XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

COMPARAÇÃO DAS PRINCIPAIS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DO DESEMPENHO ENTRE MATERIAIS COMPOSTOS POR FIBRAS E MATERIAIS CONVENCIONAIS UTILIZADOS EM ESTRUTURAS [1]

DIAS, Nathalia Schimidt (1); SALADO, Gerusa de Cássia (2)

(1) Universidade Estadual de Campinas, nathalia.schimidt@hotmail.com
(2) Universidade Estadual de Campinas, salado@unicamp.br

RESUMO

Devido à preocupação com o meio ambiente, um dos grandes desafios da engenharia consiste na utilização de materiais não convencionais para a concepção de estruturas, satisfazendo requisitos essenciais como resistência, desempenho e durabilidade. Diante disso, o objetivo deste trabalho é comparar e analisar as principais propriedades mecânicas de materiais compostos por fibras utilizados em estruturas, sendo os materiais escolhidos madeira, bambu e tubos de papelão, com relação a materiais convencionais (concreto e aço), extraindo conclusões a respeito do desempenho estrutural e viabilidade técnica do seu uso em construções. Para atingir o objetivo, a metodologia adotada foi a realização de pesquisa bibliográfica em livros, teses, artigos etc, analisando dados dos três materiais compostos por fibras e dos materiais convencionais. Como resultado, pode-se concluir a partir do cálculo da eficiência dos materiais na compressão e tração, que os materiais compostos por fibras chegam a superar os materiais convencionais em alguns índices. Os resultados deste estudo reforçaram que os materiais compostos por fibras, apesar de terem características tão diferentes do concreto e do aço, propiciam às construções boa resistência, desempenho e durabilidade, além de maior sustentabilidade, leveza, salubridade, versatitilidade e até mais economia que as obras feitas com materiais convencionais. A contribuição deste estudo está em incentivar a pesquisa e o uso de materiais não convencionais na construção, inclusive para a criação de políticas públicas, visando a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: *Materiais não convencionais; Materiais compostos por fibras; Estruturas.*

ABSTRACT

Due to the concern with the environment, one of the great engineering challenges is the use of non-conventional materials for the design of structures, satisfying essential requirements such as strength, performance and durability. Therefore, the objective of this work is to compare and analyze the main mechanical properties of materials composed of fibers used in structures, with the materials chosen being wood, bamboo and cardboard tubes, in relation to conventional materials (concrete and steel), concluding about structural performance and technical feasibility of its use in buildings. To achieve the objective, the methodology adopted was to carry out bibliographic research in books, theses, articles etc, analyzing data from the three materials composed of fibers and conventional materials. As a result, it can be concluded from the calculation of the efficiency of the materials in compression and traction,

[1] DIAS, Nathalia Schimidt; SALADO, Gerusa de Cássia. Comparação das principais propriedades mecânicas e do desempenho entre materiais compostos por fibras e materiais convencionais utilizados em estruturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

that the materials composed of fibers exceed the conventional materials in some indexes. The results of this study reinforced that the materials composed of fibers, despite having characteristics so different from concrete and steel, provide buildings with good resistance, performance and durability, in addition to greater sustainability, lightness, wholesomeness, versatility and even more economical than those made with conventional materials. The contribution of this study is to encourage research and the use of non-conventional materials in construction, including the creation of public policies, aiming at environmental sustainability.

Keywords: *Non-conventional materials; Fiber materials; Structures.*

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil utilizam-se comumente concreto e aço para a concepção de estruturas.Contudo, diante da degradação e dos danos causados ao meio ambiente faz-se necessário o uso de materiais mais sustentáveis ou não convencionais.

Dentre as opções existem os que são compostos por fibras vegetais, como a madeira, o bambu e os tubos de papelão. A madeira é utilizada pela humanidade como material de construção desde épocas pré-históricas (PFEIL, 1994). Este material orgânico pode ser proveniente de florestas nativas ou de reflorestamento mas, apesar de muito utilizado, ainda sofre preconceito quanto a sua aplicação em estruturas e em relação à sua durabilidade e resistência (CALIL JUNIOR *et al.,* 2001).

Além da madeira, outro material de origem vegetal empregado na construção civil é o bambu. Visto como ecológico, este material pode ser aplicado na construção civil para concepção de estruturas e, segundo Padovan (2010), o bambu é bastante utilizado em países asiáticos e em alguns da América Latina com projetos que variam desde habitações de interesse social até grandes prédios, pavilhões, hotéis etc.

Diferente da madeira e do bambu, que são utilizados na sua forma natural e não necessitam passar por nenhum tipo de transformação, outro material composto por fibras são os tubos de papelão. Estes são feitos a partir da celulose (papel) e segundo McQuaid (2003), os tubos de papelão utilizados na construção civil são baratos, não necessitam de grande tecnologia na produção e podem ser facilmente reciclados.

Diante do exposto acima, o objetivo geral deste trabalho é estudar construções que utilizam materiais compostos por fibras em estruturas, sendo os materiais escolhidos madeira, bambu e tubos de papelão. O objetivo específico é abordar estes três materiais demonstrando sua aplicação em estruturas, a fim de comparar e analisar as principais propriedades mecânicas destes, enfocando a eficiência à compressão e à tração em relação ao concreto e aço e demonstrando que os três materiais compostos por fibras apresentam características semelhantes entre si.

Metodologicamente, fez-se a revisão bibliográfica através de livros, teses, dissertações, artigos e sites, a fim de levantar diversas tipologias de obras que utilizaram em sua concepção os materiais compostos por fibras. Posteriormente, comparou-se os materiais compostos por fibras aos materiais convencionais. A importância deste trabalho é ressaltar que materiais não convencionais podem compor estruturas de diversas tipologias, mantendo o desempenho e durabilidade.

2 APLICAÇÃO DA MADEIRA, BAMBU E TUBOS DE PAPELÃO EM ESTRUTURAS

As edificações em madeira estão entre as mais antigas formas de construção utilizadas pela sociedade. Ao longo da história, as formas de construir evoluíram, bem como as técnicas e o domínio sobre o material (MELLO, 2007).

Ainda hoje, a madeira é empregada estruturalmente proporcionando diversas soluções construtivas, além de boas propriedades físicas e mecânicas, isolamento acústico e estética agradável. O material possibilita soluções criativas e inovadoras, robustas e de alta qualidade, atendendo as exigências do projeto. As construções em madeira dividem-se em: casa de troncos, estrutura pesada de madeira, estrutura leve de madeira e estrutura pré-fabricada modular (BRANCO, 2013).

As casas de tronco (*log-houses)* e estrutura pesada de madeira (*heavy timber),* são construídas de forma mais artesanal, com elementos projetados e dimensionados especialmente para cada projeto. As *log-houses* (Figura 1) são essencialmente feitas em madeira, exceto as instalações, fundações e alguns acabamentos, e suas paredes são formadas por toras maciças sobrepostas (MARQUES, 2008). A *heavy timber* (Figura 2) permite a construção de edificações maiores. Estruturalmente, nesse tipo de construção, conta-se com a resistência mecânica da madeira e o posicionamento correto dos elementos para que as cargas atuem na direção paralela das fibras, permitindo que sejam vencidos grandes vãos e que sejam projetados edifícios de até seis pavimentos (TORRES, 2010).

Figura 1 – Casa de troncos de madeira



Fonte: Torres, 2010, p.8.

Figura 2 – Estrutura em madeira pesada do *Doubletree Hotel*



Fonte: *Vermont Timber Works*, s.d.

O *Wood Frame (WF),* ou estrutura leve de madeira, e a estrutura pré-fabricada modular são sistemas construtivos industrializados nos quais os elementos são produzidos fora do local de implementação. Para Zaparte (2014) e Molina e Calil Junior (2010), o *Wood Framing* (Figura 3) é um sistema construtivo composto por perfis de madeira seca, reta, livre de grandes nós e tratada, e utiliza painéis de vedação vertical para o fechamento. Quanto as construções pré-fabricadas em madeira (Figura 4), estas permitem que partes inteiras da construção sejam produzidas fora do local de implementação da obra, proporcionando racionalização no uso do material e elevando os níveis de qualidade (BRANCO, 2013).

Figura 3 – Residência construída com o sistema *Wood Framing*



Fonte: TECVERDE, s.d.

Figura 4 – Residência construida com o sistema modular *LukasLang*.



Fonte: *LukasLang Building Technologies*, s.d.

As construções com bambu estão entre as mais antigas feitas pela humanidade. Nas últimas décadas, houve grande desenvolvimento da tecnologia e o aprimoramento das técnicas empregadas para construir, devido à preocupação em gerar obras mais sustentáveis (PADOVAN, 2010). O bambu já é um material de construção consolidado em alguns países e, segundo Caeiro (2010), podem-se construir diversas obras como pontes, casas e monumentos, além de ser uma solução viável do ponto de vista estrutural e ambiental.

Em 2006, na Colômbia, foi construída a casa Chinauta (Figura 5). Nesta casa o bambu foi empregado nos pilares, cobertura, varandas e painéis de vedação vertical e também nas peças de mobiliário, portas e janelas (BLAISSE *et al.,* 2014).

O wNw Café (Figura 6) é um restaurante que foi construído em 2006, no Vietnã. Para sua concepção, foram utilizados 7000 elementos estruturais e decorativos em bambu, os quais foram tratados conforme os métodos tradicionais vietnamitas (BLAISSE *et al.,* 2014).

Figura 5 – Exterior da Casa Chinauta



Fonte: Blaisse *et al.*, 2014, p.57.

Figura 6 – Interior do wNw Café



Fonte: Blaisse *et al.*, 2014, p.156.

Os tubos de papelão são os menos convencionais na construção civil. Todavia, com a procura por materiais de construção mais sustentáveis e os testes realizados, demonstra-se que o material possui potencial para compor diversas obras (SALADO, 2006).

O principal nome encontrado na literatura para obras realizadas com tubos de papelão é do arquiteto japonês Shigeru Ban, que há mais de 30 anos projeta e constrói diversas obras ao redor do mundo com este material. A primeira obra permanente construída com tubos de papelão empregados estruturalmente foi a Biblioteca do Poeta (Figura 7).

Recentemente, Shigeru Ban empregou os tubos de papelão para formar a estrutura da cobertura da *Paper Green House* (Figura 8), construída no Japão em 2019. Esta estrutura em arco utiliza tubos de papelão unidos por conexões feitas em metal.

Figura 7 – Biblioteca do Poeta



Fonte: Jodidio, 2015, p.86.

Figura 8 – *Paper Green House*



Fonte: Shiguru Ban *Architects*, s.d.

2.1 Propriedades mecânicas dos materiais

Nas tabelas 1 e 2 apresentam-se as principais propriedades mecânicas dos materiais convencionais e dos materiais com fibras: madeira, tubos de papelão e bambu.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do concreto, aço, madeira e papelão

	Módulo de Elasticidade		**Tensão Máxima** Compressão		**Tensão Máxima** Tração		**Máxima deformação**		**Peso espec.**
	[GPa]		[MPa]		[MPa]		[%]		kN/m³
Concreto C20/25	29		20		2,2		3,5		25
Aço Fe E235	210		360		360		20		78,5
	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	
Madeira									
Madeira Macia	11-14	0,3-0,5	30-50	4-7	30-80	1-3			4,5-7
Papel e Papelão									
Geral	2-20	0,5-10	5-10	2-5	15-45	5-20	5-2,5	3-4	6-8
1050g/m²	4,25	1,82	-	-	28,1	15,2	3,55	5,12	6-9

Fonte: Eeckout *et al.*, 2008, p.139.

∥ – Aplicação do carregamento na direção paralela às fibras.

⊥ – Aplicação do carregamento na direção perpendicular às fibras.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do bambu *Guadua angustifolia*

	Resistência à Tração	**Módulo de Elasticidade**	**Resistência à compressão**	**Módulo de Elasticidade**	**Resistência ao cisalhamento**	**Densidade aparente**
	$\sigma_{tração}$ (MPa)	**$E_{tração}$ (GPa)**	**$\sigma_{compr.}$ (MPa)**	**$E_{compr.}$ (GPa)**	**τ (MPa)**	**d (g/cm³)**
Valor Médio	86,96	14,59	29,48	12,58	2,017	0,82
Variação	64,26 – 115,84	8,00 – 18,36	25,27 – 34,52	9,00 – 15,80	-	0,39 – 1,25

Fonte: Adaptado de Ghavami; Marinho, 2005, p.112-3 e Geroto, 2014, p.61.

2.2 Desempenho dos materiais compostos por fibras

O desempenho das construções pode ser avaliado por diversos requisitos, todavia para a análise do desempenho estrutural dos materiais destacam-se a estabilidade e a durabilidade das construções (BALLESTÉ, 2017).

Dentre os materiais empregados estruturalmente, a madeira é o que apresenta a maior variabilidade em suas características físicas e mecânicas. Diante disso, existe uma grande preocupação para que todos os elementos estruturais apresentem resistência mecânica e durabilidade (natural ou por tratamento) suficientes para obter um desempenho satisfatório (MACHADO; CRUZ; NUNES, 2003).

A escolha do tipo de madeira como material estrutural deve considerar que além das propriedades físico-mecânicas existem outros critérios importantes, como: dimensões admissíveis dos nós, limites para a presença de defeitos e ainda como estes fatores influenciam nas propriedades mecânicas do material, de forma a se garantir o nível de desempenho adequado (MACHADO; CRUZ; NUNES, 2003).

Para Ghavami (1989) *apud* Marçal (2008), o bambu apresenta ótimo desempenho estrutural aos esforços atuantes como compressão, torção e flexão, sendo que para a tração seu desempenho é ainda melhor devido ao formato tubular e aos arranjos longitudinais das fibras. O material tem suas características mecânicas influenciadas por questões como: espécie, idade, tipo de solo, clima, época de colheita, teor de umidade das amostras, presença ou ausência de nós e o tipo de teste realizado.

De acordo com Ballesté (2017), os sistemas construtivos com bambu têm sua durabilidade entre 10 a 15 anos em ambientes controlados, desde que sejam feitas as manutenções corretivas, preventivas e preditivas. Para que a durabilidade do material seja atingida, faz-se necessária a utilização de algumas medidas como: a instalação de conectores metálicos nas extremidades dos colmos para dificultar o ataque na área de corte (região mais vulnerável); preparação dos terrenos adjacentes para evitar o risco de ataques por cupins; aplicações de vernizes de proteção e dedetização da estrutura em determinados intervalos de tempo.

Quanto aos tubos de papelão, estes apresentam características mecânicas semelhantes à madeira, uma vez que são derivados dela. Para Shigeru Ban os tubos de papelão são descritos como "madeira evoluída" e as construções feitas com o material tem durabilidade de pelo menos 10 anos (ARCHITECTURE AND URBANISM, 1997 *apud* SALADO, 2011).

Salado (2011)construiu e analisou uma célula teste com tubos de papelão, afirmando que este material possui desempenho técnico e estrutural satisfatório, desde que sejam respeitadas suas caraterísticas e limitações. Os tubos de papelão possuem durabilidade menor que outros materiais quando são expostos a situações de alta agressividade do meio, como umidade e insolação direta, contudo se as condições de uso forem respeitadas e for feito o tratamento para proteção em condições de exposição, estes podem ser uma solução viável técnica e ambientalmente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se os valores apresentados nas tabelas 1 e 2 é possível notar que os três materiais compostos por fibras (madeira, bambu e tubos de papelão) apresentam bons resultados para as propriedades mecânicas abordadas, contudo para evidenciar a comparação faz-se necessário o cálculo da eficiência do material. Segundo Carbonari *et al.* (2017), a eficiência do material é obtida pela razão entre os valores de resistência (compressão e tração) e o peso específico, conforme demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 – Eficiência dos materiais na compressão e tração

	Valor médio Compressão	**Valor Médio Tração**	**Peso específico**	**Eficiência na compressão**	**Eficiência na Tração**
	MPa	MPa	KN/m³	MPa/(KN/m³)	MPa/(KN/m³)
Concreto C20	20,00	2,20	25,00	0,8	0,09
Aço Fe E235	360,00	360,00	78,50	4,59	4,59
Madeira	40,00*	55,00*	5,75	6,96	9,56
Papelão (geral)	7,50*	30,00*	7,00	1,07	4,28
Bambu	29,48	86,96	8,04	3,67	10,82

Fonte: Autores

* Valores médios calculados para aplicação do carregamento na direção paralela às fibras.

Considerando-se que são materiais com baixo peso específico, se comparados ao concreto e ao aço, os três materiais compostos por fibras apresentam valores interessantes de eficiência para resistências à compressão e tração, justificando seu emprego estruturalmente em obras de construção civil.

Nota-se que quando comparados ao concreto C20, os três materiais compostos por fibras superam os valores de eficiência à compressão e tração. Na eficiência à compressão, a madeira em 8,70 vezes, o papelão em 1,34 vezes e o bambu em 4,59

vezes. Quanto à tração, a eficiência do concreto é superada em 106,2 vezes pela madeira, 47,55 vezes pelo papelão e 120,22 vezes pelo bambu.

Comparando ao aço, apenas a madeira supera sua eficiência à compressão, sendo 1,51 vezes maior. Já na tração, a madeira e o bambu superam o aço, sendo 2,08 vezes e 2,36 vezes maior, respectivamente.

Frisa-se que estes valores foram calculados em função do valor médio dos três materiais compostos por fibras, tanto para a resistência à compressão quanto à tração, contudo se tivesse sido considerado o valor máximo para a tração no papelão, este superaria a eficiência do aço. Vale ressaltar também que existem outras espécies de bambu que podem superar a eficiência do aço tanto na compressão quanto na tração.

4 CONCLUSÕES

Após este estudo, pode-se concluir que a madeira, o bambu e o papelão superam os valores de eficiência à compressão e à tração quando comparados ao concreto C20. Com relação ao aço Fe E235, a madeira supera sua eficiência à compressão e à tração, o bambu supera sua eficiência apenas à tração, e o papelão se aproxima da sua eficiência à tração.

Os três materiais compostos por fibras apresentam bons valores de eficiência para resistências à compressão e à tração, o que está relacionado com o seu emprego estruturalmente em obras de construção civil.

Analisando as propriedades mecânicas dos três materiais, constata-se que ambos possuem características semelhantes, obtendo as maiores resistências quando o carregamento é aplicado na direção paralela das fibras.

Os resultados deste estudo reforçam que os três materiais não convencionais abordados (madeira, bambu e tubos de papelão) permitem gerar obras de diversas tipologias satisfazendo o desempenho estrutural e a viabilidade técnica.

Nas construções que utilizam esses três materiais destacam-se algumas vantagens como maior sustentabilidade ambiental, pois a madeira e o bambu são recursos naturais e renováveis e os tubos de papelão são reciclados e recicláveis. Além disso, quando esses materiais são comparados ao concreto e aço, apresentam valores satisfatórios de tração e compressão, principalmente considerando-se o baixo peso específico da madeira, bambu e dos tubos de papelão. No mais, a utilização desses materiais compostos por fibras possibilitam construções secas, mais leves e salubres.

Ressalta-se que os três materiais compostos por fibras podem compor belas e grandes construções, atendendo satisfatoriamente aos requisitos de resistência mecânica, estabilidade e durabilidade. Contudo, para que sejam empregados adequadamente, a escolha do material deve levar em consideração alguns fatores: condições de uso e projeto, local da obra, disponibilidade regional, custo, estética, propriedades térmicas e acústicas, facilidade de construção, necessidade de impermeabilização e tratamento contra fungos e insetos, resistência ao fogo, entre outros.

Frisa-se que em qualquer obra de engenharia é necessário respeitar as limitações do material utilizado, gerando elementos estáveis e resistentes às solicitações de projeto. Com relação a durabilidade de qualquer construção, é necessário o tratamento correto dos elementos, uso e operação adequados, e manutenções periódicas a fim de garantir maior vida útil à estrutura.

O desenvolvimento deste estudo contribui para incentivar a pesquisa e o uso de materiais não convencionais na construção, inclusive para a criação de políticas públicas, visando a sustentabilidade ambiental.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – Brasil – (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

BLAISSE, M. *et al.* **Bambu.** Barcelona: Könemann, 2014.

BRANCO, J. M. **Casas de madeira. Da tradição aos novos desafios.** Guimarães: Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Seminário Casas de madeira, p.75-86, 2013.

CAEIRO, J. G. B. M. **Construção em bambu.** Dissertação (Mestrado). Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Arquitetura, 2010.

BALLASTÉ, J. F. **Desempenho construtivo de estruturas de cobertura com colmos de Bambu.** Dissertação (Mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2017.

CALIL JUNIOR, C.; BARALDI, L. T; STAMOTO, G. C.; FERREIRA, N. S. S. **Set 406 – Estruturas de madeira (Notas de Aula).** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2001.

CARBONARI, G. *et al.* **Bambu – O aço vegetal.** Revista Mix Sustentável – Edição 05, V.3, n.1, p. 17 – 25, 2017.

EECKOUT, M. *et al.* ***Cardboard in architecture*.** Holanda: IOS Press, 2008.

GEROTO, P. G. **Caracterização anatômica e física - por densiometria de raios X – de colmos de Dendrocalamus asper Backer, Dendrocalamus latiflorus Munro e Guadua angustifolia Kunth.** Dissertação (mestrado). Piracicaba : Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifólia*.** Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.1, p.107-114, 2005.

JODIDIO, P. **Shigeru Ban: *Complete Works* 1985-2015**. Taschen, 2015.

LUKASLANG BUILDING TECHNOLOGIES. Disponível em: https://www.lukaslang.com/en/home/. Acesso em 28 de maio de 2019.

MACHADO, J. S.; CRUZ, H.; NUNES, L. **Mitos e factos relacionados com o desempenho de elementos de madeira em edifícios.** Lisboa: 3º ENCORE, Encontro sobre conservação e reabitação de edifícios, 2003.

MARQUES, L. E. M. M. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção.** Dissertação (mestrado). Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2008.

MARÇAL, V. H. S. **Uso do bambu na construção civil.** 2008. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

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

MELLO, R. L. **Projetar em madeira: uma nova abordagem.** Dissertação (Mestrado) Brasília: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, 2007.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. **Sistema construtivo em *wood frame* para casas de madeira**. (Seminário) Londrina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. 2010.

PADOVAN, P. B. **O Bambu na arquitetura: *Design* de Conexões Estruturais**. Dissertação (Pós-Graduação em Design). Bauru: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2010.

PFEIL, W. **Estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: LTC, 5ª edição, 1994.

SALADO, G. C. **Construindo com tubos de papelão: um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban.** Dissertação (mestrado). São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.

SALADO, G. C. **Painel de vedação vertical de tubos de papelão: estudo, proposta e análise de desempenho.** Tese (doutorado). São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.

SHIGERU BAN ARCHITECTS. Disponível em: http://www.shigerubanarchitects.com/works/Acesso: 05/09/20

TECVERDE Engenharia S/A. Disponível em http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/02/Panorama-do-Sistema-Construtivo-Tecverde.pdf. Acesso: 06/01/2017.

TORRES, J.T.C. **Sistemas construtivos modernos em madeira.** Dissertação (mestrado). Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010.

VERMONT TIMBER WORKS. Disponível em https://www.vermonttimberworks.com/our-work/heavytimber-construction/hotels/doubletree-hotel/. Acesso: 29/05/2020.

ZAPARTE, T. A. **Estudo e adequação dos principais elementos do modelo canadense de construção em *wood frame* para o Brasil.** (Trabalho De Conclusão de Curso). Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2014.