniques with greater efficiency and less generation of carbon dioxide and waste in its production chain in construction. In this context, there is a return to millinery knowledge, more ecological materials, such as raw earth, wood and bamboo, and their derived constructive systems. Currently, the return to artisanal techniques and materials is still concerned with the use of high technology, developed with

Industry 4.0, in the design and construction of projects. The research aimed to understand the contemporary industrialized architectures of wood and raw earth and their respective construction methods. For analysis, a bibliographical review was carried out on the development of construction systems, and a search and compilation of contemporary works of wood and raw earth.

Keywords: Industrialization. Construction technologies. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A industrialização na construção civil e seus benefícios econômicos e ambientais é um tema de grande pertinência na arquitetura e engenharia nos dias atuais. A racionalização do processo construtivo diminui o desperdício de materiais em obras e proporciona maior rapidez na execução.

Atualmente, métodos e sistemas industrializados estão bastante consolidados no exterior, porém ainda é um mercado pouco explorado no Brasil. Isso acaba por refletir diretamente na capacidade da indústria nacional em atender a este tipo de construção, seja pela própria falta de demanda de profissionais e investidores por projetos e obras industrializadas, seja por motivos culturais, pelos métodos ainda serem pouco difundidos, prevalecendo a construção em alvenaria e concreto mais comumente produzida “in loco”, sem pré-fabricação das peças. Outro fator que ainda pesa nesta decisão é a falta de entendimento da correta relação custo-benefício das obras industrializadas aqui no Brasil.

Com o retorno aos materiais de baixo impacto ambiental e o avanço do tema da industrialização na construção, também se tem notado que a produção da arquitetura contemporânea vem buscando uma linguagem arquitetônica mais regionalista, abandonando-se a estética universal difundida pelo modernismo, mas mantendo-se a tecnologia produzida até então. Neste cenário, também é importante exaltar a tradição construtiva nos primórdios da ocupação do país, normalmente utilizando-se da terra crua e madeira, como o adobe, a taipa, pau-a-pique, enxaimel, entre outras, parte fundamental do repertório histórico e cultural do país.

Por fim, as novas dinâmicas de relação local e global, trazidas pela 4ª Revolução Industrial e tudo que se segue a ela, como IoT (internet das coisas), Big Data, BIM, etc., tem possibilitado o desenvolvimento de uma produção de objetos cada vez mais exclusivos, culminando em uma arquitetura digital, produzida a partir de parametrização e construção de alta precisão.

Esta pesquisa pretende, assim, mapear, visualizar e analisar algumas dessas novas poéticas arquitetônicas que têm surgido a partir dessa integração, em especial nos edifícios que se utilizem de madeira e terra crua. Para isso, foi desenvolvida inicialmente uma pesquisa a respeito da história das técnicas construtivas em madeira e terra crua, seguida de uma discussão sobre arquitetura e a quarta revolução industrial, com foco na relação entre tecnologias e métodos low-tech/high-tech e como isso impacta potencialmente nas mudanças na relação dos arquitetos com os canteiros de obra. Para estudos de caso, foram escolhidas edificações em terra crua e madeira que se utilizaram de formas e sistemas não convencionais de construção, para que se pudesse visualizar a existência de mudanças significativas da

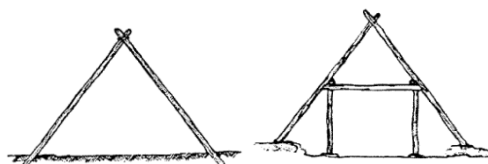
linguagem arquitetônica destes exemplos com as técnicas vernáculas utilizando os mesmos materiais. O artigo finaliza com as considerações finais sobre a pesquisa.

2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

2.1 Técnicas construtivas com madeira

A madeira é um dos mais antigos materiais utilizados em construções. Segundo Costa (2013) “o início da sua aplicação em construções dá-se no período Neolítico, também conhecido por Idade da Pedra Polida (aproximadamente entre 12000 a.C. e 4000 a.C.), onde o homem começa a dar os primeiros passos na agricultura”. Um dos primeiros tipos de construções em madeira utilizava-se dois paus cravados no solo e unidos na extremidade superior por elementos fibrosos. (MATEUS 1961, apud COSTA, 2013). Ver figura 1.

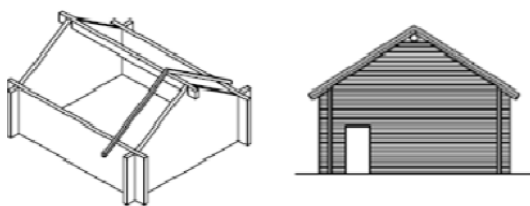
Figura 1: Estrutura simples de cobertura em madeira.



Fonte: Costa (2013, p. 7)

No período da idade da pedra surgiu o sistema construtivo casa de troncos ou Loghomes (Figura 2), com origem nos países nórdicos e também Polônia e Turquia. Devido a irregularidade das toras de madeira, para alcançar uma boa estanqueidade eram utilizados musgos e argila para preencher os vazios e também pele animal nas paredes. (COSTA, 2013).

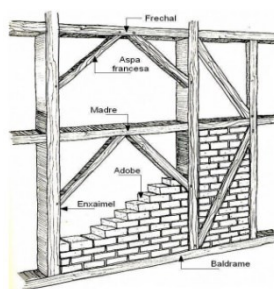
Figura 2: Loghomes.



Fonte: Costa (2013, p.10)

Mais uma vez a técnica construtiva em madeira passou por uma evolução e melhor uso das suas características estruturais, com o surgimento do Heavy *Timber* (enxaimel), ilustrado na figura 3. A técnica se desenvolveu simultaneamente no oriente e ocidente e está presente na história da arquitetura de diversos países. A sua evolução estrutural em relação a casa de troncos é fazer as forças seguirem as fibras da madeira dessa forma possibilitou a construção de vão maiores e edifícios de até seis andares, devido a própria característica do material ser usada a favor do esforço estrutural. (COLIN, 2013).

Figura 3: Enxaimel/Heavy timber.



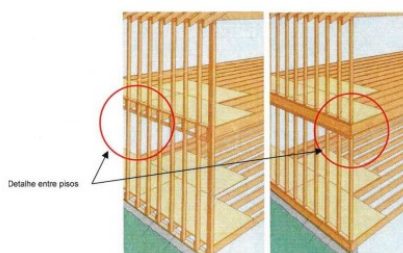
Fonte: Colin (2010, p.10)

O Enxaimel chegou ao Brasil no final do século XIX com os imigrantes Alemães, e edificações utilizando esse sistema se tornaram comuns no sul do país. Utilizava-se elementos estruturais de grande largura, travados por peças inclinadas nos cantos ou diagonais, chamadas *cruz de Santo André* ou *Aspas francesas* e os vãos preenchidos com adobe. Além desse sistema, se destaca também no Brasil, o tabique, a mata-junta e o uso de madeira em tesouras, esquadrias, pisos, forros e beirais. (COLIN, 2013)

As técnicas construtivas em madeira seguiram se aprimorando e durante o século XIX com o surgimento do sistema *Balloon Frame*, técnica desenvolvida por George Washington Snow, em Chicago, nas primeiras décadas do século XIX. (ROSA, 2006).

O *Balloon Frame* consistia em uma estrutura composta de peças em madeira serrada de pequena seção transversal espaçadas a um intervalo regular de 400 ou 600 mm. A estrutura de Balloon Frame não possuía a tradicional hierarquia de estrutura primária e secundária, eram feitas com peças de madeira de igual seção e a fixação com pregos comuns, sendo prático e de fácil execução por um pequeno grupo de pessoas. (CASTRO, 2005).

Figura 4: Balloon Frame vs Platform Frame.



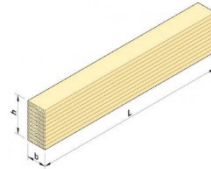
Fonte: Costa (2013, p.13).

A evolução do sistema *Balloon Frame* é o sistema *Platform Frame*. Enquanto no sistema Balloon um único montante suporta todo o edifício, geralmente com dois pisos, no sistema *Platform* utiliza-se um montante por andar, e esta modificação possibilita melhor resistência ao fogo e, por serem menores, há também mais facilidade para se encontrar as peças montantes (CASTRO, 2005), ver comparativo na figura 4.

Já em 1901, surgiu a Madeira Laminada Colada (MLC), patenteada por Otto Hetzer. Consistia em vigas retas compostas por lâminas de pequena espessura, unidas entre si por

meio do uso da cola de caseína (LEITE; SANTOS; VALLE; 2017). O uso de MLC aumentou a resistência ao fogo, possibilitou vencer vãos maiores e a criação de formas curvas com a madeira. Ver figura 5.

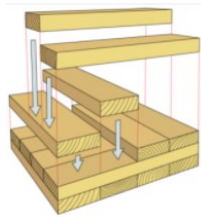
Figura 5: Glulam ou MLC (Madeira laminada colada).



Fonte: Arcwood.

Na década de 90, desenvolveu-se o CLT (Cross Laminated Timber), ver figura 6. A técnica construtiva é semelhante ao MLC, porém no CLT as lâminas são unidas transversalmente, alternando o sentido das fibras da madeira o que confere maior resistência ao material. As placas de CLT são pré-fabricadas e já vem com os recortes feitos em máquinas com sistema CNC (Controle Numérico Computadorizado). (LEITE; SANTOS; VALLE; 2017).

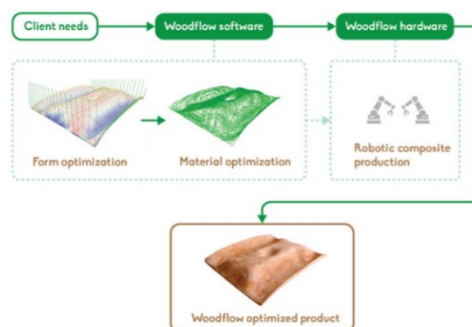
Figura 6: Painel CLT.



Fonte: Pngwing.

Atualmente, ainda em desenvolvimento pela empresa *Strong by Form*, surgiu o *Woodflow* (Figura 7). O *Woodflow* é um material desenvolvido a partir de ferramentas paramétricas, com utilização do sistema BIM e fabricação a partir do CNC (Controle Numérico Computadorizado) e é focado no maior desempenho estrutural possível através da otimização de sua forma. A tecnologia é inspirada no funcionamento das fibras da madeira no interior do tronco de uma árvore. Assim, incorpora elementos como Biomimética e fabricação digital.

Figura 7: *Woodflow*.



Fonte: Strong by Form

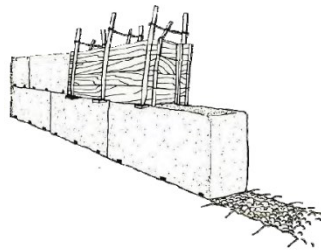
2.2 Técnicas construtivas com Terra crua

Construções feitas de terra crua são encontradas em diversas civilizações durante o desenvolvimento da humanidade. A técnica de construção em terra se difundiu por todo o planeta durante os séculos, conforme as civilizações se expandiam e a levavam a diante para outros continentes e povos. (CORDEIRO, 2019).

No Brasil, a arquitetura de Terra chegou a partir da tradição mourisca, trazida pelos portugueses. A construção com terra foi amplamente utilizada no Brasil durante o período colonial. Os principais métodos construtivos foram a taipa de mão ou pau-a-pique, a taipa de pilão, o adobe e o enxaimel. (COLIN, 2013).

A taipa de pilão (Figura 8), consistia em amassar com um pilão o barro dentro dos taipais. Após a secagem, o taipal era desmontado e deslocado para posição vizinha. Segundo Colin (2010), os taipais mediam 1 metro de altura, por aproximadamente 3 ou 4 metros lateralmente.

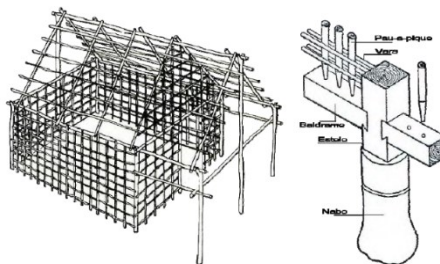
Figura 8: Execução da taipa de pilão.



Fonte: Colin (2010, p.11)

A região nordeste do país também teve suas construções em terra crua e sua própria forma de construir com a utilização da taipa de mão ou pau-a-pique (Figura 9). Pelo seu baixo custo até hoje a taipa de mão é utilizada em zonas rurais no país. A técnica “consiste em uma estrutura mestra de peças de madeira, cuja seção pode variar 50 x 50cm, 40 x 40cm até 20 x 20 cm, composta de esteios (peças verticais enterradas no solo), baldrame (peças horizontais inferiores) e frechais (peças horizontais superiores).” (COLIN, 2010).

Figura 9: Pau-a-pique.



Fonte: Colin (2010, p. 12)

O adobe era feito de barro em formas de madeira e secava ao sol. Segundo Colin (2010), suas dimensões eram aproximadamente 20 x 20 x 40 cm. Ver figura 10.

Figura 10: Confeção do Adobe.



Fonte: Colin (2010, p. 7)

No que tange a industrialização da construção em terra poucas técnicas foram desenvolvidas e sua aplicação rara. Destes podemos destacar o BTC (Bloco de terra comprimida) ou Tijolo Ecológico. O BTC produz-se pela prensagem da terra no seu estado úmido, podendo ser fabricado de forma mecânico ou hidráulica. (TORGAL; EIRES; JALALI, 2009). O BTC possui padronização e passa por testes de resistência a compressão e absorção de umidade. Ver figura 11.

Figura 11: Prensa hidráulica BTC, Portugal.



Fonte: Torgal; Eires; Jalali (2009, p. 53)

Apenas em Portugal, tem-se registro da técnica do adobe mecanizado (Figura 12). Segundo Torgal; Eires; Jalali, (2009), este tipo de adobe faz uso da tecnologia atual, utilizando máquinas semelhantes às máquinas agrícolas, o que possibilita uma fabricação mecanizada e rápida.

Figura 12: Produção mecânica de adobe, Portugal.



Fonte: Torgal; Eires; Jalali (2009, p. 45)

Há também a taipa mecanizada com apiloamento pneumático (Figura 13). Segundo Oliveira (2012) “a taipa de pilão mecanizada se diferencia da técnica vernacular pela troca dos taipais tradicionais pelo sistema de fôrmas do concreto armado, o uso de máquinas no

processo de transporte, produção, montagem e apiloamento da terra.” Ainda é possível pontuar a padronização da matéria prima através de aditivos e testes de resistência para garantir a segurança da obra.

Figura 13: Taipa Mecanizada.



Fonte: Oliveira (2012, p. 34)

Atualmente a construção em Terra está se renovando mais uma vez com a possibilidade do uso de impressão 3D para construções sustentáveis em Terra crua. Ver figura 14.

Figura 14: Impressora de 12m da WASP.



Fonte: WASP

2.3 Arquitetura e a Quarta Revolução Industrial

A partir da segunda metade do século XX, seguindo o estabelecimento de uma sociedade da informação, o desenvolvimento da computação gráfica e o potencial das imagens técnicas computacionais submetem a arquitetura a uma revisão de seus processos. (MONTEZI, VIZIOLI, 2017).

A utilização de tecnologias digitais modificou o processo de produção da arquitetura, interferindo nas decisões projetuais e no resultado final das obras. Com impacto dessas tecnologias na concepção projetual e na tectônica o tema se passa a ser debatido por diversos teóricos da arquitetura. Esses autores se dividiram em diferentes perspectivas sobre o tema.

Frampton retoma o debate da tectônica na arquitetura a partir da década de 90. De acordo com Frampton, a articulação entre elementos arquitetônicos e materiais e a maneira

em que se encontram, faz com que assumam um papel fundamental na narração da lógica que vai desde a concepção até a construção final (ALMEIDA; LIMA; BORGES, 2019).

Frampton defende uma versão do modernismo que olha para um regionalismo crítico. Para ele, o regionalismo crítico deveria adotar arquitetura moderna criticamente, por suas qualidades progressivas universais, mas ao mesmo tempo deveria avaliar melhor sua inserção no contexto. Apropriando-se de argumentos fenomenológicos, sugere que a ênfase deveria estar na topografia, no clima, na luz, na forma tectônica, em um estudo das tradições e história locais, em lugar da cenografia, e do senso tátil em lugar do senso visual. Para Frampton a arquitetura produzida a partir de softwares se distanciava da materialidade e era altamente formalista. (MONTEZI, VIZIOLI, 2017).

Outros autores como Leach, 2009; Lynn, 1998; Reiser e Umemoto, 2006, Mitchell, 1998 e Picon, 2010 acreditam no surgimento de uma nova tectônica. (ALMEIDA; LIMA; BORGES, 2019).

Para Mitchell, é natural que as novas tecnologias subordinem o desenho das infraestruturas das novas cidades e que também esteja afetando o design das mesmas, ele propõe em seu trabalho o conceito de mundo projetual. Este “Mundo Projetual” é delimitado por meio dos instrumentos que um arquiteto se utiliza para fazer exploração de possíveis formas, se adequando ao tipo de tarefa a ser desempenhada e introduzindo as ferramentas e os procedimentos apropriados para tal (ALMEIDA; LIMA; BORGES, 2019).

Para Picon (2010), independente do quanto as “novas técnicas de modelagem sejam capazes de assimilar, integrar e, basicamente, construir todo tipo de dados”, “belas superfícies ou bolhas de belos formatos”, devem poder constituir “argumentos formais capazes de propor intervenções políticas, sociais e tecnológicas”.

Para Beesley e Seebom, 2000; Ham, 2003; Leach, 2004; Jabi, 2004; Gao, 2004 e Liu e Lim, 2005, os projetos feitos a partir de processos computacionais trazem uma tectônica digital. “Já para Beesley e Seebom (2000) as tectônicas digitais significam resumidamente, em um foco em montagens de elementos de construção mediados por processos realizados digitalmente, integrando o uso de softwares de modelagem e projeto com métodos de construção variados.” (ALMEIDA; LIMA; BORGES, 2019).

2.3.1 High-tech e Low-tech

No entanto, esta nova linguagem na arquitetura trouxe consigo uma divisão do pensamento ecológico: por um lado há os que defendem a utilização de materiais e tecnologias de baixo impacto – low tech; por outro, há os que pretendem explorar com a ajuda da ciência todas as possibilidades

tecnológicas de alto desempenho e diferentes metodologias – high tech. (CELINSKI 2008 apud MORBEY; MATEUS; BRAGANÇA, 2012).

Nesse cenário, há o surgimento de diferentes vertentes da arquitetura como as arquiteturas High-tech e Low-tech. A arquitetura High-tech ainda era uma construção muito universalista sem conexão como o seu entorno e sítio local, e concentrada no uso de materiais novos e eficiência do edifício.

Arquitetura ultra tecnicista ou tardo modernista é considerada uma extensão do pensamento moderno, a partir dos anos 60 e 70. Essa nova arquitetura retoma teorias como a “Estética da Máquina”, baseada na tecnologia e no universalismo; os preceitos modernistas de Le Corbusier (Por uma Arquitetura, 1977), racionalidade e funcionalidade, planta livre, separação de estrutura e fechamento, e fachada livre. (BOURLEGAT; OLIVO; COSTA; 2015).

A arquitetura Low-tech coloca ênfase em outros aspectos como os materiais renováveis, a orientação solar, a iluminação e ventilação natural, o sombreamento e a capacidade térmica e preocupações voltadas para conservação de energia, utilizando-se de materiais naturais (madeira e terra) e processos semi-industriais ou vernaculares. (BOURLEGAT; OLIVO; COSTA; 2015).

Uma terceira via são os ambientalistas moderados que tentam juntar o melhor dos dois mundos, combinando “materiais e técnicas tradicionais com produtos e tecnologias inovadoras”. (CELINSKI 2008 apud MORBEY; MATEUS; BRAGANÇA, 2012).

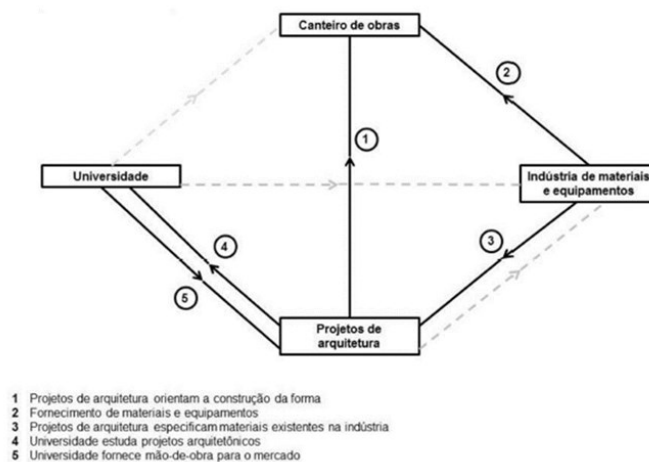
2.3.2 Papel do arquiteto e o canteiro

A relação do arquiteto com o canteiro também se modificou a partir das mudanças nos métodos de representação e concepção projetual. Desde a diferenciação com o engenheiro e mestre de obras até mesmo o processo produtivo da arquitetura, a partir da revolução industrial. (BORGES, 2016).

A criação de projetos a partir de tecnologias digitais pressupõe uma sistematização e automatização da construção, apesar disso em países onde era possível obter uma mão de obra mais barata o canteiro não acompanhava os sofisticados métodos de concepção dos projetos e mantinham uma lógica manufatureira. (BORGES, 2016).

Dessa perspectiva o arquiteto se distancia do material construtivo e também do canteiro, já que o engenheiro e o mestre-de-obras passam a ter maior contato com este. Outro aspecto é o próprio mercado que oferta e padroniza as peças a serem utilizadas no projeto. (BORGES, 2016). A lógica manufatureira é ilustrada na figura 15.

Figura 15: Papel da engenharia na produção em manufatura heterogênea na construção civil baseado nas conexões de Pavitt (1984).



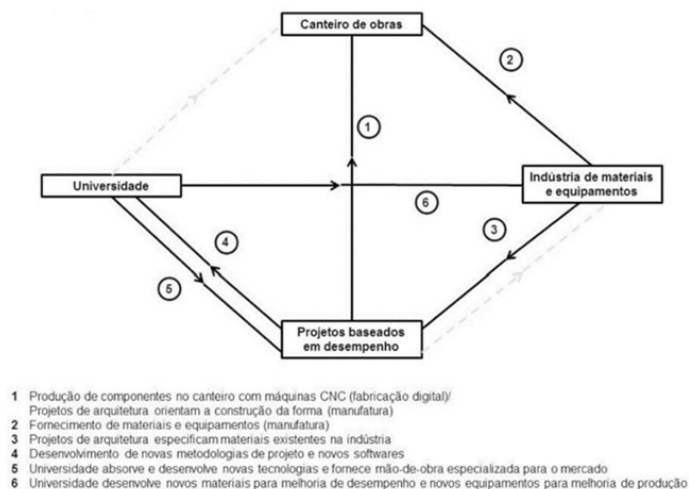
Fonte: Borges (2016, p. 5)

Na fabricação digital é desenvolvido um modelo tridimensional e sua produção é feita a partir do método CNC, assim projeto e produção se ligam sem intermediários. (BORGES, 2016). Exemplo de produção através da fabricação digital está ilustrado na figura 16.

A era digital possibilita que os arquitetos retomem a autoridade que um dia tiveram na produção de edifícios, não apenas no seu design, mas também na sua construção, com domínio pleno sobre as decisões do processo construtivo (KOLAREVIC 2003, apud BORGES, 2016).

O uso das ferramentas digitais deve transcender as experimentações formais, para trabalharem no sentido de uma reordenação de todo o processo produtivo. (GANN 1991, apud BORGES, 2016).

Figura 16: Possibilidades da fabricação digital na construção civil baseada nas conexões de Pavitt (1984).



Fonte: Borges (2016, p. 8)

Neste novo cenário, o papel do arquiteto retorna ao centro da concepção e produção do edifício, aproximando-o da questão construtiva e sendo protagonista na proposição de métodos construtivos e novos materiais. (BORGES, 2016).

2.4 Estudos de Caso

2.4.1 Gaia (WASP + Ricehouse) e Tecla (WASP + WCA)

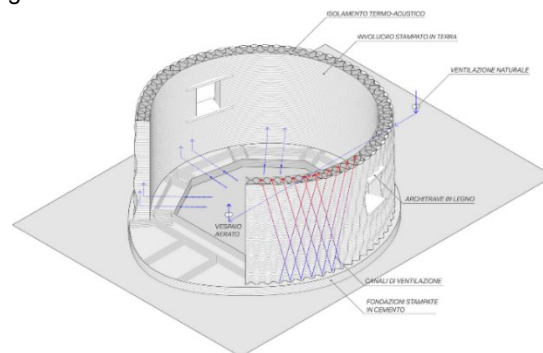
Os projetos Tecla e Gaia são as primeiras construções com impressão 3D em terra crua. Localizado em Massa Lombarda, Itália, o projeto Gaia (Figura 17), surgiu em 2018 como protótipo de uma casa eco sustentável e foi desenvolvido pela empresa WASP em colaboração com a startup Ricehouse.

Figura 17: Gaia



Fonte: WASP.

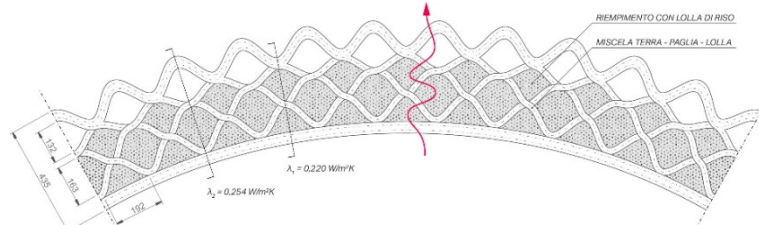
Figura 18: Funcionamento termoacústico Gaia.



Fonte: WASP.

A construção foi feita a partir de impressão 3D (manufatura aditiva) com terra crua e aditivos, sendo 25% de solo retirado do local (30% de argila, 40% de silte e 30% de areia), 40% de palha de arroz picado, 25 % casca de arroz e 10% cal hidráulica. A geometria de suas paredes foi desenvolvida através de design computacional objetivando a eficiência dos sistemas de ventilação natural, isolamento termo acústico e desempenho estrutural, como podemos ver na figura 18.

Figura 19: Detalhe construtivo Gaia.



Fonte: WASP.

Entre a trama estrutural são acrescentados resíduos da produção do arroz (ver figura 19), desenvolvidos pela Ricehouse, isto garante o conforto térmico e acústico da edificação, já que na impressão 3D as paredes não são maciças, como no caso da taipa.

A construção demorou 10 dias e a edificação tem cerca de 30 metros quadrados. A fundação da casa é em peças pré-moldadas de cimento e concreto armado e a laje do piso

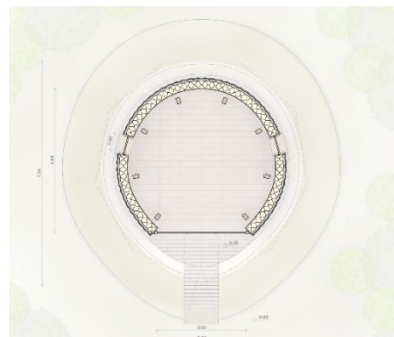
de Betão. Por fim, a cobertura e os pilares que a sustentam foram construídos em MLC (madeira laminada colada), (figuras 20 e 21).

Figura 20: Corte projeto Gaia



Fonte: WASP.

Figura 21: Planta projeto Gaia



Fonte: WASP.

O material impresso em terra crua não tem tratamento de proteção química a umidade, mas a cobertura ampla e escoamento das águas pluviais garante a proteção contra as chuvas.

O projeto Tecla (Technology and Clay) iniciou em 2019 e ainda está em desenvolvimento, na cidade de Massa Lombarda (Itália). O projeto é fruto da parceria entre a empresa WASP e o escritório MCA (Mario Cucinella Architects) e compõe um habitat eco sustentável (Figura 22) e não apenas uma edificação.

Figura 22: Isométrica do projeto Tecla.



Fonte: WASP.

Figura 23: Foto projeto Tecla



Fonte: WASP.

O material da construção foi desenvolvido a partir do solo local e compostos a produção do arroz. Sua forma visa cobrir ao mesmo tempo as funções de estrutura, telhado e revestimento externo. As edificações não têm aberturas nas laterais, a luz natural apenas uma redoma de vidro centralizada no ambiente, como ilustrado nas figuras 23 e 25.

A tecnologia de impressão desenvolvida pela empresa WASP (World Advanced Economy Project) é inspirada na vespa-oleira (*Zeta argillaceum*), (Figura 24). A intenção da iniciativa dos projetos Tecla e Gaia é desenvolver processos de construção viáveis através da economia circular e fabricação digital.

Figura 24: Foto Vespa-oleira (*Zeta argillaceum*).

Fonte: WASP.

Figura 25: Render projeto Tecla.



Fonte: WASP.

2.4.2 Edifício Comercial Tamedia (Shigeru Ban Architects + Blumer-Lehmann)

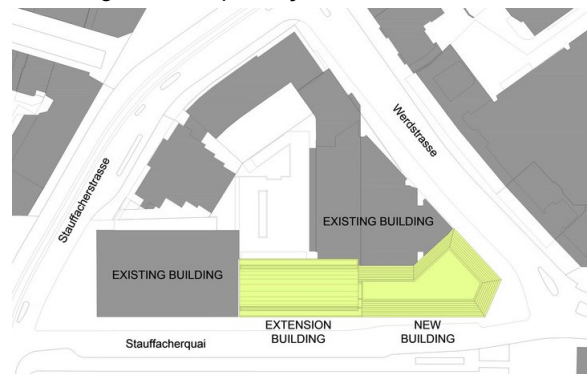
Localizado na cidade de Zurique na Suíça, foi inaugurado em junho de 2013 e abriga a sede do Grupo Empresarial Tamedia (Figura 26). O edifício possui sete pavimentos principais, uma extensão na edificação ao lado e dois andares de subsolo (Figuras 27 e 28), totalizando uma área de 10.120 m² e com quase 2.000 metros cúbicos de abeto austríaco. O projeto é de autoria do escritório Shigeru Ban Architects em parceria com a empresa Blumer-Lehmann e com o arquiteto Jean de Gastines e é primeiro arranha-céu de madeira neutro em carbono da Suíça.

Figura 26: Foto Edifício Tamedia.



Fonte: ArchDaily.

Figura 27: Implantação Edifício Tamedia.

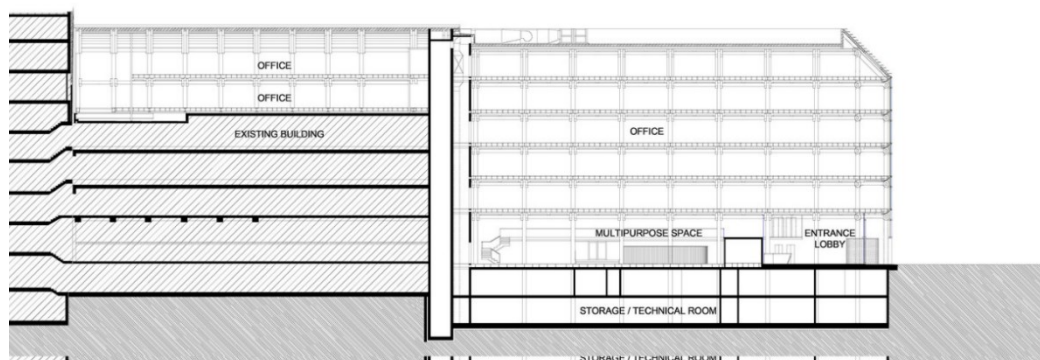


Fonte: ArchDaily.

O edifício segue regulamentações suíças de sustentabilidade e consumo de energia. Seu aquecimento e resfriamento funciona com o uso de águas subterrâneas geotérmicas e bombas de calor, garantindo um bom isolamento térmico sem uso de combustíveis fósseis e emissão de CO².

Sua estrutura é mista, sendo a maior parte pré-fabricada. Os subsolos, núcleos de circulação vertical, sanitários e escadas são de concreto e o restante da estrutura é de madeira (Haya e abeto austríaco) CLT (Madeira Laminada Cruzada), isso garante maior rigidez estrutural e segurança contra incêndio. Ver figura 28.

Figura 28: Corte Longitudinal Edifício Tamedia.



Fonte: ArchDaily

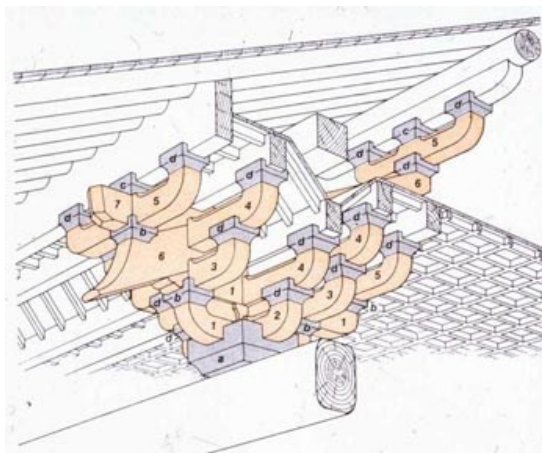
A estrutura em madeira não possui encaixes metálicos, suas junções são projetadas com sistema de encaixe inspirado nas tradições construtivas japonesas Miya-daiku e Sukiya-daiku. O Miyadaiku (Figura 30) é utilizado na construção de templos e santuários japoneses e tem como característica o uso de encaixe complexos na madeira, sem a utilização de pregos, parafusos ou cola, e o Sukiya-daiku (Figura 29) é utilizado na construção de casas e salões de chá e utiliza materiais rústicos.

Figura 29: Detalhe de marcenaria Sukiya-daiku.



Fonte: IEAAU.

Figura 30: Detalhe construtivo Miya-daiku.



Fonte: IEAAU.

Dessa forma, estrutura portante de madeira consiste nos pilares e vigas gêmeas de secção transversal ovalada, intertravados por elementos de madeira de Haya (*Fagus Sylvatica*), ver figuras 31 e 32. Para garantir a precisão desses encaixes, com a seção e forma ideal dos componentes e visando a estabilidade da construção, foram utilizadas para fabricação fresadoras com sistema CNC (Controle Numérico Computadorizado) e necessários cálculos e ensaios com maquetes na escala 1:1 pensando em termos de fabricação e montagem dos elementos.

Figura 31: Isométrica explodida - sistema estrutural.



Fonte: ArchDaily.

Figura 32: Foto encaixe pilar-viga



Fonte: ArchDaily.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante o desenvolvimento de pesquisa percebeu-se uma diferença dos caminhos das construções em terra crua e madeira referente a industrialização. Com a madeira houve um desenvolvimento linear em relação aos processos de industrialização. No século XIX, a madeira foi precursora das primeiras construções industrializadas, com o surgimento do Balloon frame e Wood Frame, passando também pelo desenvolvimento construções modulares. Já no início do século XX surgiram o MLC (madeira laminada colada) e CLT (madeira laminada cruzada). Atualmente a construção em madeira incorpora tecnologias da indústria 4.0, como fabricação digital através do método CNC (Controle Numérico Computadorizado).

No caso das construções em terra crua, durante o mesmo período em relação a industrialização houve apenas o desenvolvimento do BTC (Bloco de terra comprimida) e do apiloamento pneumático da construção em taipa, porém as duas técnicas com pouca utilização se comparadas, por exemplo, ao Wood frame, que é característico de diversos países. Apesar de se manterem ou surgirem outros métodos construtivos vernaculares eles não incorporavam processos industriais de produção. Mais recentemente a impressão 3D em terra se mostrou promissora, e traz a incorporação de tecnologias da Quarta Revolução Industrial, porém ainda não sendo realizada em grande escala, apenas protótipos e ensaios.

Por fim, constatou-se também que nem sempre a utilização dos materiais terra crua e madeira envolvem um retorno a técnicas ou tradições construtivas milenares, e muitas vezes são impulsionados pela demanda da sustentabilidade e inovação. Notou-se, também, a partir dos estudos de caso, que a evolução dos métodos construtivos produz uma arquitetura diferente em relação à arquitetura vernacular, trazendo novas formas, possibilidades de vãos maiores e construção em altura, trazendo uma outra expressão estética destes materiais e, com isso, potencialmente grandes mudanças na linguagem arquitetônica. Isso fica claro ao

verificarmos as mudanças de tipologias e linguagens arquitetônicas em terra crua, nas figuras 33, 34, 35 e 36 e em madeira nas figuras 37, 38, 39, 40, 41 e 42.

Figura 33: Casa tradicional - Taipa de mão



Fonte: Ecoeficientes.

Figura 34: Residência Podfuscak – BTC (Tijolo ecológico)



Fonte: ArchDaily.

Figura 35: Butterfly Residence - Taipa mecanizada



Fonte: Steffenwelsch.

Figura 36: Tecla – Impressão 3D em terra



Fonte: ArchDaily.

Figura 37: Cabana - Loghomes



Fonte: Wikimedia Commons.

Figura 38: Casa Tradicional-Enxaimel



Fonte: Tripadvisor

Figura 39: Casa Sears - Wood Frame



Fonte: Sears-Homes

Figura 40: O sorriso (CLT)



Fonte: ArchDaily.

Figura 41: Bodegas Protos (MLC)



Fonte: ArchDaily.

Figura 42: Edifício Tamedia(CLT)



Fonte: ArchDaily.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa buscou compreender as possibilidades de impacto da industrialização e desenvolvimento tecnológico sobre a linguagem arquitetônica de edificações em madeira e terra crua. O assunto é amplo e denso, sendo muito difícil estar condensado em uma iniciação científica. Para atingir o objetivo inicial da pesquisa, as referências bibliográficas foram

ampliando os assuntos necessários de serem estudados, o que incluiu o desenvolvimento das técnicas construtivas que se utilizam de madeira e terra crua, a industrialização, a indústria 4.0, fabricação digital e a tectônica.

Outra questão importante de ser apresentada foi a dificuldade causada pela pandemia de COVID-19, que impediu o desenvolvimento da parte da pesquisa de campo inicialmente planejada para essa iniciação científica, que seria realizada através de visita técnica a edificações de interesse e alguns ensaios no canteiro experimental e no laboratório de prototipagem, direcionando a uma pesquisa mais pautada na revisão bibliográfica. Se por um lado essa mudança trouxe um pouco de preocupação e até certa frustração no início do processo, ela trouxe também inúmeros aprendizados, tanto do ponto de vista de metodologias de pesquisa quanto de novos temas de grande interesse.

4. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Caio Augusto; LIMA, Fernando; BORGES, Marcos. Tectônicas Digitais: A (In) Tangibilidade no Processo de Projeto em Arquitetura. **REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA**, [s. l.], ano 2019, v. 09, ed. 18, 2019. DOI 10.23972/det2019iss18pp01-21. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/det/index.php/det/article/view/599/276>. Acesso em: 18 maio 2021.

BOURLEGAT, Camila; OLIVO, Mariane; COSTA, Korina. RICHARD ROGERS E A TRANSIÇÃO DO HIGH-TECH PARA O ECO-TECH. **Encontro Nacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, Presidente Prudente**, Presidente Prudente, p. 359-366, 19 out. 2015. Disponível em: <http://www.unoeste.br/site/enepe/2015/suplementos/area/Humanarum/Arquitetura%20e%20Urbanismo/RICHARD%20ROGERS%20E%20A%20TRANSI%C3%87%C3%83O%20DO%20HIGH-TECH%20PARA%20O%20ECO-TECH.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

BORGES, Marina. Fabricação digital no Brasil e as possibilidades de mudança de paradigma no setor da construção civil. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre, ano 2016, v. 16, ed. 4, p. 79-91, out/dez. 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000400106>. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/498038992/Fabricacao-Digital-Marina-Borges>. Acesso em: 18 maio 2021.

MORBEY, Rui; MATEUS, Ricardo; BRAGANÇA, Luís. Low-tech como alternativa sustentável de reabilitação low-cost. **Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil**, Portugal, 2012. Disponível em:

https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21743/1/WMCRS12_Morbey_Mateus_Braganca.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.

COLIN, Silvio. Técnicas Construtivas do Período Colonial. **Imphic - Instituto histórico**, [s. l.], 1990. Disponível em: <http://docplayer.com.br/17758122-Tecnicas-construtivas-do-periodo-colonial.html>. Acesso em: 18 maio 2021.

CORDEIRO, Carol; BRANDÃO, Douglas; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Júlio. CONSTRUÇÕES VERNÁCULAS EM TERRA: PERSPECTIVA HISTÓRICA, TÉCNICA E CONTEMPORÂNEA DA TAIPA DE MÃO. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, ano 2019, v. 10, jan. 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v10i0.8651212>. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8651212/19077>. Acesso em: 18 maio 2021

COSTA, Ana Alexandra. **CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS COM CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)**. Orientador: Prof. Dr. José Manuel Marques Amorim de A. Faria. 2013. 129 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68870/2/26141.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

CRASTO, Renata. **Arquitetura E Tecnologia Em Sistemas Construtivos Industrializados: Light Steel Frame**. Orientador: Prof. Dra. Arlene Maria Sarmanho Freitas. 2005. 254 p. Dissertação (Pós-Graduação em engenharia civil) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp081196.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

LEITE, Thaisa; SANTOS, Pedro; VALLE, Ivan. O USO DA MADEIRA LAMINADA COLADA NO BRASIL: PANORAMA E DESAFIOS. **II Congresso latino-americano e estruturas de Madeira**, Buenos Aires, Argentina, 17 maio 2017. Disponível em: <https://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T7-20.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

MONTEZI, Rafael; VIZIOLI, Simone. Projeto Digital: Imagem E Tectônica Na Arquitetura Contemporânea. **Xii International Conference On Graphics Engineering For Arts And Design**, [s. l.], 26 out. 2017. Disponível em: <http://docplayer.com.br/80773452-Projeto-digital-imagem-e-tectonica-na-arquitetura-contemporanea.html>. Acesso em: 18 maio 2021.

OLIVEIRA, Bruno. **Inserção Da Taipa De Pilão Mecanizada Com Apiloamento Pneumático No Mercado Da Construção Sustentável No Brasil**. Orientador: Iraci Miranda Pereira. 2012. 43 p. Monografia (Especialização em Sustentabilidade Aplicada ao Ambiente Construído) - Curso de Especialização em Sustentabilidade Aplicada ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9BAPH7/1/monografia_bruno_assun_o.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.

PICON, Antoine. **“A arquitetura e o virtual: rumo a uma nova materialidade” (2004)**. In SYKES, Krista A. (org.) O campo ampliado da arquitetura. Antologia Teórica 1993-2009. São Paulo: Cosac Naif, 2013.

ROSA, Wilhelm. **Arquitetura industrializada**: a evolução de um sonho à modularidade. Orientador: Dr. Alessandro Ventura. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16134/tde-26052010-103825/publico/Arquitetura_Industrializada.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.

TORGAL, Pacheco; EIRES, Rute; JALALI, Said. **Construção em Terra**. Portugal: Universidade do Minho, 2009. 186 p. ISBN 978-972-8692-40-7. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/28940>. Acesso em: 18 maio 2021.

Contatos: ketlinc.siqueira@gmail.com e guilherme.michelin@mackenzie.br