

A UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO MATERIAL ESTRUTURAL SUSTENTÁVEL: PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO DE ANDAIMES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Nicolas Ferrari Iaquina – nicolasfiaquina@gmail.com

Victor Marques Macario – victor.macario@hotmail.com

Alfonso Pappalardo Jr. (Orientador) – alfonso.pappalardo@mackenzie.br

RESUMO

Neste artigo, estudou-se os ensaios mecânicos realizados em colmos de bambu, da espécie *Phyllostachys Pubescens*, popularmente conhecido como bambu Mossô. Com esse material, realizou-se um protótipo de andaime fachadeiro, para compreender o processo de montagem e desmontagem.

Com os resultados dos ensaios mecânicos obtidos, observou-se uma resistência à compressão de 60,1 MPa e uma resistência à tração de 114 MPa. Utilizou-se esses valores na análise estrutural realizada por meio do programa SAP2000 com o Método dos Elementos Finitos. Após análise à flambagem utilizando o fator de carga $s=2$ (coeficiente de segurança à flambagem adotado), demonstrou ser possível empilhar 17 módulos com 52 metros de altura, isto equivale a um edifício de 16 andares. Estes resultados demonstram como o bambu é um material promissor para ser utilizado como material estrutural sustentável.

Palavras-chave: Material estrutural sustentável. Bambu. Andaime. Propriedades mecânicas. Modelo de elementos finitos.

USE OF BAMBOO AS A SUSTAINABLE STRUCTURAL MATERIAL IN SCAFFOLDING

ABSTRACT

In this article, the mechanical tests carried out on bamboo stalks, of the *Phyllostachys Pubescens* species, popularly known as Mossô bamboo, were studied. With this material, we made a prototype of facade scaffolding, to understand the execution of the assembly and disassembly process.

The results of the mechanical tests performed showed a characteristic compressive strength of 60.1 MPa, a characteristic tensile strength of 114 MPa. These values were used in the structural analysis performed using the SAP2000 program using the Finite Element Method. After analysis of buckling using the load factor $s=2$ (safety coefficient for buckling adopted), it demonstrated that it is possible to stack 17 modules with 52 meters in height, this is equivalent to a 16-story building. These results demonstrate how bamboo is a promising material to be used as a sustainable structural material.

Keywords: Sustainable structural material. Bamboo. Scaffolding. Mechanical properties. Finite element model.

1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico de um país, mas causa muitos impactos ao meio ambiente devido aos inúmeros recursos não renováveis que são utilizados. Em busca de amenizar tais impactos o setor da Construção Civil vem nos últimos anos buscando alternativas sustentáveis.

Segundo Lopez (1974 apud SERRA, 2015, p.6), a história do bambu remonta ao começo da civilização na Ásia, sendo amplamente aceita a proposição que o bambu teve sua origem no Cretáceo, um pouco antes do início da Era Terciária, que corresponde ao aparecimento do homem. É uma planta que possui uma excelente capacidade de absorver o gás carbônico (CO₂) da atmosfera. Perene, de rápido crescimento e de fácil regeneração, o bambu pode produzir por mais de 30 anos, sem a necessidade de replantio e algumas espécies crescem até 20 centímetros por dia (GONÇALVES, 2018).

De acordo com Pimentel (1997 apud SERRA, 2015, p.8), mesmo sendo reconhecido como material de grande utilidade. Em relação ao uso do bambu na construção civil, ainda existem muitos preconceitos, pois culturalmente o bambu é considerado um material inferior se comparado a outros materiais. No Brasil o uso na construção civil do bambu ainda é muito raro comparado a outros materiais, seu uso tem sido utilizado bastante na área da arquitetura, sofisticando o acabamento nas obras.

À utilização do bambu por parte das civilizações orientais apresenta-se de modo muito abrangente, pode-se citar países como Índia, Hong-Kong, China, onde os bambus são utilizados como andaime em edifícios que podem chegar a 30 andares.

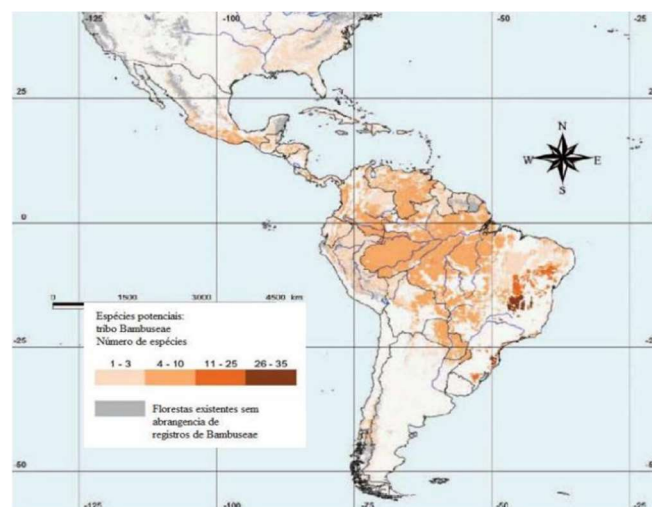
Este trabalho tem como finalidade realizar uma análise estrutural do bambu, e como viabilizar sua utilização nos projetos de andaime. Como realizar o processo de montagem e desmontagem e entender quais limitações e quais as vantagens de utilizar o bambu.

Para a utilização de bambu em larga escala como material estrutural sustentável e com a possibilidade de industrializar-se o processo, é necessário um estudo mais detalhado sobre a plantação, manejo, transporte e mão de obra. O presente trabalho busca realizar uma análise estrutural por meio do programa SAP2000 de um modelo de andaime de bambu.

2 REVISÃO DA LITERATURA

De acordo com Bystriakova (2004 apud COLLA, 2010,p.5), o Brasil apresenta a maior diversidade de espécies de bambu (137), seguido pela Colômbia (70), Venezuela (60), Equador (42), Costa Rica (39), México (37) e Peru (37), como pode ser vista na Figura 1, onde nota-se distribuição desigual do bambu pelas diferentes áreas do país. Na região amazônica nota-se uma grande área de ocorrência, no entanto com um número reduzido de espécies nativas apesar da grande biodiversidade da região, principalmente na fronteira com a Colômbia, um dos países que apresenta uma grande utilização do bambu. Já no interior da região nordestina observa-se uma área de incidência mais reduzida, no entanto com uma maior diversificação de espécies. As regiões sudeste e sul, próximas ao litoral, apresentam condições semelhantes àquelas da região nordestina. Finalmente no centro-oeste as condições assemelham-se àquelas da região amazônica.

Figura1 - Mapa dos Bambus na América.



Fonte: COLLA, Antonio, 2010

Apesar da diversidade de espécies de bambu algumas apresentam características físicas e mecânicas que fazem com que seja mais propício seu uso em elementos estruturais como o andaime que é estudado neste trabalho.

Para projetar uma estrutura, pode-se modelá-la num programa de análise de estruturas através do método dos elementos finitos, e neste presente trabalho será usado o software SAP2000. Esta análise nos mostrará o comportamento da estrutura ao ser submetido à um carregamento e qual a altura máxima que a estrutura suportará, tendo em vista o resultado do ensaio à compressão do bambu.

3 METODOLOGIA

Por meio de uma doação de varas de bambu construiu-se um andaime de bambu no Laboratório de estruturas da Universidade Presbiteriana Mackenzie (Térreo - Prédio 33) que permitiu à realização de estudos sobre: calibração do modelo de elementos finitos (análise estatística), ensaios de caracterização mecânica (ABNT NBR 16828-2 (2020)) e sequência de montagem e desmontagem.

Segundo a ABNT NBR 16828-2(2020) que dispõe sobre a determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu, coletou-se as informações necessárias sobre as varas doadas:

- A. Nome da espécie (botânica e local): Mossô (*Phyllostachys Pubescens*);
- B. Nome da localidade: Vargem Grande Paulista, SP;
- C. Número de touceiras e de colmos selecionados: 250 varas;
- D. Idade dos colmos: 4 anos;
- E. Data de corte e de expedição: Julho/2021.

O bambu Mossô (*Phyllostachys Pubescens*) é um tipo de bambu de caule retilíneo de porte grande, originário da China.

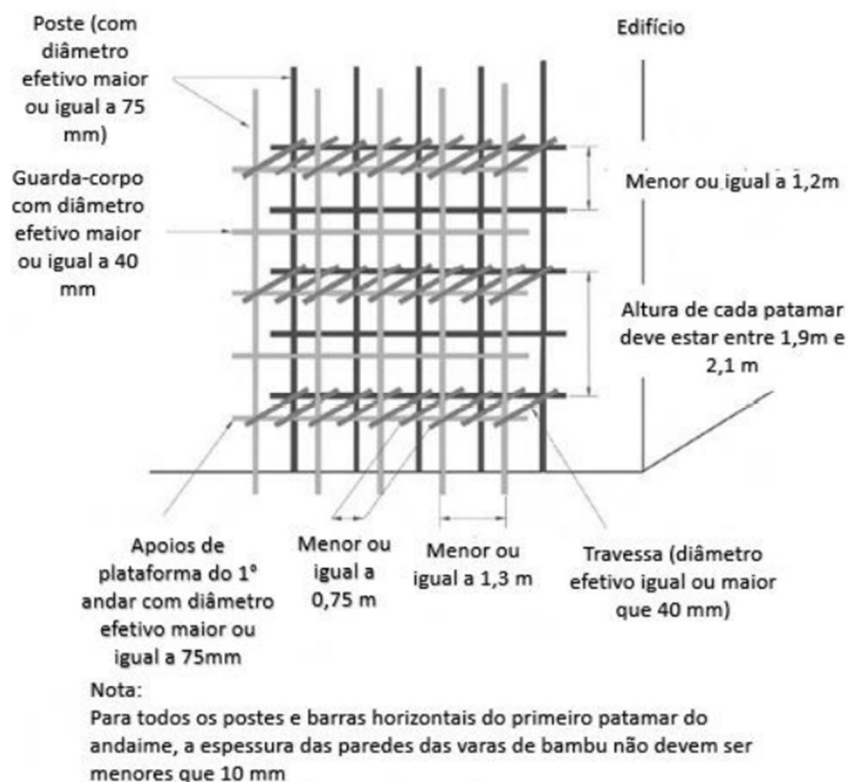
3.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO FÍSICO

Com as varas de bambu doadas, realizou-se um protótipo de um andaime conforme figura 2 que serviu de base para o modelo de elementos finitos no programa SAP 2000. Esta construção foi importante para entender a capacidade de carga das plataformas de trabalho e a

máxima altura que o andaime poderá ser edificado, assim como, proceder na montagem e desmontagem do andaime.

O modelo físico foi baseado segundo (OSHBLD,2017), as dimensões especificadas também foram respeitadas. As varas verticais possuem espaçamentos horizontais entre si de 1,10m. As varas horizontais possuem espaçamentos verticais de 1,00m. A plataforma de trabalho foi realizada com 750mm de largura.

Figura 2 - Modelo de andaime fachadeiro de bambu



Fonte: OSHBLD (2017)- Traduzido.

3.2 AMARRAÇÕES

Considerou-se para a realização da montagem do protótipo do andaime os seguintes materiais: corda de nylon, fitilho de polietileno, corda de sisal e abraçadeira de nylon.

Realizou-se testes com varas de bambu com a corda de nylon, conforme figura 3, a mesma apresentou uma maior aderência em contato com o bambu diminuindo a movimentação vertical e horizontal nas amarrações das varas de bambu. A amarração utilizada para esse teste, foi um nó conhecido como “Amarra quadrada”, que seu objetivo é

unir hastes formando um ângulo de 90°. Este material apresenta a vantagem de, ao depender das condições da corda de nylon, há a possibilidade de se reutilizar o material para uma próxima amarração.

Testou-se também a utilização do fitilho de polietileno, conforme figura 4. Porém as varas de bambu escorregaram do nó, não proporcionando a firmeza necessária para a junção das varas.

Testou-se com corda de sisal, conforme figura 6. A corda apresentou boa aderência com o bambu trazendo firmeza e diminuindo a movimentação vertical e horizontal. Apresenta a possibilidade de reutilização em próximas amarrações a depender de sua condição física, além de ser sustentável.

Efetivou-se a amarração das varas de bambu para montagem do protótipo do andaime com abraçadeira de nylon, conforme figura 6. Tal material possui a vantagem de acelerar o processo de montagem, entretanto o mesmo não é sustentável, pois não apresenta a possibilidade de reaproveitamento após desmontagem, além de ser antieconômica pelo seu alto custo de aquisição.

Figura 3 - Amarra quadrada- corda de nylon



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Figura 4 - Amarra com fitilho de polipropileno



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Figura 5 - Amarra quadrada- corda de nylon



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

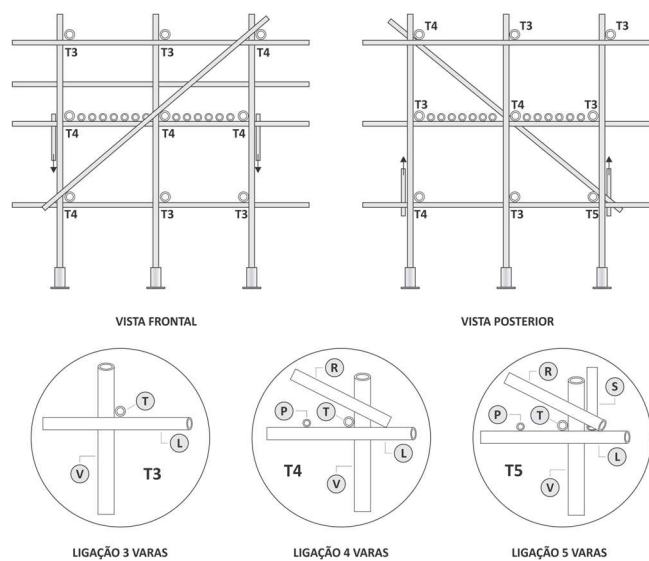
Figura 6 - Amarra com fitilho de polipropileno



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

A figura 7 nos mostra como é o esquema de amarrações no andaime, teremos locais onde serão realizados 3 nós, 4 nós e 5 nós.

Figura 7 - Esquema de ligações nos encontros



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para realizar os ensaios de caracterização mecânica foi realizada a extração conforme indicado na ABNT NBR 16828-2 (2020), das partes basal, média e topo de cada colmo conforme indicado na figura 8, e marcados com as letras B, M e T.

Figura 8 - Corpos de prova extraídos da parte basal, mediana e superior



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Os corpos de prova foram colocados na prensa, de modo que o centro do cabeçote da prensa coincidissem com o centro geométrico da seção transversal.

Os corpos de prova foram cortados com uma altura aproximadamente igual ao seu diâmetro externo. As superfícies foram lixadas para torná-las lisas para que não tivesse nenhuma farpa que pudesse atrapalhar o ensaio e que houvesse uma distribuição uniforme das tensões.

O ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção da Universidade Presbiteriana Mackenzie (Térreo - Prédio 6). Utilizou-se a prensa Amsler.

3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Realizou-se também, seguindo todo o procedimento detalhado na NBR 16828-2 (ABNT, 2020), o ensaio de resistência à tração paralela às fibras. Para a execução do ensaio, retirou-se os corpos de prova de partes do colmo do bambu.

Para preparar os corpos de provas a serem posicionados na máquina, foram colocadas lâminas metálicas nas extremidades da tira de bambu e coladas firmemente com cola TEK BOND 493 conforme mostrado na figura 9, para facilitar o posicionamento no aparelho de ensaio. Os resultados dos ensaios quando a ruptura se der na região das lâminas, devem ser desconsiderados.

Figura 9 - Corpos de prova preparados para ensaio à tração



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

O equipamento utilizado para o ensaio foi um Zwick-Roell Universal Testing Machine com capacidade de carga de 10kN, localizado no laboratório de processamento de materiais poliméricos, do curso de Engenharia de Materiais, na Universidade Presbiteriana Mackenzie. Para execução do ensaio, o corpo de prova deve ter uma seção transversal retangular, com seu trecho central entre 50 mm e 100 mm de comprimento. Com isso, o material foi posicionado na máquina, e aplicando sobre ele uma carga contínua. Conforme mostrado na figura 10. Logo após os ensaios mecânicos deve-se determinar o teor de umidade, segundo a ABNT NBR 16828-2 (2020), deve-se preparar na mesma quantidade de corpos de prova ensaiados, em formato prismático com cerca de 25mm de largura, 25mm de comprimento e espessura igual à da parede do colmo. As amostras devem ser colhidas e armazenadas em condições que assegurem o teor de umidade até a realização dos ensaios.

Figuras 10 - Ensaio de resistência à tração paralela às fibras



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

3.5 MODELAGEM NO PROGRAMA SAP 2000 COM ANÁLISE POR MEIO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.

O modelo físico foi realizado no programa AUTOCAD (2020) e posteriormente importado para o programa SAP2000.

Com os resultados dos ensaios à compressão e tração extraídos por meio dos ensaios realizados, inseriu-se estes dados no programa SAP2000. Para tal modelagem foi utilizado o modelo elástico linear com cargas estáticas como peso próprio e as sobrecargas de utilização pelo método dos elementos finitos.

Com isso conseguiu-se extrair três modos de análise:

1. **Análise Estática Elástica-Linear:** para verificação de flecha e segurança da plataforma;
2. **Análise Estática Elástica-Linear:** para verificação do número de módulos que podem ser empilhados com segurança (resistência à compressão paralela das fibras);
3. **Análise de Estabilidade:** para verificação da segurança à flambagem da estrutura

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na tabela 1 são apresentados os resultados encontrados no ensaio de resistência à compressão, conforme a ABNT NBR 16828-2, a extração foi realizada da parte basal, média e topo. Não apresentando nó conforme à norma.

Tabela 1 - Ensaios de Resistência à compressão.

Corpo de prova	Carga (N)	Área (mm ²)	Resistência a compressão (MPa)
B1	100000	1599,9	62,5
B2	75000	1225,2	61,2
B3	143000	2456,2	58,2
M1	65000	1080,0	60,2
M2	102000	1597,6	63,8
M3	90000	1462,6	61,5
T1	75000	1327,5	56,5
T2	70000	1324,3	52,9
T3	130000	2022,2	64,3

Fonte: Autores (2021)

A resistência característica à compressão foi de 60,1 MPa. A maior diferença entre as resistências características observada entre a base, meio e o topo foi de 6,74%. Pode-se observar que na região mediana obteve-se maior resistência média à compressão do que em comparação às outras 2 regiões. E foi à região que apresentou o menor desvio padrão entre as regiões ensaiadas.

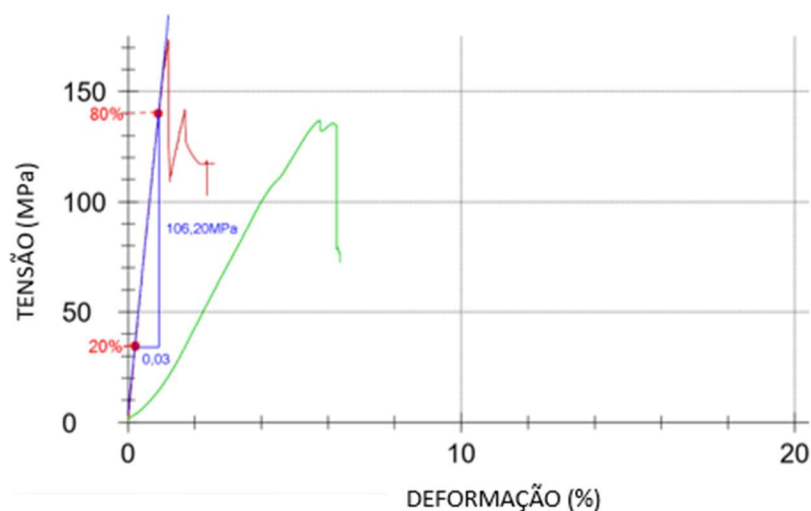
Segundo Hidalgo- López (2003 apud MOTA,2017 ,p.22) nos ensaios de compressão da maior parte das espécies de bambu, parte superior do colmo tem apresentado maior resistência à compressão.

4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

O ensaio foi realizado aplicando gradualmente uma carga sobre o corpo de prova, a fim de se determinar a resistência à tração paralela às fibras. Após todos os ensaios realizados, chegou-se a uma resistência à tração média dos ensaios de 114 MPa com desvio padrão de 9,57 e resistência característica de 98,2 MPa.

Em um dos ensaios realizados, apresentou-se uma resistência de 103 MPa. Deste ensaio extraiu-se o gráfico de tensão x deformação para o cálculo do módulo de elasticidade, conforme figura 11.

Figura 11 - Diagrama tensão x deformação



Fonte: Relatório importado da Zwick-Roell Universal Testing machine - 2021

Pelo fato de não se utilizar o extensômetro devido ao tamanho do corpo de prova e a dimensão do equipamento, adotou-se o relatório importado da máquina Zwick-Roell conforme figura 12:

Figura 12 : Relatório de resultado do ensaio tração realizados na máquina Zwick-Roell Universal

No.	E_t MPa	E_{Sec} GPa	σ_{x1} MPa	σ_Y MPa	ϵ_Y %	$\epsilon_Y (Corr.)$ %	σ_M MPa	ϵ_M %
1	16000	15.1	165	173	1.2	1.2	173	1.2
2	980	1.31	-	137	5.8	5.9	137	5.8

— Curva Azul
— Curva Verde

Fonte: Relatório importado da Zwick-Roell Universal Testing Machine - 2021

Conforme relatório: $E_b = 16000 \text{ MPa} = 16 \text{ GPa}$

4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO FÍSICO

O modelo do andaime físico construído foi realizado segundo (OSHBLD,2017), conforme figura 13. A montagem do andaime iniciou-se pelas varas verticais posicionando

os espaçamentos horizontais requeridos conforme modelo, posteriormente posicionou-se as varas horizontais seguindo o espaçamento e amarrou as ligações. Foi realizado mais um módulo seguindo o mesmo procedimento. Posteriormente foi inserido travessas para ligação entre os dois módulos, em seguida foram realizadas amarrações. Para o prosseguimento vertical do andaime basta apenas seguir com novas varas verticais e amarrações nas já existentes e posteriormente as horizontais e realizar a repetição do processo indicado.

Para realizar a desmontagem do andaime o processo deve ser o inverso ao indicado na montagem, primeiro a retirada das travessas que fazem a amarração entre os módulos horizontais, posteriormente a retirada das varas horizontais e por fim a retirada das varas verticais. Caso haja mais de um módulo vertical é necessário seguir o mesmo processo retirando primeiro a junção dos módulos horizontais e posteriormente a retirada da junção entre os módulos verticais.

Figura 13 - Protótipo do andaime fachadeiro em bambu



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

4.4 MODELAGEM NO PROGRAMA SAP2000

Segundo a ABNT NBR 6120 (2019) o item 6.5 Ações de construção, diz que as ações de construção devem ser consideradas nas estruturas em que haja risco de ocorrências de

estados-limites. As combinações de ações e respectivos coeficientes de ponderação devem ser considerados conforme a ABNT NBR 8681(2004).

Dentre os itens cujas ações podem ser significativas durante a fase de construção o que se enquadra no presente trabalho:

- Reações de apoio de andaimes e plataformas de trabalho (simplesmente apoiados, suspensos, em balanço, etc.).

Na análise do modelo de elementos finitos após a inserção das propriedades físicas do bambu Mossô (*Phyllostachys Pubescens*) e das propriedades geométricas das seções transversais consideradas na análise.

Figura 14 - Ligações dos elementos finitos PÓRTICO 3D (a) Plano YZ = 0 (b) Plano YZ=0,75m

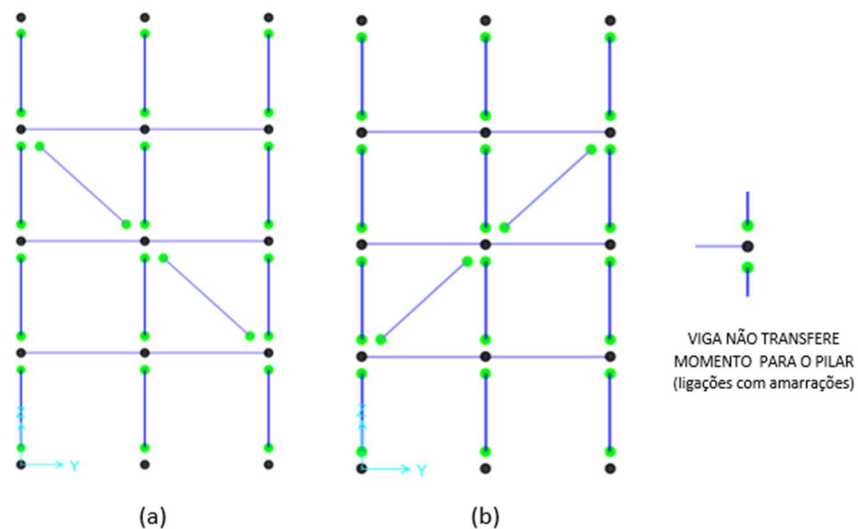
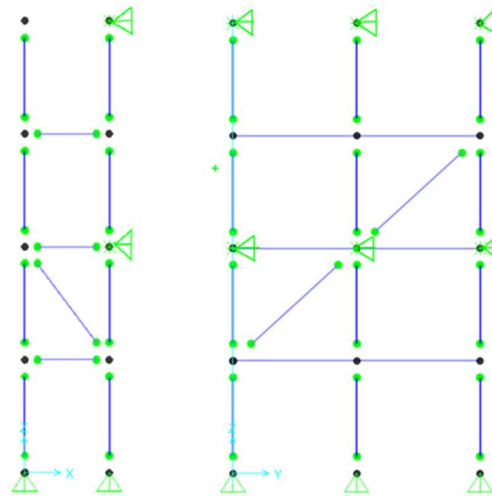
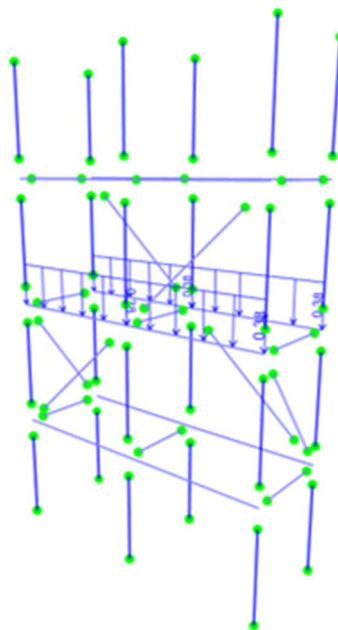


Figura 15- Vinculação do modelo simplesmente apoiado na base e ancorado na parede nos níveis das plataformas de trabalho



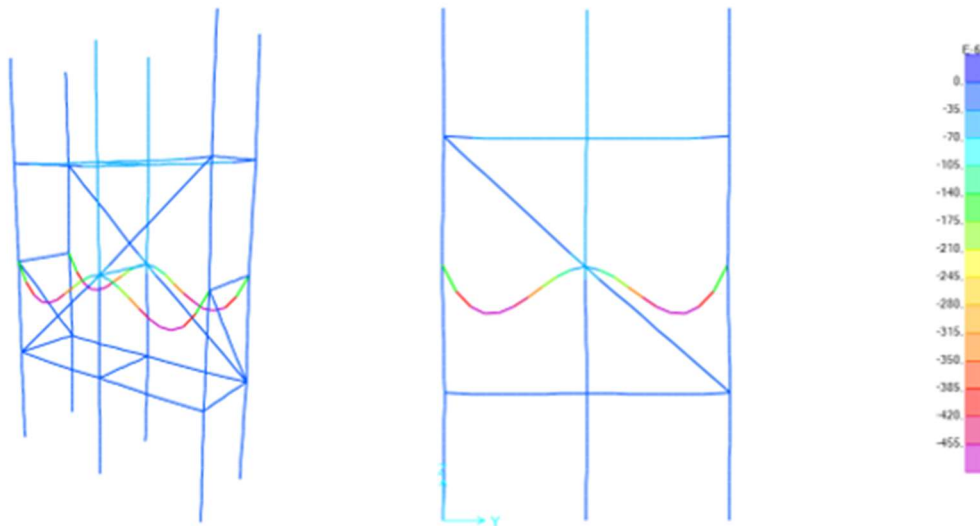
Foi realizado o carregamento da plataforma com 1kN/m^2 transferido para as vigas de apoio. As vigas de apoio são varas que foram inseridas horizontalmente na região da plataforma de trabalho.

Figura 16 - Carregamentos devido à sobrecarga de utilização da plataforma



Análise Estática Elástica-Linear.

Figura 17 - Deslocamentos verticais devidos ao peso próprio dos elementos estruturais e construtivos (travessas e deck) e sobrecarga de utilização da plataforma



Flecha $0,5\text{mm} < \text{flecha-limite} \rightarrow L/300 = 1000/300 = 3\text{mm} \rightarrow \text{Atende.}$

Os maiores deslocamentos ocorreram na região da plataforma, como era esperado antes da análise, as cargas do peso próprio dos elementos construtivos e da sobrecarga de utilização da plataforma são transferidas imediatamente e com mais intensidade as varas horizontais presentes na região.

Figura 18 - Força normais devidas ao peso próprio dos elementos estruturais e construtivos (travessas e deck) e sobrecarga de utilização da plataforma ($N_k^{\text{min}} = -0,66 \text{ kN}$)

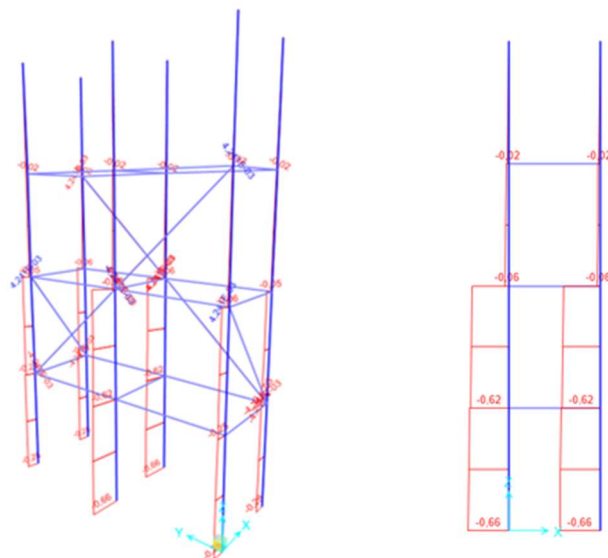
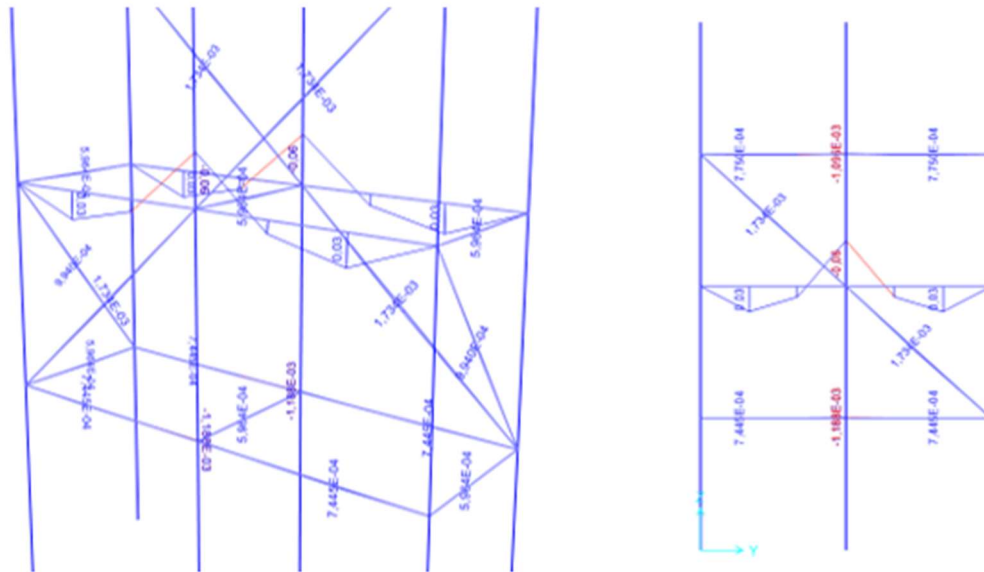


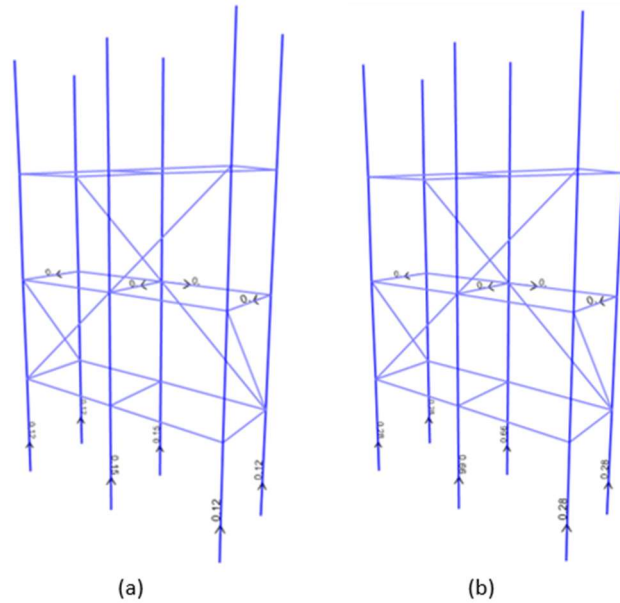
Figura 19 - Momentos fletores devidos ao peso próprio dos elementos estruturais e construtivos e sobrecarga de utilização da plataforma ($M_k^{\text{máx}} = 0,03 \text{ kN.m}$ / $M_k^{\text{mín}} = -0,06 \text{ kN.m}$)



Conforme pode-se ver na figura 18 as maiores forças normais, devido ao peso próprio dos elementos construtivos e sobrecarga de utilização, foram alcançadas na base do andaime visto que há à transferência de esforços pela estrutura à plataforma dissipa o carregamento nas varas horizontais que servem como vigas e dissipam a carga nas varas verticais que servem de pilares posteriormente vindo a se dissipar na parte inferior da vara vertical do andaime, por isso à importância das varas verticais no andaime apresentarem um diâmetro maior que as varas horizontais e das travessas. Sendo na base da vara vertical central onde ocorre à força normal mínima.

Conforme observado na Figura 19 o momento máximo, devido ao peso próprio dos elementos construtivos e sobrecarga de utilização, ocorreu nas varas horizontais na região da plataforma onde foi aplicado às cargas. É relevante observar o momento mínimo que ocorre na vara vertical na região da plataforma de trabalho. Estes dois resultados são importantes para observar onde serão os pontos de tração e compressão na peça, como pode-se observar o bambu apresenta maior resistência característica à tração do que em comparação com à compressão, portanto deve-se atentar principalmente ao valor mínimo negativo, que apresentou valor de $M_k^{\text{mín}} = -0,06 \text{ kN.m}$.

Figura 20 - Reações de apoio devidas (a) ao peso próprio da estrutura (b) ao carregamento total da estrutura ($R_{\text{vert},k}^{\text{máx}} = 0,66 \text{ kN}$)



Cálculo do número de módulos empilhados com segurança

Item 10.2.3 da NBR 16828:1 (ABNT, 2020):

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{1,4 \cdot 0,66 \times 10^3}{\pi/4 \cdot (70^2 - 50^2)} = 0,49 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

sendo:

$$\sigma_{Nd} \cdot N \leq f_{c0,d} = 0,4 \cdot 60 = 24 \text{ MPa}$$

$$N \leq 48 \text{ módulos}$$

Deve-se verificar a segurança à flambagem global da estrutura.

Verificação da segurança à flexão:

Item 9.2.1 da NBR 16828:1 (ABNT, 2020):

$$\sigma_{cd} = \frac{M_d}{W} = \frac{M_d \cdot \bar{D}}{2 \cdot I} = \frac{1,4 \cdot 0,06 \times 10^6 \cdot 50}{2 \cdot \pi/64 \cdot (50^4 - 45^4)} \approx 20 \text{ MPa}$$

sendo:

$$I = \frac{\pi \cdot (\bar{D}^4 - \bar{d}^4)}{64} \text{ onde: } \bar{d} = \bar{D} - 2\bar{t}$$

$$\sigma_{cd} \leq f_{M,d} = 0,49 \cdot 60 \approx 30 \text{MPa}$$

$$\sigma_{cd} = 20 \text{MPa} \leq f_{M,d} = 30 \text{MPa}$$

Atende à verificação $\rightarrow s=1,5$

Análise da flambagem:

Foi realizada a montagem da matriz de rigidez geométrica pela teoria geométrica não-linear para grandes deslocamentos.

Figura 21 - 1º Modo de flambagem da estrutura associado ao fator de carga (autovalor) $s=64$ (coeficiente de segurança à flambagem) levando-se em consideração o carregamento total de um módulo

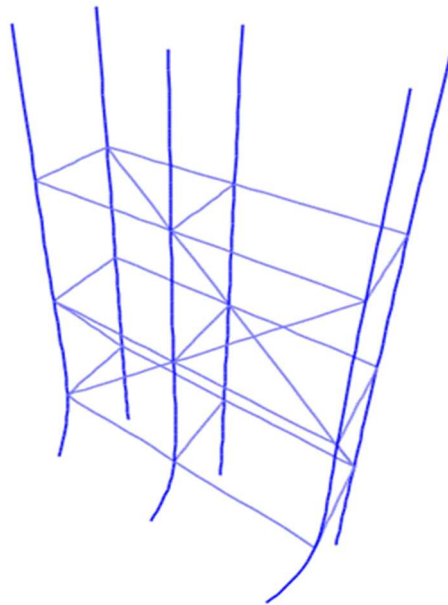
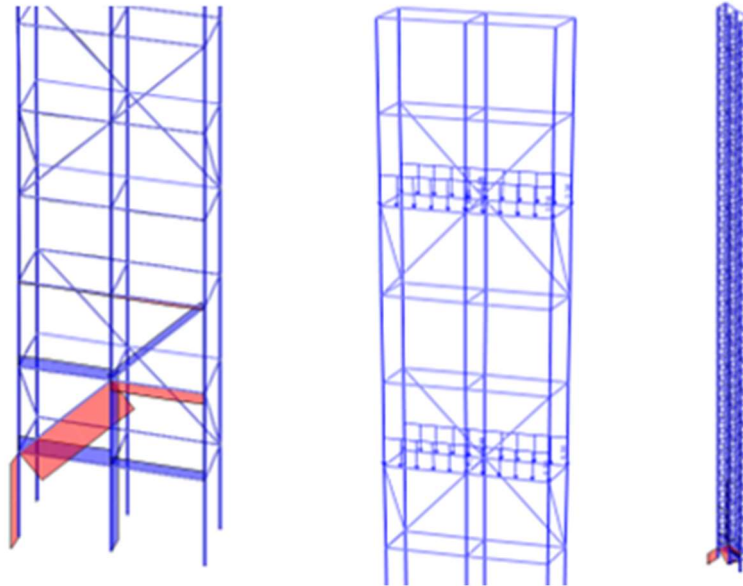


Figura 22 - 1º Modo de flambagem da estrutura associado ao fator de carga $s=2$ (coeficiente de segurança à flambagem adotado) levando-se em consideração o carregamento total de um módulo com altura total da estrutura $H=52$ metros (1º lance: pé-direito 4m e demais 3 metros)



O total de módulos empilhados (levando em conta à segurança ao esmagamento e à segurança à flambagem) são 17 módulos → 52 metros.

Pode-se observar que quando realizada à análise apenas de um módulo do andaime ter-se-ia um coeficiente de segurança à flambagem de $s=64$. Quando se observa com um coeficiente de segurança ao esmagamento e à segurança à flambagem $s=2$, obtém-se que é possível empilhar 17 módulos → 52 metros, isto equivale a um edifício de 16 andares.

Em relação ao modelo estrutural de elementos finitos, é relevante destacar que seguindo à ABNT NBR 16828-1(2020), os seguintes itens foram considerados:

- As conexões devem ser consideradas rotuladas, à menos que informação comprovadamente justificada defina como fixas (item 11.1 da NBR 16828-1(ABNT, 2020));
- As extremidades de elementos estruturais que convergem em uma ligação podem ser geralmente consideradas livres para rotacionar (item 12.2.4 da NBR 16828-1(ABNT, 2020));
- Deslizamentos nas articulações devem ser considerados na verificação da resistência da estrutura, a menos que sua influência sobre a distribuição de forças internas e

momentos possa ser considerado desprezível. (item 12.2.5 da NBR 16828-1 (ABNT, 2020).

6 CONCLUSÃO

Realizou-se uma análise pelo método dos elementos finitos por meio do programa SAP2000 e ela nos mostrou a possibilidade de se construir um andaime de bambu e utilizá-lo nos diversos canteiros de obras espalhados pelo Brasil. Podendo, como analisado neste trabalho, chegar a uma altura de 52 metros, o que corresponde a um edifício de 16 andares.

Com tal análise, possibilitou-se encontrar o local de maior força normal e de momentos fletores máximos e mínimos, localizados na região da plataforma de trabalho. Estes resultados demonstraram que na base do andaime, apresentou-se à força normal mínima.

Foi possível verificar que o Brasil possui grande diversidade de bambu, porém o seu processo de industrialização e custo não estudado no presente trabalho pode vir a elucidar de maneira mais sofisticada a real viabilidade da utilização deste material nas obras.

Ressalta-se a grande importância das normas associadas ao material e todos que contribuíram para sua realização ABNT NBR 16828-1(2020) e ABNT NBR 16828-2 (2020). Destaca-se o projeto de norma: PN 002.126.012-002 - Varas de bambu para o uso estrutural: colheita, tratamento imunizante, classificação pelo diâmetro. Em elaboração, a Comissão de Estudos ABNT/CE-002:126.012 pretende estimular o mercado dos materiais de construção e intensificar o uso do bambu em todas as classes sociais.

Agradecimentos

Os autores agradecem demasiadamente a Universidade Presbiteriana Mackenzie pela disponibilização dos laboratórios e dos recursos necessários ao desenvolvimento deste projeto.

Agradecemos o auxílio dos laboratoristas José Adão Alves e Mauro Cardoso pelo auxílio nos ensaios realizados.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16828-1: estruturas de bambu - parte 1: projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16828-2: estruturas de bambu - parte 2: determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

COLLA, Wandivaldi Antonio. Efeito do tratamento térmico nas características físicas e mecânicas do bambu. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/AnaNakamura/publication/336408712>.

GONÇALVES, Diva. Bambu é alternativa de renda na produção familiar. EMBRAPA, [S. l.], p. 1-1, 15 maio 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34230725/bambu-e-alternativa-de-renda-na-producao-familiar>. Acesso em: 25 abr. 2021.

MOTA, Izabel de Oliveira da; PEREIRA, Michel de Azevedo; DAMACENA, Pedro Coelho; SANTOS, Luis Claudio Belmonte dos. Estudo das propriedades físicas e mecânicas do bambu brasileiro (*Bambusa vulgaris vittata*) para aplicação na construção de sistemas hidráulicos alternativos de distribuição de água à baixa pressão. Revista de Estudos Ambientais, [s. l.], 16 jun. 2017.

SERRA, Marcus Vinícius Cardoso; DA SILVA, Thiago Henrique Lira. O uso do bambu como um material sustentável na construção civil. Manaus, 2015. 16 p. Dissertação (Engenharia Civil) - Centro Universitário Fametro, Manaus, 2015. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_-_uso_do_bambu_0.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH BRANCH LABOUR DEPARTMENT (OSHBLD). Code of Practice for Bamboo Scaffolding Safety. 4th ed. Hong Kong: Labour Department, sept.2017. Disponível em: <https://www.labour.gov.hk/eng/public/os/B/Bamboo.pdf>.