

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

RONNE VON PEDRO DA SILVA

ANÁLISE ESTÁTICA DE UM GAZEBO DE BAMBU LOCALIZADO NO CENTRO DE  
TECNOLOGIA DA UFPB

João Pessoa, PB

2019

RONNE VON PEDRO DA SILVA

ANÁLISE ESTÁTICA DE UM GAZEBO DE BAMBU LOCALIZADO NO CENTRO DE  
TECNOLOGIA DA UFPB

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal da Paraíba como pré-requisito para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Andrea Brasiliano Silva

João Pessoa, PB

2019

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S586a Silva, Ronne Von Pedro da.

Análise estática de um gazebo de bambu localizado no  
Centro de Tecnologia da UFPB / Ronne Von Pedro da  
Silva. - João Pessoa, 2019.

69 f. : il.

Orientação: Andrea Brasiliano Silva.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Análise estática. 2. Sustentabilidade. 3. Bambu. I.  
Silva, Andrea Brasiliano. II. Título.

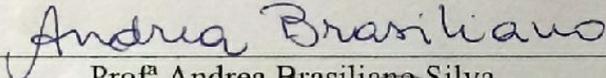
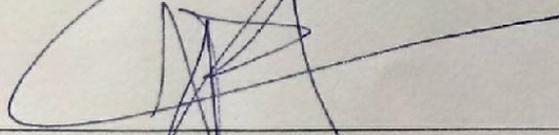
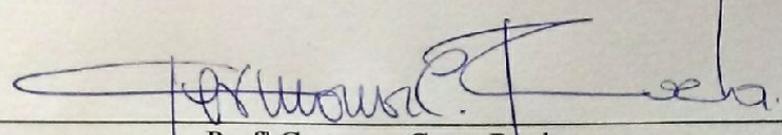
UFPB/BC

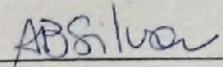
## FOLHA DE APROVAÇÃO

**RONNE VON PEDRO DA SILVA**

### **ANÁLISE ESTÁTICA DE UM GAZEBO DE BAMBU LOCALIZADO NO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFPB CONSIDERANDO A AÇÃO DO VENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso em 09/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

 _____ Profª Andrea Brasiliano Silva Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>
 _____ Profº Hidelbrando Farkat Diógenes Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>
 _____ Profª Germana Costa Rocha Departamento de Arquitetura e Urbanismo do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Andrea Brasiliano Silva  
Matrícula Siape: 1549557  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

À minha família, que faz de tudo para transformar meus sonhos em realidade, dedico.

## AGRADECIMENTOS

A meus mestres, que ao longo dos anos utilizaram do seu amor e paixão pelo ensino para estimular o gosto pelo conhecimento em seus alunos.

A meus pais que, em todos os momentos difíceis, em toda tribulação, em toda situação conflitante sempre estiveram ao meu lado, dando-me apoio.

À professora Andrea Brasiliano pela atenção e paciência no desenvolver desse trabalho.

Ao amigo Lisarb Brasil, que dedicou um pouco do seu tempo e do seu conhecimento para me auxiliar e me orientar.

Às mulheres e aos homens que dedicam sua vida à ciência e à divulgação do conhecimento científico, pois é através deles que podemos compreender melhor quem somos e construir um mundo mais justo.

Aos amigos que fiz durante a estadia na UFPB, com eles toda essa aventura teve mais valor. Hoje, levo comigo um pouco da humanidade e do bom coração de cada um.

À minha companheira, Rúbia Fontes, que está sempre ao meu lado, sonhando e crescendo junto a mim.

“Os que são loucos o suficiente para pensar que podem mudar o mundo, são aqueles que realmente o fazem”.

Steve Jobs

## RESUMO

Em uma sociedade globalizada, na qual questões climáticas ganham notoriedade entre as pessoas, a indústria da construção civil tem procurado novas alternativas para minimizar os impactos das suas atividades ao meio ambiente. Esse trabalho tem como objetivo geral a análise do comportamento estático de um gazebo de bambu - considerando a ação do vento que atua sobre a estrutura. Foi necessária a elaboração de um modelo numérico que possibilitasse a execução da análise estática da estrutura. Inicialmente, analisou-se o comportamento das varas de bambu que sustentavam o telhado ecológico sob o qual atuavam as cargas oriundas do vento, da placa solar e do próprio telhado. Em seguida, examinaram-se os esforços atuantes no telhado de bambu - no qual não se considerou a atuação do vento. Por último, obtiveram-se os esforços atuantes nos pórticos que sustentavam e recebiam as cargas oriundas das varas de sustentação dos telhados. Comparando os valores das tensões máximas obtidas na análise estática para cada tipo de barra existente na estrutura do gazebo aos resultados de tensões admissíveis médias para o bambu foi possível observar que as tensões de tração estão bem abaixo do valor limite médio, que é o de 89,96 MPa. Contudo, algumas das tensões de compressão atuantes na estrutura atingem valores mais próximos aos do limite médio, que é de 29,48 MPa. Nesse estudo foi possível notar que as maiores tensões ocorreram nas barras de sustentação do telhado ecológico, o que se deve, provavelmente, à pouca inércia das seções transversais dessas barras e que, mesmo para as situações mais adversas de atuação das cargas, ou seja, nos casos de tensão máxima de tração e de tensão máxima de compressão, o bambu se mostrou um material capaz de suportar as maiores tensões atuantes na estrutura.

Palavras-chave: Análise estática. Sustentabilidade. Bambu.

## ABSTRACT

*In a globalized society, where climatic issues are gaining notoriety among people, the construction industry has sought new alternatives to minimize the impacts of its activities on the environment. This work has as general objective the analysis of the static behavior of a bamboo gazebo - considering the action of the wind that acts on the structure. It was necessary the elaboration of a numerical model that would allow the execution of the static analysis of the structure. Initially, the behavior of the bamboo sticks that supported the ecological roof under which the loads from the wind, the solar plate and the roof itself acted were analyzed. Then, the efforts on the bamboo roof were examined - in which the wind performance was not considered. Finally, the efforts were made in the porticos that supported and received the loads coming from the support rods of the roofs. Comparing the values of the maximum tensions obtained in the static analysis for each type of rod in the gazebo structure to the results of average permissible stresses for the bamboo, it was possible to observe that the tensile stresses are well below the average limit value, which is 89.96 MPa. However, some of the compressive stresses acting on the structure reach values closer to the average limit, which is 29.48 MPa. In this study, it was possible to observe that the highest stresses occurred in the support bars of the ecological roof, which is probably due to the low inertia of the cross sections of these bars and that even for the most adverse situations of load action, in cases of maximum tensile stress and maximum compression stress, the bamboo shows a material able to withstand the highest tensions acting on the structure.*

*Keywords: Static analysis. Sustainability. Bamboo.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Barras de sustentação apenas do telhado ecológico e barras de sustentação do telhado ecológico e da placa solar .....	16
Figura 2- Barras verticais maiores .....	17
Figura 3- Barras verticais menores .....	17
Figura 4 - Barras transversais maiores e menores .....	18
Figura 5 - Barras de sustentação do telhado de bambu .....	19
Figura 6 - Pórtico (i) .....	19
Figura 7- Pórtico (ii) .....	20
Figura 8 - Logotipo da Conferência Rio 92 .....	22
Figura 9 - Plantação de bambu no estado da Bahia .....	24
Figura 10 - Casa construída com parte da estrutura feita em bambu .....	25
Figura 11 - Pousada de ecoturismo nas montanhas de Nankun - China .....	26
Figura 12 - Catedral de Pereira, Colômbia. ....	26
Figura 13 - Isopletas da velocidade básica $V_o$ (m/s) .....	30
Figura 14 - Coeficientes de pressão em coberturas isoladas a uma água plana .....	32
Figura 15 - Posicionamento dos nós criados por ligações barra-parafuso .....	34
Figura 16 - Nomeação dos parafusos - Vista frontal .....	35
Figura 17 - Nomeação dos parafusos – Barras verticais dianteiras .....	35
Figura 18 - Nomeação dos parafusos – Barras verticais traseiras .....	36
Figura 19 - Gazebo de bambu .....	37
Figura 20 - Parafusos ligando barras verticais menores a barras verticais maiores .....	37
Figura 21 - Apoios barras verticais maiores .....	44
Figura 22 - Representação da altura livre e dos catetos opostos e adjacentes do telhado .....	48
Figura 23 - Coeficientes de pressão para vento atuando perpendicularmente à estrutura .....	49
Figura 24 - Pontos médios entre as barras de sustentação do telhado ecológico .....	50
Figura 25 - Vento agindo perpendicularmente ao plano do telhado no sentido positivo .....	54
Figura 26 - Vento agindo perpendicularmente ao plano do telhado no sentido negativo .....	54
Figura 27 - Vento agindo paralelamente à geratriz do telhado no sentido do ponto mais baixo para o ponto mais alto do telhado .....	55
Figura 28 - Vento agindo paralelamente à geratriz do telhado no sentido do ponto mais alto para o ponto mais baixo do telhado .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades das barras de sustentação do telhado e placa solar .....	38
Tabela 2 - Propriedades das barras de sustentação apenas do telhado .....	38
Tabela 3 - Propriedades das barras verticais maiores .....	39
Tabela 4 - Propriedades das barras verticais menores .....	39
Tabela 5 - Propriedades das barras transversais maiores .....	39
Tabela 6 - Propriedades das barras transversais menores.....	40
Tabela 7 - Propriedades das barras de sustentação do telhado de Bambu.....	40
Tabela 8 - Propriedades dos parafusos .....	40
Tabela 9 - Resistência à tração das partes basal, centro e topo, com e sem nó, do bambu Guadua angustifolia .....	41
Tabela 10 - Resistência à compressão das partes basal, centro e topo, com e sem nó, do bambu Guadua angustifolia.....	42
Tabela 11 - Fator $S_2$ .....	46
Tabela 12 - Valores mínimos do fator estatístico $S_3$ .....	47
Tabela 13 - Dados referentes ao telhado da estrutura.....	47
Tabela 14 - Cargas de vento atuantes no telhado para coeficientes de pressão positivos .....	51
Tabela 15 - Cargas de vento atuantes no telhado para coeficientes de pressão negativos .....	51
Tabela 16 - Carga de vento atuando do ponto mais baixo para o mais alto do telhado .....	52
Tabela 17 - Cargas de vento atuando do ponto mais alto para o mais baixo do telhado.....	53
Tabela 18 - Tensões de tração máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na primeira situação de carga.....	56
Tabela 19 - Tensões de compressão máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na primeira situação de carga .....	57
Tabela 20 - Tensões de tração máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na segunda situação de carga.....	57
Tabela 21 - Tensões de compressão máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na segunda situação de carga.....	58
Tabela 22 - Tensões de tração máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na terceira situação de carga.....	58
Tabela 23 - Tensões de compressão máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na terceira situação de carga.....	59

Tabela 24 - Tensões de tração máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na quarta situação de carga.....	59
Tabela 25 - Tensões de compressão máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na quarta situação de carga.....	60
Tabela 26 - Tensões máximas atuantes nas barras do tipo (vii) .....	60
Tabela 27 - Tensões de tração máximas atuantes nos pórticos na primeira situação de carga	61
Tabela 28 - Tensões de compressão máximas atuantes nos pórticos na primeira situação de carga.....	61
Tabela 29 - Tensões de tração máximas atuantes nos pórticos na segunda situação de carga.	62
Tabela 30 - Tensões de compressão máximas atuantes nos pórticos na segunda situação de carga.....	62
Tabela 31 - Tensões de tração máximas atuantes nos pórticos na terceira situação de carga ..	62
Tabela 32 - Tensões de compressão máximas atuantes nos pórticos na terceira situação de carga.....	63
Tabela 33 - Tensões de tração máximas atuantes nos pórticos na quarta situação de carga ....	63
Tabela 34 - Tensões de compressão máximas atuantes nos pórticos na quarta situação de carga.....	63

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo geral .....	14
1.1.2 Objetivos específicos .....	14
2. METODOLOGIA.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	21
3.1 SUSTENTABILIDADE .....	21
3.1.1 Conceito.....	21
3.1.2 Histórico do desenvolvimento sustentável .....	21
3.1.3 Sustentabilidade na Construção Civil.....	23
3.1.4 Bambu.....	23
3.1.5 Uso do bambu na Construção Civil.....	25
3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL .....	27
3.2.1 História e conceito .....	27
3.2.2 Análise estática .....	28
3.3 AÇÃO DO VENTO .....	28
4. DADOS EXPERIMENTAIS.....	33
4.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS .....	33
4.2 LEVANTAMENTO E DESCRIÇÃO DA GEOMETRIA .....	33
4.2.1 Nomeação dos nós do modelo .....	33
4.2.2 Nomeação dos elementos da estrutura.....	34
4.2.3 Aferição das medidas de projeto .....	36
4.3 FERRAMENTA COMPUTACIONAL.....	37
4.3.1 Modelagem .....	38
4.4 TENSÕES ADMISSÍVEIS.....	41
5. MODELO NUMÉRICO.....	43

6.	RESULTADOS .....	45
6.1	AÇÕES DO VENTO .....	45
6.1.1	Velocidade Base .....	45
6.1.2	Fator topográfico $S_1$ .....	45
6.1.3	Fator $S_2$ .....	45
6.1.4	Fator $S_3$ .....	46
6.1.5	Vento agindo perpendicularmente à geratriz da cobertura.....	47
6.1.6	Vento agindo paralelamente à geratriz da cobertura .....	51
6.2	ANÁLISE ESTÁTICA DO GAZEBO .....	53
6.2.1	Barras do telhado ecológico .....	53
6.2.2	Pórticos .....	60
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	65
8.	REFERÊNCIAS .....	66

## 1. INTRODUÇÃO

Em um mundo globalizado, em que questões climáticas ganham notoriedade na sociedade, a indústria da construção civil tem buscado novas alternativas para suavizar os impactos das suas atividades ao meio ambiente com estudos e pesquisas sobre a utilização de materiais alternativos que possam diminuir o intenso consumo de recursos naturais e mitigar a geração de poluentes.

Com o aumento dos debates acerca desse tema, muitos países e organizações têm criado leis ambientais mais rígidas e os governos estão solicitando que as construções tenham cada vez mais cuidado como a preservação da fauna e da flora ao seu redor. O empresariado do ramo imobiliário também vem percebendo essa demanda e entende que as denominadas “construções verdes” e os “empreendimentos inteligentes” conquistam muitos consumidores e estão, a cada dia que passa, mais valorizados.

Como resultado do desenvolvimento da tecnologia dos materiais e das inovações nos projetos estruturais, o bambu tem se tornado uma opção a todo esse processo de substituição das matérias-primas convencionais em obras, pois traz grandes retornos tanto financeiros quanto ecológicos, já que o bambu além de ser um material limpo, renovável, de fácil obtenção e manejo, possui características que propiciam seu uso na engenharia e na arquitetura de modo geral.

A utilização de bambu nos mais variados tipos de estruturas não é muito recente, mas as pesquisas nessa área e o desenvolvimento de normas regulamentadoras nacionais começaram há pouco tempo. A análise estática para a determinação dos esforços atuantes em estruturas desse tipo aparece, dessa forma, como mais uma das inúmeras linhas de pesquisa relacionadas a esse material.

Sob essa narrativa, esse trabalho procura difundir informações e expandir o conhecimento sobre a importância da sustentabilidade na Indústria da Construção Civil, analisar uma estrutura de bambu sob o ponto de vista estático e dar continuidade sobre o estudo do comportamento de estruturas desse tipo. Além do que busca trazer dados para que possam ser utilizados em estudos posteriores.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Esse trabalho tem como meta geral a análise do comportamento estático de um gazebo de bambu - considerando a ação do vento que atua sobre a estrutura - localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, com vistas ao entendimento de como atuam os esforços.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para a obtenção do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- i. Propor uma modelagem que se aproximasse do comportamento real da estrutura
- ii. Realizar a análise estática da estrutura
- iii. Verificar as tensões máximas atuantes na estrutura
- iv. Comparar as tensões atuantes na estrutura com as tensões admissíveis do material

## 2. METODOLOGIA

Para a realização dessa pesquisa, foi necessária a elaboração de um modelo numérico que permitisse a execução da análise estática da estrutura. O modelo proposto para o gazebo apresentava uma geometria igual à da estrutura real e, para chegar ao modelo numérico final, foi preciso definir as hipóteses quanto às características físicas e geométricas da estrutura. Para isso, utilizaram-se os dados dos ensaios feitos por Alves (2018), que determinaram a densidade e módulo de elasticidade do bambu cujos resultados seriam utilizados em um software de análise estrutural. Ademais, foram definidas as condições de contorno e os tipos de elementos a serem considerados no programa computacional para o modelo.

Outro ponto importante para a análise estática do gazebo foi que: primeiro se analisou o comportamento das varas de bambu que sustentavam o telhado ecológico sob o qual atuavam as cargas oriundas do vento, da placa solar e do próprio telhado. Em seguida, examinaram-se os esforços atuantes no telhado de bambu - no qual não se considerou a atuação do vento. Por último, obtiveram-se os esforços atuantes nos pórticos que sustentavam e recebiam as cargas oriundas das varas de sustentação dos telhados. Para determinação das cargas do vento, utilizou-se o método proposto na ABNT NBR 6123 que determina as ações dessa natureza em estruturas abertas.

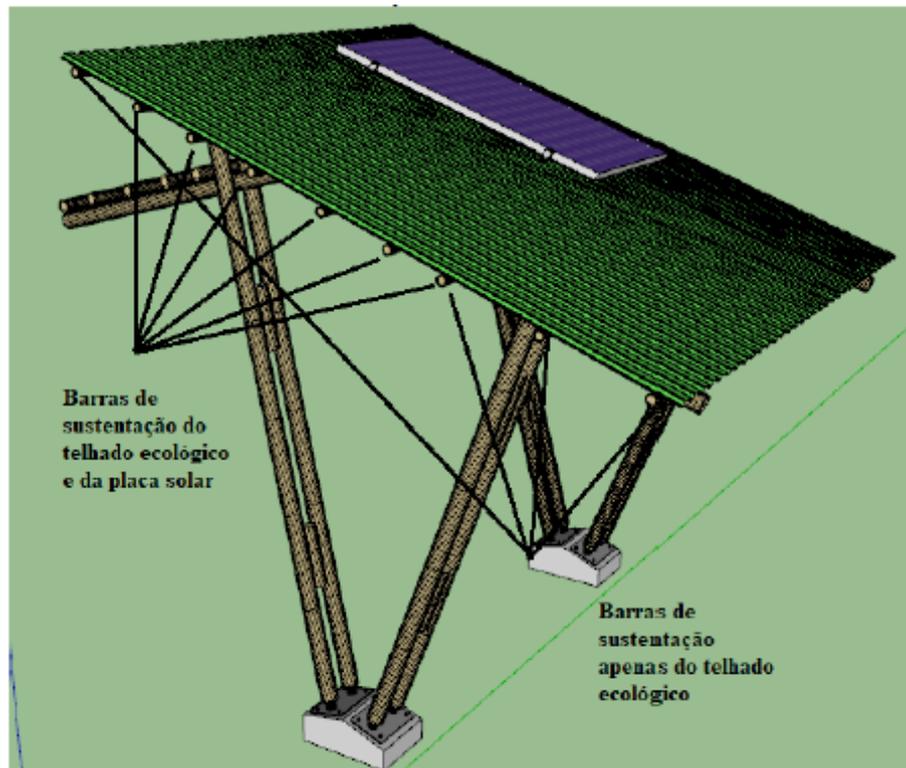
Para a concepção final do modelo, foi necessária uma intensa análise do comportamento da estrutura para que fossem formuladas as hipóteses acerca das condições de contorno e das configurações de seus elementos.

A modelagem proposta para a análise estática assemelha-se à primeira modelagem proposta por Alves (2018) que distribuiu as barras de bambu em grupos. A modelagem 1 da análise dinâmica propunha que as barras verticais menores funcionavam como elementos de junção entre as barras verticais maiores. Já o modelo desenvolvido para a análise estática considerou que as barras maiores são ligadas às barras menores por parafusos que permitem pequenas rotações e deslocamentos relativos entre as barras. As barras transversais menores e as barras transversais maiores também foram ligadas às barras verticais maiores por meio de parafusos. Na modelagem, os grupos formados foram os seguintes:

- i. Barras de sustentação do telhado ecológico e da placa solar: Encontram-se abaixo da placa solar e do telhado ecológico, suportando então a carga destes dois elementos. A Figura 1 representa essas barras.

- ii. Barras de sustentação apenas do telhado ecológico: Localizam-se exclusivamente sob o telhado ecológico, de modo que recebe apenas o peso deste. A Figura 1 também apresenta essas barras.

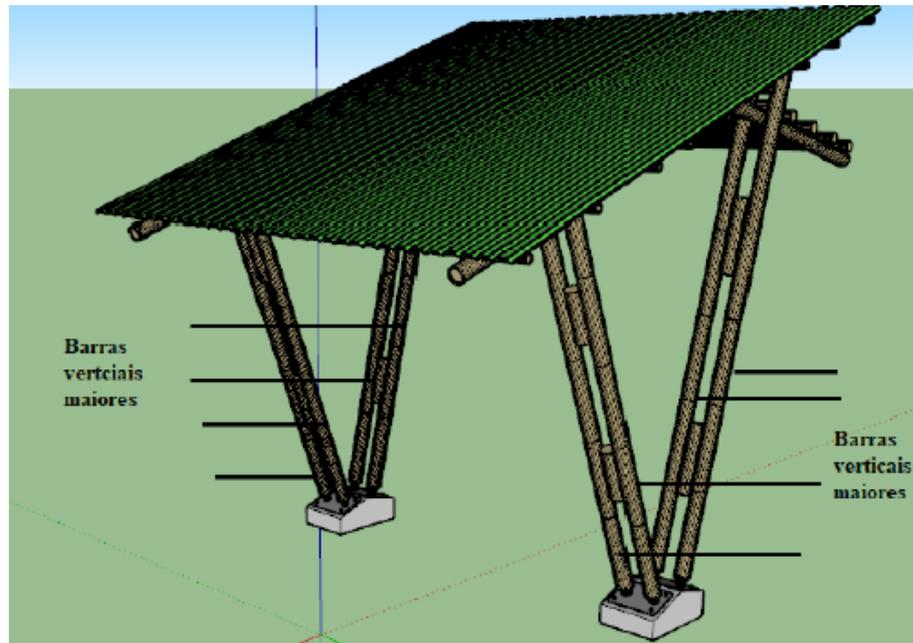
Figura 1- Barras de sustentação apenas do telhado ecológico e barras de sustentação do telhado ecológico e da placa solar



Fonte: ALVES, 2018

- iii. Barras verticais maiores: Funcionam como os pilares do gazebo sendo responsáveis pela sua sustentação, além de conectar as barras do teto ao chão (Figura 2).

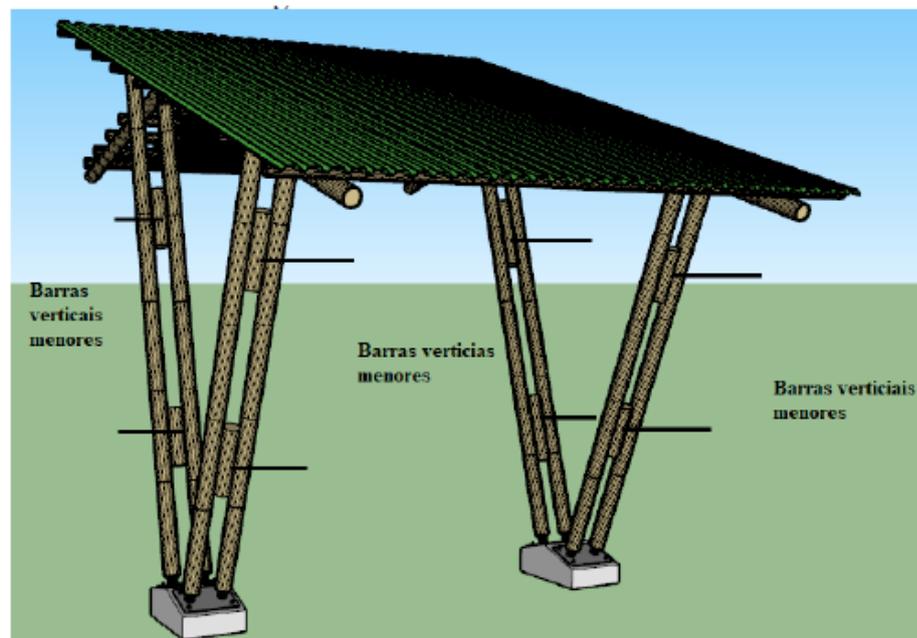
Figura 2- Barras verticais maiores



Fonte: ALVES, 2018

- iv. Barras verticais menores: Estão ligadas as barras verticais maiores e funcionam como elemento de junção de duas barras verticais maiores, além de servir na arquitetura do gazebo (Figura 3).

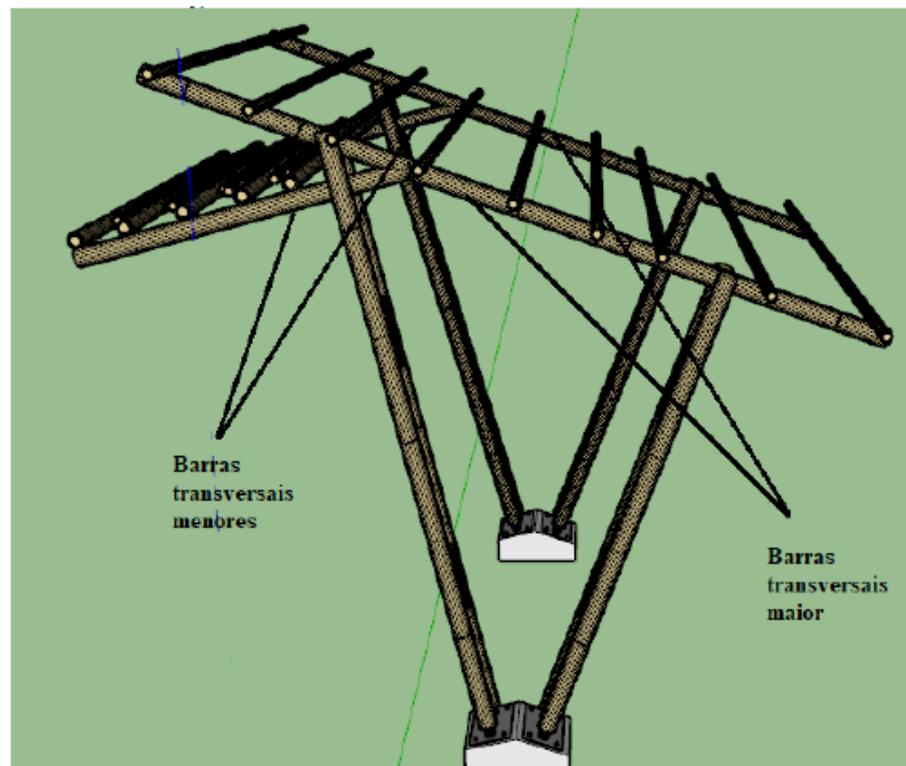
Figura 3- Barras verticais menores



Fonte: ALVES, 2018

- v. Barras transversais maiores: Prendem as barras sob o telhado ecológico e a placa solar com as barras verticais maiores. Estas sustentam o peso das barras descritas em i e ii
- vi. Barras transversais menores: Sustentam o peso das barras (vii) e as unem com as barras verticais maiores (Figura 4).

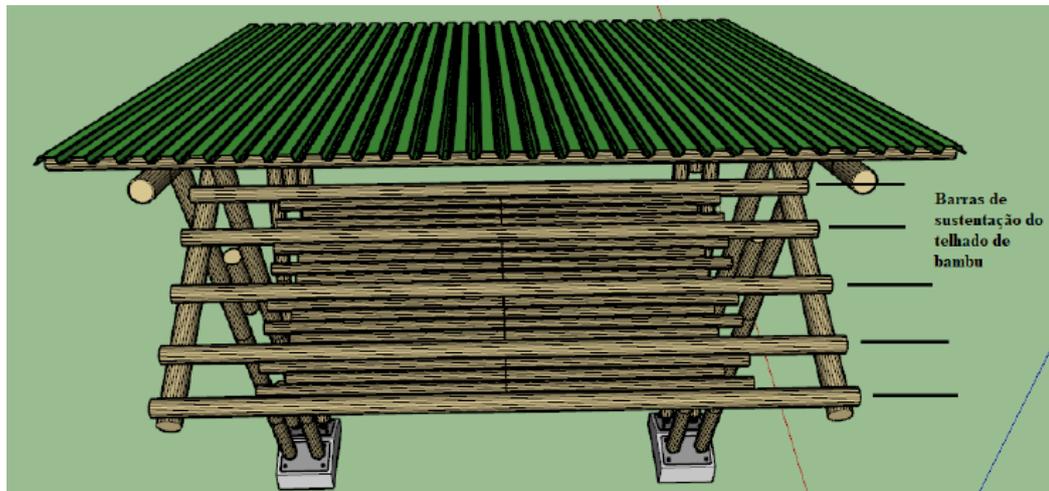
Figura 4 - Barras transversais maiores e menores



Fonte: ALVES, 2018

- vii. Barras de sustentação do telhado de Bambu: São barras estruturais do telhado que suportam a carga das demais (Figura 5).

Figura 5 - Barras de sustentação do telhado de bambu

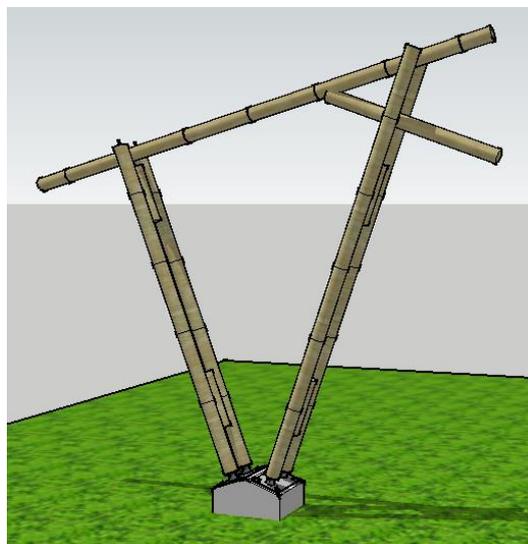


Fonte: ALVES, 2018

Tais tipologias foram assim agrupadas por possuírem as mesmas características de seção transversal e exercer o mesmo papel na estrutura. No tocante às situações de contorno utilizou-se a hipótese de que as barras verticais maiores se ligam ao chão por apoios elásticos que limitam parcialmente as rotações (ALVES, 2018).

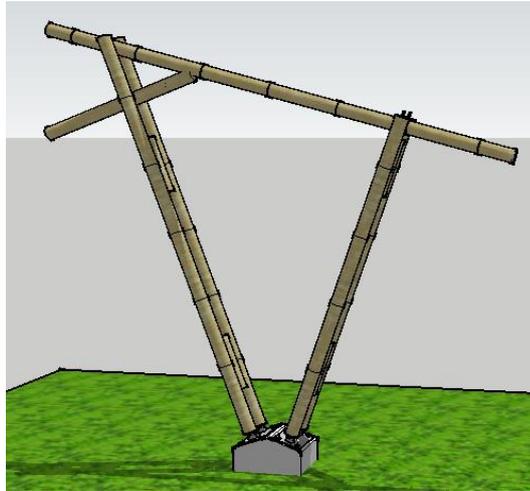
As barras de tipo iii, iv, v e vi juntas compõe dois pórticos que foram denominados: Pórtico (i) e Pórtico (ii), como podemos ver na Figura 6 e na Figura 7. Os Pórticos em questão, apesar de terem sido projetados para serem simétricos, apresentam algumas diferenças em relação às suas geometrias.

Figura 6 - Pórtico (i)



Fonte: Adaptado de (ALVES, 2018)

Figura 7- Pórtico (ii)



Fonte: Adaptado de (ALVES, 2018)

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 SUSTENTABILIDADE

##### 3.1.1 Conceito

Sustentabilidade é um termo bastante difundido e amplamente debatido hoje em dia e essa expressão é utilizada, muitas vezes, para reverberar um antigo anseio sofista de uma sociedade mais integrativa. Existe o entendimento de que só é possível alcançar a sustentabilidade por meio de um pragmatismo de desenvolvimento que tenha por objetivo o bem-estar social com o equilíbrio entre economia, cultura e meio ambiente. Tal modelo deve ser concebido dentro da coerência de uma revisão histórica.

##### 3.1.2 Histórico do desenvolvimento sustentável

Vários marcos político-científicos contribuíram para uma melhor percepção do atual modelo de desenvolvimento no tocante à sustentabilidade, dentre os quais podemos citar:

O Clube de Roma, que reuniu, em 1968, estudiosos que buscavam fazer projeções para as populações futuras. Tais estudos contrapunham o exponencial crescimento da população diante da limitada capacidade dos recursos do planeta, e, como resultado, viu que essa situação desencadearia uma enorme crise na história da humanidade (CORAZZA, 2005).

A Conferência sobre o meio ambiente humano (Conference on the Human Environment) realizada em Estocolmo pela ONU em 1972. Nessa conferência houve um debate sobre as atribuições dos países ricos e o acelerado crescimento demográfico em países subdesenvolvidos, com enfoque ambiental (PASSOS, 2009).

Em 1983, a Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (WCED) é criada. É a partir disso que a ONU define o seu conceito de desenvolvimento sustentável. Tal comissão foi criada com a finalidade de propor estratégias que funcionariam a longo prazo e trariam ao mundo um desenvolvimento sustentável ideal por volta do ano 2000 (MOTTA, 2009).

Em 1987, o WCED publica o relatório Brundtland. Relatório esse que declara ao mundo que o consumo sem controle dos recursos naturais é uma ação que provocará o colapso dos ecossistemas, e sugere que toda a humanidade se engaje na procura por soluções (MOTTA, 2009).

Em 1988, Andrew Brennan sugere que o papel da ecologia não é buscar explicar para a sociedade os problemas ambientais, mas sim mostrar como o ser humano tem que agir nas sociedades urbanas complexas (MOTTA, 2009).

O Brasil foi, em 1992, sede da Rio'92. Nessa conferência foram discutidas metas e ações que seriam tomadas pelos países para que se minorasse a exacerbada diferença entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos e para que se preservasse os recursos naturais do planeta. Como resultado dessa reunião, obteve-se a Agenda 21, que destacava a importância de cada país em se engajar na busca por soluções para um desenvolvimento sustentável. A ideia era criar um plano de ação em que governo e sociedade civil buscassem aliviar, os impactos que a ação humana causa ao meio ambiente. (MOTTA, 2009)

Figura 8 - Logotipo da Conferência Rio 92



Fonte: Brasil Escola<sup>1</sup>

Em 1997, surge o Protocolo de Kyoto, que tinha o objetivo de fazer com que os países se comprometessem a diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa em 5,2%, em relação aos níveis de 1990 no período de 2008 a 2012. Os especialistas acreditavam que a emissão exagerada de CO<sub>2</sub> e de outros gases estaria causando o aquecimento global, fenômeno traria graves consequências para a vida na Terra (DECICINO, 2019).

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/eco-92.htm>> Acesso em 16 de agosto de 2018

### 3.1.3 Sustentabilidade na Construção Civil

Qualquer que seja o setor da economia, há a necessidade de que as empresas estejam atentas ao que a sociedade, na qual estão atuando, demanda e, dessa forma, as políticas ambientais têm se tornado uma exigência crescente em todos os ramos (YEMAL, TEIXEIRA e NÄÄS, 2011).

Em meados do século XX, as empresas apenas objetivavam garantir seus lucros sem dar a devida atenção ao dano ambiental que suas atividades pudessem causar, mas esse princípio mudou e os empresários começaram a perceber que desenvolvendo atitudes corretas do ponto de vista ecológico estariam valorizando os seus produtos, passando uma visão positiva de sua marca aos demais setores da sociedade, ganhando espaço na concorrência do mercado (YEMAL, TEIXEIRA e NÄÄS, 2011).

Na construção Civil não é diferente, pois a quantidade de resíduos produzidos por este setor se tornou um dos maiores temas no tocante à sustentabilidade e há inúmeras pesquisas e debates que objetivam desenvolver os conceitos e medidas que promovam a sustentabilidade no setor, porém é preciso que todas as informações obtidas sejam bem direcionadas e conectadas (YEMAL, TEIXEIRA e NÄÄS, 2011).

Há também uma busca por desenvolver modelos de política e de gestão de empreendimentos que buscam uma utilização coerente com os conceitos sustentáveis propostos (YEMAL, TEIXEIRA e NÄÄS, 2011).

### 3.1.4 Bambu

Planta nobre, originária do sul da Índia e cultivado no Brasil inteiro, o bambu é da família Poaceae e da subfamília Bambusoideae. Existem dois grandes grupos de bambus: os lenhosos e os herbáceos e o sucesso da reprodução de qualquer espécie de bambu vai depender, basicamente, da adaptação da espécie ao clima e ao local de cultivo (ARAÚJO, 2017).

Figura 9 - Plantação de bambu no estado da Bahia



Fonte: Uol<sup>2</sup>

O bambu apresenta em sua fibra propriedades antibacterianas e é um vegetal muito resistente e uma das suas características típicas é a de que não há uma desfolhação, sendo esta algo inerente a outros vegetais. Ele tem o potencial de fixar mais carbono do que as árvores, favorecendo, assim, no combate ao efeito estufa de uma maneira mais eficaz. Exerce muito bem a função de proteger o solo contra erosões e pode ser plantado em terrenos acidentados, além do que pode ser utilizado para recuperação de áreas degradadas, pois não requer solo com alta fertilidade e propaga-se em regiões inóspitas, em ambientes em que outros vegetais não conseguiriam sobreviver (CARVALHO & SOARES, 2016).

Boogaard (2016) afirma que esse material tem como características físicas alta resistência, baixo peso, alta flexibilidade e isolamento térmico, mostrando ser um insumo capaz de atender às necessidades da construção civil no que tange a sustentabilidade. Em decorrência dessas propriedades, as obras que utilizam o bambu apresentam bons níveis de resistência a abalos sísmicos.

O bambu não é conhecido largamente pela pelos países do ocidente e toda a literatura do Brasil relacionada a essa planta é, ainda, muito escassa e, na maioria das vezes, restrita a poucos resultados de pesquisas mostrados em congressos científicos. Aqui no Brasil, o bambu tem uma utilização bem pequena se comparado a outras árvores ou madeiras, apesar de suas amplas possibilidades de ser utilizado como material fibroso. A espécie Bernsen é a mais utilizada para a geração de energia e para a produção de celulose e papel (PADOVAN, 2010).

---

<sup>2</sup> Disponível em: < <https://sfagro.uol.com.br/bahia-projeto-bambu/> > Acesso em 20 de agosto de 2018

### 3.1.5 Uso do bambu na Construção Civil

Os materiais utilizados na construção civil de origem industrial dispõem grandes recursos financeiros e demandam uma grande quantidade de energia em sua produção. Alguns desses materiais são utilizados em larga escala, como o concreto e o aço. Contudo, existem outros materiais que vêm sendo pesquisados e explorados em estruturas pelo mundo. Tendo em vista essa conjuntura, e a preocupação com a preservação dos recursos da natureza, minimização da poluição e manutenção de um ambiente sustentável, o setor da construção civil tem dado uma maior importância à utilização de materiais de origem renovável, pois esses atendem a muitas das premissas fundamentais para o futuro da humanidade (MARÇAL, 2008).

O uso de bambu pela Indústria da construção Civil tem sido muito estudado por diversas instituições ligadas a pesquisa, pois, apesar de ser um material muito utilizado em outras culturas, apenas recentemente vem sendo difundido no Brasil. As estruturas em bambu podem ser utilizadas em áreas externas para sombreamento, proteção contra processos erosivos, quebra vento e drenagem, ou em áreas internas para decoração, revestimento de paredes ou artesanatos. Além dessas funções o bambu também tem sido usado como estruturas para pilares, vigas, lajes e telhados (MARÇAL, 2008).

Figura 10 - Casa construída com parte da estrutura feita em bambu



Fonte: Bolg AUM MAGIC<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Disponível em: < <http://aumagic.blogspot.com/2011/12/uso-do-bambu-na-construcao-civil.html>> Acesso em 20 de agosto de 2018

Esse material é, há muito tempo, utilizado nas construções tradicionais em países asiáticos. Nos últimos anos, arquitetos ao redor do mundo todo redescobriram o bambu e começaram a utilizá-lo nas mais modernas obras públicas (OLIVEIRA, 2013).

Figura 11 - Pousada de ecoturismo nas montanhas de Nankun - China



Fonte: O Pórtico.com<sup>4</sup>

Figura 12 - Catedral de Pereira, Colômbia.



Fonte: O Pórtico.com<sup>5</sup>

Ao se analisar a fácil integração entre o plantio, o corte, o carregamento, manejo e a resistência do bambu, além dos inúmeros possíveis usos desse material, entende-se o que tem levado os mais diversos segmentos da sociedade e do mercado econômico a denominá-lo

---

<sup>4</sup> Disponível em: <<http://o-portico.blogspot.com/2016/01/as-obras-de-simon-velez-construcoes-em.html>> Acesso em 21 de agosto de 2018

<sup>5</sup> Disponível em: <<http://o-portico.blogspot.com/2016/01/as-obras-de-simon-velez-construcoes-em.html>> Acesso em 21 de agosto de 2018

como a madeira do século XXI, sendo muito útil para a criação de moradias, a fim de assistir classes sociais menos favorecidas (ADAMS, 1997).

O bambu se apresenta também como opção quando a finalidade é proporcionar trabalho, renda e moradia a setores da sociedade com menor poder aquisitivo, pois é um material de fácil manejo, tem um baixo custo de produção e oferece pouco impacto ao meio ambiente (OLIVEIRA, 2006).

O bambu apresenta vantagem para ser utilizado no Brasil, devido à boa adaptação ao clima tropical úmido do país. Apesar de todas as aparentes vantagens do uso dessa planta na construção civil, há também algumas desvantagens como os produtos utilizados contra o ataque de pragas e insetos e os processos de tratamento para conservação do material às intempéries (OLIVEIRA, 2013).

## 3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

### 3.2.1 História e conceito

A análise estrutural é uma das etapas mais importantes na elaboração do projeto de qualquer estrutura, seja qual for o material que a constitua (FRANÇA, 2015). É nessa etapa que se obtém a resposta da estrutura perante as ações que lhe foram aplicadas. Resumidamente, é na análise estrutural que se calculam os esforços e os deslocamentos solicitantes nas partes componentes de um sistema estrutural.

É a partir da análise estrutural que podemos examinar as respostas às ações que variam ou não ao longo do tempo em construções e edificações. As ações estáticas, como o peso próprio da estrutura, revestimento e sobrecarga, são aquelas que, para efeito de cálculo, não variam em intensidade, direção e sentido ao longo do tempo. Essas cargas são definidas e quantificadas, no Brasil, pela NBR 6118 de 2014. Já as ações dinâmicas, como vento, explosões, ondas, terremotos e tráfego de veículos ou de pessoas, são as que variam alguma de suas grandezas ao longo do tempo.

Qualquer que seja a análise estrutural realizada por um sistema computacional, é necessária a adoção de um modelo matemático que procure aproximar-se ao seu

comportamento real. É o que se denomina de “Modelo Estrutural” (LEET, UANG e GILBERT, 2009).

Tempos atrás, os modelos estruturais mais difundidos se baseavam somente em processos aproximados e os elementos da estrutura eram tratados separadamente. Atualmente, através de um desenvolvimento cada vez maior na capacidade de processamento dos computadores, tem-se a possibilidade de se fazer uma análise bem mais completa e detalhada. Para se calcular um pórtico tridimensional, por exemplo, leva-se apenas alguns poucos segundos, a depender da complexidade da estrutura (LEET, UANG e GILBERT, 2009).

### 3.2.2 Análise estática

Dentro da análise estrutural, temos a análise estática, que consiste em examinar, nas estruturas, as respostas às ações levando em conta que estas não sofrem variação em intensidade, direção e sentido ao longo do tempo. Para a execução da análise estática é necessário conhecer as cargas que atuam sobre a estrutura e todos os tipos de vinculações que as barras têm entre si e com os apoios (MARTHA, 2010).

Na execução da análise, utilizam-se alguns métodos com os quais é possível determinar as reações de apoio e os esforços atuantes ao longo das barras que compõem o modelo estrutural. Esses métodos são: o Método das Forças e o Método dos Deslocamentos (MARTHA, 2010).

Através dessa análise, é possível determinar os esforços, tensões e deformações atuantes nas estruturas e, com isso, projetar e dimensionar os mais diversos tipos de obras de engenharia.

## 3.3 AÇÃO DO VENTO

Irminger e Nokkentved (1930) foram os precursores das pesquisas que estudam a ação do vento em construções civis. Em 1936, eles contribuíram com o estudo de um modelo de cobertura isolada a duas águas planas iguais. Através de estudos em escala

real, Robertson, Hoxey e Moran (1985) identificaram a importância da consideração de obstruções colocadas sob as coberturas (MAKOWSKI, 2004 *apud* BLESSMANN, 1985).

No Brasil, a NBR 6123 é a Norma técnica que estabelece as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação do vento para efeitos de cálculo em edificações. O item 4.2 dessa norma determina as forças estáticas devidas ao vento do seguinte modo:

i. a velocidade básica do vento,  $V_o$ , adequada ao local onde a estrutura será construída, é determinada de acordo com o disposto em 5.1 da norma.

ii. a velocidade básica do vento é multiplicada pelos fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  para ser obtida a velocidade característica do vento,  $V_k$ , para a parte da edificação em consideração, de acordo com os itens 5.2 ao 5.5 da norma:

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (1)$$

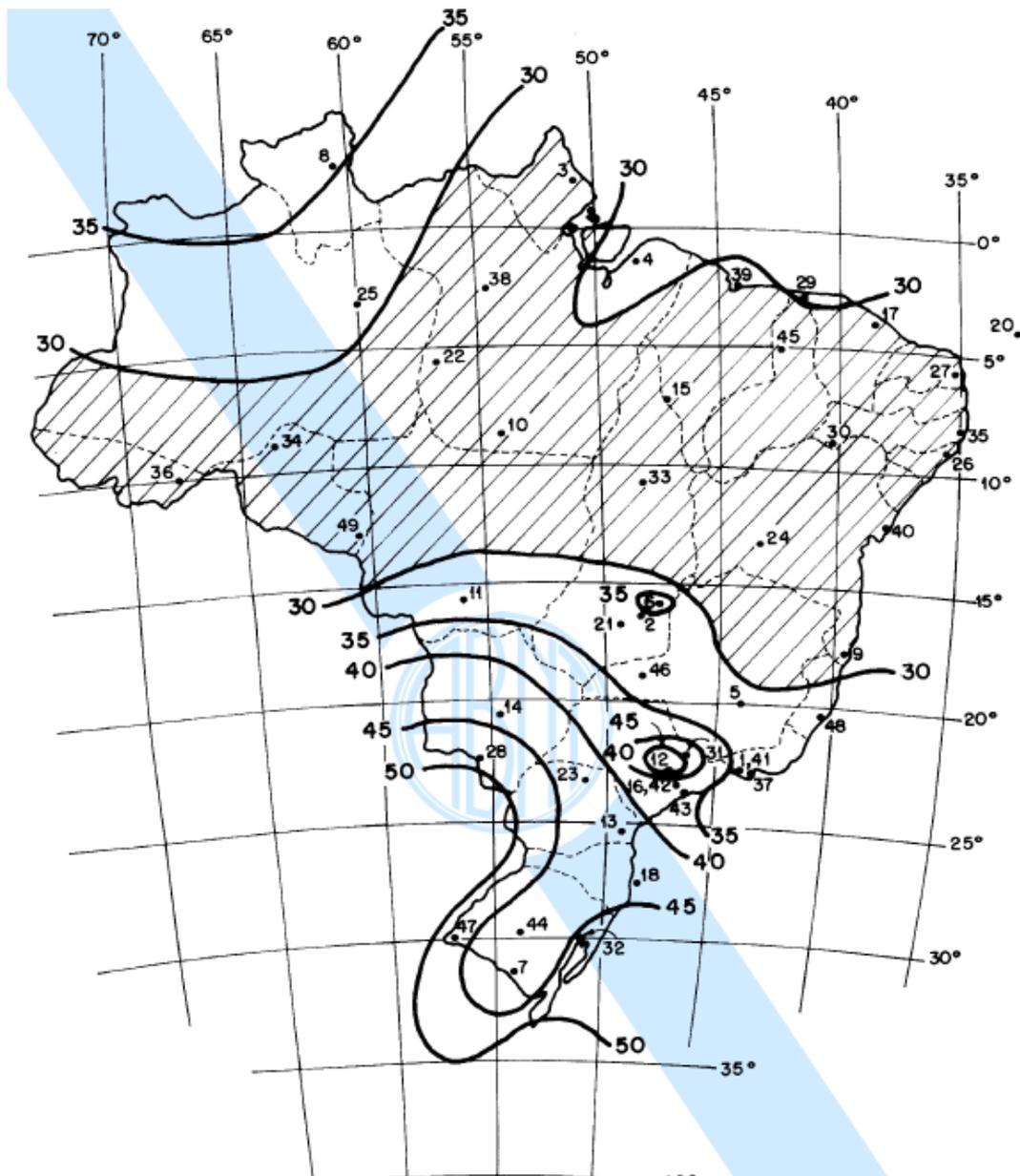
iii. a velocidade característica do vento permite determinar a pressão dinâmica pela expressão:

$$q = 0,613 \cdot (V_k)^2 \quad (2)$$

sendo (unidades SI):  $q$  em  $N/m^2$  e  $V_k$  em  $m/s$

*A velocidade básica do vento,  $V_o$ , é a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano (NBR 6123, 1988).*

A Figura 13 apresenta o gráfico das isopletras da velocidade básica ( $V_o$ ) no Brasil, com intervalos de 5 m/s.

Figura 13 - Isopletas da velocidade básica  $V_0$  (m/s)

Fonte: NBR 6123:1988

O fator topográfico  $S_1$  leva em consideração o tipo do relevo do terreno em que a estrutura está situada, ou seja, se o terreno é plano ou fracamente acidentado se está situado em taludes ou morros ou se está em vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção.

O fator  $S_2$  leva em consideração tanto os efeitos da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou da parte da edificação que se considera para efeito de cálculo.

O critério da rugosidade tem 5 categorias que variam de superfícies lisas de grandes dimensões a terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes e altos. Quanto à dimensão, o terreno pode ser classificado em três categorias que vão de edificações com dimensões menores que 20 m a construções de dimensões superiores a 50 m. O último critério leva em consideração a altura da edificação acima do nível do terreno.

*O fator estatístico  $S_3$  é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Segundo a definição de 5.1, a velocidade básica  $V_o$  é a velocidade do vento que apresenta um período de recorrência médio de 50 anos. A probabilidade de que a velocidade  $V_o$  seja igualada ou excedida neste período é de 63% (NBR 6123, 1988).*

A norma determina que a força do vento depende da diferença de pressão nas faces opostas da parte da edificação analisada e os coeficientes de pressão são dados tanto para superfícies externas quanto para superfícies internas. Entende-se ainda que a pressão efetiva,  $\Delta p$ , em um ponto da superfície de uma edificação tem seu valor definido por:

$$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i \quad (3)$$

Onde:

$\Delta p_e$  = pressão efetiva externa

$\Delta p_i$  = pressão efetiva interna

Portanto:

$$\Delta p = (c_{pe} - c_{pi}) \cdot q \quad (4)$$

Onde:

$c_{pe}$  = coeficiente de pressão externa:  $c_{pe} = \Delta p_e / q$

$c_{pi}$  = coeficiente de pressão interna:  $c_{pi} = \Delta p_i / q$

No caso das coberturas isoladas de uma água, os coeficientes de pressão e seus respectivos sentidos são dados de acordo com a Figura 16. Essa tabela é utilizada quando a altura entre o chão e o nível da aresta horizontal mais baixa da cobertura satisfaça as condições descritas abaixo, no caso em que o vento incide perpendicularmente à geratriz da

cobertura. Nos casos em que são indicados dois carregamentos, as duas situações respectivas de força devem ser consideradas independentemente.

Os coeficientes das tabelas abaixo aplicam-se somente quando a seguinte condição for satisfeita:

- Coberturas a uma água (Figura 14):  $0 \leq \text{tg}\theta \leq 0,7$ ;  $h \geq 0,5 l_2$ ;

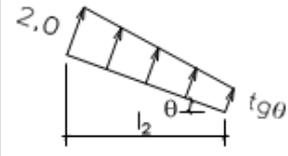
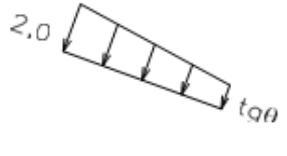
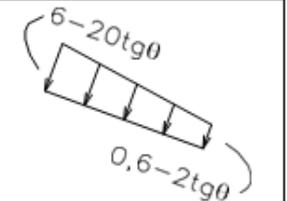
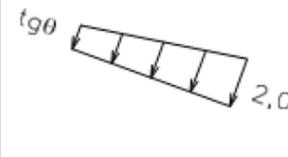
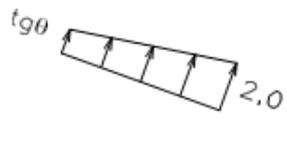
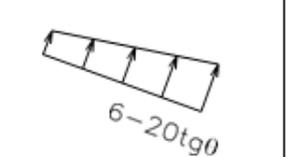
Onde:

$h$  = altura livre entre o piso e o nível da aresta horizontal mais baixa da cobertura

$l_2$  = profundidade da cobertura

$\theta$  = ângulo de inclinação das águas da cobertura

Figura 14 - Coeficientes de pressão em coberturas isoladas a uma água plana

Vento	1° Carregamento	2° Carregamento	
	$0 \leq \text{tg}\theta \leq 0,7$	$0 \leq \text{tg}\theta \leq 0,2$	$0,2 \leq \text{tg}\theta \leq 0,3$
→			
←			

Fonte: NBR 6123:1988

Para vento paralelo à geratriz da cobertura, a norma cita que devem ser consideradas forças horizontais de atrito calculadas pela expressão:

$$F_{at} = 0,05 \cdot q \cdot a \cdot b \quad (5)$$

Na qual  $a$  e  $b$  as dimensões em planta da cobertura. Tais forças compõem a ação do vento sobre as duas faces da cobertura.

## 4. DADOS EXPERIMENTAIS

### 4.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

A fim de se realizar a análise estática de qualquer estrutura, é fundamental que se conheçam as diversas propriedades intrínsecas aos materiais que irão compor o projeto. Esses dados permitem que o *software* obtenha os esforços internos e reações para qualquer que seja o modelo proposto.

Nesse trabalho, as propriedades da seção transversal das barras (área e momento de inércia) e as propriedades do bambu como densidade e módulo de elasticidade, foram obtidas com uma amostra de bambu, que não foi utilizada na estrutura, apor meio de ensaios realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME) da UFPB por Alves (2018).

Já as propriedades dos parafusos que ligam as barras transversais menores (barras vi), as barras transversais maiores (barras v) e as barras verticais menores (barras iv) às barras verticais maiores (barras iii) foram através dos estudos desenvolvidos por THOMPSON (2017).

Nesse trabalho, somou-se os pesos do telhado ecológico, do telhado de bambu e da placa solar às barras de sustentação dos telhados para se obter as densidades das barras. A consideração do peso dessas estruturas foi feita no cálculo das cargas que atuavam em cada uma dessas barras.

### 4.2 LEVANTAMENTO E DESCRIÇÃO DA GEOMETRIA

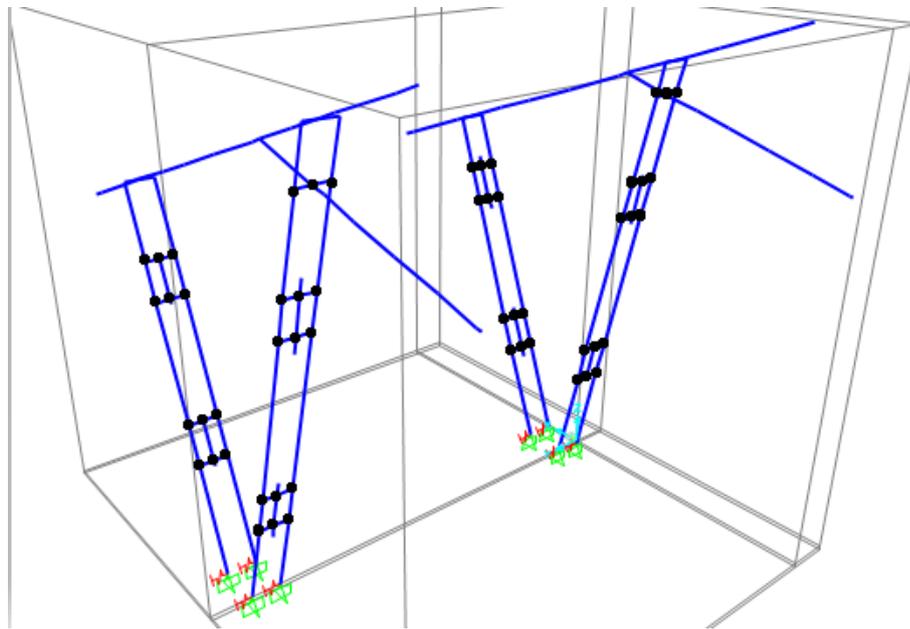
Para que seja possível analisar a estrutura por meio de um *software*, é necessário, antes de tudo, que se utilizem os dados dos materiais (como abordados no item anterior) e se discrimine as geometrias das barras e suas ligações através da idealização dos nós, que podem ser extremidades livre ou a junção de duas ou mais barras. Depois da determinação dos nós, delimitam-se as barras, que correspondem à junção de dois ou mais nós.

#### 4.2.1 Nomeação dos nós do modelo

Os nós da modelagem proposta para esse projeto foram basicamente os mesmos da modelagem 1 proposta por Alves (2018), como a exceção de alguns pontos a mais entre as barras verticais maiores e barras verticais menores e entre as barras verticais maiores e as barras transversais menores, justamente pelas ligações entre essas barras serem dadas por parafusos.

A Figura 15 mostra, no modelo numérico, os pontos a serem considerados nesse projeto além dos já determinados na modelagem 1 de Alves (2018).

Figura 15 - Posicionamento dos nós criados por ligações barra-parafuso



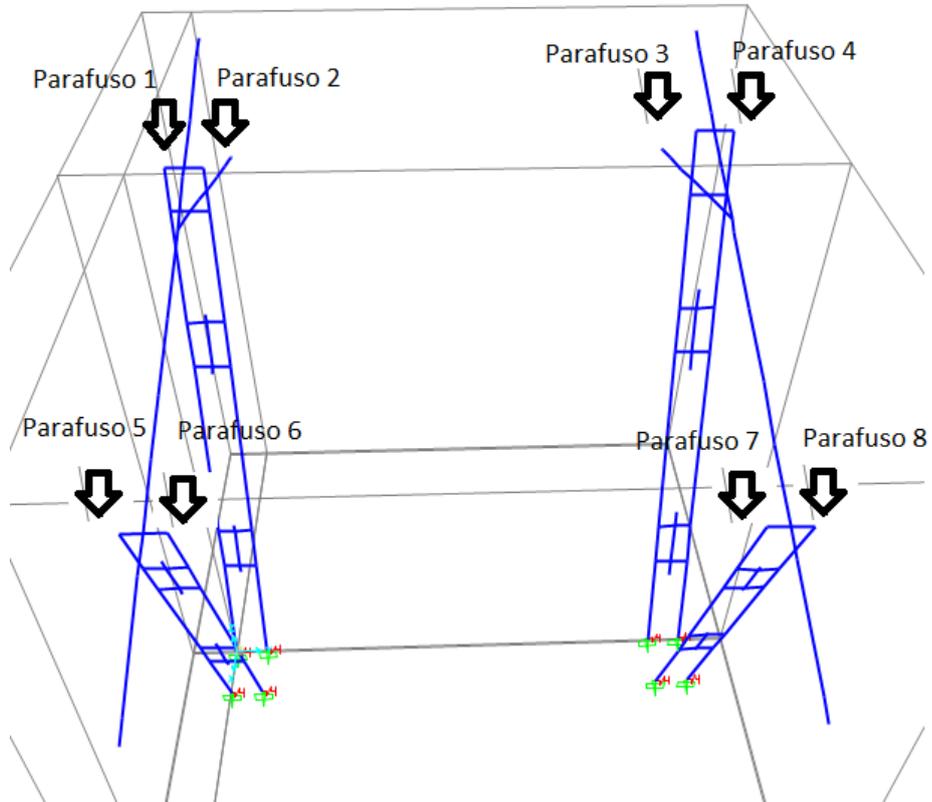
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2 Nomeação dos elementos da estrutura

As barras são formadas por ligações de dois ou mais nós e, para esse trabalho, as barras de bambu foram nomeadas conforme a modelagem 1 proposta na análise dinâmica.

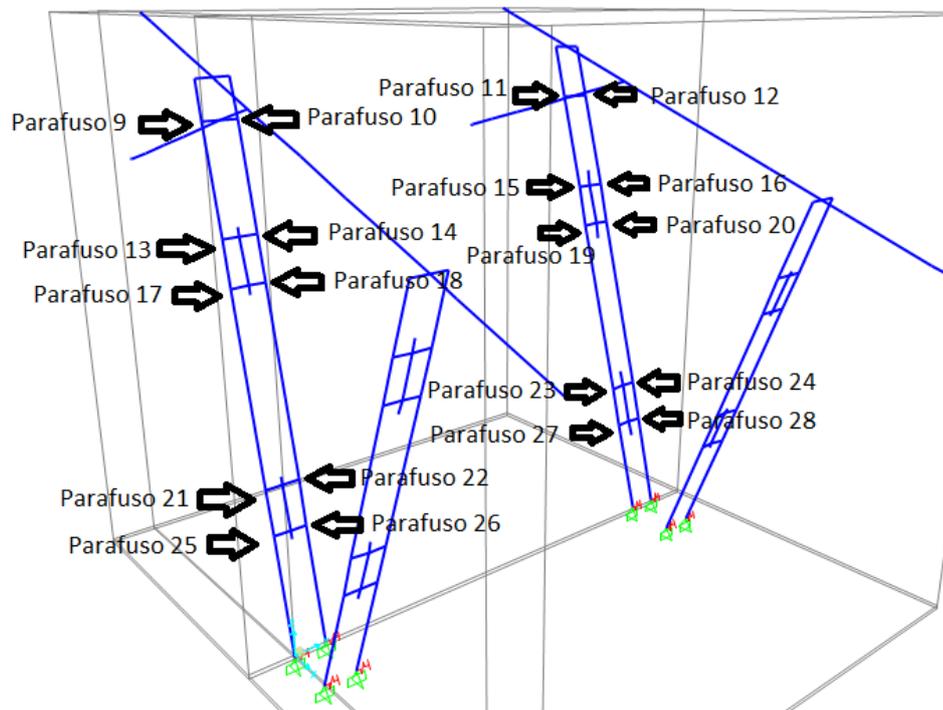
Os parafusos ligam as barras verticais maiores às barras verticais menores e às barras transversais. Esses foram enumerados da esquerda para direita e de cima para baixo, como mostram as Figuras 16 a 18.

Figura 16 - Nomeação dos parafusos - Vista frontal



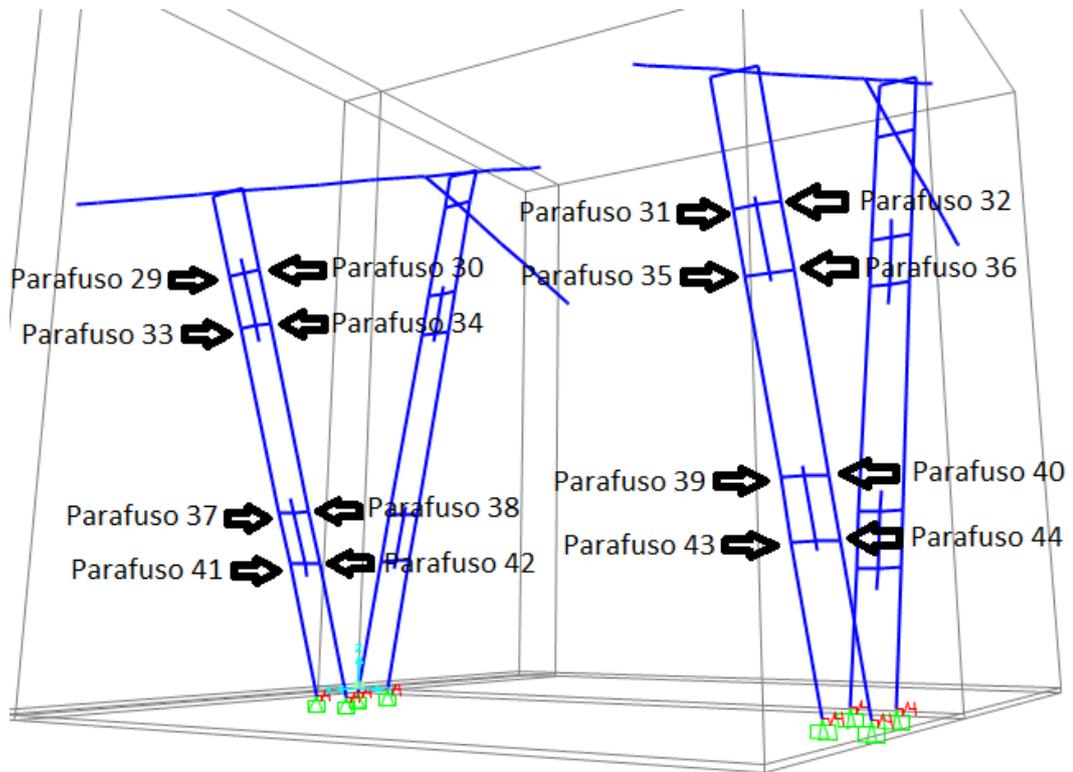
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Nomeação dos parafusos – Barras verticais dianteiras



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Nomeação dos parafusos – Barras verticais traseiras



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.3 Aferição das medidas de projeto

Para a descrição do modelo, foi necessário a utilização das medidas das barras de bambu feitas *in loco* por Alves (2018). Para a obtenção mais próxima do real dos locais exatos dos eixos dos parafusos, também foi feita, posteriormente, uma medição *in loco* desses componentes.

A Figura 19 mostra o gazebo de bambu construído no Centro de Tecnologia da UFPB.

Figura 19 - Gazebo de bambu



Fonte: ALVES, 2018

A Figura 20 mostra a localização dos parafusos que ligam as barras verticais menores com as barras verticais maiores.

Figura 20 - Parafusos ligando barras verticais menores a barras verticais maiores



Fonte: ALVES, 2018

#### 4.3 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

No desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se um programa computacional com o objetivo de encontrar os esforços atuantes na estrutura. O programa solicita que se crie o modelo através dos suportes disponíveis pelo próprio programa ou que se importe um arquivo compatível. Além disso, há a necessidade de se caracterizar os tipos das barras, as propriedades da seção transversal e das especificidades do material associadas a cada conjunto desses elementos.

#### 4.3.1 Modelagem

As barras de bambu possuem o formato aproximado de uma barra circular vazada e foram agrupadas em 7 tipologias distintas de acordo com suas propriedades específicas (ALVES, 2018):

- i Barras de sustentação do telhado ecológico e da placa solar:

Tabela 1 - Propriedades das barras de sustentação do telhado e placa solar

Área (m <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro externo (m)	Diâmetro interno (m)	Módulo de elasticidade (N/m <sup>2</sup> )	Momento de inércia no eixo X (mm <sup>4</sup> )	Momento de inércia no eixo Y (mm <sup>4</sup> )
2,83x10 <sup>-3</sup>	1,95x10 <sup>3</sup>	5,00x10 <sup>-2</sup>	4,00x10 <sup>-2</sup>	1,33x10 <sup>10</sup>	1,81x10 <sup>-7</sup>	1,81x10 <sup>-7</sup>

Fonte: ALVES, 2018

- ii Barras de sustentação apenas do telhado ecológico:

Tabela 2 - Propriedades das barras de sustentação apenas do telhado

Área (m <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro externo (m)	Diâmetro interno (m)	Módulo de elasticidade (N/m <sup>2</sup> )	Momento de inércia no eixo X (mm <sup>4</sup> )	Momento de inércia no eixo Y (mm <sup>4</sup> )
2,83x10 <sup>-3</sup>	1,22x10 <sup>3</sup>	5,00x10 <sup>-2</sup>	4,00x10 <sup>-2</sup>	1,33x10 <sup>10</sup>	1,81x10 <sup>-7</sup>	1,81x10 <sup>-7</sup>

Fonte: ALVES, 2018

## iii Barras verticais maiores:

Tabela 3 - Propriedades das barras verticais maiores

Área (m <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro externo (m)	Diâmetro interno (m)	Módulo de elasticidade (N/m <sup>2</sup> )	Momento de inércia no eixo X (m <sup>4</sup> )	Momento de inércia no eixo Y (m <sup>4</sup> )
$5,14 \times 10^{-3}$	$6,19 \times 10^2$	$9,00 \times 10^{-2}$	$7,00 \times 10^{-2}$	$1,33 \times 10^{10}$	$2,04 \times 10^{-6}$	$2,04 \times 10^{-6}$

Fonte: ALVES, 2018

## iv Barras verticais menores:

Tabela 4 - Propriedades das barras verticais menores

Área (m <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro externo (m)	Diâmetro interno (m)	Módulo de elasticidade (N/m <sup>2</sup> )	Momento de inércia no eixo X (m <sup>4</sup> )	Momento de inércia no eixo Y (m <sup>4</sup> )
$3,09 \times 10^{-3}$	$6,19 \times 10^2$	$7,00 \times 10^{-2}$	$5,50 \times 10^{-2}$	$1,33 \times 10^{10}$	$7,29 \times 10^{-7}$	$7,29 \times 10^{-7}$

Fonte: ALVES, 2018

## v Barras transversais maiores:

Tabela 5 - Propriedades das barras transversais maiores

Área (m <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro externo (m)	Diâmetro interno (m)	Módulo de elasticidade (N/m <sup>2</sup> )	Momento de inércia no eixo X (m <sup>4</sup> )	Momento de inércia no eixo Y (m <sup>4</sup> )
$3,09 \times 10^{-3}$	$6,19 \times 10^2$	$8,90 \times 10^{-2}$	$7,00 \times 10^{-2}$	$1,33 \times 10^{10}$	$1,9 \times 10^{-6}$	$1,9 \times 10^{-6}$

Fonte: ALVES, 2018

## vi Barras transversais menores:

Tabela 6 - Propriedades das barras transversais menores

Área (m <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro externo (m)	Diâmetro interno (m)	Módulo de elasticidade (N/m <sup>2</sup> )	Momento de inércia no eixo X (m <sup>4</sup> )	Momento de inércia no eixo Y (m <sup>4</sup> )
$4,62 \times 10^{-3}$	$6,19 \times 10^2$	$8,50 \times 10^{-2}$	$6,50 \times 10^{-2}$	$1,33 \times 10^{10}$	$1,69 \times 10^{-6}$	$1,69 \times 10^{-6}$

Fonte: ALVES, 2018

## vii Barras de sustentação do telhado de Bambu:

Tabela 7 - Propriedades das barras de sustentação do telhado de Bambu

Área (m <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro externo (m)	Diâmetro interno (m)	Módulo de elasticidade (N/m <sup>2</sup> )	Momento de inércia no eixo X (m <sup>4</sup> )	Momento de inércia no eixo Y (m <sup>4</sup> )
$3,09 \times 10^{-3}$	$1,24 \times 10^3$	$7,00 \times 10^{-2}$	$5,50 \times 10^{-2}$	$1,33 \times 10^{10}$	$7,29 \times 10^{-7}$	$7,29 \times 10^{-7}$

Fonte: ALVES, 2018

Os valores das áreas e diâmetro dos parafusos foi medido *in loco*. O módulo de elasticidade do parafuso foi obtido por THOMPSON (2017) e a densidade foi definida como sendo a mesma do aço. As propriedades dos parafusos encontram-se listados na Tabela 8.

Tabela 8 - Propriedades dos parafusos

Área (m <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro (m)	Módulo de Elasticidade (N/m <sup>2</sup> )
$5,03 \times 10^{-5}$	$7,86 \times 10^3$	$8,0 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{11}$

Fonte: Elaborado pelo autor

Como feito por Alves (2018), as barras verticais maiores se ligavam ao solo por um apoio que não restringia totalmente a rotação em um ou mais eixos e sua descrição é feita com uma constante experimental, a qual define o coeficiente de rigidez do apoio elástico.

#### 4.4 TENSÕES ADMISSÍVEIS

Segundo Ghavami & Marinho (2005), as tensões de ruptura tanto à tração quanto à compressão para o bambu da espécie *Guadua angustifolia* são dadas conforme as Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Resistência à tração das partes basal, centro e topo, com e sem nó, do bambu *Guadua angustifolia*

<b>Parte do bambu</b>	<b>Resistência à tração <math>\sigma_t</math> (MPa)</b>
Base sem nó	93,38
Base com nó	69,88
Centro sem nó	95,80
Centro com nó	82,62
Topo sem nó	115,84
Topo com nó	64,26
Valor médio	86,96
Variação	64,26 - 115,84

Fonte: Ghavami & Marinho (2005)

Tabela 10 - Resistência à compressão das partes basal, centro e topo, com e sem nó, do bambu *Guadua angustifolia*

<b>Parte do bambu</b>	<b>Resistência à compressão <math>\sigma_c</math> (MPa)</b>
Base sem nó	28,36
Base com nó	25,27
Centro sem nó	31,77
Centro com nó	28,36
Topo sem nó	25,27
Topo com nó	31,77
Valor médio	29,48
Variação	25,27 – 34,52

Fonte: Ghavami & Marinho (2005)

É possível notar, ainda, que a resistência à compressão é, em geral, três vezes menor que a resistência à tração.

## 5. MODELO NUMÉRICO

O modelo numérico é o modelo que incorpora todas as teorias e hipóteses elaboradas para descrever o comportamento da estrutura em diversas solicitações (MARTHA, 2010).

Nesse trabalho, o modelo numérico foi definido com o objetivo de assemelhar-se ao máximo com a estrutura real observada no gazebo e proposto na modelagem 1 de Alves (2018). O modelo apresenta 7 tipologias de barras definidas como elementos de viga de acordo com a teoria do feixe elaborada por Timoshenko, a qual leva em consideração decorrências de cisalhamento e deformação dando alternativas para as distorções irrestrita e contida de seções transversais.

O formato da seção transversal das barras de bambu foi definido como um círculo vazado e, para cada tipologia, foram estabelecidos seus respectivos diâmetros externo e interno. Já os parafusos eram compostos por seções circulares cheias. O fato de as barras verticais maiores estarem ligadas às barras verticais menores através de parafusos é o que constitui a principal diferença entre o modelo 1 proposto para a análise dinâmica e o modelo proposto para a análise estática.

Nessa modelagem, as barras de sustentação dos telhados ecológico e de bambu foram consideradas apoiadas sobre os Pórticos (i) e (ii) não transmitindo esforços de torção ou flexão, ou seja, as barras transversais maiores e menores impediam apenas as translações das barras de sustentação dos telhados.

Conforme Alves (2018) os apoios elásticos foram definidos e estes são vínculos que tem competência longitudinais ou de torções. A mola amortecedora longitudinal é um apoio compressão-tensão em um único eixo, podendo apresentar três graus de liberdade por nó, nos quais nenhuma flexão ou torção são consideradas. Já a opção de amortecedores de mola e torção é um apoio que também apresenta três graus de liberdade por nó, porém, nenhuma carga de flexão ou axial são consideradas. Esses elementos não possuem massa.

O apoio elástico foi considerado nos apoios das barras verticais maiores que admitiam rotações em relação ao eixo perpendicular (normal) ao plano formado pelos pórticos. A constante elástica não foi obtida através de experimentos, tendo sido apenas adotada por Alves (2018) que, para essa situação, tem valor de  $1 \times 10^8$  N.m/rad.

Figura 21 - Apoios barras verticais maiores



Fonte: ALVES, 2018

Por último, foram definidas as condições de contorno que consideravam as demais ligações entre barras como ligações rígidas.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 AÇÕES DO VENTO

#### 6.1.1 Velocidade Base

A velocidade base do vento ( $V_o$ ) é dada, segundo a NBR 6123, de acordo com a localidade na qual a construção se encontra. De acordo com a Figura 13 que mostra o gráfico de isopletras no Brasil, para João Pessoa – PB, a velocidade de base ( $V_o$ ) é de **30 m/s**.

#### 6.1.2 Fator topográfico $S_1$

Esse fator pode assumir valores que variam de 0,9 a 1 e quanto mais acidentado e rodeado de morros for a localidade onde se encontra a edificação, menor será a incidência de vento sobre esse lugar. Dessa forma, é possível observar que o local em que o gazebo em estudo se encontra é uma região plana, sem grandes aclives ou declives, fazendo com que o valor adotado para o fator  $S_1$  seja igual a **1**.

#### 6.1.3 Fator $S_2$

Para a determinação desse fator, levaram-se em consideração os seguintes dados:

- O terreno é plano, com obstáculos como muros e poucos quebra-ventos de árvores, além de edificações baixas e esparsas, classificando-o quanto à rugosidade como sendo de **Categoria III**
  
- Quando às dimensões da edificação, por ser uma estrutura na qual toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m (NBR 6123, 1988), classifica-se como **Classe A**
  
- Como 3,42 m é a altura máxima da estrutura sobre o terreno, a estrutura é classificada na Tabela 9 em sua primeira linha, em que  $z \leq 5$  m.

Tabela 11 - Fator  $S_2$ 

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: NBR 6123:1988

Com os dados obtidos para rugosidade do terreno, dimensão e distância até o solo da estrutura, pode-se obter o valor de 0,88 para o fator  $S_2$ .

#### 6.1.4 Fator $S_3$

Nessa etapa, considerou-se que o gazebo assimilava-se mais a um depósito ou edificação com baixo fator de ocupação do que às outras categorias, classificando a estrutura estudada como pertencente ao grupo 3, como mostra a Tabela 12. Esse fator tem, portanto, para essa estrutura, um valor de 0,95.

Tabela 12 - Valores mínimos do fator estatístico  $S_3$ 

Grupo	Descrição	$S_3$
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: NBR 6123:1988

Diante dos valores de velocidade base ( $V_0$ ) e dos fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , podemos calcular, de acordo com a Equação (1), o valor da velocidade real ( $V_k$ ) atuando sobre a estrutura:

$$V_k = 30 * 1 * 0,88 * 0,95 = \mathbf{25,08 \text{ m/s.}}$$

#### 6.1.5 Vento agindo perpendicularmente à geratriz da cobertura.

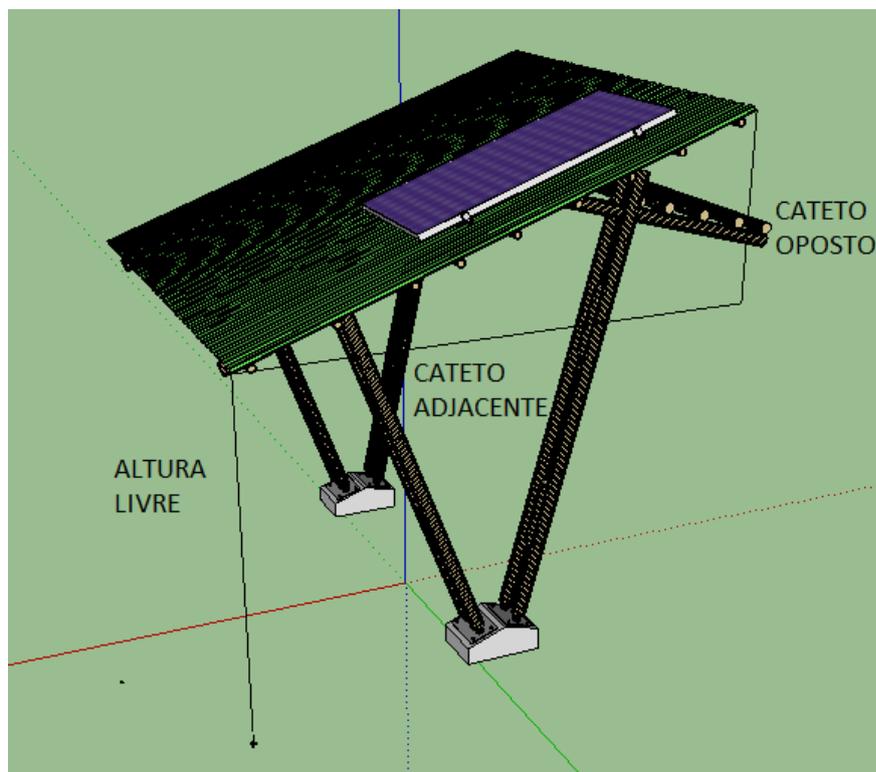
Para obter os coeficientes de pressão é necessário que antes se tome conhecimento de algumas informações importantes, tais como apresenta a Tabela 13.

Tabela 13 - Dados referentes ao telhado da estrutura

Dado	Valor	Unidade de medida
Altura livre "h"	2,24	m
Cateto oposto	1,18	m
Cateto adjacente	3,24	m
Tangente $\Theta$	0,36	-
Seno $\Theta$	0,34	-
Cosseno $\Theta$	0,94	-
Ângulo teta radianos	0,35	-
Ângulo teta graus	20	Grau

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 22 - Representação da altura livre e dos catetos opostos e adjacentes do telhado



Fonte: Elaborado pelo autor

Como a tangente  $\Theta$  é menor que 0,7 e a altura livre “h” é maior que  $0,5 \cdot l_2$ , onde  $l_2$  é a projeção do telhado correspondente ao cateto adjacente, pode-se utilizar os coeficientes de pressão fornecidos pela Figura 14. Pelo fato de a tangente  $\Theta$  ser maior que 0,3, precisou-se considerar apenas os coeficientes relacionados ao primeiro carregamento.

A Figura 23 mostra os resultados obtidos para os coeficientes de pressão com o vento agindo perpendicularmente ao telhado.

Figura 23 - Coeficientes de pressão para vento atuando perpendicularmente à estrutura

Vento	1° Carregamento
	$0 \leq \text{tg}\theta \leq 0,7$
→	
←	

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com a Equação (2), com a velocidade característica do vento pode-se determinar a pressão dinâmica atuando na estrutura da seguinte forma:

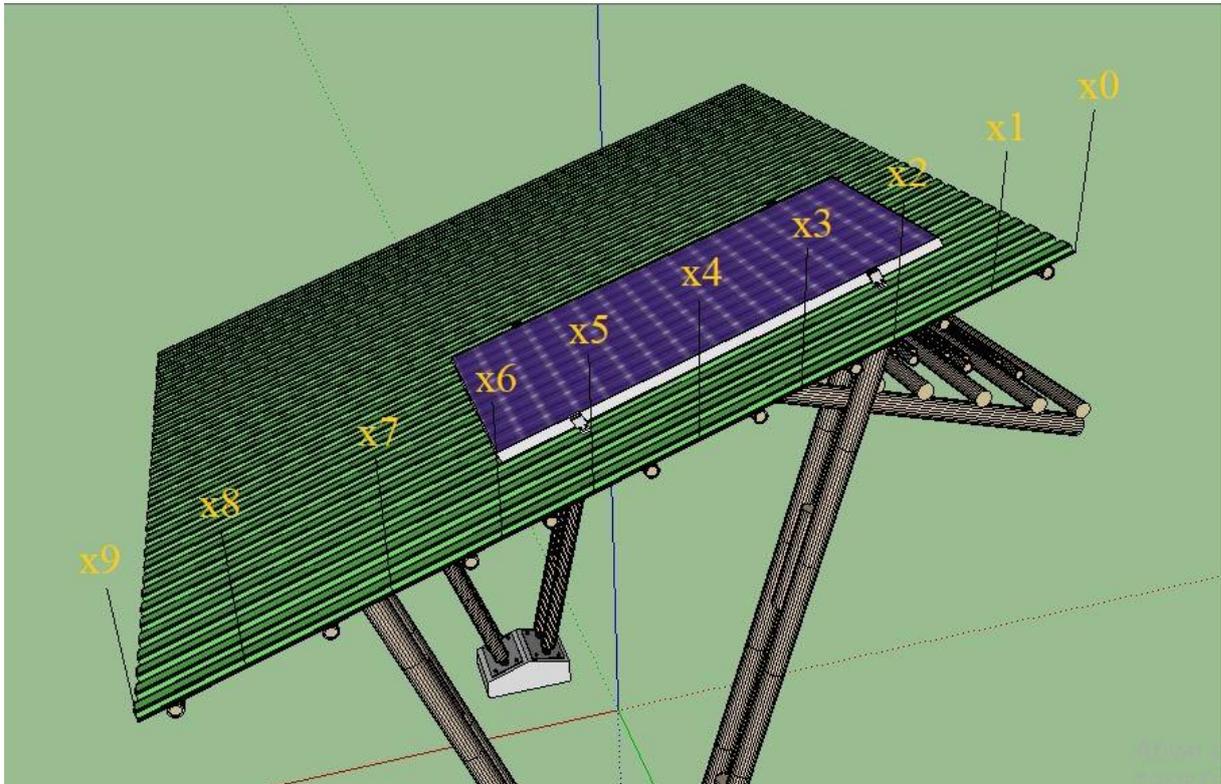
$$q = 0,613 \cdot (25,08)^2 = \mathbf{385,58 \text{ N/m}^2}.$$

Para o cálculo das cargas que atuam em cada uma das barras que sustentam o telhado ecológico, utilizaram-se áreas de contribuição. Essas áreas são delimitadas por pontos médios entre as barras.

Observa-se nas Tabelas 14 e 15 que as cargas distribuídas por metro em cada uma das 9 barras, nos dois sentidos de vento atuam perpendicularmente ao telhado. Onde de x0 a x9 são pontos que delimitam as áreas de influência.

A Figura 24 demonstra esses pontos, os quais representam pontos médios entre as barras do telhado.

Figura 24 - Pontos médios entre as barras de sustentação do telhado ecológico



Fonte: Elaborado pelo autor

Cada “Y” representa, para cada ponto médio entre as barras de sustentação, o valor do Coeficiente de pressão, que é possível obter utilizando os dados disponíveis na Figura 37. Cada “A” representa a média entre os coeficientes de pressão de dois pontos consecutivos, como pode ser visto na Tabela 14, em que A1 é a média entre  $y_0$  e  $y_1$ .

Para encontrar a carga por metro que atua perpendicularmente ao telhado e é distribuída por todo o eixo da barra, multiplica-se a média do coeficiente de pressão que atua na área sustentada pela barra pela dimensão da área de influência que é perpendicular ao eixo da barra.

Tabela 14 - Cargas de vento atuantes no telhado para coeficientes de pressão positivos

<b>Carga vento (<math>\uparrow</math>)</b>							
x0	0,00	y0	2,00	A1	1,92	q1 (N/m)	263,09
x1	0,36	y1	1,83	A2	1,71	q2 (N/m)	335,07
x2	0,86	y2	1,59	A3	1,50	q3 (N/m)	224,78
x3	1,25	y3	1,41	A4	1,33	q4 (N/m)	169,47
x4	1,58	y4	1,25	A5	1,16	q5 (N/m)	173,68
x5	1,97	y5	1,06	A6	0,97	q6 (N/m)	146,06
x6	2,36	y6	0,88	A7	0,79	q7 (N/m)	110,08
x7	2,72	y7	0,71	A8	0,62	q8 (N/m)	91,66
x8	3,11	y8	0,53	A9	0,44	q9 (N/m)	58,40
x9	3,45	y9	0,36				

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 15 - Cargas de vento atuantes no telhado para coeficientes de pressão negativos

<b>Carga vento (<math>\downarrow</math>)</b>							
x0	0,00	y0	-0,36	A1	-0,45	q1 (N/m)	-61,58
x1	0,36	y1	-0,53	A2	-0,65	q2 (N/m)	-127,96
x2	0,86	y2	-0,77	A3	-0,87	q3 (N/m)	-129,96
x3	1,25	y3	-0,96	A4	-1,04	q4 (N/m)	-132,41
x4	1,58	y4	-1,12	A5	-1,21	q5 (N/m)	-181,43
x5	1,97	y5	-1,30	A6	-1,39	q6 (N/m)	-209,41
x6	2,36	y6	-1,49	A7	-1,57	q7 (N/m)	-217,86
x7	2,72	y7	-1,66	A8	-1,75	q8 (N/m)	-259,62
x8	3,11	y8	-1,84	A9	-1,92	q9 (N/m)	-252,05
x9	3,45	y9	-2,00				

Fonte: Elaborado pelo autor

## 6.1.6 Vento agindo paralelamente à geratriz da cobertura

A força que atua na cobertura, para o vento agindo paralelamente à sua geratriz, de acordo com a Equação (5) tem valor de:

$$F_{at} = 0,05 * 385,58 * 3,24 * 3,13 = \mathbf{195,60 \text{ N}}$$

Para encontrar a força que atua em cada barra, calculou-se uma fração da força total equivalente à área de contribuição de cada barra que sustentava o telhado ecológico. O cálculo da área de contribuição foi feito utilizando como base o método das charneiras. As Tabela 16 e 17 mostram os valores dessas forças - contidas no plano do telhado - em cada uma das 9 barras.

Tabela 16 - Carga de vento atuando do ponto mais baixo para o mais alto do telhado

<b>Carga vento (→)</b>	
q1 (N/m)	6,45
q2 (N/m)	9,20
q3 (N/m)	7,05
q4 (N/m)	6,00
q5 (N/m)	7,06
q6 (N/m)	7,07
q7 (N/m)	6,52
q8 (N/m)	6,98
q9 (N/m)	6,17

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 17 - Cargas de vento atuando do ponto mais alto para o mais baixo do telhado

<b>Carga vento (←)</b>	
q1 (N/m)	-6,45
q2 (N/m)	-9,20
q3 (N/m)	-7,05
q4 (N/m)	-6,00
q5 (N/m)	-7,06
q6 (N/m)	-7,07
q7 (N/m)	-6,52
q8 (N/m)	-6,98
q9 (N/m)	-6,17

Fonte: Elaborado pelo autor

## 6.2 ANÁLISE ESTÁTICA DO GAZEBO

Para a análise estática do gazebo, utilizou-se um software de análise estrutural para a obtenção das tensões máximas atuantes na estrutura com o auxílio de um modelo computacional que representasse o modelo numérico proposto para esse trabalho. Nesse processo, introduziram-se as medidas das seções transversais e as respectivas propriedades dos materiais, que foram obtidas através dos ensaios experimentais feitos por Alves (2018) em laboratório ou através de dados disponíveis na literatura - como no caso dos parafusos.

### 6.2.1 Barras do telhado ecológico

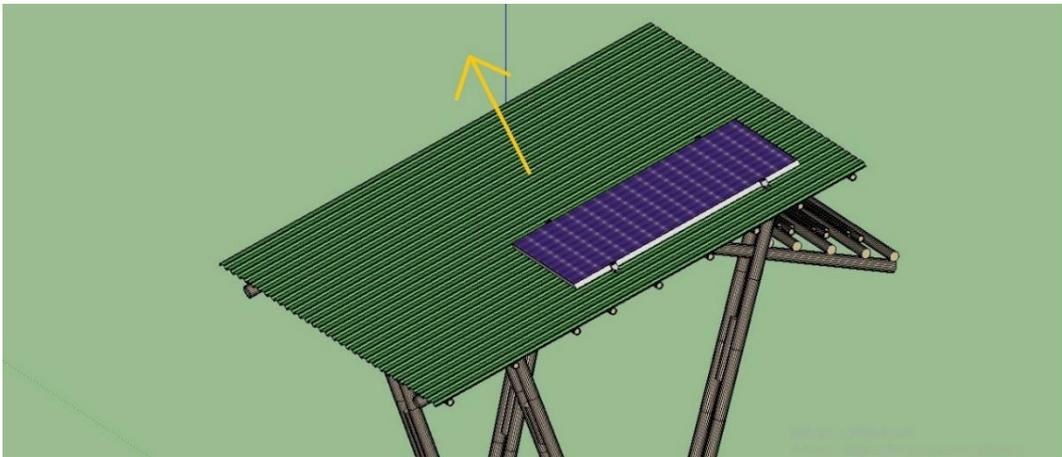
Segundo a Norma Brasileira de Estruturas de bambu (2016), as tensões de corte em vigas são geralmente muito pequenas. Contudo, a tensão de cisalhamento na linha neutra nas proximidades do apoio deve ser verificada caso o comprimento da viga seja menor que 25 vezes o diâmetro de sua extremidade, o que não é o caso das barras da estrutura analisada nesse trabalho.

Conforme a NBR 6123 (1988), em seu item 8.2, que trata das coberturas isoladas de águas planas, é possível identificar 4 possíveis situações de atuação do vento: na direção

perpendicular ao telhado na qual obtêm-se os coeficientes de pressão tanto para o sentido positivo (primeira situação de carga) como para o sentido negativo (segunda situação de carga); e na direção paralela à geratriz do telhado, em que é possível obter as forças horizontais de atrito que podem atuar tanto no sentido do ponto mais baixo para o ponto mais alto do telhado (terceira situação de carga) ou no sentido do ponto mais alto para o ponto mais baixo do telhado (quarta situação de carga). Dessa forma, identificam-se as diferentes tensões axiais atuantes nas barras de tipo (i) e nas barras de tipo (ii) para as quatro situações possíveis de carregamento.

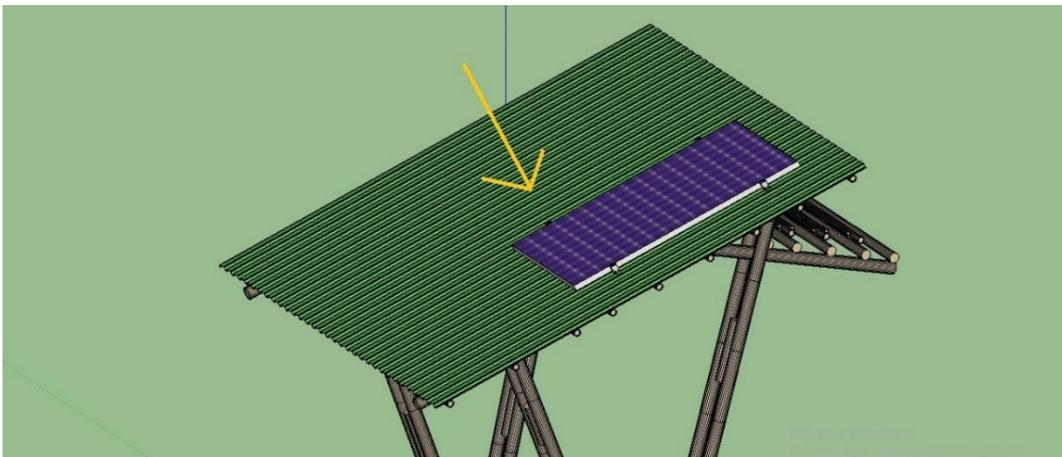
As Figuras 25 a 28 mostram essas quatro situações de atuação do vento.

Figura 25 - Vento agindo perpendicularmente ao plano do telhado no sentido positivo



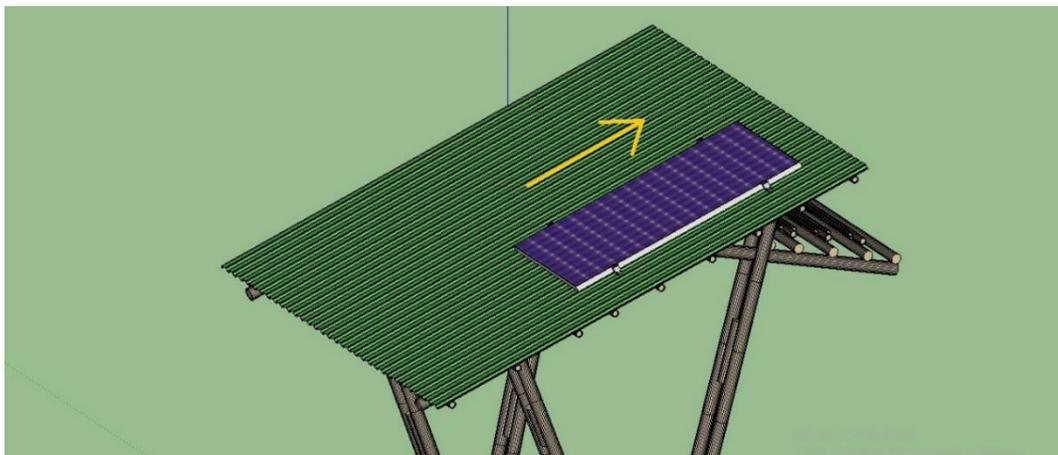
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26 - Vento agindo perpendicularmente ao plano do telhado no sentido negativo



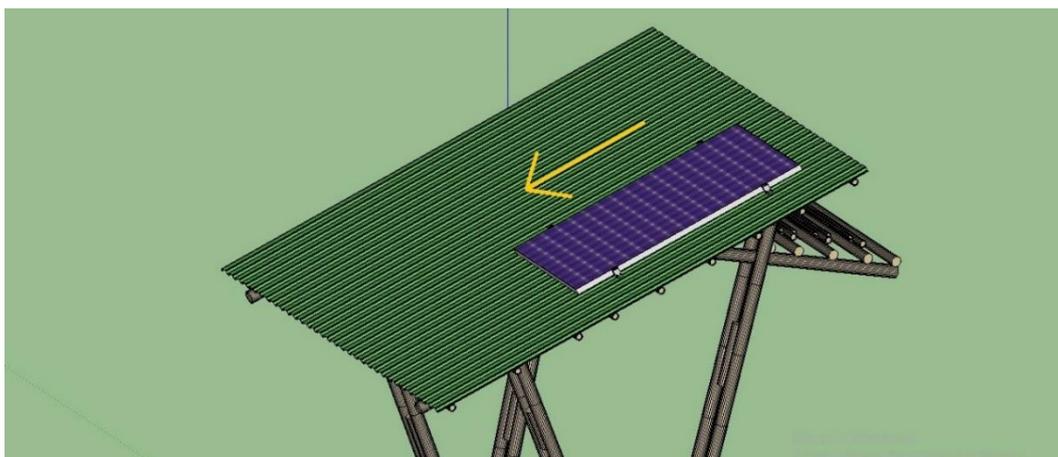
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27 - Vento agindo paralelamente à geratriz do telhado no sentido do ponto mais baixo para o ponto mais alto do telhado



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 28 - Vento agindo paralelamente à geratriz do telhado no sentido do ponto mais alto para o ponto mais baixo do telhado



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a obtenção das tensões atuantes, analisou-se, a priori, a atuação dos esforços atuantes sob as barras de sustentação do telhado e, posteriormente, considerando que as barras do telhado estão simplesmente apoiadas sobre os pórticos, as tensões máximas atuantes nesses dois elementos: Pórtico (i) e Pórtico (ii).

Levando em conta essas considerações, as barras que sustentam o telhado ecológico, sob o ponto de vista das tensões normais, estariam sob ação apenas de flexão simples, não atuando nenhum esforço além dos momentos fletores nas seções transversais dessas barras, o que explica o fato de as tensões de tração e de compressão para essa parte da estrutura terem o

mesmo valor em módulo. Os pórticos, no entanto, estão sujeitos a flexão composta. As Tabelas 18 a 25 mostram os valores das tensões atuantes.

Tabela 18 - Tensões de tração máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na primeira situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido positivo (↑) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra 1	23281050
Barra 2	29414750
Barra 3	19351910
Barra 4	14304060
Barra 5	14688210
Barra 6	12167940
Barra 7	9319170
Barra 8	7638380
Barra 9	4603470

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 19 - Tensões de compressão máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na primeira situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido positivo (↑) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra 1	-23281050
Barra 2	-29414750
Barra 3	-19351910
Barra 4	-14304060
Barra 5	-14688210
Barra 6	-12167940
Barra 7	-9319170
Barra 8	-7638380
Barra 9	-4603470

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 20 - Tensões de tração máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na segunda situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido negativo (↓) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra 1	6344480
Barra 2	12401540
Barra 3	12584030
Barra 4	12807590
Barra 5	17280570
Barra 6	19833700
Barra 7	20604740
Barra 8	24415270
Barra 9	23724520

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 21 - Tensões de compressão máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na segunda situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido negativo (↓) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra 1	-6344480
Barra 2	-12401540
Barra 3	-12584030
Barra 4	-12807590
Barra 5	-17280570
Barra 6	-19833700
Barra 7	-20604740
Barra 8	-24415270
Barra 9	-23724520

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 22 - Tensões de tração máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na terceira situação de carga

<b>Vento Paralelo – Sentido positivo (→) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra 1	742660
Barra 2	1159770
Barra 3	1159770
Barra 4	1159770
Barra 5	1159770
Barra 6	1159770
Barra 7	747170
Barra 8	771050
Barra 9	725430

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 23 - Tensões de compressão máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na terceira situação de carga

<b>Vento Paralelo – Sentido positivo (→) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra 1	-742660
Barra 2	-1159770
Barra 3	-1159770
Barra 4	-1159770
Barra 5	-1159770
Barra 6	-1159770
Barra 7	-747170
Barra 8	-771050
Barra 9	-725430

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 24 - Tensões de tração máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na quarta situação de carga

<b>Vento Paralelo – Sentido positivo (←) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra 1	1116240
Barra 2	1712430
Barra 3	1573060
Barra 4	1505310
Barra 5	1573710
Barra 6	1574350
Barra 7	1120110
Barra 8	1150440
Barra 9	1097530

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 25 - Tensões de compressão máximas atuantes nas barras do telhado ecológico na quarta situação de carga

<b>Vento Paralelo – Sentido positivo (←) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra 1	-1116240
Barra 2	-1712430
Barra 3	-1573060
Barra 4	-1505310
Barra 5	-1573710
Barra 6	-1574350
Barra 7	-1120110
Barra 8	-1150440
Barra 9	-1097530

Fonte: Elaborado pelo autor

As barras do tipo (vii) também atuam como vigas e, pelos mesmos critérios adotados para as barras de sustentação do telhado ecológico, nos quais esses elementos estão simplesmente apoiados nos pórticos, essas barras estão sujeitas apenas a flexão simples. As tensões máximas atuantes em todas as barras desse tipo (vii) são as mesmas, pois estão submetidas somente ao peso próprio e todas apresentam as mesmas características físicas e mecânicas, como considerado por Alves (2018). Abaixo podemos conferir o valor dessas tensões.

Tabela 26 - Tensões máximas atuantes nas barras do tipo (vii)

<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Tração	644670
Compressão	-644670

Fonte: Elaborado pelo autor

### 6.2.2 Pórticos

Os elementos estruturais que compõem os Pórticos (i) e (ii) são as barras do tipo (iii), as barras do tipo (iv), as barras do tipo (v) e as barras do tipo (vi), que são, respectivamente as

Barras verticais maiores, as Barras verticais menores, as Barras transversais maiores e as Barras transversais menores. As tabelas 27 a 34 mostram as tensões máximas axiais atuantes nas barras do tipo (iii), (iv), (v) e (vi) nos 4 casos situações de ação do vento analisadas nesse trabalho.

Tabela 27 - Tensões de tração máximas atuantes nos pórticos na primeira situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido positivo (↑) – Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra transversal maior	10047760
Barra transversal menor	3887600
Barra vertical maior	16292890
Barra vertical menor	79140

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 28 - Tensões de compressão máximas atuantes nos pórticos na primeira situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido positivo (↑) – Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra transversal maior	-10992120
Barra transversal menor	-2966720
Barra vertical maior	-16176520
Barra vertical menor	-69220

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 29 - Tensões de tração máximas atuantes nos pórticos na segunda situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido negativo (↓) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra transversal maior	7405720
Barra transversal menor	2218260
Barra vertical maior	7481920
Barra vertical menor	35180

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 30 - Tensões de compressão máximas atuantes nos pórticos na segunda situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido negativo (↓) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra transversal maior	-7397090
Barra transversal menor	-2532080
Barra vertical maior	-8080300
Barra vertical menor	-41410

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 31 - Tensões de tração máximas atuantes nos pórticos na terceira situação de carga

<b>Vento Paralelo – Sentido positivo (→) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra transversal maior	1908130
Barra transversal menor	2218160
Barra vertical maior	2162520
Barra vertical menor	11270

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 32 - Tensões de compressão máximas atuantes nos pórticos na terceira situação de carga

<b>Vento Paralelo – Sentido positivo (→) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra transversal maior	-1837510
Barra transversal menor	-2221710
Barra vertical maior	-2204810
Barra vertical menor	-11730

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 33 - Tensões de tração máximas atuantes nos pórticos na quarta situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido positivo (←) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra transversal maior	1116640
Barra transversal menor	2233670
Barra vertical maior	483210
Barra vertical menor	2510

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 34 - Tensões de compressão máximas atuantes nos pórticos na quarta situação de carga

<b>Vento Perpendicular – Sentido positivo (←) –</b>	
<b>Tensão máxima (N/m<sup>2</sup>)</b>	
Barra transversal maior	-1029350
Barra transversal menor	-2189420
Barra vertical maior	-535350
Barra vertical menor	-3350

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao se comparar os valores das tensões máximas obtidas na análise estática para cada tipo de barra existente na estrutura do gazebo aos resultados de tensões admissíveis médias para o bambu obtidos por Ghavami & Marinho (2005) e expostos nas Tabelas 9 e Tabela 10, é

possível observar que as tensões de tração estão bem abaixo do valor limite médio, que é o de 89,96 MPa.

Já algumas das tensões de compressão atuantes na estrutura atingem valores mais próximos aos do limite médio, que é de 29,48 MPa, como no caso da Barra 2 no primeiro caso de carregamento, que apresenta uma tensão de compressão máxima de 29,41 MPa.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa apresentada nesse trabalho teve como função estudar o comportamento de um gazebo de bambu através da análise das tensões atuantes na estrutura considerando, além do seu peso próprio e do peso da placa solar, a ação do vento que incide sobre o telhado ecológico, de acordo com as recomendações dadas pela ABNT NBR 6123 e compará-las com as tensões admissíveis disponíveis na literatura.

Nesse estudo foi possível observar que as maiores tensões ocorreram nas barras de sustentação do telhado ecológico, o que se deve, previsivelmente, à pouca inércia das seções transversais dessas barras e que, mesmo para as situações mais desfavoráveis de atuação das cargas, ou seja, nos casos de tensão máxima de tração e de tensão máxima de compressão, o bambu se mostrou um material eficaz no suporte das maiores tensões atuantes na estrutura.

A importância desse resultado é que com uma busca cada vez maior pelo uso de materiais alternativos na construção civil que gerem menos impacto ao meio ambiente e que, ao mesmo tempo, se mostrem eficazes na utilização em relação à resistência e durabilidade, o bambu pode vir a se tornar uma alternativa viável no tocante a essa temática.

Em suma, o que se busca a partir dos resultados obtidos é contribuir para um maior entendimento de um segmento ainda pouco estudado, mas com um vasto campo de potencial em pesquisa. É nesse contexto que esse estudo procura ajudar no desenvolvimento de tecnologias que propiciem o emprego de materiais que sejam capazes de fazer o setor da construção civil mais sustentável.

## 8. REFERÊNCIAS

ADAMS, C. **Bamboo Architecture and Construction with Oscar Hidalgo**. In: DESIGNER/builder magazine. New Mexico, September, 1997.

ALVES, M. N. F. Modelagem numérica de um gazebo de bambu com vistas à sua análise estrutural. Monografia (Monografia em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, p.75. 2018.

ARAÚJO, Marília. *Bambu*. 2017. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/plantas/bambu/>>. Acesso em: 15dez. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, p.221. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, p.66. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR XXXXX-1: estruturas de Bambu parte 1- projeto**. São Paulo. 2017.

BOOGAARD, R. V. D. *Estudo da viabilidade técnica do uso do bambu laminado colado na construção civil*. 2016. Monografia – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6890/1/CM\\_COECI\\_2016\\_1\\_27.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6890/1/CM_COECI_2016_1_27.pdf)>

CARVALHO, L. S.; SOARES, M. A. **FIBRA DE FOLHA DO BAMBU: uma alternativa ao papel convencional**. Departamento de Arquitetura e Urbanismo PUC-RIO, 2016. Disponível em: <[http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio\\_resumo2016/relatorios\\_pdf/ctch/ARQ/ARQ-Luana\\_Carvalho\\_Marilia\\_Soares.pdf.pdf](http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2016/relatorios_pdf/ctch/ARQ/ARQ-Luana_Carvalho_Marilia_Soares.pdf.pdf)> Acesso em: 20 dezembro de 2018.

CORAZZA, R. I. Tecnologia e meio ambiente no debate sobre os limites do crescimento: notas à luz de contribuições selecionadas de Georgescu-Roegen. *Revista Economia*, Brasília (DF), v.6, n.2, p.435–461, Jul./Dez. 2005. Disponível em: <[http://www.anpec.org.br/revista/vol6/vol6n2p435\\_461.pdf](http://www.anpec.org.br/revista/vol6/vol6n2p435_461.pdf)> Acesso em: 11 outubro de 2018.

DECICINO, Ronaldo. **Protocolo de Kyoto - Países se comprometeram a reduzir emissão de gases.** Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/protocolo-de-kyoto-paises-se-comprometeram-a-reduzir-emissao-de-gases.htm>> Acesso em: 23 de outubro de 2018

FRANÇA, Davidson de Oliveira Júnior. **Análise estrutural de um edifício em concreto armado com quatro pavimentos: estudo de caso para diferentes modelos estruturais.** 2015. 122 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.1, p.107-114, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v9n1/v9n1a16.pdf>> Acesso em: 12 outubro de 2018.

LANGENDONCK, T. **Teoria elementar das charneiras plásticas.** São Paulo, ABCP, v.2, 1975.

LEET, K. M; UANG, C. M; GILBERT, A. M. Fundamentos da análise estrutural. 3. ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2010.

MAKOWSKI, D. G. **Ação do vento em coberturas isoladas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia na modalidade Acadêmico) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 114. 2004.

MARÇAL, Victor Hugo. **Uso do bambu na construção civil.** 2008. 60 f. Monografia apresentada na Universidade de Brasília- UNB para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil e Ambiental.

MARTHA, Luiz. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos.** Elsevier Brasil, 2010.

MOTTA, S. R. F. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 122. 2009.

OLIVEIRA, O. L. F. A. **Conhecendo bambus e suas potencialidades para uso na construção civil.** Monografia (Monografia em especialização em Construção Civil) – UFMG. Belo Horizonte, p. 90. 2013.

OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e Arquitetura: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, p. 136. 2006.

PADOVAN, Roberval Braz. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. 2010. 184 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Produto) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Universidade de Bauru, 2010.

PASSOS, P. N. C. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**, v. 6, n. 6, 2009. Disponível em: <<http://revistaeletronicardfd.unibrazil.com.br/index.php/rdfd/article/view/18>> Acesso em: 13 novembro de 2018.

THOMPSON, F. F. **Estudo de resistência à fadiga de uniões parafusadas submetidas à carga axial cíclica em função do comprimento do parafuso**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristovão, p. 68. 2017.

YEMAL, J. A.; TEIXEIRA, N. O. V.; NAAS, I. A. Sustentabilidade na construção civil. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION**. 2011. p. 1-10. Disponível em: <[http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6B/8/Yemal\\_JA](http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6B/8/Yemal_JA) > Acesso em 24 novembro 2018.