

Alexandre Oliveira Vitor

**PROPOSTA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS) EM ESTRUTURA
DE BAMBU: PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO EXPERIMENTAL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado como parte dos
requisitos para obtenção do título de

ENGENHEIRO CIVIL

Prof.^a Luciana Rohde, Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Lisiane Ilha Librelotto, Dra.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Poliana Dias de Moraes, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Andrea Salomé Jaramillo Benavides, Ms.
Doutoranda do PÓSARQ/UFSC
Universidade Federal de Santa Catarina

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Alexandre Oliveira Vitor

PROPOSTA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS) EM ESTRUTURA DE
BAMBU: PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO EXPERIMENTAL

Florianópolis

2018

Alexandre Oliveira Vitor

PROPOSTA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS) EM ESTRUTURA DE
BAMBU: PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO EXPERIMENTAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof.^a Lisiane Ilha Librelotto, Dra

Florianópolis

2018

RESUMO

Os impactos ambientais provenientes da má gestão dos recursos naturais, do desmatamento e da poluição são resultados da ocupação desrespeitosa do homem na Terra, sendo que dentre as atividades humanas o setor da indústria da construção civil é o que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva. Condizente a esta realidade, verifica-se que grande parcela da população brasileira não possui moradia adequada, tornando-se necessária a busca de alternativas de construção menos impactantes para suprir o déficit habitacional do país. Nesse sentido, o bambu se mostra uma importante opção para reduzir o impacto ambiental associado à construção de residências, por ser um material com baixa energia incorporada, resistente e comumente encontrado no Brasil. O estudo da viabilidade construtiva de estruturas de bambu é fundamental para o projeto e construção de moradias populares. Com este objetivo, foi projetado e construído um protótipo experimental nos domínios da Universidade Federal da Santa Catarina e registrada, através de fotografias, o passo a passo das etapas construtivas relatando a experiência em ordem cronológica de execução. O estudo de viabilidade comprovou o potencial do bambu como matéria prima sustentável para construir moradias, nos aspectos econômico, ambiental e social, além de fomentar a ampliação da cadeia produtiva do bambu no Brasil.

Palavras-chave: Bambu. Protótipo de moradia. Habitação de Interesse Social.

AGRADECIMENTOS

Ao curso de construção de uma habitação em bambu, aos ministrantes do curso e aos bambuzeiros que possibilitaram a realização prática deste trabalho. Ressaltando os sinceros agradecimentos a Jaime Peña por disponibilizar material bibliográfico e incentivar esta pesquisa científica e ao Mauro Tosta pelos ensinamentos sobre a execução da fundação em madeira roliça.

À professora Lisiane Ilha Librelotto, pela orientação e incentivo que tornaram possível a construção de um protótipo e a conclusão desta monografia.

Ao meu pai e amigo Celso Luis Vitor, pela atenção e dedicação na correção deste Trabalho de Conclusão de Curso. À minha mãe que, com muito carinho, me incentivou a seguir meu sonho em se realizar construções sustentáveis. Aos meus irmãos e familiares, pelas conversas e momentos vividos no decorrer de todos estes anos de faculdade.

Agradeço também ao Marcelo Venturi, ao Marcos Marques e ao Rafael Trivisan, que disponibilizaram alguns colmos de bambu de seus amados bambuzais para a colheita e execução do protótipo.

Agradeço de coração a todos os meus amigos e amigas que participaram e prestaram ajuda durante as etapas de preparação dos materiais e construção do protótipo, trocando conhecimento e muitas risadas no decorrer do trabalho voluntário: Alan Guimarães, Amadeus Novaes, Arthur Leite de Barro, Catarina Kasten, Felipe Nascimento, Fernando Pacheco, Gabriel Sala, Geórgia Scarabelot Bergamin, Gustavo Kath Ackermann, Henrique Back, João Pedro Alves de Lima, João Marcos Nicolodi, Jonas de Castro e Carvalho, Letícia Dalpaz, Rachel Sarreta, Rodrigo Franco, Rômulo de Lima, Sumara Lisboa, Thiago Cardoso, Thiago Mendonça e Tainá Hillesheim. Ressaltando que a construção de uma moradia só é possível com ajuda da comunidade.

Aos mestres carpinteiros Saulo Pereira e Salésio da Cruz Gaia, que me auxiliaram e ensinaram a utilizar os equipamentos da Maquetaria. Ao curso de Arquitetura por ceder o espaço da Maquetaria para realização do trabalho prático desta monografia

Sumário

1. Introdução	8
1.1. Contexto.....	8
1.2. Problemática.....	8
1.3. Justificativa.....	11
1.4. Pergunta da pesquisa.....	13
1.5. Objetivos.....	13
1.5.1. Objetivo Geral.....	13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	13
1.6. Delimitações.....	13
1.7. Estrutura do trabalho.....	14
2. Revisão Bibliográfica	16
2.1. Sustentabilidade na construção civil.....	16
2.1.1. Ciclo de vida dos materiais.....	17
2.2. Habitação de Interesse Social (HIS).....	18
2.2.1. Arquitetura vernácula.....	20
2.2.2. Sistema de mutirão.....	20
2.2.3. Flexibilidade, adaptabilidade e modularidade.....	21
2.3. O bambu como material construtivo.....	22
2.3.1. Normas de construção com bambu.....	25
2.3.2. Características fisiológicas.....	27
2.3.3. Colheita.....	29
2.3.4. Tratamento.....	30
2.3.5. Secagem e estoque.....	32
2.3.6. Particularidades das espécies <i>Dendrocalamus asper</i> , <i>Bambusa tuldooides</i> e <i>Bambusa oldhamii</i>	32
2.3.7. Técnicas de construção com bambu.....	33
2.3.8. Cuidados na construção com bambu.....	34
2.4. <i>Bahareque</i>	35

3. Método de pesquisa	35
3.1. Tipo de pesquisa.....	36
3.2. Ferramentas, materiais e técnicas.....	36
3.2.1. Preparo da matéria prima	37
3.2.2. Descrição do projeto.....	42
3.2.3. Memorial descritivo e Orçamento	43
3.2.4. Cronograma de execução	43
4. Construção do protótipo	45
4.1. Serviços preliminares	45
4.1.1. Limpeza e preparo do terreno.....	45
4.1.2. Locação da obra (execução do gabarito).....	45
4.1.3. Escavações para as fundações	46
4.2. Infraestrutura	47
4.2.1. Fundação	47
4.3. Superestrutura	52
4.3.1. Painéis modulares em bambu	53
4.3.2. Estrutura da Cobertura.....	66
4.4. Montagem e execução da superestrutura	69
4.4.1. Fixação dos painéis e da estrutura da cobertura	69
4.4.2. Impermeabilização dos bambus	71
4.4.3. Fechamento dos painéis com bambu planificado.....	71
4.4.4. Caibramento do telhado.....	72
5. Estudo de viabilidade	74
5.1. Econômica.....	74
5.2. Social.....	75
5.3. Ambiental.....	76
6. Conclusões e recomendações para futuros trabalhos	79
Bibliografia.....	81
APÊNDICE A-1 – PROJETO DE FUNDAÇÕES.....	87

APÊNDICE A-2 – PROJETO ARQUITETÔNICO	91
APÊNDICE B – MEMORIAL DESCRITIVO E ORÇAMENTO DOS MATERIAIS ...	97
APÊNDICE C – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	101

1. Introdução

1.1. Contexto

O planeta Terra, com o passar dos anos, vem sofrendo muito com o descaso e desrespeito dos humanos frente aos seus recursos naturais. Por imprudência ou falta de informação, os seres humanos agem de maneira egoísta e não consideram os impactos negativos gerados pelos seus atos. Como consequência, segundo o Boletim da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2016) sobre os Gases do Efeito Estufa, pode-se notar o crescimento alarmante dos níveis de dióxido de carbono que, com outros gases do efeito estufa, estão desencadeando mudanças sem precedentes nos sistemas climáticos.

Além da poluição do ar, grandes quantidades de resíduos têm sido descartados de maneira irregular e acabam contaminando a água. Estima-se que a cada ano acumulam-se nas águas de 300 mil a 500 mil toneladas de dejetos provenientes das indústrias (CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação, 2005). A deterioração do meio ambiente, decorrente das atividades humanas, é uma preocupação mundial.

Como proposta compensatória e de redução dos atuais impactos ambientais gerados pelo homem, o autor deste trabalho acredita na educação ambiental como instrumento chave de conscientização popular. Os impactos provenientes da má gestão dos recursos naturais, do desmatamento e da poluição devem ser apresentados ao ser humano principalmente durante sua infância, possibilitando o crescimento do pensar ambientalmente sustentável.

Desta forma, este trabalho de conclusão de curso assume como tema o uso do bambu em construções que possam ser mais sustentáveis, com menos impacto ambiental.

1.2. Problemática

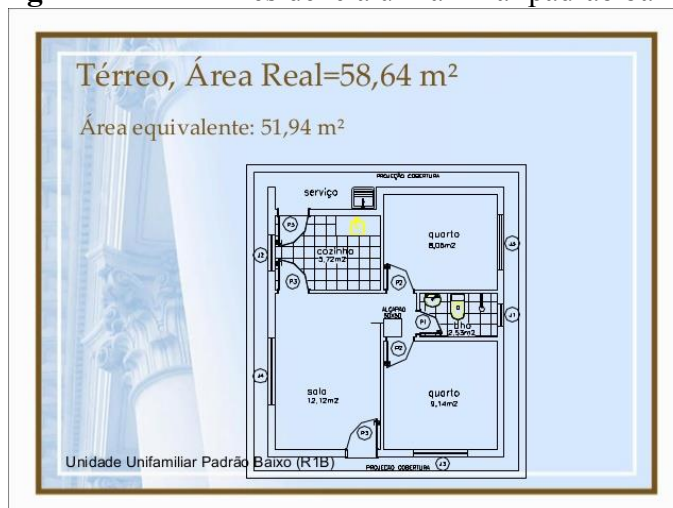
Grande parcela da população brasileira não possui uma casa para morar, seu nível de renda dificulta ou impede o acesso à moradia através dos mecanismos normais do mercado imobiliário. Frente a esta realidade, políticas habitacionais vêm sendo desenvolvidas e implantadas, através dos anos, de maneira a reduzir o número de pessoas sem acesso à moradia. Estima-se, através de dados estatísticos emitidos pela Fundação João Pinheiro (Damata Pimentel et al. , 2018), que o Déficit Habitacional brasileiro para o ano de 2015 foi de aproximadamente 6,2 milhões.

Dentre as atividades humanas realizadas sobre a Terra, o setor da indústria da construção é o que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva (Ministério do Meio Ambiente, 2012). Isso ocorre devido ao ciclo de vida dos produtos utilizados na construção e à grande amplitude industrial, que se estende desde a extração da matéria prima para sua fabricação até o seu descarte sob forma de resíduo. Segundo o Diagnóstico dos Resíduos

Sólidos da Construção Civil (IPEA, 2012), estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção.

O projeto-padrão R1-B, conforme a ABNT NBR 12721:2006, normalmente é edificado para suprir as demandas habitacionais do país. A sigla R1-B se refere a uma residência unifamiliar de baixo padrão de 1 pavimento, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque (Figura 2).

Figura 6: R1-B - Residência unifamiliar padrão baixo



Fonte: ABNT NBR 12721:2006

Este projeto possui área real de 58,64 m e sua construção é sugerida em concreto armado e alvenaria de vedação, sistema construtivo mais empregado na construção atual brasileira. Os impactos ambientais gerados ao se empregar este modelo construtivo podem ser parcialmente elucidados através de uma análise simplificada delimitando-a às produções do aço, concreto, areia, cimento e tijolos de alvenaria.

A tabela 2.1, a seguir, expõe as quantificações de consumos básicos, por unidade habitacional, de energia embutida e de emissões de CO₂ para produção do aço, concreto, areia, cimento e tijolos. Tais dados encontram-se nos três primeiros blocos à esquerda da tabela. A análise de energia embutida e de emissões de CO₂ para edificação de uma unidade habitacional encontram-se nos dois blocos à direita da Tabela 1.

Tabela 1: Quantificações e análise de energia embutida e de emissões de CO2 por unidade habitacional

Consumos básicos por unidade habitacional		
Aço	1072	kg
Concreto	15	m
Areia	10	m
Cimento	66	sacos
Tijolos	3435	tijolos

Energia embutida na produção		
Aço	30	MJ/kg
Concreto	2760	MJ/m
Areia	80	MJ/m
Cimento	210	MJ/saco
Tijolos	4060	MJ/un

Emissões de CO2 na produção		
Aço	1,45	kg/kg
Areia	22,62	kg/m
Cimento	48,44	kg/saco
Tijolos	0,98	Kg/un

Energia embutida por unidade habitacional		
Aço	32160	MJ
Concreto	41400	MJ
Areia	800	MJ
Cimento	13860	MJ
Tijolos	13946100	MJ
TOTAL	14034320	MJ

Emissões de CO2 por unidade habitacional		
Aço	1554,4	kg
Areia	226,2	kg
Cimento	3197,04	kg
Tijolos	3366,3	kg
TOTAL	8343,94	kg

Fonte: Librelotto (2018)

Portanto, observando-se as tabelas, conclui-se que para a construção de uma unidade habitacional do lote básico NBR 12721 em concreto armado e alvenaria de vedação, são emitidos 8,34 toneladas de dióxido de carbono para a atmosfera e consumidos 14 milhões de megajoules para produção de tais materiais.

O objetivo em avaliar as emissões de CO2 e a energia incorporada na construção de uma habitação popular padrão é ilustrar o impacto potencial para a construção de 6,2 milhões de habitações, número representativo do déficit habitacional brasileiro. Multiplicando-se os valores obtidos para a construção do projeto-padrão R1B pelo número representativo do déficit habitacional brasileiro chega-se ao seguinte resultado, demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Impactos potenciais relacionados ao déficit habitacional brasileiro

Energia embutida para construção de 6,2 milhões de HIS			
14034320 MJ	X	6,2 milhões	= 87012784 milhões de MJ
TOTAL	=	87 trilhões de MJ	

Emissões de CO2 para construção de 6,2 milhões de HIS			
8343,94 kg	X	6,2 milhões	= 51732,43 milhões de kg
TOTAL	=	51,73 milhões de toneladas de CO2	

1.3. Justificativa

Assim, torna-se necessário buscar alternativas de construção menos impactantes. O bambu, por ser um material ecológico, resistente e comumente encontrado no Brasil, apresenta-se como possível solução construtiva de baixo custo e ambientalmente correta. A técnica *bahareque*, muito utilizada em países como Colômbia e Venezuela, utiliza prioritariamente bambu para criar o sistema estrutural de uma parede, reduzindo, portanto, a quantidade de aço e extinguindo o uso de tijolos de alvenaria na construção de habitações. Este método foi identificado pelo autor como tecnologia de construção promissora com potencial de reduzir o impacto ambiental associado à construção de residências.

O relatório de Brundtland (1987) define o desenvolvimento sustentável como aquele que atende o “suprimento das necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem as suas próprias necessidades”. Portanto, como proposta de solução mais sustentável, este Trabalho de Conclusão de Curso traz o projeto de uma HIS em estrutura de bambu de acordo com as esferas do modelo *Triple Bottom Line* de John Elkington (1998). Tal modelo define os aspectos econômicos, ambientais e sociais como pilares para o desenvolvimento sustentável.

A escolha de materiais mais ecológicos, tais como a terra e o bambu, podem e devem ser incorporados à construção civil não só como alternativa ambiental, mas também como uma possível alternativa de baixo custo e com a capacidade de empoderar todos os envolvidos durante o processo de construção. Com a devida instrução e oficinas pontuais de capacitação e qualificação da mão de obra, a terra e o bambu se tornam fáceis de manipular, possibilitando assim que os construtores se tornem artesãos. Após conhecer os cuidados necessários para utilização e correta manipulação do bambu, o artesão se torna hábil na produção de peças com alto valor agregado, gerando nova fonte de renda. O bambu é um material que promove diversas oportunidades de trabalho, pois muitos produtos podem ser produzidos com baixos investimentos de capital. Além disso, a manipulação destes materiais se apresenta mais segura

que a dos convencionalmente utilizados na construção e podem ser encontrados facilmente por todo o território brasileiro.

Segundo material disponibilizado pela Embrapa (Drumond, 2017), o Brasil tem a maior diversidade de bambus das Américas com mais de 200 espécies, entre nativas e exóticas, sendo a grande maioria endêmica. Porém, por falta de incentivos, não existem fornecedores regulares de varas de bambu e profissionais experientes que tenham suas próprias plantações tecnicamente manejadas. Em geral existem coletores de varas de bambu de terrenos de terceiros para um uso pouco formal do material.

Os tipos de bambu mais facilmente encontrados para compra, principalmente no Sudeste e no Sul do Brasil, são reduzidos a algumas espécies como: *Phyllostachys aurea*, *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus giganteus* (Vasconcellos, 2006). Os estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná têm a maior diversidade de bambus lenhosos (Schröder, 2009).

Mesmo sendo comprovada a grande disponibilidade e diversidade do bambu no Brasil, a ausência de normas brasileiras específicas para a utilização estrutural restringe sua utilização. No entanto, para o desenvolvimento do presente Trabalho de Conclusão de Curso, será analisado e utilizado um conjunto de normas e indicações já estruturadas e aplicadas em outros países.

O bambu aparece como resposta inovadora frente às dificuldades contemporâneas. O bambu não é somente uma planta que absorve CO₂ durante seu ciclo de vida, mas sua produção de oxigênio é 35% superior à de árvores de diâmetro comparável (Laverde, 2014). Além disso, o bambu é uma espécie de gramínea que, se manejado de forma correta, pode ser colhido anualmente sem comprometer o equilíbrio natural do bambuzal. As características deste material renovável são notáveis. Além de ser um produto natural e de baixo custo, suas propriedades mecânicas e físicas comprovam alta resistência e extrema leveza, sendo este o motivo pelo qual o bambu foi apelidado de “aço vegetal”.

O presente material busca desconstruir o *modus operandi* vigente hoje na construção civil, que é responsável por uma série de impactos ambientais, e implantar um sistema construtivo inovador em nosso país e de uso corrente em outros países da América Latina, o *Bahareque*. Acredito que o engenheiro civil deve adaptar-se às novas necessidades, buscando trabalhar em harmonia com o meio ambiente e, em meio a esse cenário global, buscar alternativas sustentáveis.

1.4. Pergunta da pesquisa

É possível construir Habitações de Interesse Social unifamiliares utilizando o bambu e materiais menos impactantes ambientalmente?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade construtiva para uma moradia popular em estrutura de bambu através da construção de um protótipo experimental.

1.5.2. Objetivos Específicos

- a) Quantificar as emissões de gás carbônico e de energia embutida necessárias a produção de alguns dos materiais convencionalmente utilizados na construção de um projeto padrão sugerido pela NBR12721:2006;
- b) Elucidar o potencial do bambu como material construtivo nos aspectos econômicos, sociais e ambientais;
- c) Projetar e conceber módulo de protótipo em estrutura de bambu;
- d) Descrever o método construtivo através de registros fotográficos.

1.6. Delimitações

Este trabalho propõe a escolha de materiais construtivos considerando uma alternativa mais sustentável, não levando em consideração outras estratégias de pós-ocupação como, por exemplo, posicionamento de fachada em relação à nascente/poente do sol, uso de aparelhos energeticamente eficientes, adoção de equipamentos economizadores de água, aproveitamento da iluminação natural e estratégias de ventilação natural. Restringe-se portanto a questão de técnica construtiva e seleção de materiais, considerando o bambu como material alternativo para a minimização dos impactos ambientais provenientes da construção civil.

No item que trata sobre a Análise do Ciclo de Vida (ACV), tanto a vida útil quanto a reciclabilidade dos materiais não serão abordados. Esse tipo de limitação na fronteira da ACV é bastante comum, chamado internacionalmente de análise *cradle-to-gate* (do berço à porta). Além disso, a análise será feita somente para os seguintes materiais: aço, concreto, areia, cimento e tijolos de alvenaria, todos como materiais mais representativos.

Não serão abordadas as variáveis sociais e políticas no que concerne à habitação de “interesse social” e sim levantadas as possibilidades econômicas, sociais e ambientais em se utilizar o bambu como material construtivo.

O autor não apresentará ensaios laboratoriais que trazem as variâncias na resistência mecânica do bambu conforme a espécie, adotando como verdade o fato de que a espécie de bambu *Dendrocalamus asper* possui alta resistência mecânica e, portanto, será utilizado como elemento estrutural do projeto (pilares, vigas e estrutura do telhado). A meta do autor é propor um método construtivo para habitações populares ainda não desenvolvido no Brasil, que será testado de forma incipiente neste TCC. Como o viés é puramente para comprovar a viabilidade construtiva desta técnica, não foram realizados cálculos estruturais, mantendo aberta a possibilidade de futuros trabalhos nesta área.

Tanto o telhado quanto os acabamentos não fazem parte deste trabalho, no entanto a obra terá continuidade e será escrito posteriormente um artigo sobre estas etapas. Como informação antecipada desta continuação do trabalho, o forro da casa será feito com placas de OSB impermeabilizado, no seu lado externo, com tinta asfáltica. As placas de OSB serão fixadas aos caibros de bambu e protegidas contra as intempéries utilizando recortes de lona de vinil proveniente da reutilização de banners, dispostas como se fossem telhas e grampeadas nas placas. O reboco das paredes será realizado sobre a parte interna do bambu planejado, experimentando diferentes tipos e traços de reboco para vedar a casa e servindo como objeto de estudo para a durabilidade.

1.7. Estrutura do trabalho

O capítulo 1 apresentou as diretrizes gerais da pesquisa.

No capítulo 2 será abordada a revisão bibliográfica no que concerne aos pilares da sustentabilidade, os aspectos ambientais, sociais e econômicos envolvidos na construção civil. O conceito de Habitação de Interesse Social, de sistema de mutirão, de arquitetura vernácula e os princípios de flexibilidade e adaptabilidade para este tipo de moradia serão explorados como pretexto para realização do projeto de fundações e do projeto arquitetônico do protótipo.

Em sequência, ainda no capítulo 2, será introduzido o bambu como material de construção sustentável, relacionando os impactos deste material com os demais métodos provenientes da construção tradicional. Ao discorrer sucintamente sobre todas as etapas necessárias de preparo da matéria prima, serão elucidadas as maneiras corretas de coleta, de tratamento contra agentes xilófagos, de secagem e de como estocar o material. Também serão levantadas as normas atuais de construção com bambu como escopo para contextualização do atual cenário para a elaboração da norma brasileira, trazendo consigo algumas notícias na área do bambu.

No capítulo 3, após concluir a revisão bibliográfica, será definido o método de pesquisa, apresentadas as ferramentas, materiais e técnicas necessárias para executar e documentar a construção do protótipo assim como para fazer a análise de viabilidade ambiental através de estudos de emissões de gás carbônico e energia incorporada e também para preparação da matéria prima nas fases de colheita, tratamento e secagem.

O desenvolvimento do protótipo, através da documentação de cada etapa, será apresentado no capítulo de número 4, evidenciando todos os passos para a sua construção, sendo eles: serviços preliminares, fundação, painéis modulares de bambu, estrutura da cobertura, montagem e fixação da superestrutura, fechamento dos painéis com bambu planejado e caibramento do telhado. Todos os itens deste capítulo estão em ordem cronológica de execução, sendo que todas as etapas da construção estarão aqui documentadas utilizando fotos e textos pessoais do autor relatando sua experiência.

No capítulo 5, será realizado o estudo de viabilidade do uso do bambu de acordo com o tripé da sustentabilidade, ou seja, será analisada a viabilidade econômica, ambiental e social da proposta de habitação em questão.

No último capítulo, conclui-se em realização aos objetivos e delimitações estabelecidas para o trabalho.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Sustentabilidade na construção civil

A construção civil é um setor de grande importância para a economia nacional e, atrelada a ela, vem o desenvolvimento e a capacidade de produção do país.

Segundo Elkington (1998), o desenvolvimento sustentável pode ser compreendido como aquele que atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer a possibilidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades. Portanto, é indispensável que o crescimento econômico do país seja alcançado com responsabilidade ambiental e justiça social.

Grande parte dos materiais empregados na construção civil não são renováveis e produzem impactos no ambiente desde a fabricação até o descarte sob forma de resíduo. A escolha dos materiais de construção possui um peso expressivo sobre o impacto ambiental de um empreendimento. O posicionamento de fachada em relação à nascente/poente do sol, uso de aparelhos energeticamente eficientes, adoção de equipamentos economizadores de água, o aproveitamento da iluminação natural e estratégias de ventilação natural também são técnicas de uma arquitetura sustentável e de extrema importância na manutenção e ocupação da residência. A produção de energia através de fontes renováveis, assim como a redução da demanda, tem como resultado a otimização do desempenho energético da edificação, tendo como consequência a redução do consumo mensal de energia.

Cabe aqui ressaltar que, para o desenvolvimento do atual trabalho, será enfatizada a escolha de materiais e o método construtivo. O autor propõe a minimização dos impactos ambientais optando por materiais mais ecológicos como o bambu e a madeira além de propor um método construtivo que visa a redução dos desperdícios em obra.

A construção civil é um ótimo catalizador de empregos e, portanto, possui notável importância social. Alguns dos impactos sociais negativos ocasionados pelo setor são verificados nas comunidades e nas relações de trabalho. Parte da culpa do imenso déficit habitacional do país está atribuída à incapacidade do setor em acompanhar o crescimento da demanda por novas habitações, o que resulta em um crescimento não organizado e de baixa qualidade habitacional nas regiões periféricas da cidade. Nas relações de trabalho provenientes da construção civil, nota-se que muitos colaboradores não possuem carteira assinada.

O Conselho Internacional para Pesquisa e Inovação em Construção (CIB/UNEP-IETC, 2002) define a construção sustentável como um processo holístico para restabelecer e manter a harmonia natural em conjunto com o ambiente construído, criando estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica.

2.1.1. Ciclo de vida dos materiais

Tendo em vista que a indústria da construção civil exerce impacto significativo sobre a economia de uma nação e o efeito devastador de sua produção industrial, cabe ao consumidor a escolha consciente dos materiais empregados em seu empreendimento. A escolha de materiais de construção representa um importante campo da engenharia ambientalmente responsável.

O consumidor possui papel extremamente relevante e deve ser sujeito ativo, procurando se informar sobre a conduta das empresas em relação à preservação do meio ambiente. Cabe aqui ressaltar a responsabilidade civil ambiental decorrente do consumo, pós-consumo e seus reflexos.

Neste contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se destaca como excelente método para análise e escolha de alternativas, sob uma perspectiva puramente ambiental. A análise deve considerar as etapas de extração de matérias-primas, transporte, fabricação, uso e descarte (o ciclo de vida).

Originalmente desenvolvida a partir dos princípios da indústria ecológica, a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida é reconhecida como de grande valia para o setor da construção civil. A ACV rastreia a quantidade de emissões para a natureza (p. ex. kg de carbono, dióxido e metano) e as extrações da natureza (por exemplo o quilograma de minério de ferro) para um produto ou processo estudado em todo o seu ciclo de vida. O processo completo está ilustrado na Figura 1.

Figura 1: *Life cycle tracking of emissions to and extractions from nature*



Fonte : SIMONEN, Kathrina (2014)

A análise do ciclo de vida das edificações requer a compreensão de que não se trata de um objeto estático que está terminado quando a construção acaba e os donos a ocupam. Ao invés disto, as edificações sofrem constantes mudanças, elas são dinâmicas e causam impacto na sociedade e no ambiente durante sua vida. As operações de construção são responsáveis por uma grande parcela do consumo de energia do mercado global. Em contrapartida, o aumento da eficiência energética nas edificações tem sido um forte foco da indústria da construção, ótimo fator que tende a reduzir o consumo mensal de energia nas habitações.

Devido à alta complexidade em se realizar a Análise do Ciclo de Vida completa, pode ser realizada uma análise simplificada com o intuito de evidenciar impactos potenciais de alguns materiais utilizados atualmente na construção. Em outras palavras, podem ser levantados os quantitativos de energia embutida e de dióxido de carbono emitido para produção do aço, concreto, areia, cimento e tijolos. Esta análise tem como objetivo avaliar a pressão do consumo de tais materiais sobre os recursos naturais. O conceito de pegada ecológica está diretamente relacionado a este tipo de análise, trata-se da contabilidade ambiental gerada pelos hábitos de consumo das populações humanas sobre a natureza. Cabe aqui ressaltar que a forma como se vive deixa marcas no meio ambiente e estas marcas, ou pegadas, podem ser calculadas e comparadas com diferentes padrões de consumo.

Sabe-se que é preciso reduzir a emissão de gases do efeito estufa, como o CO₂. Este e tantos outros gases responsáveis pelo aquecimento global são liberados na atmosfera diariamente através da queima de combustíveis fósseis como petróleo e carvão. O aumento do uso da terra, o desmatamento, as práticas agrícolas e a produção industrial são algumas das atividades humanas que impactam seriamente a qualidade do ar. Além de impactar a qualidade do ar, segundo a *World Meteorological Organization*, as atividades humanas pós-industriais intensificaram o aquecimento da temperatura terrestre nos últimos 25 anos devido ao aumento das emissões de dióxido de carbono (WMO, 2016).

O setor da construção civil possui grande pegada ecológica, uma vez que para produção de materiais como o aço, a areia, o cimento, o concreto e os tijolos, grande quantidade de poluentes são emitidos e, portanto, incorporados na atmosfera.

2.2. Habitação de Interesse Social (HIS)

Segundo Denaldi (2003), no Brasil, os gastos com a moradia não foram incorporados aos salários pagos pela indústria e nem assumidos pelo Estado. Definida como “urbanização com baixos salários”, as características excludentes do mercado imobiliário obrigaram a população a apelar para a produção doméstica e a invasão de terras.

“No final do século XIX, grandes mudanças, tais como crescimento demográfico, desenvolvimento da economia cafeeira, início da industrialização, libertação dos escravos e incremento da migração, ocasionaram a expansão dos centros urbanos e o aumento dos cortiços, que se tornaram a principal alternativa de moradia para a população mais pobre” (DENALDI, 2003).

A busca da população por uma melhor qualidade de vida em soma ao aumento da oferta de empregos nas cidades devido à necessidade de mão de obra para trabalhar nas indústrias, resultou na saída do cidadão brasileiro do campo em direção à cidade. Em pouco mais de uma geração, a partir dos meados do século XX, o Brasil, um país predominante agrário, transformou-se em um país virtualmente urbanizado (DEÁK, C. & SCHIFFER S.R., 1999).

A migração para os centros urbanos em conjunto com o crescimento vegetativo da população como um todo resultou no crescimento da população urbana. O que se observa e é consenso é que as cidades têm crescido e com elas uma população com muita dificuldade em conseguir uma habitação adequada (ABIKO, 1995). População cujo nível de renda dificulta ou impede o acesso à moradia através dos mecanismos normais do mercado imobiliário

Evidencia-se, portanto, o grande desafio de se construir um grande número de unidades habitacionais de baixo custo e de boa qualidade. A solução de moradia voltada para a população de baixa renda é definida pelo termo genérico Habitação de Interesse Social (HIS). Conforme Abiko (1995), o termo vem sendo utilizado nos estudos sobre gestão habitacional por várias instituições e agências.

A conceituação de HIS é muito complexa e amplamente discutida entre os autores da área. Para Bonduki et al. (2003), o termo Interesse Social está ligado ao princípio básico da Constituição Federal que, no artigo 6º, define o direito à moradia como um dos direitos sociais (BRASIL, 1988, art.6). Deste modo, a HIS deve ser definida como aquela necessariamente induzida pelo poder público. Conforme Denaldi (2003), existe uma série de variáveis que definem o termo, ele não é de cunho unicamente social, mas também econômico e ambiental, garantido constitucionalmente como um direito e condição de cidadania.

Larcher (2005) traz a seguinte afirmação: “Pode-se concluir os seguintes requisitos básicos que caracterizam a Habitação de Interesse Social: é financiada pelo poder público, mas não necessariamente produzida pelos governos, podendo a sua produção ser assumida por empresas, associações e outras formas instituídas de atendimento à moradia; é destinada sobretudo a faixas de baixa renda que são objeto de ações inclusivas, notadamente as faixas até 3 salários-mínimos; embora o interesse social da habitação se manifeste sobretudo em relação ao aspecto de inclusão das populações de menor renda, pode também manifestar-se em relação a outros aspectos, como situações de risco, preservação ambiental ou cultural.”

No âmbito da crise do padrão habitacional, no que concerne à habitação de grande escala, o Estado mostrou-se incapaz de responder ao processo de reprodução da força de trabalho na área urbano-habitacional. Soluções imediatas e eficientes são necessárias, visto que ao longo dos últimos 35 anos o estado tem implementado programas habitacionais voltados para a habitação de interesse social com a oferta de unidades mínimas localizadas em sítios inadequados e na maioria das vezes não adaptadas às necessidades das populações usuárias (PEREIRA, 2002).

Visto a complexidade do tema, não serão abordadas as variáveis sociais e políticas no que concerne à habitação de “interesse social” e sim levantadas as possibilidades econômicas e ambientais em se utilizar a terra e o bambu como materiais construtivos.

2.2.1. Arquitetura vernácula

Dotada de técnicas bioclimáticas passivas e com utilização de materiais locais em suas construções, a arquitetura vernácula baseia-se em métodos construtivos tradicionais que adotam tipologias regionais adequadas ao ambiente no qual se encontram. Diferentemente dos sistemas construtivos tradicionais, que consagram a arquitetura universal, a arquitetura vernácula pode ser chamada de sustentável pois utiliza materiais com baixa energia incorporada.

Este tipo de arquitetura é resultado dos conhecimentos passados de geração a geração e suas práticas, consideradas milenares, continuam a ser estudadas por profissionais contemporâneos. No âmbito científico, com o propósito de elucidar a potência construtiva dos materiais naturais e evitar a correlação atribuída à utilização dos mesmos nas chamadas “casas de pobre”, muitos artigos e teses científicas vêm sendo desenvolvidas.

Por serem materiais de fácil acesso e presentes em todo território brasileiro, a arquitetura proposta para o presente trabalho tem como objetivo utilizar prioritariamente o bambu, barateando o custo, reduzindo a produção de lixo no canteiro de obras e capacitando a comunidade a construir utilizando estes materiais de maneira adequada.

“O uso de colmos de bambu inteiros para a construção é comum em muitas regiões do mundo, onde faz parte da cultura vernácula e da tradição construtiva dos povos”
(BALLESTÉ, Joan Font, 2017)

2.2.2. Sistema de mutirão

Também conhecido como sistema de ajuda mútua, o sistema de mutirão se desenvolve em meio à comunidade, criando uma rede cooperativa de construção. O esforço coletivo é a base fundamental dos mutirões e possui como moeda de troca o tempo dedicado à construção.

Desta forma, o “mutirante”, ao ajudar na construção da moradia de seu vizinho, receberá ajuda na construção de sua própria casa.

“O motivo básico para a doação voluntária de tempo e trabalho que existe no mutirão é o desejo de se receber o mesmo tipo de ajuda mais tarde.” (FATHY, 1980)

Como proposta de solução habitacional de baixo custo, o sistema de mutirão contribui para o barateamento da obra, diminuindo os custos com mão de obra. Segundo ABIKO (2004), após comparação entre o sistema convencional de mão de obra e o sistema de mutirão em 20 empreendimentos localizados em 15 diferentes municípios brasileiros, constata-se que os custos totais de construção do mutirão são aproximadamente 30% inferiores aos do processo convencional.

Segundo ABIKO (1996), outros benefícios também seriam obtidos, podendo citar a melhoria da qualidade do conjunto habitacional e o reconhecimento e identificação do usuário com o produto de seu trabalho, proporcionando a manutenção e seu uso adequado.

No entanto, como o mutirão não funciona em tempo integral durante a semana, mas apenas nos fins de semana, o tempo de execução das obras que adotam este sistema é superior ao da mão de obra contratada. Para aumentar a produtividade da construção, sugere-se a utilização de mão de obra contratada para somar à mão-de-obra dos “mutirantes”. Além de acelerar o processo de execução da obra, a mão-de-obra contratada pode auxiliar no treinamento e qualificação dos construtores voluntários, capacitando assim a equipe.

Para que o sistema de mutirão seja possível e funcione de fato na construção de um conjunto habitacional, é necessário realizar reuniões com os membros da comunidade para fortalecer a coesão do grupo, estabelecer os objetivos comuns e organizar os processos de trabalho.

2.2.3. Flexibilidade, adaptabilidade e modularidade

A habitação flexível permite aos seus moradores a adaptabilidade do ambiente construído sem a necessidade de grandes investimentos financeiros. Neste trabalho, a flexibilidade da habitação será conquistada por meio do método construtivo que, ao utilizar sistema de fundação adaptável e painéis modulares de bambu, garante a autonomia da família, facilitando a montagem e reduzindo os gastos com a construção de sua própria moradia.

Devido à diferença entre os estilos de vida dos moradores de uma comunidade, as HIS devem ser flexíveis de modo a possibilitar adaptações funcionais ao *modus vivendi* de seus usuários. Sabendo disto, o projetista deve levar em consideração que intervenções serão

realizadas no ambiente, criando um projeto arquitetônico em que as modificações futuras não afetem negativamente a funcionalidade e habitabilidade das moradias.

A personalização do espaço habitado vem, principalmente, da tendência do ser humano em diferenciar-se do outro, buscando sua própria identidade. Segundo Campanholo (1999), esta tendência é irreversível e independe da sistemática criada pelo financiamento próprio por parte das empresas de construção e incorporação.

Como o mercado habitacional, na maioria dos casos, ainda é baseado na família-padrão, ele acaba não acompanhando a pluralidade da realidade urbana que está caracterizada pelo constante fluxo de novas populações com diferentes culturas. A diversidade dos grupos sociais e também o desenvolvimento veloz das tecnologias de informação são alguns dos responsáveis pela revolução dos hábitos domésticos, além de uma situação de menor estabilidade em empregos (GALFERATTI, 1997).

Segundo estudos da tese de doutorado de Brandão (2002), a tendência das moradias é de serem cada vez mais reduzidas, porém melhor equipadas, compensando a perda espacial. Soluções como a integração de ambientes e adoção de espaços multiúso passam a ser necessárias principalmente nos apartamentos menores, porém são expressões de projetos quase sempre pouco explorados no desenho dos espaços da habitação brasileira. Portanto faz-se por necessário a criatividade na arquitetura dos arranjos espaciais que enfatizem projetos com flexibilidade planejada.

O atual trabalho propõe que o projeto e execução da habitação sejam concebidos em parceria com o futuro morador. Tal decisão possibilita ao usuário o conhecimento de como ampliar sua moradia e para onde ampliá-la, melhorando as condições de moradia em questão, satisfazendo suas necessidades familiares por um período significativo de tempo e preservando a qualidade e eficiência do projeto (SZÜCS, 1998)

2.3. O bambu como material construtivo

Na China o bambu é um elemento tradicional indispensável de sua cultura, utilizado como motivo em pinturas, ingrediente na cozinha, para a construção de templos, como um tubo no sistema de drenagem ou simplesmente como um *hashi*. Apelidada pelos chineses como “ouro verde”, o mercado do bambu vem crescendo rapidamente nos últimos anos. A produção nacional chinesa de bambu dobrou seu mercado entre os anos de 2011 e 2016, passando de 15.4 bilhões de dólares para 32.5 bilhões de dólares. Segundo Radunski (2018), tal crescimento econômico só foi possível devido ao suporte governamental do plano nacional do bambu e

também pelo investimento técnico que possibilitou inúmeras novas aplicações para este material.

“Apesar de a China ter uma cultura milenar de uso do bambu, ela conseguiu um fantástico desenvolvimento tecnológico nesta área nos últimos trinta anos. Isto se deve a massivos investimentos em pesquisa tecnológica, abrangendo inclusive áreas como nanotecnologia, que permitiram o desenvolvimento contínuo de novos produtos industrializados nos diversos segmentos da cadeia produtiva. ” (KLEINE, Hans J., 2012)

No Brasil, o uso do bambu como material construtivo é restrito a componentes importados à base de laminados, como chapas aglomeradas, compensados de bambu, bambu laminado e colado, etc (Ballesté, 2017). No entanto, o bambu, em sua forma natural, é tido como um material perecível por muitos profissionais da área devido à falta de informações generalizadas sobre sua utilização. Segundo Ubidia (2016), a durabilidade do bambu depende de seu correto uso, aplicação e manutenção, valendo o mesmo para a madeira, concreto e outros materiais. Exemplos de durabilidade do bambu, construídos a mais de 100 anos, podem ser encontrados na América Latina, em países como Colômbia, Equador e Peru.

“Considerado em muitos países a “madeira dos pobres”, o bambu apresenta características mecânicas que lhe outorgam o apelido de “aço vegetal”. Seu crescimento e produção apresentam valores de custos muito baixos em comparação a outros recursos florestais renováveis. Algumas espécies atingem, entre seis e oito meses, altura e dimensões máximas e, a partir do terceiro ano, desenvolvem o maior potencial mecânico ” (PEREIRA, 2006)

O Brasil é o líder em ocorrência de espécies de bambus nas Américas, dispõe de clima favorável e possui grande extensão de áreas degradadas inaptas para outros cultivos, mas adequadas ao plantio de diversas variedades de bambu de valor comercial (DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, 2017). No entanto, a ausência de uma cadeia produtiva e de normas brasileiras específicas para a utilização estrutural restringem sua utilização.

Dentro da linha de habitações sociais, uma grande demanda é a redução de custos e melhoria da qualidade na construção (ABIKO, 2002). O bambu, para tornar-se um material acessível que supra tais demandas habitacionais, depende de incentivo governamental nas áreas do plantio, da inovação e pesquisa e da capacitação da mão de obra.

O bambu, aliado à sustentabilidade e ao desenvolvimento tecnológico, pode substituir ou reduzir o uso de materiais convencionais como o aço e o cimento, gerando oportunidades de

emprego para fazendeiros, produtores, trabalhadores e profissionais da área da construção. Devido às suas características, à disponibilidade local e por ser um material renovável, o bambu oferece a possibilidade de diminuir a pegada ecológica da indústria da construção, uma importante oportunidade para o setor que mais polui o planeta (UBIDIA, 2016).

As iniciativas citadas a seguir demonstram o surgimento e posterior crescimento da cadeia produtiva do bambu no país.

Em maio de 2005 foi constituída a primeira ONG com finalidade de desenvolver, dentro dos princípios da sustentabilidade, a cadeia produtiva do bambu e seus derivados no Estado de Santa Catarina, a BambuSC (Associação Catarinense do Bambu).

No dia 08 de agosto de 2016 foi aprovada pela câmara a inclusão do Brasil na Rede Internacional do Bambu e Ratã (INBAR)¹. Segundo o governo, a adesão do Brasil a essa rede internacional tem o objetivo de incentivar o uso e o plantio do bambu com base na Política Nacional de incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB), previsto na Lei 12.484/11 (PIOVESAN, 2016). Esta política prevê, entre outros itens: incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico voltados para o manejo sustentado; cultivo; serviços ambientais e as aplicações dos produtos e subprodutos do bambu; parcerias com entidades públicas e privadas para maximizar a produção e a comercialização dos produtos derivados do bambu; estimular o comércio interno e externo desse produto e de seus subprodutos (PIOVESAN, 2016).

No ano de 2017 foi publicado pela Embrapa, em parceria com o Instituto Ciência Hoje, o livro “Bambus no Brasil, da Biologia à tecnologia”, o qual apresenta resultados de pesquisas desenvolvidas com a planta, de Norte a Sul do país. Segundo Gonçalves (2018), o objetivo do livro é divulgar informações científicas estratégicas para o desenvolvimento dessa cadeia produtiva e dar visibilidade ao trabalho de instituições que investem na geração de conhecimentos e tecnologias para ampliar o uso do bambu no território brasileiro.

No dia 20 de abril de 2018, nas dependências da Pontifícia Universidade de Campinas (PUCCAMP), foi criada a Associação Brasileira do Bambu (BambuBr). O grupo reúne representantes dos diversos setores envolvidos na pesquisa, utilização e comercialização do bambu, além de estarem envolvidos na elaboração e andamento da norma técnica específica para o bambu.

O presente trabalho tem como propósito fomentar a discussão sobre a aplicabilidade e funcionalidade técnica do bambu, em sua forma natural, como material construtivo.

¹ INBAR - organização internacional sediada na China que investe nos usos do bambu e ratã (uma espécie de palmeira) pelo mundo, com desenvolvimento sustentável e maior uso dos produtos.

2.3.1. Normas de construção com bambu

O bambu, como material construtivo, é leve e pode formar estruturas com pouca massa e boa flexibilidade quando comparado a estruturas de madeira. No entanto, o comportamento das estruturas de bambu pode variar drasticamente, dependendo das espécies, do plantio e da idade dos colmos. Devido ao fato de este ser um material vulnerável a exposições de raios ultravioleta e à chuva, o bambu requer proteções durante o preparo, a execução e a manutenção do projeto. Além disto, como descrito no item “2.3.3. Tratamento”, o bambu é sensível a ataques de insetos e fungos, portanto deve ser impregnado ou tratado de forma a conter tais agentes.

Segundo Minke (2012), existem algumas complicações quanto ao cálculo de estruturas em bambu: sua seção arredondada dificulta a execução de ligações e de suportes; o diâmetro e a espessura de sua parede variam ao longo da extensão do colmo; raramente o colmo cresce totalmente retilíneo; a dificuldade de se trabalhar com este material é maior do que quando se comparado a madeira e; permissões de execução são difíceis de se obter uma vez que não existem regulamentações oficiais.

No contexto de infraestrutura civil, materiais convencionais como o aço e o concreto foram aceitos através de décadas de análises e experiências, as quais evoluíram para a padronização das práticas. Ainda hoje estes materiais continuam sendo testados e refinados pelo trabalho contínuo de universidades, laboratórios e organizações profissionais. (Harries *et al.*, 2012)

Para adaptar e implementar o bambu como um material de construção, normas construtivas precisam ser redigidas. Para tanto, a necessidade de estudos acadêmicos e de engenharia vêm crescendo e, com isso, gerando um novo campo de estudo com ênfase na caracterização do material e de suas propriedades mecânicas. A padronização e a codificação internacional de normas construtivas têm como intuito promover o uso do bambu de maneira segura e eficaz, classificando-o como um produto estrutural renovável.

Em 2004, a *International Organization for Standardization* (ISO), em cooperação com o INBAR, desenvolveu e publicou três padronizações para construções de bambu, o qual representou o primeiro passo para uma padronização internacional do material (ISO, 2004a, 2004b, 2004c). Apesar da existência de tais normas, elas não proveem fundamentação teórica suficiente sobre o verdadeiro potencial do bambu, para que construtores, engenheiros e arquitetos possam desenhar e construir com este material (Harries *et al.*, 2012).

Em contrapartida, países como China, Colômbia, Equador, Índia e Peru, que possuem o bambu como matéria-prima local e notável conhecimento tradicional sobre sua utilização,

tomaram a frente criando um campo de normas construtivas para estruturas em bambu (Gatóo et al. 2014):

- Na China, a norma JG/T 199 categoriza métodos físicos e mecânicos para colmos roliços de bambu utilizados em construções (PRC MoC, 2007, apud Gatóo et al. 2014);
- Na Colômbia, o código para estruturas sismo-resistentes inclui um capítulo para estruturas construídas com a espécie de bambu mais conhecida na Colômbia, o *Guadua* (*Guadua angustifolia* Kunth) (ICONTEC, 2010, apud Gatóo et al. 2014). Além desta normatização, a Colômbia possui a norma NTC 5407, que diz respeito a ligações estruturais com *Guadua angustifolia* Kunth (ICONTEC, 2006, apud Gatóo et al. 2014) e a norma NTC 55255, que consiste em métodos e testes para determinar características físicas e mecânicas da mesma espécie de bambu (ICONTEC, 2007, apud Gatóo et al. 2014);
- No Equador, o Capítulo 17 da *Norma Ecuatoriana de la Construcción* conta com a utilização do *Guadua angustifolia* Kunth na construção (INEN, 2011, apud Gatóo et al. 2014) para o processamento, seleção, construção e manutenção. Existe também a norma GPE INEN 42, que promove aspectos sobre o bambu como material construtivo;
- Na Índia, a seção 3B do *National Building Code of Índia* (NBCI) (BIS, 2010, apud Gatóo et al. 2014) fornece os limites de resistência para três classes de bambu, espécies comumente encontradas na Índia. A IS 15912: *Structural design using bamboo – code of practice* provê os requerimentos mínimos para o desenho estrutural utilizando o bambu (BIS, 2012, apud Gatóo et al. 2014). Como complemento, a IS 6874: *Method of tests for bamboo* (BIS, 2008) pode ser utilizada para determinar as propriedades físicas e mecânicas de um colmo roliço de bambu.
- No Peru, o código de construção com bambu foi aprovado em 2012 (ICG, 2012, apud Gatóo et al. 2014). Este código apresenta o design e construção com bambu para estruturas sismo-resistentes.
- Nos Estados Unidos da América, a norma ASTM D5456: *Standard specification for evaluation of structural composite lumber products* (ASTM, 2013, apud Gatóo et al. 2014) é a primeira a reconhecer o bambu laminado colado como um produto estrutural, como também apresenta o processo de manufatura e testa diversos métodos. Na norma estadunidense, o bambu laminado colado é tratado como equivalente à madeira laminada colada.

No Brasil, segundo Beraldo (2018), a elaboração de norma técnica específica para o bambu está em andamento, conforme publicado no Boletim 161 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Para tanto, reuniões bimestrais têm ocorrido nas instalações da Universidade Presbiteriana Mackenzie, contando com a participação de representantes de universidades, de institutos de pesquisa, de produtores rurais e de setores envolvidos com a comercialização de artigos derivados do bambu. Devido à falta de normas regulamentadoras brasileiras quanto à utilização do bambu roliço, sua prática, atualmente, é restrita a propriedades rurais.

A padronização de normas estruturais e códigos construtivos reflete o crescente interesse da sociedade e do governo em promover o desenvolvimento industrial do bambu como um material sustentável. A implantação de políticas que incentivem o cultivo do bambu nas comunidades locais de países tropicais em vias de desenvolvimento é essencial, porque representam os primeiros passos no processamento e criação da cadeia produtiva do bambu como material estrutural.

Além do desenvolvimento de códigos padronizados mundiais, é necessária uma crescente demanda por materiais fabricados a partir do bambu. Para tanto, a coordenação participativa do governo com a indústria, através de experimentações e análises acadêmicas, é fundamental para a implantação do bambu como material construtivo. A congruência e participação destes agentes garante, com agilidade e eficiência, a transformação do bambu em um produto industrial de valor comercial, possibilitando a utilização deste recurso vegetal e removendo a conotação marginal do bambu na construção civil.

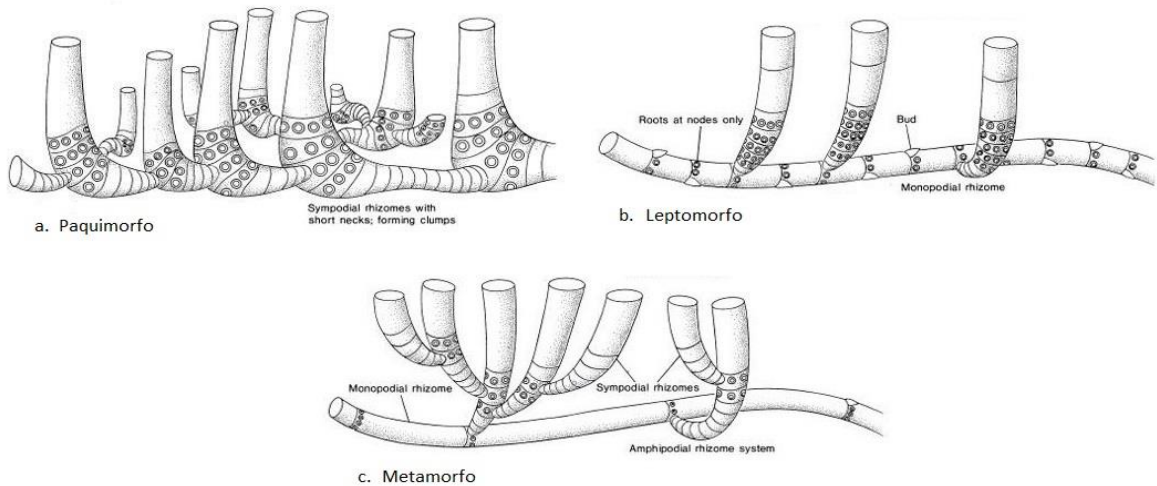
2.3.2. Características fisiológicas

Cientificamente, o bambu é um representante da família das gramíneas, assim como o arroz, trigo, outros cereais e a cana de açúcar. Segundo Poppens, técnico do INBAR, o bambu possui vigor de crescimento inalcançável por nenhuma outra planta da natureza, sendo necessário, em média, de três a seis meses para que um broto atinja sua altura máxima. O bambu necessita captar uma grande quantidade de carbono para crescer e é devido ao seu rápido crescimento que o bambu pode sequestrar mais gás carbônico do que uma árvore (MINKE, 2012). No entanto, o efeito do carbono sequestrado será anulado caso o bambu seja utilizado como combustível e é por este motivo que utilizações de longo prazo, como construção civil e movelaria, são as ideais para garantir que o carbono continue preso na planta por um longo período.

Esta grama gigante pode ser dividida em raiz, caule, folhas e inflorescências. A porção subterrânea do caule é denominado rizoma e este é classificado quanto ao seu tipo de

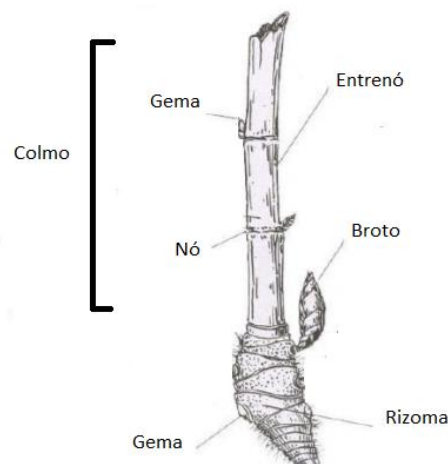
crescimento, podendo ser paquimorfo, leptomorfo e metamorfo. Em geral, espécies de rizoma paquimorfo organizam-se em touceiras, enquanto as espécies de rizomas leptomorfo são alastrantes (Figura 2). Segundo material disponibilizado pela Embrapa (DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G., 2017), são desconhecidas as espécies nativas do Brasil com rizoma leptomorfo.

Figura 2: Tipos de crescimento do rizoma



A parte aérea do caule é denominada colmo e este é formado por nós, entrenós e gemas (Figura 4). Como os bambus não apresentam crescimento radial, o colmo já surge com o seu diâmetro máximo na base e afunila em direção ao ápice assumindo assim a sua forma cônica. O crescimento do bambu é expresso de forma visível através do alongamento dos colmos e, após atingir sua altura máxima, o colmo de bambu passa a crescer internamente, ou seja, ele aumenta a espessura de sua parede.

Figura 3: Partes de um colmo de bambu



Os colmos, assim como as folhas, têm a capacidade de realizar fotossíntese e para isto possuem células que se alinham no sentido axial. Tais células são protegidas por feixes de fibras que promovem a sua rigidez e uma parte das células, denominadas parênquimas, possui como fonte de reserva polímeros de amido, os quais tornam o bambu um grande atrativo a insetos após realizado o corte.

Do ponto de vista agrônômico, os colmos de bambu são sua parte mais importante. Eles são a matéria prima demandada para os mais diversos usos e possuem grande diversidade de forma, cor, densidade e rigidez, variando conforme a espécie. Devido à grande variedade de espécies de bambu no Brasil e à ausência de uma cadeia produtiva bem consolidada, faz-se necessário realizar a identificação e reconhecimento das espécies caso queira extraí-los diretamente da natureza, uma vez que diferentes espécies possuem diferentes aplicações.

As espécies de bambu a serem utilizadas para a construção do protótipo são *Dendrocalamus asper* para pilares e vigas, por possuírem alta resistência mecânica, *Bambusa tuldoides* para os painéis de vedação, pois são facilmente encontrados em todo território brasileiro, e *Bambusa oldhamii* para fabricação de esteirinhas e fechamento dos painéis por ser um bambu ereto e de grande diâmetro.

2.3.3. Colheita

Devido à grande quantidade de amido presente no interior das células do bambu, são necessários alguns cuidados no momento da colheita. A extração dos colmos de bambu deve ser realizada durante a estação mais seca do ano. No Brasil, via de regra, os meses menos úmidos são: maio, junho, julho e agosto.

Diversas pesquisas e observações demonstram a correlação existente entre a umidade contida no interior dos colmos de bambu e as fases da lua e também na correlação da concentração da umidade nos períodos diurnos e noturnos. A umidade contida no interior da planta é mínima na lua minguante e nas primeiras horas da manhã, antes do nascer do sol.

As aplicações do bambu diferem de acordo com sua idade na mata. Portanto, antes de se realizar a colheita dos colmos deve-se saber qual será a utilização deste material, ou seja, qual será sua finalidade. Para ser utilizado como alimento humano, os colmos de bambu devem ter entre 20 e 30 dias de idade; para ser utilizado na confecção de cestas e outros tipos de tecidos são indicados colmos que tenham entre 6 meses e 1 ano de idade; já os colmos entre 2 e 3 anos de idade são utilizados na elaboração de esteirinhas e ripas de bambu e; os colmos com 3 ou mais anos de idade são adequados à construção de todo tipo de estrutura, fabricação de papel e de peças laminadas (LÓPEZ, 1981).

Mesmo havendo técnicas de identificação para a idade do colmo, é impossível estimar precisamente, sua idade, a menos que o mesmo seja marcado após nascer como um broto.

Diferentemente das árvores, a extração de um colmo de bambu não ocasiona a morte da planta. No entanto alguns cuidados devem ser levados em consideração para não comprometer a vida do bambuzal, sendo eles: cortar o colmo de bambu diretamente acima do primeiro ou segundo nó e; após colheita, realizar outro corte logo acima do nó no toco de bambu remanescente. Ambos cuidados são essenciais para garantir a longevidade do bambuzal, uma vez que evita o acúmulo de água nos chamados “copinhos”, e o posterior apodrecimento das raízes. A Figura 5 ilustra o passo a passo descrito acima.

Figura 4: Corte correto de modo a impedir o acúmulo de água.



Fonte: Ubidia (2016)

O manejo sustentável do bambuzal é o que torna este material uma potencial fonte renovável e cíclica. Coletando colmos de bambu de maneira correta, novos brotos nascerão fortes e saudáveis para uma próxima colheita. Para isso deve-se coletar apenas a quantidade necessária de colmos sabendo, previamente, qual será sua utilização.

2.3.4. Tratamento

Como citado anteriormente, o bambu reserva polímeros de amido no interior de uma parte de suas células, tornando-o um grande atrativo a agentes xilófagos após cortado. O *Dinoderus minutus* (Figura 6), popularmente conhecido como caruncho-do-bambu ou broca-do-bambu, é a espécie de inseto que causa problemas mais sérios ao bambu. Esta praga começa o ataque 24 horas após o corte dos colmos, ela perfura os colmos de bambu no sentido longitudinal a alguma fratura, deixando um pó de textura muito fina, resultante do material infestado (PLANK², 1948 apud SARLO, 2000).

² PLANK, H. K. Biology of the bamboo powder-post beetle in Puerto Rico. Mayagez, P.R.: United States Department of Agriculture, 1948. 29p. (Bulletin 44).

Figura 5: Perfis do inseto *Dinoderus minutus*



Fonte: Thomas (2008)

Sem o tratamento, os bambus destinados à construção civil perdem seu potencial devido à diminuição da durabilidade. O ataque do *D. minutus* tem como resultado a criação de túneis ao longo da parede do bambu. Buracos de 2 milímetros ao longo da sessão longitudinal do bambu podem ser encontrados após infestação, reduzindo drasticamente a vida útil do material. Segundo Janssen (2000) algumas espécies possuem maior durabilidade que outras, no entanto não existem dados suficientes para uma classificação tão eficiente quanto à utilizada para madeiras. Ainda Janssen (2000) propõe a seguinte classificação quanto à durabilidade dos bambus sem tratamento:

- De 1 a 3 anos se estiver exposto a intempéries e em contato com o solo;
- De 4 a 6 anos quando coberto e livre do contato com o solo;
- De 10 a 15 anos quando muito bem estocados ou utilizado em boas condições.

Existem diversos tipos de tratamentos, químicos e tradicionais, que visam reduzir a quantidade de amido no interior das células do bambu, portanto reduzindo a incidência de insetos. Além da proteção contra o caruncho, o tratamento também deve imunizar os colmos de bambu contra o crescimento de fungos.

A preservação tradicional dos colmos de bambu tem sido utilizada durante séculos por diferentes comunidades da região andina (UBIDIA, 2016). O método mais econômico e comprovado pela sabedoria popular, para bambus da espécie *Guadua*, consiste em realizar a colheita na época mais seca do ano durante a fase de lua minguante e, após cortar o colmo de bambu logo acima do nó, deixar o bambu sobre o mesmo toco remanescente e apoiado no próprio bambuzal durante 3 semanas. Outros métodos tradicionais são a imersão em água corrente, a imersão com tanino e o tratamento com fogo.

Para o desenvolvimento do atual trabalho, optou-se por dois tipos de tratamentos químicos, sendo eles: preservação por imersão em solução de octaborato de sódio e preservação por inundação dos entrenós em solução de pentaborato de sódio, técnica também conhecida como “*Vertical Soak Diffusion*”. Estes dois sais químicos são elaborados à base de bórax e ácido bórico e são utilizados na agricultura como fertilizante foliar. São produtos amplamente utilizados e difundidos em literaturas devido à sua eficácia no tratamento, custo e segurança para os usuários e meio ambiente.

De acordo com autores como Jorg Stamm, Gernot Minke e diversos técnicos do INBAR, para fabricação do pentaborato de sódio é suficiente utilizar 2,5% de borax e 2,5% de ácido bórico em uma solução de água previamente aquecida para facilitar diluição.

2.3.5. Secagem e estoque

A etapa de secagem tem como intuito a eliminação total ou parcial da água contida no colmo, estabilizando dimensionalmente o bambu, evitando modificações geométricas e também a aparição de agentes biológicos como fungos. Os colmos de bambu, após tratados, necessitam de dois meses para perder sua umidade interna e estabilizar suas dimensões. Tais variações dimensionais decorrentes da perda de água podem provocar tensões em certos pontos da estrutura, comprometendo seu comportamento estrutural (BALLESTÉ, 2017). Segundo Salgado (2014), a resistência mecânica do bambu aumenta de forma inversamente proporcional ao teor de umidade dele.

Para concluir o processo de preparação dos colmos de bambu, a secagem pode ser feita através de processos naturais utilizando ar livre ou com ajuda de tecnologias tais como secadores solares e fornos. Ambos os métodos devem assegurar que o bambu não tenha contato direto com o solo natural e após seco devem ser estocados em local coberto, seco e bem ventilado.

“O bambu, por ser um material poroso e higroscópico, absorve água na forma líquida e também na forma de vapor. Portanto, deve-se estocar o bambu em local coberto, seco e bem ventilado (MINKE, 2012)”

2.3.6. Particularidades das espécies *Dendrocalamus asper*, *Bambusa tuldoides* e *Bambusa oldhamii*

A espécie *Dendrocalamus asper*, também conhecida como bambu balde, pode ser utilizada para construção quando maduro como também para fonte de alimento quando ainda é um broto. Os colmos de bambu desta espécie podem ser utilizados como material construtivo de casas e para fabricação de instrumentos e utensílios domésticos tais como painéis de

cozinha. Seu diâmetro externo varia entre 8 e 20 centímetros e pode chegar até 30 metros de altura (SCHRODER, 2010).

Segundo ensaios mecânicos realizados com a espécie *Dendrocalamus asper* (Carbonari et al. 2017), sua resistência à compressão (Mpa) varia entre $51,15 \pm 5,2\%$ com nó e $49,84 \pm 4,5\%$ sem nó e seu módulo de elasticidade (GPa) varia entre $23,30 \pm 8,5\%$ com nó e $24,80 \pm 6,7\%$ sem nó. Nota-se, portanto, que além de ser um material com elevada resistência mecânica à compressão, a presença ou não de nós nos corpos de prova diferenciam os resultados.

“Na região dos nós, as fibras são curtas com paredes espessas, aforquilhadas e distorcidas, o que garante uma densidade específica mais elevada aos nós, influenciando nas propriedades físicas e de resistência mecânica do colmo (Liese, 2003 apud Gomes Luis et al. 2017; Greco et al., 2011 apud Gomes Luis et al. 2017).”

Conhecida popularmente como taquara, a espécie *Bambusa tuldoides* têm ocorrência confirmada nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil (FILGUEIRAS, 2015). Esta espécie de bambu possui uso mais comum para fabricação de cercas, confecção de móveis e artesanatos. Seu diâmetro externo varia entre 3 e 8 centímetros, podendo chegar até 15 metros de altura.

Do mesmo gênero, porém com características diversas, a espécie *Bambusa oldhamii* pode chegar até os 20 metros de altura e em boas condições pode ter o diâmetro externo acima de 10 centímetros (OHRNBERGER, 1999).

2.3.7. Técnicas de construção com bambu

O bambu é um material versátil para a construção podendo ser utilizado ao natural, em seu formato roliço, como também ripado, em forma de esteiras, e de maneira planificada. Todas as técnicas de construção que utilizam bambu são leves e resistentes e necessitam apenas equipamentos de baixo custo e de fácil manipulação (UBIDIA, 2016).

Para construção com colmos roliços, deve-se utilizar apenas bambus saudáveis e sem defeitos, optando por aqueles com 3 ou mais anos de idade. O método mais confiável de se determinar a idade de um colmo de bambu consiste em marca-lo no primeiro ano de nascimento.

Ripas de bambu são fabricadas a partir da divisão longitudinal de um colmo de bambu e possuem diversas aplicações na construção, sendo algumas delas a fabricação de esteiras para forro e do esqueleto de uma paredes de pau-à-pique.

O bambu planificado, conhecido em espanhol como *esterillas de bambú*, também possui grande variedade de aplicações na construção, sendo mais comum sua utilização para

fechamento de paredes e coberturas. Para planificar um colmo de bambu utiliza-se um machado e sua produção deve ser feita a partir de bambus recém colhidos (UBIDIA, 2016).

2.3.8. Cuidados na construção com bambu

Para construir uma habitação utilizando bambu, deve-se ter em mente que este material necessita cuidados específicos. Assim como a madeira e o concreto, o uso do bambu como material de construção civil possui uma série de restrições que visam garantir o conforto e a segurança da edificação.

O primeiro cuidado está na seleção e uso de colmos de bambu com boa qualidade, maduros, tratado e secos. Segundo Ubidia (2016) o uso de bambu fresco, sem estar devidamente seco, pode causar rachaduras e comprometer a vida útil da construção.

Após os devidos cuidados na seleção e preparo da matéria prima e iniciando a etapa de construção propriamente dita, as colunas e paredes de bambu devem ser edificadas de modo a evitar o contato do material com o solo, não devendo ser enterradas e muito menos concretadas. O bambu quando em contato com o solo ou embebedado no concreto está sujeito à deterioração e, certamente irá reduzir a durabilidade da estrutura (MINKE, 2012). Conforme a Norma Técnica E. 100 Bambú (2012), deve-se evitar que os elementos estruturais de bambu entrem em contato com o solo, mantendo-os a uma altura mínima de 0,20 metro acima do nível do terreno.

Além de protegê-lo contra a umidade do solo, deve-se evitar a sua exposição contra a chuva. Segundo Minke (2012), é indispensável construir a cobertura com beiral suficientemente largo e posicionar os pilares e elementos da parede acima do solo para prevenir o contato do bambu com a água da chuva.

A proteção dada a estrutura de bambu na fase de projeto é de extrema importância para aumentar a longevidade do material. Assim sendo, também é necessário impermeabilizá-lo contra a umidade do ar e protegê-los contra a incidência de raios solares com o uso de impermeabilizantes. O produto mais utilizado e de mais fácil acesso para proteger os bambus da estrutura contra o sol e a chuva é o staint impregnante. Outro produto que vem sendo testado para cumprir com a mesma função é a resina de mamona. Cabe aqui ressaltar que estas informações foram obtidas pelo autor através de contatos pessoais com diversos bambuzeiros.

Ao se realizar uniões entre peças de bambu, deve certificar-se que o encaixe foi bem realizado de maneira a distribuir as cargas de um bambu uniformemente ao outro. Na realização dos encaixes deve-se optar por peças que possuam nós em ambas extremidades a fim de evitar o surgimento de trincas (MINKE, 2012).

2.4. Bahareque

A técnica *bahareque* é muito utilizada em países como Colômbia e Venezuela e utiliza prioritariamente bambu para criar o sistema estrutural de uma parede. Segundo Lopez (1981), a estrutura da parede de *bahareque* é formada por colmos de bambu na vertical na qual se fixam comprimentos de bambu planificado nas duas extremidades.

O bambu planificado deve ser colocado horizontalmente com o lado liso voltado para o interior da parede e sua fixação pode ser feita utilizando parafusos colocados a uma distância não maior que 8 centímetros ligados com arame galvanizado, unindo os bambus planificados uns aos outros dando uma volta com o arame na cabeça dos parafusos antes de apertá-los totalmente (LOPEZ, 1981).

Ainda segundo Lopez (1981), o bambu planificado, por ter forma trapezoidal, tem um extremo mais estreito que o outro e por isto devem ser colocados de tal forma que sobre o extremo mais largo se coloque outro comprimento de bambu planificado com o extremo mais estreito e vice-versa.

O fato de colocar-se o lado liso voltado para interior da parede é devido à má aderência deste lado com o reboco. Para tanto, o bambu planificado deve ser fixado às paredes com sua parte interna aparente, deixando o interior do colmo aberto exposto para a futura aplicação do reboco.

3. Método de pesquisa

A pesquisa científica de um novo modelo construtivo para moradias populares será abordada de maneira prática e experimental através da construção de um protótipo em estrutura de bambu localizado no Campus Reitor João David Ferreira Lima, sede da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O cunho justificativo deste trabalho está relacionado ao tema sustentabilidade no que se refere à escolha dos materiais utilizados na construção civil, buscando comprovar a possibilidade em se reduzir os impactos ambientais ao empregar o bambu como material construtivo.

Para que o estudo seja possível, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o ciclo de vida dos materiais comumente utilizados na construção, sobre Habitação de Interesse Social (HIS) de maneira vernácula e sua caracterização como uma moradia flexível, adaptável e modular e também sobre a utilização do bambu como material construtivo através de normas construtivas internacionais. Os principais autores que contribuíram com o trabalho foram John Elkington (1998) no tema sustentabilidade, Alex Kenya Abiko (1995) para as definições e explicações sobre HIS, Hidalgo Lopez (1981), Gernot Minke (2012), Jorge Morán Ubdia

(2016) e a norma Colombiana de Desenho e Construção Sismo Resistente (NSR /98) para as pesquisas sobre o bambu e modelos construtivos.

Além disso, também foi realizada pesquisa em campo por meio de um curso de construção em Mogi das Cruzes, São Paulo, com duração de 7 dias ministrado pelos arquitetos Jaime Peña e Mauro Tosta. Foi através deste curso que o autor teve a oportunidade de conhecer e construir uma casa em bambu utilizando a técnica *bahareque*.

3.1. Tipo de pesquisa

A pesquisa foi exploratória e teve como principal preocupação identificar os fatores necessários para se construir uma habitação em estrutura de bambu. Para isto, a pesquisa esteve diretamente relacionada ao método experimental, gerando conhecimento e servindo para dar continuidade às pesquisas exploratórias e descritivas sobre o uso do bambu como material construtivo.

Espera-se, através deste trabalho de conclusão de curso, subsidiar futuras pesquisas que comprovem a viabilidade construtiva do material e que possam contribuir para fomentar a ampliação da cadeia produtiva do bambu no Brasil.

3.2. Ferramentas, materiais e técnicas

As ferramentas, materiais e técnicas utilizadas na construção do protótipo foram as bases do controle temporal, técnico e metodológico para execução da obra. A metodologia construtiva segue o memorial descritivo e os projetos necessários à execução do protótipo sob controle temporal estabelecido pelo cronograma de obra.

As ferramentas utilizadas para a documentação do preparo da matéria prima e da construção do protótipo foram as fotografias e os relatos de experiência gerados a partir delas. Todas as fotografias presentes neste Trabalho de Conclusão de Curso foram registradas pelo próprio autor com o intuito de evidenciar a sequência temporal de execução do protótipo e, devido a este fato, o trabalho propriamente dito foi dividido em etapas cronológicas de construção conforme a estrutura analítica do projeto.

Os materiais utilizados para o tratamento dos bambus, para os serviços preliminares e para a execução da infraestrutura foram: tanque para tratamento (tonel soldado), tonel para tratamento vertical, octaborato de sódio, bórax e ácido bórico, pá de corte, cavadeira, carrinho de mão, fita métrica, madeira de caixaria, mangueira de nível, nível de bolha, fio de nylon, prumo de centro, martelo, marreta, esmirilhadeira, serra circular, serra fita, plaina, pincel, furadeira, lápis, jogo de serra copo, broca de mourão, serra de arco, grossa, formão, martelo,

marreta, alicate, barra roscada, arruela e porca. Os *softwares* utilizados para os projetos de fundação e arquitetônico foram, respectivamente, AutoCAD e Revit.

A técnica de análise de impacto ambiental utilizada foi o estudo de emissões e energia incorporada para fabricação de alguns dos materiais mais representativos para construção de um projeto de baixo padrão sugerido pela ABNT NBR 12721:2006 para posterior comparação à construção hipotética de moradias popular em estrutura de bambu.

O estudo de viabilidade econômica foi feito através da divisão do valor total de execução do protótipo pela área construída a fim de retratar o investimento necessário para executar 1 m de uma estrutura em bambu.

O estudo social será realizado com base nas experiências e resultados obtidos através deste Trabalho de Conclusão de Curso.

3.2.1. Preparo da matéria prima

3.2.1.1. Colheita

No dia 01 de agosto de 2018 foram extraídos alguns colmos de bambu da espécie *Dendrocalamus asper*, localizados no Centro de Ciências Biológicas (CCB) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), para futura construção de uma pérgola sobre o bicicletário do CCB, projeto de extensão executado pelo grupo de pesquisa Virtuhab ministrado pelas acadêmicas Sumara Lisbôa e Andrea Jaramillo. Desta colheita, foram disponibilizadas algumas sessões de diversos colmos de bambu.

No dia 06 de setembro de 2018 foram extraídos 15 colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldoides* (Fotografia 1), localizados na Fazenda Experimental da Ressacada – do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da UFSC, sob tutela de Marcelo Venturi e auxílio de Gustavo Kath Ackermann.

Fotografia 1: Colheita de *Bambusa tuldoides*



Todos os colmos de bambu deste bambuzal possuem marcação com a terminologia do ano em que nasceu como broto (Fotografia 2), ou seja, os colmos com a marcação “3” nasceram em 2013, os colmos com a marcação “4” nasceram em 2014 e assim por diante. Para a construção do protótipo, foram coletados colmos de bambu com de marcação “3, 4 e 5” (Fotografia 3), ou seja, bambus com 3 a 5 anos de idade, na qual o material adquire maior resistência mecânica, portanto, indicado para construção civil.

Fotografias 2 e 3: Colmos de *Bambusa tuldooides* numerados conforme data de nascimento



No dia 30 de setembro de 2018 foram extraídos 5 colmos de bambu da espécie *Bambusa oldhamii*, localizados no sítio vagalume, sob tutela de Marcos Marques e auxílio de Amadeus Novaes. Foi realizada seleção visual para estimar a idade dos colmos de bambu, optando por aqueles que aparentavam ter de 2 a 3 anos de idade.

O bambu foi planificado no próprio local utilizando um machado para trinca-lo e uma pá de corte para retirar a parte interna dos nós (Fotografias 4, 5, 6, 7 e 8). O bambu planificado será utilizado como fechamento dos painéis modulares.

Fotografias 4 e 5: Planificação do bambu no sítio vagalume utilizando um machado



Fotografias 6, 7 e 8: Utilização de pá de corte para retirar a parte interna dos nós



3.2.1.2. Tratamento

Os colmos de *Dendrocalamus asper* foram tratados por inundação dos entrenós com pentaborato de sódio. Para este tratamento, foi furada a parede interna dos nós superiores até o penúltimo, de maneira a coligar os entrenós do colmo, salvo o último, formando um “copo”.

Após esta etapa, o bambu foi colocado em posição vertical dentro de um contentor e seu interior foi preenchido com pentaborato de sódio. Esta solução foi fabricada utilizando dois produtos, ambos facilmente encontrados em lojas de agropecuária devido a seu uso comum como fertilizante foliar. De acordo com autores como Jorg Stamm, Gernot Minke e diversos técnicos do INBAR, para fabricação do pentaborato de sódio é suficiente utilizar 2,5% de borax e 2,5% de ácido bórico em uma solução de água previamente aquecida para facilitar diluição. Foram necessários 50 litros de água para preencher o interior dos colmos de bambu, ou seja, foi diluído 1,5 kg de cada produto para produção do pentaborato de sódio.

Após transcorridos 15 dias de tratamento, foi perfurado o último nó de cada colmo para escoamento e armazenamento do líquido para futuro reúso (Fotografia 9). A etapa subsequente está descrita no item “2.3.4. Secagem e estoque”.

Fotografia 9: Preservação por inundação dos entrenós



Os colmos de *Bambusa tuldooides*, imediatamente após a colheita, foram separados conforme sua utilização em projeto (Fotografia 10) e direcionados ao tratamento por imersão em “octaborato de sódio”. Para este tratamento, deve-se furar as paredes internas dos nós, de maneira a coligar os entrenós do colmo, formando um “canudo” e permitindo a penetração do produto no interior dos colmos de bambu. Foi utilizado um vergalhão de aço como broca para a furadeira, perfurando todos os nós internos do bambu (Fotografia 11).

Fotografias 10 e 11: Preparação de *bambusa tuldooides* para tratamento



Após esta etapa, os colmos de bambu foram imersos, na posição horizontal, dentro de uma piscina com o “octaborato de sódio” previamente dissolvido em água (Fotografias 11 e 12). O “octaborato de sódio” é uma solução de fácil dissorção, portanto, não foi necessário pré aquecimento da água. A proporção utilizada foi de 10%.

Fotografias 11 e 12: Tratamento por imersão em octaborato de sódio



Após transcorridos 10 dias de tratamento, os colmos de bambus foram retirados da piscina e estocados para secagem.

Os colmos de *Bambusa oldhamii* foram tratados por imersão em “octaborato de sódio”, imediatamente após passarem pelo processo de planificação do bambu, reaproveitando a solução previamente preparada para tratamento dos bambus da espécie *Bambusa tuldooides*. Neste caso, por se tratar de bambu planificado, não foi necessário perfurar as paredes internas dos nós, pois o bambu já estava aberto e apto ao tratamento.

Após 10 dias de tratamento, os colmos abertos foram retirados da piscina e estocados para secagem.

3.2.1.3. Secagem e estoque

Os colmos de *dendrocalamus asper* foram estocados na horizontal, após escoamento total do produto utilizado para o tratamento, em local coberto, seco e ventilado conforme a Fotografia 13.

Fotografia 13: Secagem e estoque dos colmos de *Dendrocalamus asper*



Após serem retirados da piscina de tratamento, os colmos de *Bambusa tuldooides* passaram 5 dias secando em pé antes de serem realocados para secagem na horizontal em local coberto, seco e ventilado. Optou-se pela secagem vertical em primeiro momento para que o produto pudesse escoar por inteiro, evitando a formação de bolsas d'água no interior dos colmos. Este cuidado foi levado em consideração com a finalidade de evitar uma maior concentração do produto utilizado no tratamento em uma faixa longitudinal específica do colmo, concluindo o tratamento com uma secagem homogênea.

O bambu planificado de *Bambusa oldhamii*, após tratamento, foi deixado na posição vertical (Fotografia 14) para escoamento total do produto e depois foram estocadas horizontalmente em local coberto, seco e ventilado.

Fotografia 14: Esteirinhas de *Bambusa oldhamii*



3.2.2. Descrição do projeto

Como técnica construtiva, selecionou-se o emprego do *bahareque* por possibilitar a redução do emprego de aço, cimento e areia nas construções e eliminar a necessidade de tijolos de alvenaria ou blocos de concreto para vedação. Além de ambientalmente adequado, este método construtivo, em conjunto com a proposta de fundação, garante modularidade, flexibilidade e adaptabilidade ao tipo de habitação em questão.

Como parte estrutural do *bahareque*, optou-se pelo uso do bambu da espécie *Dendrocalamus asper* para os pilares, as vigas e a estrutura da cobertura, pois possuem notável resistência mecânica. Para compor os painéis das paredes, utilizou-se bambus da espécie *Bambusa tuldooides* devido ao fato de serem facilmente encontrados no sul do País e a grande quantidade de material demandada à fabricação dos painéis. Quanto ao fechamento com bambu

planificado, foram utilizados bambus da espécie *Bambusa oldhamii* em virtude de seu diâmetro que, por possuir entre 7 e 10 centímetros na base, apresentou-se como alternativa eficiente para fechamento do protótipo.

Como preservação contra agentes xilófagos, foram realizados dois tipos de tratamentos químicos, sendo eles: preservação por imersão em solução de octaborato de sódio e preservação por inundação dos entrenós em solução de pentaborato de sódio. Estes dois sais químicos são elaborados à base de bórax e ácido bórico e são utilizados na agricultura como fertilizante foliar. São produtos amplamente utilizados e difundidos em literaturas devido à sua eficácia no tratamento, custo e segurança para os usuários e meio ambiente. Optou-se pela utilização de dois tratamentos com soluções distintas para verificação *a posteriori* da eficácia e durabilidade de cada tratamento.

O protótipo estrutural trata-se de um canteiro experimental em que o autor, de acordo com um conjunto de normas e pesquisas na área, busca comprovar a teoria através da prática utilizando diferentes espécies de bambu com diferentes técnicas de tratamento. Para tanto, o projeto conta com 2,4 metros quadrados de área construída, pé direito de 2 metros e telhado de duas águas. O projeto de fundações e o projeto arquitetônico encontram-se no Apêndice A deste trabalho.

3.2.3. Memorial descritivo e Orçamento

O memorial descritivo foi o primeiro passo realizado e teve, como foco principal, o intuito de estipular e quantificar todos os materiais necessários à execução da obra, assim como a técnica construtiva. A partir dele, foi realizado o levantamento orçamentário da construção e posteriormente financiado pelo projeto Ações Integrantes de Ensino, Pesquisa e Extensão em Sustentabilidade através do pedido registrado pela professora Lisiane Ilha Librelotto, orientadora deste trabalho. Tanto o memorial descritivo quanto o orçamento dos materiais encontram-se no Apêndice B deste trabalho.

3.2.4. Cronograma de execução

O cronograma foi objeto organizacional de extrema importância para a construção do protótipo. Como toda obra, houve imprevistos e, com eles, atrasos, adaptações e algumas realocações de atividades. A planilha Excel utilizada para controle da obra foi elaborada por Daniel Funchal, disponibilizada gratuitamente por ele através de seu site.

As etapas de colheita, tratamento e secagem dos bambus, descritas no item 3.2.2, não estão indicadas no cronograma de execução pois este foi realizado considerando apenas as etapas construtivas.

4. Construção do protótipo

4.1. Serviços preliminares

4.1.1. Limpeza e preparo do terreno

A sequência de Fotografias 15 e 16 ilustram o terreno sendo preparado e compactado para posterior realização do gabarito.

Fotografias 15 e 16: Preparação e compactação do terreno e realização do gabarito



Foram necessários 3 dias de compactação devido a chuvas intensas no decorrer da semana e também por se tratar de um solo argiloso. Para esta etapa auxiliaram, Gabriel Sala, Geórgia Scarabelot Bergamin, Henrique Back e Jonas de Castro e Carvalho.

4.1.2. Locação da obra (execução do gabarito)

O gabarito foi realizado com ajuda de Jonas de Castro e Carvalho, bambuzeiro, permacultor e estudante de Design. Para execução deste trabalho foram necessários mangueira de nível, nível de bolha, fita métrica, pregos e fio de nylon. Para garantir a ortogonalidade do gabarito, utilizou-se o Teorema de Pitágoras para um triângulo de lados 3, 4 e 5 metros, ou seja, foi definido um dos lados do gabarito como “a” igual a 3 metros, outro como “b” igual a 4 metros e a partir daí encontramos uma diagonal “c” igual a 5 metros, conferindo um ângulo de 90 graus entre os lados “a” e “b”. Segundo a fórmula:

$$\begin{aligned} a^2 + b^2 &= c^2 \\ 3^2 + 4^2 &= c^2 \\ c &= \sqrt{25} \\ c &= 5 \text{ m} \end{aligned} \tag{1}$$

Sendo:

a – cateto a

b – cateto b

c – hipotenusa

Para a segunda etapa de execução do gabarito, locação dos pontos a serem escavados, foi utilizado o projeto de implantação e locação das estacas presente no Apêndice A-1. As escavações foram executadas em quatro pontos, conferindo forma retangular com arestas de 2 e 1,2 metro (Fotografia 17), como especificado no projeto.

Devido ao fato de as sapatas serem executadas com madeira roliça com diâmetro de 0,15 metro, cada uma das arestas foi demarcada a partir de três comprimentos de fios de nylon, distando 0,075 metro entre si para facilitar a delimitação.

Fotografia 17: Marcação do gabarito para um retângulo 1,2 x 2 metros.



4.1.3. Escavações para as fundações

Os locais a serem escavados foram delimitados utilizando a intersecção dos fios de nylon (Fotografias 18 e 19) e marcados com um pedaço de madeira. Após marcação, os fios de nylon foram retirados temporariamente e foram iniciados os processos com a cavadeira (Fotografias 4.20 e 4.21).

Fotografias 18 e 19: Delimitação dos locais a partir da intersecção dos fios de nylon



Fotografias 20 e 21: Escavação com cavadeira



Todas as sapatas da fundação devem possuir 0,50 metro de profundidade e 0,25 metro de diâmetro, conforme projeto (Apêndice A-1). No entanto, durante a escavação do ponto “S2”, não foi possível passar do 0,30 metro de profundidade, pois havia resíduos de construção enterrados no local. Neste caso foi realizada escavação manual com 0,30 metro de profundidade e 0,50 metro de diâmetro. Os demais pontos foram escavados normalmente.

4.2. Infraestrutura

4.2.1. Fundação

Devido a necessidade de se proteger o bambu contra a umidade do solo e também à água da chuva, o tipo de fundação escolhida foi a de sapata simples amarrada com viga baldrame, elevando a construção a 0,30 metro acima do nível do terreno.

A matéria prima utilizada para execução das sapatas e das vigas baldrame é eucalipto e, por estar exposta à umidade e às intempéries, alguns cuidados foram tomados a fim de prolongar a vida útil da fundação: todas as peças de eucalipto foram comprados já tratados em autoclave; as quatro sapatas a serem enterradas foram impermeabilizadas com 3 demãos de tinta asfáltica impermeabilizante e apoiadas sobre lastro fino de concreto.

As sapatas simples foram realizadas conforme especificado no projeto de fundações (Apêndice-D). As Fotografias 22, 23, 24 e 25 ilustram, respectivamente, cada etapa da execução: 5 centímetros de brita; 5 centímetros de concreto; barra de ferro de 10 centímetros centralizada; e estaca de madeira encaixada no ferro e posterior preenchimento com brita ao seu redor. A brita foi apiloada com soquete a cada 2,5 cm de altura de preenchimento. O lastro de concreto utilizado possui traço de 1:2:3 (1 de cimento para 2 de areia e 3 de brita). Para fabricação do concreto *in loco* foi utilizado cimento CII, areia grossa e brita 1.

Fotografias 22, 23, 24 e 25: Etapas da execução das sapatas



Após concluir a etapa das sapatas (Fotografia 26), iniciou-se o processo de preparação das vigas. Primeiramente as madeiras roliças foram cortadas com 8 centímetros de altura no sentido longitudinal, configurando uma base plana para futuramente apoiar as paredes e também o assoalho (Fotografia 27)

Fotografias 26 e 27: Sapatas concluídas e Madeiras cortadas longitudinalmente



Com o intuito de ser uma fundação de fácil ampliação, o encaixe entre as vigas foi feito de forma triangular, seguindo o projeto e deixando dois quartos da área superficial das sapatas livres para futuros encaixes e ampliação da moradia. Todos os cortes foram realizados na Maquetaria (oficina ateliê do curso de arquitetura da UFSC) utilizando a serra circular de bancada com ajuda de Saulo Pereira, técnico em assuntos educacionais, que configurou, com

extrema precisão, o corte a 45 graus (Fotografias 28 e 29). O mesmo corte a 45 graus foi realizado para o outro setor da madeira, deixando um espaço de 2 centímetros entre o encontro dos vértices do triângulo, conforme especificado em projeto.

Fotografias 28 e 29: Execução do corte a 45 graus



Após realizar todos os cortes nas vigas (Fotografias 30 e 31), iniciou-se a etapa de fixação das mesmas sobre as sapatas. Ao iniciar este processo, o autor julgou necessário realizar um encaixe para apoiar as vigas sobre as sapatas, pois a parte em contato entre elas seria a seção arredondada da viga. O encaixe foi feito com ajuda de Salésio da Cruz Gaia, carpinteiro, que auxiliou cortando a base convexa da madeira em 2 centímetros de altura na máquina de serra fita (Fotografias 32 e 33), impossibilitando, portanto, a rotação da viga em torno de seu eixo (Fotografias 34 e 35).

Fotografias 30 e 31: Vigas baldrame com encaixe triangular



Fotografias 32 e 33: Execução do encaixe de apoio sobre as sapatas



Fotografias 34 e 35: Encaixe viga-sapata impossibilitando rotação da viga em torno de seu eixo



A montagem do gabarito em nível de maneira ortogonal é etapa primordial e fundamental para se realizar uma boa fundação. Ela garante perfeita inserção dos pontos de fundação conforme o projeto e o nivelamento de toda estrutura. As Fotografias 36 e 37 ilustram o resultado obtido após fixada a primeira viga.

Fotografias 36 e 37: Inserção da primeira viga sobre as sapatas em nível e no esquadro



Primeiro foram colocadas as vigas de tamanho 1,20 metro e depois as de 2,00 metros, realizando os ajustes necessários para perfeita execução da viga baldrame conforme a sequência de Fotografias 38, 39, 40 e 41.

Fotografias 38, 39, 40 e 41: Sequência de montagem da viga baldrame



Após alocar as vigas sobre as sapatas, foi feita a fixação entre elas com vergalhão de aço 5/16" (\varnothing 8 mm). Primeiro foi feito um furo inclinado, conforme especificado em projeto, de maneira a perfurar a viga e atingir a sapata sob ela. Depois foram inseridos os vergalhões de aço com ajuda de um martelo e o restante do ferro, acima da fundação, foi dobrado, resultando em uma angulação de 90 graus em relação à base plana da viga. Uma vez fixada e amarrada a viga baldrame nas sapatas, foram fixados os vergalhões de aço 3/8" (\varnothing 10 mm) no centro de cada sapata, exatamente entre o encaixe das vigas (Fotografias 42 e 43). Os comprimentos de ferro sobrando acima da fundação servirão como pontos de encaixe das paredes, onde os centros dos colmos verticais dos painéis de bambu serão posicionados para futuramente serem concretados em seu interior para fixação da estrutura.

Fotografias 42 e 43: disposição dos vergalhões de aço que amarram a viga baldrame às sapatas e servem para futura fixação dos painéis de bambu à estrutura.



O último processo para conclusão da fundação foram os detalhes. Foram preenchidos os espaços vazios entre todos os encaixes com massa composta de cola de madeira e serragem (Fotografias 44 e 45) e toda a fundação foi impermeabilizada com 3 demãos de Stein impregnante (Fotografias 46 e 47).

Fotografias 44 e 45: Preenchimento dos vazios com massa de cola de madeira e serragem



Fotografias 46 e 47: impermeabilização da fundação com stein impregnante



4.3. Superestrutura

A construção da superestrutura foi dividida em duas etapas. Primeiro foram produzidos os painéis modulares de maneira pré-fabricada que, em sua composição, já possuem os pilares

da estrutura. Foi pré-fabricada, por se tratar de um método construtivo que precisa, necessariamente, ser construído sobre uma base plana com as mesmas dimensões das paredes. Logo em seguida foi dado início à construção da estrutura da cobertura, que também será realizada em bambu. As vigas da superestrutura são itens constituintes da estrutura da cobertura e foram encaixadas e fixadas aos pilares dos painéis modulares. Para melhor visualização, o projeto arquitetônico, suas fachadas e representações 3D encontram-se no Apêndice-A-2 deste trabalho.

Os painéis e a estrutura da cobertura foram produzidos na Maquetaria, oficina ateliê do curso de arquitetura da UFSC, que, além de contar com uma equipe experiente, possui todas as ferramentas necessárias ao trabalho. As ferramentas e itens utilizados (Fotografia 48) são básicas e de baixo valor aquisitivo, podendo ser encontradas em qualquer loja de ferramentas. Os itens imprescindíveis à construção do protótipo são fita métrica, lápis, furadeira, jogo de serra copo, broca de mourão, serra de arco (não ilustrado na imagem), grosa, formão, martelo, alicate, barra roscada, arruela e porca.

Fotografia 48: Ferramentas utilizadas para construção da superestrutura



4.3.1. Painéis modulares em bambu

Os painéis, em conjunto com o tipo de fundação adotada, trazem o conceito de flexibilidade, adaptabilidade e modularidade à habitação em questão, possibilitando que a moradia possa ser expandida facilmente, conforme desejado pelo morador, através da replicação dos painéis. Para isso, o autor propôs que cada parede do protótipo seja construída a partir de um painel modelo, resultando em quatro tipos de painéis modulares em bambu:

- Painel norte tem 1 metro de comprimento com abertura para porta;
- Painel sul tem 1 metro de comprimento e totalmente fechado;
- Painel leste tem 2 metros de comprimento com uma única abertura para a janela;

- Painel oeste tem 2 metros de comprimento sendo, metade fechado e metade com abertura para janela.

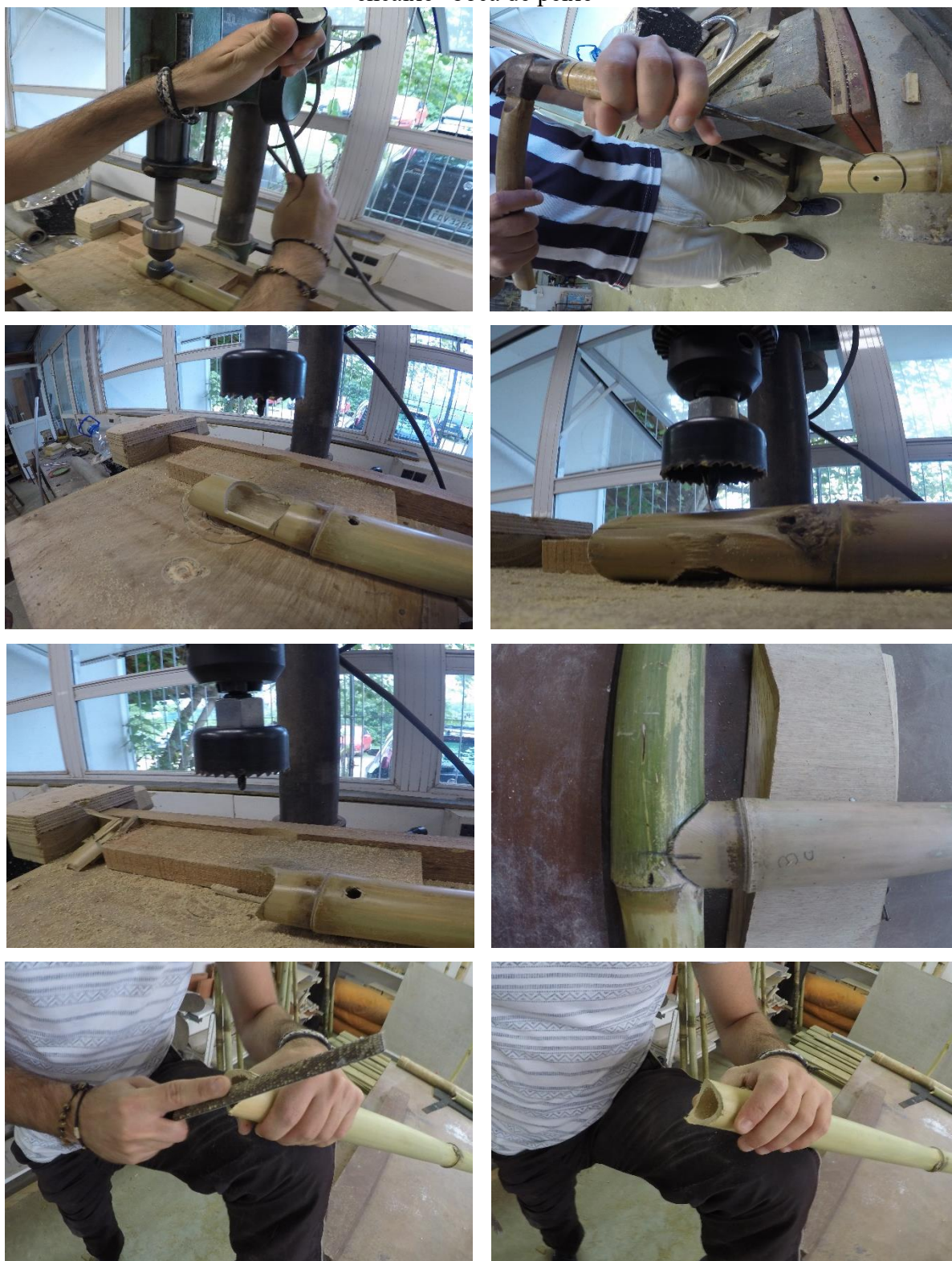
Os painéis leste e oeste possuem um pilar da espécie *Dendrocalamus asper* em cada extremidade e é através destes pilares que são realizadas as ligações com os painéis norte e sul que, por sua vez, não possuem pilares em sua composição. A espécie *Dendrocalamus asper*, por se tratar de uma variedade de bambu mais resistente, é indicada para construção civil. Todo o resto dos painéis foram fabricados utilizando a espécie *Bambusa tuldoides*. Os quatro modelos de painéis encontram-se no apêndice A-2 deste trabalho.

O ideal deste trabalho é de que os próprios moradores da comunidade construam suas casas trabalhando em um sistema de mutirão, garantindo melhoria da qualidade do conjunto habitacional e o reconhecimento e identificação do usuário com o produto de seu trabalho. Uma vez que o trabalhador aprende e domina a técnica, através da replicação dos modelos propostos pelo autor, ele se torna apto a desenvolver outros modelos de parede, proporcionando a manutenção e seu uso adequado.

Neste item será demonstrado o passo a passo dos encaixes e conexões utilizados na fabricação dos painéis. No total, foram utilizados apenas dois tipos de encaixe para manufatura dos painéis, popularmente conhecidos como “boca de peixe” e “bico de flauta”.

Para se realizar o encaixe “boca de peixe”, deve-se escolher uma serra copo com o mesmo diâmetro do bambu a ser encaixado e iniciar o furo com auxílio de uma furadeira (Fotografia 49). Cabe aqui ressaltar que o bambu não deve ser atravessado com a serra copo de uma extremidade a outra e, se acaso o fizesse, o bambu poderia trincar comprometendo sua resistência. Após perfurar um lado do bambu com a serra copo, sugere-se retirar a peça com auxílio de formão e martelo, golpeando o bambu no mesmo sentido de suas fibras, ou seja, em seu sentido longitudinal (Fotografia 50). Depois, deve-se continuar o furo no mesmo local até o momento em que a broca central da serra copo atravesse para o outro lado do bambu, marcando assim o eixo do encaixe (Fotografia 51). O último passo consiste em rotacionar o bambu, para não atravessá-lo, e começar outro furo a partir do eixo demarcado na etapa anterior (Fotografia 52). Após realizado o encaixe “boca de peixe” (Fotografia 53), sugere-se conferir se o encaixe foi bem realizado (Fotografia 54) e, caso haja alguma irregularidade no encaixe, realizar a correção com auxílio de uma grossa (Fotografia 55 e 56).

Fotografias 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55 e 56: Sequência representativa para se realizar o encaixe “boca de peixe”



O encaixe “boca de peixe” é utilizado para ligar um bambu perpendicularmente a outro. Ao se realizar este encaixe nas duas extremidades do mesmo bambu, cuidando para estarem no mesmo eixo, ele funciona como peça delimitadora entre dois bambus paralelos, ou seja, é através deste encaixe que se determina o espaço entre dois pilares por exemplo.

Após realizado o encaixe e configuradas as dimensões desejadas, os bambus são travados com ajuda de uma barra roscada. Esta fixação é feita com ganchos fabricados com a própria barra roscada. Para isso utiliza-se uma tábua de madeira bem fixa, dois pregos e uma chave para dobrar ferro (Fotografias 57 e 58).

Fotografias 57 e 58: Fabricação do gancho com a própria barra roscada



Assim sendo, o gancho passa pelo bambu a ser encaixado e pesca aquele com o encaixe “boca de peixe”, puxando um bambu contra o outro através de uma outra barra roscada fixada no bambu com o encaixe. Nota-se, através da sequência de Fotografias 59, 60, 61 e 62, que esta outra barra roscada está fixada logo após a estrutura do nó propositalmente. É de extrema importância que todas as fixações que utilizam o gancho sejam realizadas logo após o nó. Isto porque o nó é o elemento mais resistente do bambu, onde as fibras deixam de ser longitudinais e irão impedir a aparição e propagação de trincas a partir do furo.

Fotografias 59 e 60: Fixação do encaixe “boca de peixe” com o uso de gancho



Fotografias 61 e 62: Fixação do encaixe “boca de peixe” com o uso de gancho



Já o encaixe “bico de flauta” é utilizado para ligar dois bambus de maneira angular. Este tipo de encaixe foi exclusivamente utilizado para contraventamento dos painéis a partir do uso de diagonais. Para realizar este encaixe, deve-se posicionar o bambu sobre o lugar desejado e traçar onde será sua conexão, com auxílio de um lápis, e depois cortá-lo conforme a marcação. Após realizado o corte, deve-se retirar a parte pontiaguda remanescente do bambu com outro corte, porém reto, e ajustar o encaixe com auxílio de uma grosa. Não há registros fotográficos suficientes para ilustrar este processo.

Após realizado o encaixe “bico de flauta”, sugere-se cortar o comprimento de barra roscada necessária para fixar as duas peças desejadas, dobrar uma das extremidades conforme a Fotografia 63 e furar o bambu, também logo após o nó. O encaixe é fixado ao se apertar as porcas nas extremidades da barra roscada (Fotografia 64). A dobra foi feita para facilitar o processo de fixação entre os bambus.

Fotografias 63 e 64: Dobra e fixação do encaixe “bico de flauta” com barra roscada.



Cabe aqui expor que os únicos itens constituintes dos painéis são bambu, barra roscada, arruela e porca, ressaltando que é de extrema importância a utilização de arruelas antes das porcas e que não se deve apertá-las demais. Estes dois cuidados têm a finalidade de evitar que o bambu sofra esmagamento.

Todos os painéis modulares em bambu possuem 1,50 metros de altura, deixando única e exclusivamente os pilares estruturais com 1,75 metros de altura para posteriormente receberem a estrutura da cobertura. Todos os painéis foram fabricados na Maquetaria, exceto o painel sul, que foi feito na casa do autor deste trabalho e posteriormente transportado à universidade.

4.3.1.1. Painel sul

O painel sul possui 1 metro de comprimento e será totalmente fechado com bambu planificado. Primeiramente foi marcado um gabarito sobre o chão e depois foram selecionados os bambus verticais do projeto (Fotografia 65). O gabarito foi necessário para marcar a distância entre os bambus verticais em 1 metro. Em seguida, utilizou-se um colmo de bambu com um encaixe “boca de peixe” em cada extremidade, para delimitar esta distância (Fotografia 66). Depois, para completar o retângulo de 1 metro de comprimento por 1,50 metros de altura, encaixou-se o bambu superior no topo dos dois elementos verticais (Fotografia 67) e logo abaixo um outro bambu horizontal para travar o comprimento de 1 metro na parte superior da parede (Fotografia 68). Todas as medidas foram realizadas a partir do eixo do bambu.

Depois de todos os encaixes que definem a moldura da parede estarem prontos, iniciou-se a etapa de fixação dos bambus através de ganchos e pequenos comprimentos de barra roscada. Uma vez fixados, foi feito o contraventamento da estrutura com uma diagonal dotada de dois encaixes “boca de flauta”, um em cada extremidade. Os encaixes, a fixação e a disposição final do painel sul podem ser observados pelas Fotografias 69, 70 e 71.

Fotografias 65, 66, 67 e 68: Sequenciamento de montagem – Painel sul



Fotografias 69, 70 e 71: Encaixes, fixações e disposição final do painel sul.



4.3.1.2. Painel oeste

O painel oeste possui 2 metros de comprimento e um pilar em cada extremidade. Metade do comprimento deste painel possui um contraventamento, que posteriormente será fechado com bambu planificado, e a outra metade possui abertura para a janela com um beiral à 0,80 metros de altura. Lembrando que todos os bambus foram selecionados de maneira a garantir um nó próximo a cada extremidade da peça.

Para se construir este e os próximos painéis, foi montado um gabarito com auxílio de duas peças retilíneas, bem fixadas à mesa de trabalho com a utilização de sargentos, de modo a garantir um ângulo de 90 graus entre elas (Fotografias 72 e 73). O gabarito tem como função garantir a ortogonalidade das paredes, servindo como referência para obter os distanciamentos entre as peças tanto no topo quanto na base do bambu. Isto devido ao fato do colmo de bambu não ser totalmente reto, pois todas as distâncias desejadas devem ser verificadas em ambas as extremidades do bambu, ou seja, para manter a distância de 1 metro entre dois elementos verticais deve-se garantir esta medida tanto entre as bases quanto entre os topos destes dois elementos.

Fotografias 72 e 73: Gabarito feito com duas peças presas com sargento configurando 90 graus entre elas



A partir do gabarito, colocou-se o pilar seguido de uma peça vertical (Fotografia 74) e, distanciando 1 metro do pilar, foi colocada outra peça vertical (Fotografia 75). Depois de determinar a distância entre a base dos dois elementos verticais, foi utilizado um bambu com dois encaixes “boca de peixe”, um em cada extremidade, para travar esta medida (Fotografia 76) e o mesmo foi feito para a parte superior (Fotografia 77).

Fotografias 74 e 75: Sequência de montagem do lado direito do painel.



Fotografias 76 e 77: Sequência de montagem do lado direito do painel.



Utilizou-se o mesmo procedimento para o lado esquerdo do painel, ou seja, os encaixes e as explicações dadas para o lado direito foram espelhadas e replicadas para o lado esquerdo (Fotografias 78 e 79).

Fotografias 78 e 79: Sequência de montagem do lado esquerdo do painel



Com os dois pilares posicionados distando 2 metros entre si, tanto na base quanto no topo, foi colocado um elemento horizontal apoiado sobre as três peças verticais e fixado aos pilares, definindo o limite superior da parede (Fotografia 80). Assim como para a fabricação do painel sul, a etapa de fixação dos bambus através de ganchos e pequenos comprimentos de barra roscada foi realizada somente após a conclusão dos encaixes necessários para completar a moldura da parede. Os principais encaixes podem ser descobertos através da análise das Fotografias 81, 82 e 83.

Fotografia 80: Instalação do elemento horizontal que define o limite superior da parede



Fotografia 81: Fixação dos elementos superiores na parte direita do painel



Fotografia 82: Fixação dos elementos horizontal que define o limite superior da parede



Fotografia 83: Fixação dos elementos inferiores na parte direita do painel



Nota-se, pela Fotografia 82, que o bambu inferior ao lado direito da foto está escondendo a porca e arruela da barra roscada que pesca o outro bambu inferior através de um gancho. Este mesmo comprimento de barra roscada serve como pesca para o gancho vertical, puxando o colmo de bambu vertical contra o elemento horizontal superior.

Depois de fixar os bambus e garantir as dimensões de 2 metros de comprimento, dividido em dois setores, por 1,50 metros de altura, foi inserida uma diagonal no quadrante direito do painel para funcionar como contraventamento do painel e estabilizar a estrutura

(Fotografia 84). Na outra metade do painel, do lado esquerdo, foi fixado um bambu horizontal a 0,80 metros de altura, como beiral da janela, e um bambu vertical centralizado logo abaixo para suportar os esforços gerados pela massa dos componentes da janela (Fotografia 85 e 86). O painel oeste pronto está representado na Fotografia 87.

Fotografia 84: Instalação da diagonal no quadrante direito do painel.



Fotografia 85: Instalação de um bambu horizontal à 0,80 metros de altura



Fotografia 86: Instalação de um bambu vertical centralizado logo abaixo do beiral da janela



Fotografia 87: Painel oeste pronto



4.3.1.3. Painel leste

O painel leste possui 2 metros de comprimento com um pilar em cada extremidade. Este módulo possui uma única abertura para a janela com beiral a 0,80 metros de altura. O comprimento abaixo do beiral foi dividido em dois quadrantes com a utilização de uma peça vertical. Os dois lados foram contraventados com o uso de diagonais.

Após a construção dos outros dois painéis, o autor realizou algumas mudanças no sistema produtivo, gerando maior eficiência e agilidade no processo construtivo. Como resultado, a conclusão do painel leste ocorreu em apenas 3 dias. É claro que, além da otimização

do processo, a mão de obra estava mais qualificada e apta ao serviço, facilitando e agilizando a execução de cada etapa.

Para a construção deste modelo, utilizou-se o mesmo gabarito e, a partir dele, foram posicionados todos os elementos verticais do painel. O primeiro pilar foi posicionado com seu eixo no marco zero e, do seu lado esquerdo, uma peça vertical. Logo em seguida, foi colocada outra peça vertical, com 0,80 metros de comprimento, distando 1 metro do eixo do pilar. Para delimitar o comprimento do painel, foi colocado o segundo pilar distando dois metros do marco zero e, ao seu lado direito, outra peça vertical. O posicionamento dos bambus verticais está ilustrado na Fotografia 88.

Depois de determinar a distância entre a base e o topo dos dois pilares, foram selecionadas todas as peças horizontais (Fotografia 89). Para tanto, os colmos de bambus foram selecionados de maneira a garantir um nó próximo a cada extremidade da peça pelo motivo de suportar as tensões provenientes dos encaixes.

Fotografia 88: Peças verticais posicionadas



Fotografia 89: Seleção das peças horizontais



Depois de selecionados os bambus e determinada a distância entre a base dos elementos verticais, foram utilizados dois bambus para travar o comprimento de dois metros entre os pilares e, em seguida, foi posicionado o bambu referente ao beiral da janela sobre a peça central (Fotografia 90). Tanto a altura do encaixe na peça central quanto os encaixes nas extremidades da peça referente ao beiral foram fixadas de maneira a garantir altura de 0,80 metros do gabarito (Fotografia 91).

Fotografia 90: Travando a distância de dois metros entre as bases dos pilares com duas peças horizontais



Fotografia 91: Posicionando o beiral da janela com 0,80 metros de altura



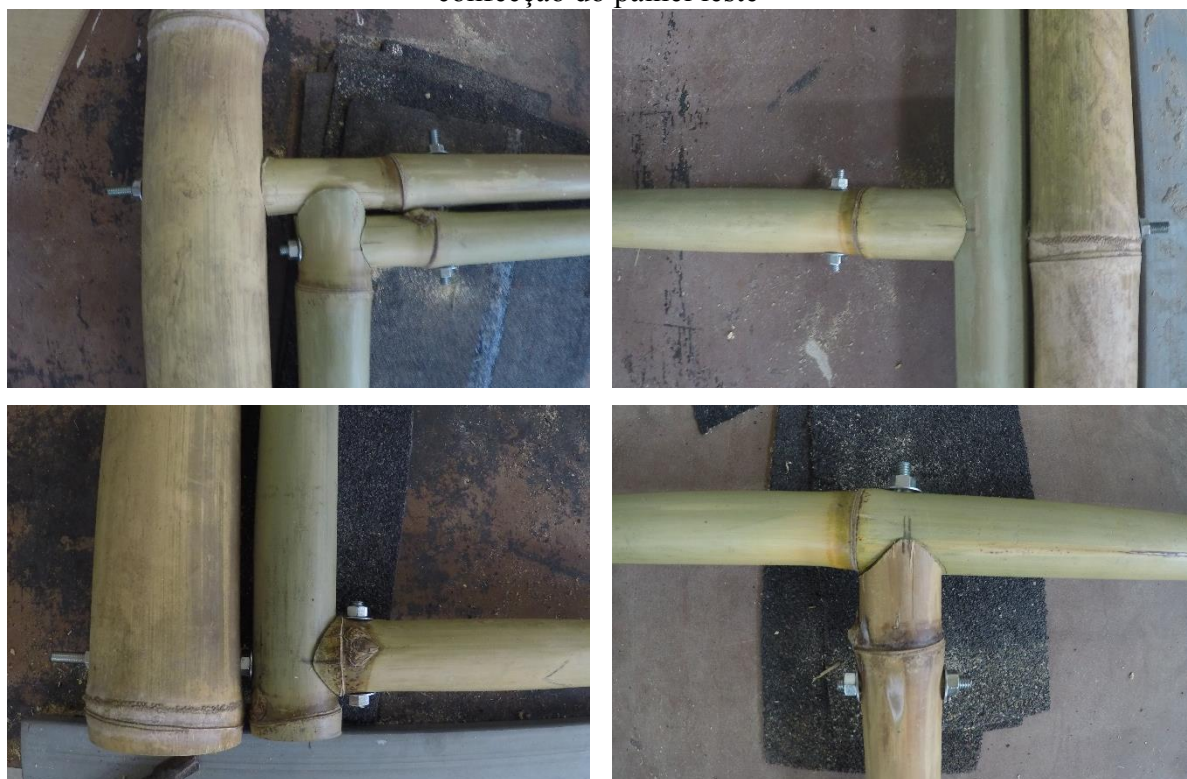
Dando continuidade ao projeto e buscando definir a moldura deste painel modelo, foi posicionada uma peça vertical ligando os pilares a 1,50 metros de altura e, abaixo dela, foi colocado outro bambu na posição horizontal para delimitar o espaçamento entre as duas peças verticais vizinhas aos pilares (Fotografia 92).

Fotografia 92: Instalação de duas peças horizontais na parte superior do painel. Uma ligando os pilares a 1,50 metros de altura e a outra delimitando o espaçamento entre os bambus verticais vizinhos aos pilares.



Após realizados todos os encaixes e definida a moldura do painel, iniciou-se a etapa de fixação dos bambus através de ganchos e pequenos comprimentos de barra roscada. As quatro variedades de fixação dos encaixes estão ilustradas nas Fotografias 93, 94, 95 e 96

Fotografias 93, 94, 95 e 96: Quatro variedades de fixação de encaixes utilizada para confecção do painel leste



Uma vez fixados todos os encaixes “boca de peixe”, foram inseridas duas diagonais abaixo do beiral da janela para direcionar os esforços, provenientes da massa da janela, para as extremidades da estrutura. Fotografia 97 e 98 ilustram o painel pronto após fixadas as duas diagonais com encaixes “bico de flauta”.

Fotografias 97 e 98: Painel leste pronto após fixação das duas diagonais do projeto



4.3.1.4. Painel norte

O painel norte possui 1 metro de comprimento sendo 0,80 metros reservados para o batente da porta e o restante para posterior fechamento. Devido à baixa complexidade deste

modelo, o painel foi feito em apenas 1 dia, não possuindo registros fotográficos exclusivos à sua montagem. A Fotografia 99 registra a experimentação da estrutura com todos os painéis colocados conforme o projeto, sendo esta imagem a mais representativa para visualizar o painel norte.

Fotografia 99: Imagem mais representativa para visualizar o painel norte, com marcação em caixa vermelha ilustrando outro tipo de fixação ao encaixe “boca de peixe”



Percebe-se, através da análise da foto, que o local destinado ao batente da porta não possui peça horizontal em seu nível inferior e, além disso, não possui nenhum contraventamento com o uso de diagonais. Devido a este fato, este módulo deve ser bem fixado aos demais para garantir sua estabilidade e, para isto, foi deixado um comprimento de barra roscada sobrando, conforme ilustrado pela marcação em caixa vermelha da Fotografia 99. Por se tratar de uma distância muito pequena entre as duas peças verticais, foi utilizado apenas um comprimento de barra roscada, sem a utilização de ganchos, atravessando os dois colmos de bambu e garantindo o distanciamento entre eles com o uso de pequenas peças horizontais. A caixa em vermelho marcada na Fotografia 99 tem a intenção de ressaltar a utilização de barras roscadas de maior comprimento que, posteriormente serão fixadas ao pilar frontal do painel leste.

4.3.2. Estrutura da Cobertura

A Cobertura foi estruturada para um telhado de duas águas no sentido do maior comprimento do protótipo, ou seja, a cumeeira foi projetada para estar no centro da estrutura, paralela aos painéis de 2 metros. Ao se construir com bambu, é recomendado utilizar grandes beirais para proteger a estrutura contra as intempéries. Para tanto, foi projetado um beiral de 0,60 metros, sendo que o telhado ultrapassará os caibros em 0,20 metros. A estrutura da

cobertura foi projetada com 20 graus de inclinação e foi construída utilizando apenas bambus da espécie *Dendrocalamus asper* devido à sua elevada resistência mecânica, mesmo motivo adotado para os pilares do projeto.

No entanto, devido à indisponibilidade de bambus com 3,20 metros para utilizar como vigas e peças da cumeeira, o projeto foi alterado de maneira a garantir os 0,60 metros de beiral somente nas laterais e na entrada da habitação, deixando os fundos do protótipo com proteção de apenas 0,20 metros. Devido ao fato das vigas serem mais curtas que as duas peças da cumeeira, foi projetado um corte em “V” na parte frontal do telhado, protegendo mais o centro do painel norte do que suas extremidades. Foi utilizado o software Revit para melhor compreensão através de visualização isométrica (Apêndice A-2)

Para a construção da estrutura da cobertura, primeiramente foram feitos encaixes “boca de peixe” nos pilares dos painéis leste e oeste, ambos com altura de 1,75 metros, e encaixadas as duas vigas que irão suportar a estrutura da cobertura. Após determinado o eixo e a posição das vigas sobre os pilares, elas foram colocadas paralelamente sobre a bancada de trabalho e travadas com uma peça perpendicular, o tirante (Fotografia 100). Como os pilares distam 1,20 metros entre os painéis laterais, os tirantes foram fixados às vigas através de barras roscadas, de modo a garantir exatamente este espaçamento. Depois de garantir o espaçamento na parte traseira da cobertura, foi feito o mesmo na parte frontal, considerando o distanciamento entre os pilares no sentido do maior comprimento do protótipo, garantindo o distanciamento de 2,00 metros entre o centro de fixação dos tirantes (Fotografia 101).

Fotografia 100: Vigas paralelas e tirante travando a medida de 1,20 metro entre elas



Fotografia 101: Instalação do segundo tirante a 2,00 metros de distância do primeiro



Depois de travadas as dimensões da base da cobertura através de barras roscadas, foram selecionadas quatro peças verticais, posicionando cada par de peças no centro de cada tirante (Fotografia 102). Esta pequena peça vertical é chamada de pendural e serão utilizados dois sobre cada tirante, pois a estrutura foi projetada para ter duas terças de cumeeira. Para que as terças da cumeeira sejam perpendiculares aos tirantes e, conseqüentemente, paralelas às vigas,

foram realizados encaixes no topo de cada pendural de maneira perpendicular ao primeiro encaixe, conforme ilustrado pela Fotografia 103.

Fotografia 102: Encaixe no centro dos dois tirantes opostos



Fotografia 103: Encaixes no topo dos pendurais de maneira perpendicular ao primeiro encaixe



A última etapa de montagem da estrutura da cobertura foi o posicionamento e fixação das terças da cumeeira. Como o bambu não possui o mesmo diâmetro em toda sua extensão e também por não ser totalmente retilíneo, foram realizados ajustes de altura aos pendurais para que as duas terças estivessem com a mesma altura e próximas umas das outras. O topo da cumeeira foi projetado para estar a 0,20 metros de altura das vigas. A sequência de fixação das duas terças da cumeeira estão representadas pelas Fotografias 104 e 105.

Fotografia 104: Primeiro encaixe: pendural - terça de cumeeira



Fotografia 105: Segundo encaixe: pendural - terça da cumeeira



Observa-se, pela interpretação das Fotografias 104 e 105, que o primeiro pendural teve seu encaixe superior ajustado e fixado a uma das terças e depois a mesma técnica foi replicada para o outro lado.

4.4. Montagem e execução da superestrutura

A montagem e execução da superestrutura foi realizada contando com a participação de amigos e amigas em sistema de mutirão. No dia 04 de novembro de 2018 ocorreu o primeiro mutirão para montagem e execução da superestrutura sobre o alicerce da infraestrutura. Após 9 horas de trabalho, foram obtidos os quatro modelos de painéis modulares levantados sobre a fundação, a estrutura da cobertura encaixada e fixada sobre as paredes, todos os bambus impermeabilizados com uma primeira demão de stain impregnante e uma parcela do fechamento dos painéis com bambu planificado executada.

Após a realização do primeiro mutirão, o autor continuou trabalhando com a presença de ajudantes por dois dias, aprumando as paredes, fazendo todos os encaixes necessários entre os painéis para travar a estrutura e impermeabilizando todos os bambus com segunda demão do produto impermeabilizante.

No dia 11 de novembro de 2018 a obra foi contemplada com mais um mutirão para montagem e execução da superestrutura. Após 9 horas de trabalho, todo o caibramento do telhado realizado, todos os bambus impermeabilizados com a terceira demão de stain impregnante e os vazios, entre alguns dos encaixes, tampado com silicone.

A montagem e execução de uma moradia só é possível com ajuda da comunidade. Portanto, gostaria de agradecer a presença de todos os amigos e amigas que participaram dos mutirões, trocando conhecimento, favores e risadas durante a montagem do protótipo. Foram os “mutirantes”: Arthur Leite de Barro, Catarina Kasten, Felipe Nascimento, Fernando Pacheco, Gabriel Sala, João Pedro Alves de Lima, João Marcos Nicolodi, Jonas de Castro e Carvalho, Rachel Sarreta, Rodrigo Franco, Rômulo de Lima, Thiago Cardoso, Thiago Mendonça e Tainá Hillesheim.

4.4.1. Fixação dos painéis e da estrutura da cobertura

Antes de posicionar o interior dos colmos de bambu das peças verticais dos painéis sobre as esperas da fundação, foi utilizada uma escova de aço para remover a ferrugem presente nas barras de ferro (Fotografias 106 e 107). Este cuidado foi levado em consideração pois após a conclusão da obra o interior dos colmos de bambu serão preenchidos com argamassa de cimento para fixar os painéis à fundação e é sabido que a ferrugem prejudica a aderência do ferro com o cimento.

Fotografias 106 e 107: Remoção da ferrugem presente nos ferros da fundação



Logo em seguida foram erguidos os painéis sul, leste e oeste, nesta sequência, como ilustrado pelas Fotografias 108, 109 e 110. E, por último, o painel norte.

Fotografias 108,109 e 110: Sequência de montagem dos painéis sul, leste e oeste.



Após a fixação de todos os módulos de parede, foram colocadas as duas vigas sobre os pilares, sendo fixadas aos mesmos através de ganchos, e dado início à primeira demão de stein impregnante em todos os bambus, inclusive aos da estrutura da cobertura (Fotografias 111 e 112).

Fotografias 111 e 112: Posicionamento das duas vigas sobre os pilares e aplicação da primeira demão de stein impregnante



Depois de esperar o tempo de secagem do produto impermeabilizante, passou-se à etapa de fixação dos tirantes sobre as vigas. Foi utilizada a mesma barra roscada para prender o tirante à viga e pescar os pilares através de um gancho em sua extremidade que, por sua vez, pescava outra barra roscada localizada logo abaixo do último nó de cada pilar. Para execução desta etapa participaram 4 “mutirantes”, um em cada vértice do protótipo de maneira a garantir que todos os 4 ganchos passassem pelo tirante, atravessassem a viga e pescassem os pilares. A sequência de Fotografias 113 e 114 ilustram as etapas de posicionamento e fixação da estrutura do telhado às paredes.

Fotografias 113 e 114: Sequência de montagem e fixação da estrutura do telhado aos pilares



A fixação dos painéis de maior comprimento àqueles de menor comprimento foi feita através dos pilares. Para tanto, foram utilizados ganchos que, atravessavam os pilares e puxavam a peça horizontal superior dos painéis norte e sul através de encaixes “boca de peixe”. Para travar a base dos painéis entre si, foram utilizados comprimentos de barra roscada juntando as peças verticais da extremidade dos painéis norte e sul aos pilares

4.4.2. Impermeabilização dos bambus

O bambu é um material poroso e higroscópico, portanto absorve água na forma líquida e também na forma de vapor. Devido a isto, foram aplicadas três demãos de stain impregnante sobre a superfície de todos os bambus e, inclusive, na parte externa do bambu planificado, impermeabilizando a estrutura. A aplicação do produto impermeabilizante foi realizada em dias secos, respeitando o tempo entre cada demão.

4.4.3. Fechamento dos painéis com bambu planificado

O fechamento dos painéis foi realizado com bambu planificado da espécie *Bambusa oldhami*. Devido à má aderência entre a parte externa do colmo e o reboco, o bambu planificado foi fixado às paredes com sua parte interna aparente (do lado externo do protótipo), deixando o interior do colmo aberto para a futura aplicação do reboco à parte externa da casa.

As Fotografias 115 e 116 ilustram o método utilizado ao se fixar o bambu planificado no painel. Após cortar a peça no tamanho desejado, ela é fixada através de parafusos e, para garantir a união entre todas as peças e planificar a parede, utiliza-se arame galvanizado para coligar todos os parafusos desta peça e das outras que estão por vir.

Fotografias 115 e 116: Bambu planificado fixado no painel através de parafusos e arame



O autor optou por deixar os bambus estruturais aparentes ao exterior e, portanto, eles não foram tampados com bambu planificado. Todos os painéis foram vedados com bambu planificado, exceto o norte, deixando aberto apenas o espaço reservado às janelas entre painel e viga. As fotografias 117 e 118 ilustram o protótipo em processo de fechamento com bambu planificado.

Fotografias 117 e 118: Protótipo em processo de fechamento com bambu planificado



4.4.4. Caibramento do telhado

Com a altura final da cumeeira calculada para que a cobertura tenha 20 graus de inclinação, os caibros foram fixados às terças da cumeeira e às vigas do protótipo de modo perpendicular ao eixo divisor de águas do telhado. A opção por haver projetado duas terças da cumeeira ao invés de uma foi justamente pensando na fixação dos caibros à estrutura de cobertura. Ao optar por duas terças, tornou-se possível o encontro do topo de cada caibro,

eliminando o conflito entre o cruzamento de barras roscadas e facilitando a fixação do futuro tapume de OSB. Os caibros foram fixados através de comprimentos de barra roscada e travados com porcas e arruelas, dividindo o decaimento em duas águas por pares paralelos: o encaixe entre cada terça da cumeeira e viga paralela mais próxima. A etapa de conclusão da cobertura do telhado com placa de OSB e telhas fabricadas com a reutilização de lona de vinil, proveniente de banners, não são parte deste Trabalho de Conclusão de Curso. Será escrito posteriormente artigo sobre a vedação e acabamento do protótipo, demonstrando, além dos diferentes tipos e traços de reboco, a solução de cobertura e telhado adotadas.

As fotografias 119 e 120 mostram o processo de instalação dos caibros à estrutura da cobertura e a aplicação da terceira demão de stain impregnante. O espaçamento entre os caibros foi de 0,45 centímetros, exceto na parte que cobre o painel norte, onde foi projetado o corte em “V”. Primeiro foram fixados os caibros sobre a fachada leste e depois sobre a fachada oeste.

Fotografias 119 e 120: Instalação dos caibros à estrutura da cobertura e aplicação da terceira demão de stain impregnante



5. Estudo de viabilidade

Como proposta de solução mais sustentável, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como um de seus objetivos específicos avaliar a construção do protótipo de acordo com as esferas do modelo *Triple Bottom Line*, de John Elkington (1998). Segundo Elkington, para que seja sustentável, o empreendimento deve ser economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente responsável.

A proposta de habitação em questão pode ser mais sustentável pois utiliza o bambu como material construtivo principal, possibilitando a redução do emprego de aço, cimento e areia ao optar por um sistema de vedação que não emprega tijolos de alvenaria ou blocos de concreto. Ao optar pelo bambu, escolhe-se um material natural com baixa energia incorporada que, quando colhido no local de trabalho, não necessita de grandes deslocamentos para chegar ao destino final. Um material com capacidade de absorver grande quantidade de gás carbônico, que pode ser facilmente encontrado e utilizado por todos.

Devido à grande presença de bambuzais distribuídos por todo o território nacional, o autor acredita que o bambu deve ser colhido, tratado e estocado no próprio local onde será realizada a construção, reduzindo os desprendimentos ambientais e econômicos atribuídos ao deslocamento da matéria prima. Acredita-se também que, para ser mais sustentável, esta proposta de moradia em estrutura de bambu deve ser construída de forma coletiva pelos próprios moradores da comunidade, contemplando todas as etapas, desde a obtenção da matéria prima, passando pelo tratamento, até a construção e habitação de sua própria moradia. A necessidade de ter um lugar onde morar é uma característica intrínseca ao ser humano e, através da construção de sua própria casa, o trabalhador se capacita e torna-se apto à replicação desta técnica construtiva, gerando reconhecimento e identificação com o produto de seu trabalho.

5.1. Econômica

O gasto total para a execução do protótipo em bambu de 2.4 m foi de R\$434,64. A planilha orçamentária, disponível no Apêndice B deste material, separa todos os gastos em suas respectivas etapas construtivas.

Através da análise do orçamento, observa-se que os gastos com a fundação são extremamente baixos, sendo a compra e o corte das madeiras os subitens mais caros. Interpreta-se, também através do orçamento, que os gastos dispendidos com a infraestrutura chegam a quase 50% do valor total da obra.

O valor de execução do protótipo, quando dividido pela sua área, retrata o investimento necessário executar 1 m do empreendimento. O custo unitário por metro quadrado para construção do protótipo, sem considerar as etapas de reboco, cobertura e piso, foi de 181 reais

e 10 centavos. É esperado, por se tratar de um protótipo o qual o autor ainda não terminou sua execução e que, além disso, no próprio orçamento não estão incluídos os gastos com o tratamento dos bambus nem com o reboco, piso e cobertura, o resultado do custo unitário por metro quadrado seja baixo.

O valor do produto utilizado para tratar os bambus não foi incorporado ao orçamento devido ao potencial de ser reutilizado diversas vezes sem diminuir a eficiência de tratamento. Quando necessário o reúso, basta apenas adicionar uma pequena quantidade do mesmo produto e diluí-lo junto à antiga solução. O autor considera, através de sua experiência e com base em estudos sobre a eficiência do tratamento, que 1 saco de octaborato de sódio de 25 Kg seria o suficiente para tratar todos os bambus necessários para construção de 20 protótipos iguais, totalizando 48 m² construídos em estrutura de bambu. A obtenção deste resultado seria possível com a utilização de um tanque de tratamento de 200 litros com concentração de 10% do produto, ou seja, seriam diluídos no tanque 20 Kg de octaborato de sódio e reservados um quinto do saco, 5Kg, para realizar ajustes à concentração quando necessário. O preço de mercado de 1 saco de octaborato de sódio de 25 Kg é, em média, 200 reais.

Para fabricação dos painéis modulares em bambu, foram gastos apenas 71 reais e 28 centavos, referentes à quantidade de fixações realizadas através de peças metálicas, barra roscada, arruelas e porcas. Os painéis do protótipo foram projetados e construídos para uma altura de 1,50 metro, no entanto poderiam ter sido fabricados com 2 metros de altura sem alterar o preço total. Isto porque seriam realizadas a mesma quantidade de encaixes e fixações, consequentemente o mesmo número de peças metálicas.

Nota-se, portanto, o elevado potencial econômico em utilizar o bambu como material construtivo quando o mesmo pode ser colhido e tratado próximo ao empreendimento sem gastos com o transporte.

5.2. Social

Tendo em vista que o déficit habitacional brasileiro superou, em 2015, a carência de 6 milhões de moradias (Damata Pimentel et al. , 2018), é de extrema necessidade a construção de novas habitações para aqueles que não têm o acesso através dos mecanismos normais do mercado imobiliário. A proposta de Habitação de Interesse Social (HIS) em questão, além de cumprir com o requisito social de produzir moradias àqueles que não as possuem, tem como ideal a capacitação da comunidade através de cursos, exposições e, principalmente, através do trabalho na construção de suas próprias moradias em sistema de mutirão. Ao construir a própria

casa, o morador aprende sobre sua manutenção e a utilizá-la adequadamente, eliminando a necessidade de contratar um profissional para realizar as futuras ampliações da habitação

O uso do bambu como material construtivo é de cunho social por se tratar de um material comum e de fácil acesso. Em adição, o usuário, além de construir sua própria casa, torna-se mão de obra especializada e capacitada, gerando, portanto, nova fonte de renda. O empoderamento da comunidade, através de oficinas e cursos de capacitação sobre o uso do bambu, proporciona a criação de artesãos capazes de transformar peças de bambu em móveis e utensílios domésticos com alto valor agregado. Uma vez conhecidos os cuidados básicos e necessários à correta manipulação e utilização deste recurso vegetal, o artesão torna-se livre para novas ideias e possibilidades para o uso do bambu.

5.3. Ambiental

Ao utilizar uma matéria prima local e de fácil acesso, também conhecida como “aço vegetal”, reduz-se a necessidade da utilização de materiais processados semelhantes àqueles convencionalmente empregados na construção civil. Ao construir através do método proposto, extingue-se a necessidade dos tijolos de alvenaria para vedação e diminui-se drasticamente a quantidade de aço, cimento e areia empregada na construção. Estes materiais resultam de diferentes tipos de processamento, que utilizam muita energia para sua fabricação e emitem grande quantidade de gás carbônico para a atmosfera.

No item 2.1 da revisão bibliográfica foi quantificada a energia embutida e as emissões de CO₂ para a produção de aço, concreto, areia, cimento e tijolos de alvenaria, materiais sugeridos para construção de uma residência unifamiliar de baixo padrão pela ABNT NBR 12721:2006.

Com o intuito de verificar através do mesmo tipo de análise se o uso do bambu como matéria prima principal pode reduzir a pegada ecológica do empreendimento, será quantificado o consumo básico para produzir uma residência em estrutura de bambu com a mesma metragem do projeto padrão sugerido pela NBR 12721. Os dados obtidos para execução deste projeto padrão de 58,64 m² estão exemplificados na Tabela 1 deste trabalho (Capítulo 2).

A Tabela 3, a seguir, expõe as quantificações de consumos básicos por unidade habitacional em estrutura de bambu, de energia embutida e de emissões de CO₂ para produção do aço, concreto, areia, cimento e tijolos de alvenaria. Tais dados encontram-se nos três primeiros blocos à esquerda da tabela. A análise de energia embutida e de emissões de CO₂ para edificação de uma unidade habitacional em estrutura de bambu encontram-se nos dois blocos à direita da Tabela 3.

Tabela 3: Quantificações e análise de energia embutida e de emissões de CO2 por unidade habitacional em estrutura de bambu

Consumos básicos por unidade habitacional em estrutura de bambu		
Aço	684,04	kg
Concreto	2,443	m
Areia	0	m
Cimento	7,329	sacos
Tijolos	0	tijolos

Energia embutida por unidade habitacional em estrutura de bambu		
Aço	20521,2	MJ
Concreto	6742,68	MJ
Areia	0	MJ
Cimento	1539,09	MJ
Tijolos	0	MJ
TOTAL	28802,97	MJ

Energia embutida		
Aço	30	MJ/kg
Concreto	2760	MJ/m
Areia	80	MJ/m
Cimento	210	MJ/saco
Tijolos	4060	MJ/un

Emissões de CO2 por unidade habitacional em estrutura de bambu		
Aço	991,858	kg
Areia	0	kg
Cimento	355,0168	kg
Tijolos	0	kg
TOTAL	1346,875	kg

Emissões de CO2		
Aço	1,45	kg/kg
Areia	22,62	kg/m
Cimento	48,44	kg/saco
Tijolos	0,98	kg/un

Ao analisar a tabela 5.1 nota-se que a quantidade de aço utilizada para construir uma habitação em estrutura de bambu através do método construtivo sugerido neste trabalho é alta quando comparado aos demais materiais, pois na composição das paredes modulares utiliza-se grande quantidade de barra roscada para realizar as fixações dos painéis. Ainda assim, quando comparada à unidade habitacional sugerida pela NBR, a porcentagem de aço utilizada na estrutura de bambu representa 63,8% do total utilizado na estrutura convencional. Além de reduzir a quantidade de aço necessária para a edificação de uma moradia, o uso do bambu nos painéis de vedação anula a necessidade de tijolos de alvenaria, material este que apresenta grande quantidade de energia embutida por unidade.

O tipo de fundação adotado pelo autor reduz o uso do concreto ao optar pela madeira como principal material da infraestrutura. No entanto a quantidade de energia embutida e de emissões de CO2 para a fabricação e o transporte da madeira não são objetos de estudo desta análise. Cabe aqui ressaltar que avaliação de impacto ambiental proposta pelo autor tem como objetivo trazer ao leitor uma fração dos impactos ambientais gerados pela produção de alguns

dos materiais utilizados na construção convencional. Não faz parte desta pesquisa a realização de uma análise comparativa completa entre os dois métodos construtivos.

6. Conclusões e recomendações para futuros trabalhos

Frente à realidade habitacional brasileira, onde a carência por moradias é comum, a proposta de construção discutida neste trabalho apresentou-se como alternativa sustentável para a problemática atual. Uma moradia edificada em estrutura de bambu, quando utilizado material local e sem custos elevados de extração, restringe a utilização de materiais convencionalmente empregados na construção civil e diminui o valor total do empreendimento. Além de baratear a obra, reduz-se o emprego de materiais cujo processamento e descarte impactam negativamente o meio ambiente. A quantidade de aço, cimento, concreto e areia foi reduzida ao optar-se pela madeira como elemento principal da infraestrutura e o uso de tijolos de alvenaria foi eliminado ao selecionar o bambu para a construção da superestrutura.

O potencial do bambu como material construtivo foi elucidado e demonstrado na construção do protótipo experimental através da prática, respeitando as delimitações estabelecidas na introdução deste trabalho. A viabilidade construtiva da técnica foi comprovada e facilmente compreendida durante a confecção das paredes modulares em bambu pelos trabalhadores voluntários. O ajudante Rômulo de Lima nunca havia trabalhado com bambu e após o segundo dia de prática já estava capacitado e apto à replicação da técnica. Após concluir a construção do segundo painel, o aprendiz e o autor já estavam familiarizados com a técnica construtiva e conseguiram reduzir pela metade o tempo previsto para a fabricação do terceiro painel. A redução do tempo necessária à fabricação dos painéis se deve a mudança organizacional adotada. Primeiramente foram selecionados todos os bambus necessários à execução, depois iniciou-se a etapa dos encaixes “boca de peixe” seguidos de suas fixações com barra roscada e, após finalizados, foram executados os encaixes “bico de flauta” para concluir a construção do painel.

A arquitetura proposta para o presente trabalho utilizou prioritariamente matéria prima local e teve como ideal a construção do protótipo de moradia em sistema de mutirão. O bambu, por ser um material de fácil manipulação e presente em todo território brasileiro, pode ser facilmente incorporado aos costumes da comunidade. Cursos e oficinas pontuais sobre os itens discutidos no capítulo 2.3 deste trabalho são capazes de introduzir e capacitar os trabalhadores quanto ao uso adequado deste recurso vegetal e possibilitam a replicabilidade da técnica para futuras manutenções e ampliações de suas próprias habitações. A possibilidade de construir uma moradia em estrutura de bambu é o objetivo geral do autor que, por meio de registros fotográficos e relatos de experiência em ordem cronológica de execução, trouxe ao público o *know-how* com a proposta de incentivar a propagação do bahareque como método construtivo no Brasil. Além de ambientalmente adequado, este método construtivo, em conjunto com a

proposta de fundação, garante modularidade, flexibilidade e adaptabilidade ao tipo de habitação em questão.

O estudo de viabilidade comprovou o potencial do bambu como matéria prima sustentável para construir moradias populares de acordo com o modelo *Triple Bottom Line*, de John Elkington (1998). A conclusão do autor é que o bambu é um material econômico, socialmente justo e ambientalmente correto para a construção de Habitações de Interesse Social.

Aspectos como a durabilidade da estrutura e a eficiência dos tipos de tratamento e secagem adotadas não podem ser comprovados através deste Trabalho de Conclusão de Curso, no entanto o autor seguiu rigorosamente diversas especificações técnicas sobre tais aspectos com a finalidade de realizar futuras pesquisas na área. Tanto o telhado quanto os acabamentos não fazem parte deste TCC, no entanto a obra terá continuidade e será escrito posteriormente um artigo sobre estas etapas. O fato da edificação estar situada nos domínios da Universidade Federal de Santa Catarina está devidamente relacionado ao tipo de pesquisa que, por ser experimental, pode servir como subsídio a futuras pesquisas que comprovem a viabilidade construtiva do material e que possam fomentar a ampliação da cadeia produtiva do bambu no Brasil.

Bibliografia

ABIKO, Alex Kenya. **Introdução à gestão habitacional**, 1995. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia da Construção Civil, TT/PCC/12. São Paulo: EPUSP. Disponível em: < http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00012.pdf> Acesso em: 12 julho 2018.

ABIKO, A.K. Gestão habitacional e mutirão. In: ABIKO, A.; ALBIERI, L. **Mutirão habitacional**. São Paulo: Epusp, 1996

ABIKO, A.K. e ORNSTEIN, S.W. **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social**. São Paulo : FAUUSP,2002. (Coletânea Habitare/FINEP,1)

ABIKO, Alex Kenya. **Procedimentos de gestão de mutirão habitacional para população de baixa renda**, 2004. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 1m p. 7-20, jan./mar. 2004.

BALLESTÉ, Joan Font. **Desempenho construtivo de estruturas de cobertura com colmos de bambu**, 2017.

BERALDO, Antonio. **A vez do bambu na construção civil – Normas para ensaios e estruturas**, 2018. Disponível em: <<http://apuama.org/vez-do-bambu-na-construcao-civil-normas-para-ensaios-e-estruturas/>> Acesso em: 30 agosto 2018.

BONDUKI, N. G.; ROLNIK, R.; AMARAL, A. **São Paulo: Plano Diretor Estratégico - Cartilha de Formação**. São Paulo: Caixa Econômica Federal, 2003. Disponível em: < http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aup0278/2014/2014.1%20Legisla%C3%A7%C3%A3o/S%C3%A3o%20Paulo%20Plano%20Diretor%20Estrat%C3%A9gico_Cartilha%20de%20Forma%C3%A7%C3%A3o.pdf> Acesso em 12 julho 2018.

BRANDÃO, Douglas Queiroz. **Diversidade e potencial de flexibilidade de arranjos espaciais de apartamentos: uma análise do produto imobiliário no Brasil**, 2002. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/106529>> Acesso em: 18 julho 2018.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm> Acesso em: 11 julho 2018.

BRUNDTLAND, NF Comum - Our Common Future: United Nations, **1987**

BYSTRIAKOVA, Nadia. **Potential distribution of woody bamboos in Africa and America**, 2002. Working Paper 43, UNEP-WCMC, Cambridge

CAMPANHOLO, José Luiz. **Construção personalizada: uma realidade do mercado.** Técnica, n.41 , p.63-66, jul. /ago. 1999.

CARBONARI, G.; JUNIOR, N. M. DA S.; PEDROSA, N. H.; et al. **Bambu – O Aço Vegetal.** , p. 9, 2017.

CIB/UNEP-IETC. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document**, 2002. Boutek Report No Bou/E0204, Pretória.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160 p. Disponível em: <<https://idec.org.br/publicacao/manual-de-educacao-para-o-consumo-sustentavel-2a-ed-2005>> Acesso em: 07 julho 2018.

DEÁK, C. & SCHIFFER, S.R. **Processo de urbanização no Brasil**, 1999. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=PUprBNhC6r8C&oi=fnd&pg=PA23&dq=urbaniza%C3%A7%C3%A3o+no+brasil&ots=YRG_ydeC6P&sig=_dafgKvLBAI4STL6HgQkyXB9N0E#v=onepage&q=urbaniza%C3%A7%C3%A3o%20no%20brasil&f=false> Acesso em: 12 julho 2018.

DENALDI, Rosana. **Política de urbanização de favelas: evolução e impasses**, 2003. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://www.pucsp.br/ecopolitica/downloads/tes_2003_Politicass_urbanizacao_impasses.pdf> Acesso em: 12 julho 2018.

DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus no Brasil**. Embrapa, 2017.

ELKINGTON, John. **Environmental Quality Management**, 1998. Wiley Online Library

FATHY, Hassan. **Construindo com o povo: arquitetura para os pobres**, 1980. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

FERREIRA, E. J. L. **O bambu é um desafio para a conservação e o manejo de florestas no sudoeste da Amazônia**. Ciência e Cultura, Set. 2014, vol. 66, no.3. 2014. P.46-51

FILGUEIRAS, T.S. **Bambusa in Lista de Espécies da Flora do Brasil**, 2015. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB105330>> Acesso em: 19 novembro 2019

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil - 2015**. Belo Horizonte, 2018.

GALFERATTI, Gusteau Gili. **Model apartments: experimental domestic cells**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1997.

GATÓO, A., Sharma, B., Bock, M., Mulligan, H., Ramage, M.H., 2014. Sustainable structures: bamboo standards and building codes. Proceedings of the ICE – Engineering Sustainability 167, 189-196

GOMES LUIS, Zanderluce ; Nogueira, Jênifer ; Ribeiro, Dalva ; Scherwinski-Pereira, Jonny. **Caracterização anatômica dos órgãos vegetativos de bambu (Poaceae, Bambusoideae)**, 2017. Rio de Janeiro, 2017.

GONÇALVES, Diva. **Livro Reúne conhecimentos científicos sobre bambu**, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/acre/busca-de-noticias/-/noticia/34301883/livro-reune-conhecimentos-cientificos-sobre-bambu>> Acesso em 12 agosto 2018.

Harries, Kent A. ; Sharma, Bhavna ; Richard, Michael. **Structural use of full culm bamboo : the path to standardization**, 2012. In: International Journal of Architecture, Engineering and Construction. 2012 ; Vol. 1, No. 2. pp. 66-75

HIDÁLGO LOPEZ, Oscar. **Manual de construcción com bambú**, 1981. Universidad Nacional de Colombia. Estudios Técnicos Colombianos, Ltda. 71p.

CARBONARI, Gilberto ; Junior, Nelson ; Pedrosa, Nicolas ; Abe, Camila ; Scholtz, Marcos ; Acosta, Caio ; Carbonari, Luana. **Bambu – O aço vegetal**, 2017.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil – Relatório de Pesquisa**, 2012. Disponível em: < http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriospesquisa/120911_relatorio_construcao_civil.pdf> Acesso em: 07 julho 2018

ISO (2004a) ISSO 22156: 2004 (E): Bamboo – structural design. ISO, Geneva, Switzerland.

ISO (2004b) ISSO 22157-1: 2004 (E): Bamboo – determination of physical and mechanical properties – part 1: requirements. ISO, Geneva, Switzerland.

ISO (2004b) ISSO 22157-1: 2004 (E): Bamboo – determination of physical and mechanical properties – part 2: laboratory manual. ISO, Geneva, Switzerland.

ISO (2009) ISSO 8375: 2009: Timber structures – glued laminated timber – tests methods for determination of physical and mechanical properties. ISSO, Geneva Switzerland.

JANSSEN, J.J.A. **Designing and Building with Bamboo – TECHINCAL REPORT NO.20 – INBAR**, 2000. Technical University of Eindhoven, The Netherlands

KLEINE, Hans J. **Acordo bilateral com a China na área do bambu dá um importante passo**, 2012. Disponível em: < <http://bambusc.org.br/?p=1371>> Acesso em: 29 julho 2018.

LARCHER, J.W.M. (2005) Diretrizes visando a melhoria de projetos e soluções construtivas na expansão de habitações de interesse social. Dissertação (Mestrado em

Construção Civil) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3514/larcher.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 12 julho. 2018.

LAURIANO, Lucas Amaral. **Como anda a gestão da sustentabilidade no setor da construção?**, 2013. Disponível em: <<http://acervo.ci.fdc.org.br/AcervoDigital>> Acesso em: 24 jun. 2018

LAVERDE, Maurício Cárdenas. **Bambú**, 2014. Asia – Page One Publishing Pte Ltd.

LIBRELOTTO, Lisiane. **Material didático**, 2018.

LÓPEZ, Oscar Hidalgo. **Manual de Construcción con Bambu**, 1981. Estudios Técnicos Colombianos Ltda.

Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059>> Acesso em: 07 julho 2018

Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Educação e Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. **Manual de Educação para o Consumo Sustentável - 2ª ed**, 2005.

MINKE, Gernot. **Building with Bamboo: Design and Technology of a Sustainable Architecture**, 2012. Walter De Gruyter Incorporated, 2012 - 159 páginas

Norma técnica E. 100 Bambú. Reglamento Nacional de Edificaciones (2012). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Republica de Perú.

OHRNBERGER, Dieter. *The Bamboos of the World*, 1999. Amsterdam: Elsevier. pp. 271–72.

PEREIRA, Fernando O.R. **Características da habitação de interesse social na Região de Florianópolis: desenvolvimento de indicadores para melhoria do** setor, 2002. Coletânea Habitare – vol. 1 – Inserção Urbana e Avaliação Pós Ocupação (APO) da Habitação de Interesse social, 2012. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39203890/livro_1.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1531337766&Signature=6zkftnTX6qngcDf2eGf6G1Qa%2F0%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DLivro_1.pdf> Acesso em: 13 julho 2018.

PEREIRA, F.O.R., SATTLER, M.A. **Construção e Meio Ambiente**, 2006. Vol.7, Coletânea HABITARE. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/publicacoes_coletanea7.aspx> Acesso em: 09 julho 2018.

PEREIRA, M. A. R. **Projeto bambu: manejo e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na UNESP/Campus de Bauru e determinação de**

suas características físicas e de resistência mecânica. Relatório FAPESP (2003/04323-7) 2006.

PIOVESAN, Eduardo. **Câmara aprova inclusão do Brasil na Rede Internacional do Bambu e Ratã,** 2016. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/POLITICA/514408-CAMARA-APROVA-INCLUSAO-DO-BRASIL-NA-REDE-INTERNACIONAL-DO-BAMBU-E-RATA.html>> Acesso em: 12 agosto 2018.

POPPENS, Ronald. **Tropical Bamboos: Propagation Manual.** INBAR. Disponível em: <<http://www.aha-kh.com/wp-content/uploads/2017/01/1-inbar-tropical-bamboos-propagation-manual.pdf>> Acesso em: 20 agosto 2018

RADUNSKI, Michael. **Press: Bamboo – The Green Gold.** Technology Review, ‘TR Mondo’ section, March 2018, p.78. Disponível em: < <http://www.inbar.int/press-bamboo-green-gold/>> Acesso em: 29 julho 2018.

SALGADO, A.L. de B. **Bambu com sal: Aqui e agora, lá e então** editora Amaro Comunicação, Campinas. 2014

SCHRODER, Stéphane. **Bamboo Species of Brasil,** 2009. Disponível em: <<https://www.guadubamboo.com/distribution/bamboo-species-of-brazil>> Acesso em: 08 julho 2018

SCHRODER, Stéphane. **Bamboo Species, Dendrocalamus: Dendrocalamus asper,** 2010. Disponível em: < <https://www.guadubamboo.com/species/dendrocalamus-asper/>> Acesso em: 19 novembro 2018

SZÜCS, Carolina Palermo. **Flexibilidade aplicada ao projeto da habitação social,** 1998. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br/acervos/buscaautor/codigoAutor/1376>> Acesso em: 18 julho 2018.

SARLO, H. B. - “Influência das fases da lua, da época de corte e das espécies de bambus sobre o ataque de *Dinoderus minutus* (Fabr.) (Coleóptera: Bostrichidae)” Viçosa, MG: UFV, 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, 2000.

UBIDIA, Jorge Morán. **Construir com Bambú (Caña de Guayaquil): Manual de construcción,** 2016. Disponível em: <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Manual-Construccion-Bambu.pdf> Acesso em: 30 agosto 2018.

VASCONCELLOS, R.M. **Bambúes en Brasil, una Visión Histórica y Perspectivas Futuras,** 2006. Disponível em: <[http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/Bambues%20en%20Brasil,%20una%20Vision%](http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/Bambues%20en%20Brasil,%20una%20Vision%20)

20Historica%20y%20Perspectivas%20Futuras%20-%20de%20Vasconcellos%20-%202006.pdf> Acesso em: 08 julho 2018.

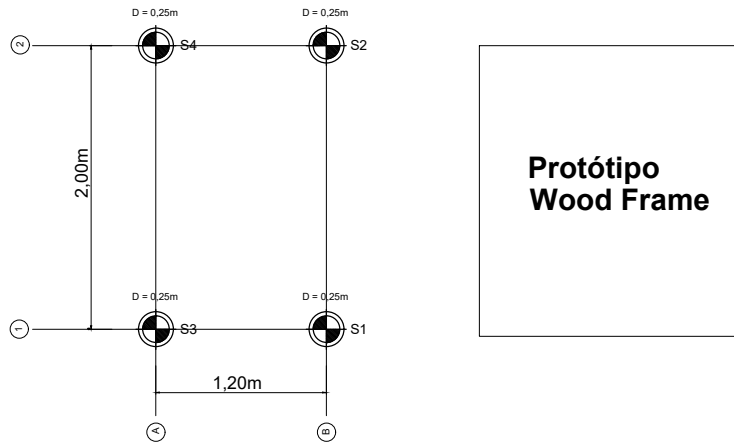
VIEIRA, Gabriella de Castro. **A responsabilidade civil e ambiental decorrente da obsolescência programada**, 2015. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/revistadedireito/article/view/838/949>> Acesso em: 09 julho 2018.

WMO. **CO2breaches milestone, drives warming**, 2016. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/media/news/southern-hemisphere-breaches-co2-milestone>> Acesso em: 07 outubro 2018.

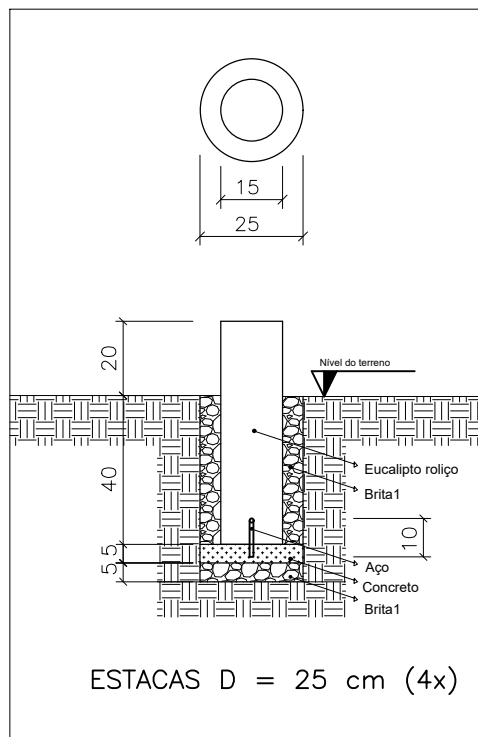
APÊNDICE A-1 – PROJETO DE FUNDAÇÕES

PROTÓTIPO EM BAMBU DE 2,4 m

Prédio Arquitetura



IMPLANTAÇÃO e LOCAÇÃO DAS SAPATAS



DETALHE DAS SAPATAS

Conteúdo

IMPLANTAÇÃO E LOCAÇÃO DAS SAPATAS
DETALHE DAS SAPATAS

Escalas

SEM ESCALA

Data

12/11/2018

FOLHA Nº

01

Nº DE FOLHAS 2

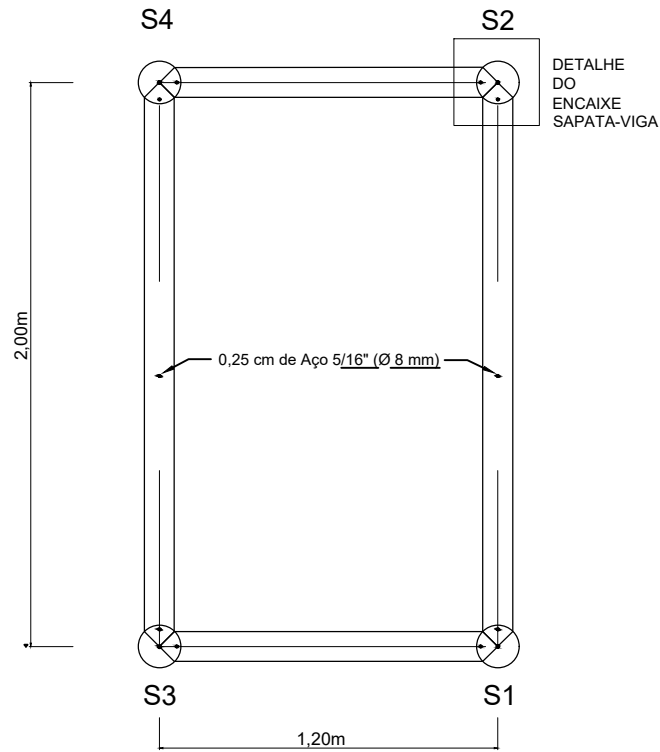
**PROTÓTIPO EM
BAMBU DE 2,4 m²**

Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Engenharia Civil

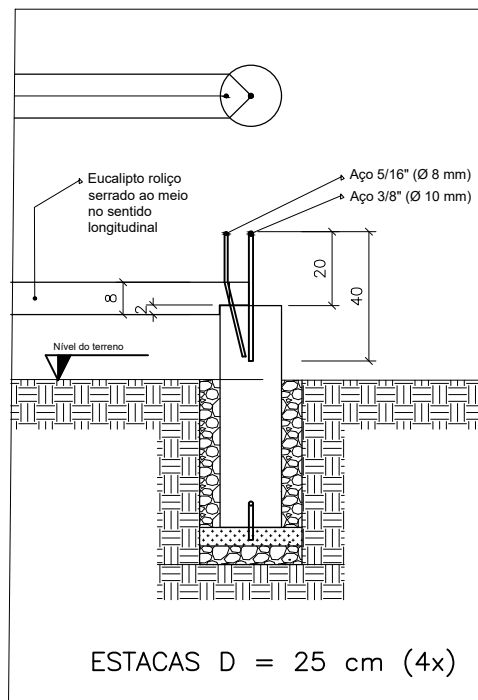
Autor Alexandre Oliveira Vitor

Orientador Lisiane Ilha Librelotto

PROJETO DE FUNDAÇÕES



IMPLANTAÇÃO DA VIGA BALDRAME



DETALHE DO ENCAIXE SAPATA-VIGA

Conteúdo

IMPLANTAÇÃO DA VIGA BALDRAME
DETALHE DO ENCAIXE SAPATA-VIGA

Escalas

SEM ESCALA

Data

12/11/2018

FOLHA Nº

02

Nº DE FOLHAS 2

PROTÓTIPO EM BAMBU DE 2,4 m²

Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Engenharia Civil

Autor

Alexandre Oliveira Vitor

Orientador

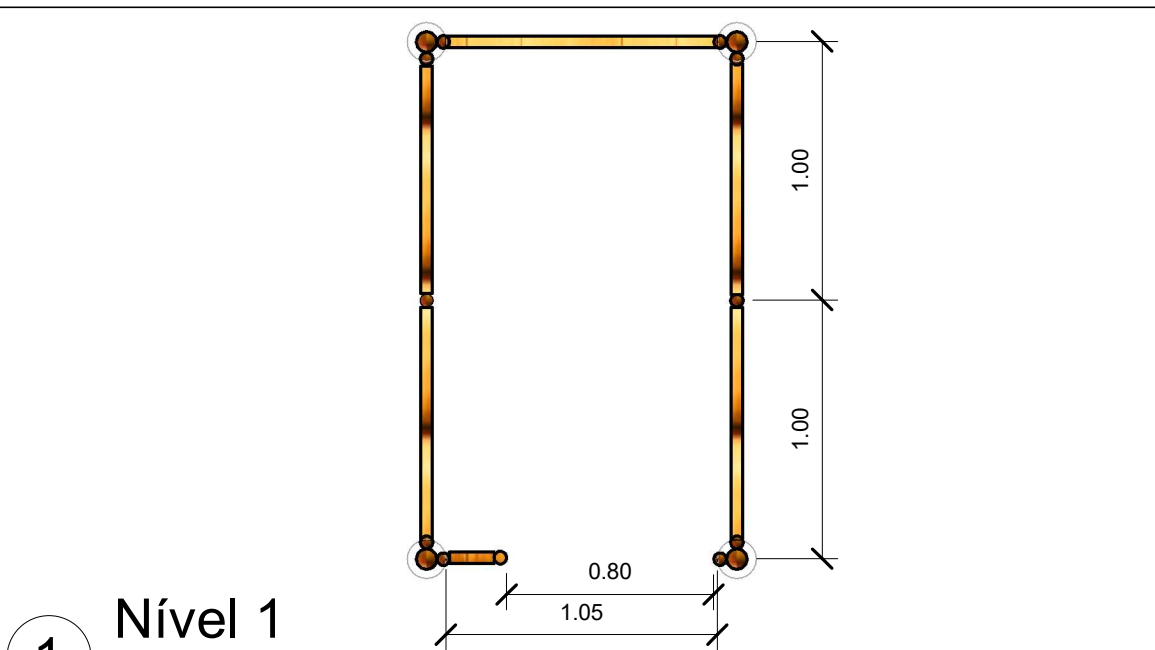
Lisiane Ilha Librelotto

Assunto (TEMA)

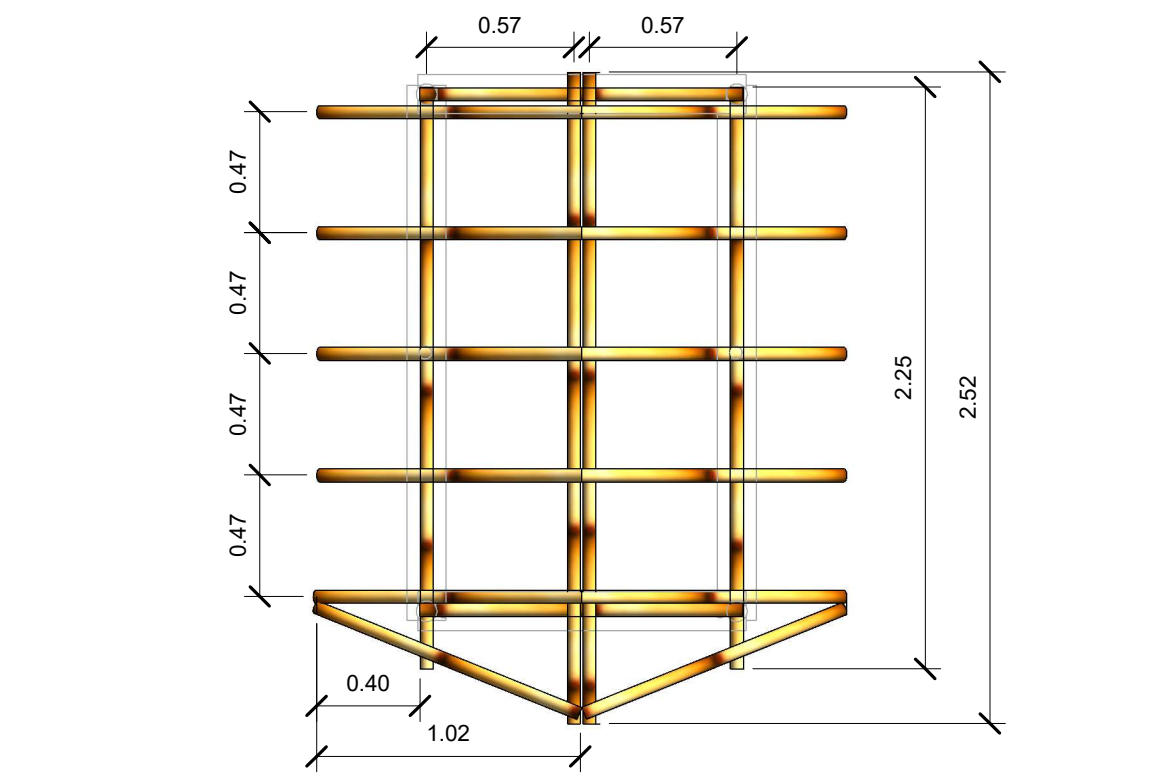
PROJETO DE FUNDAÇÕES

APÊNDICE A-2 – PROJETO ARQUITETÔNICO

PROTÓTIPO EM BAMBU DE 2,4 m



1 Nível 1
1 : 25



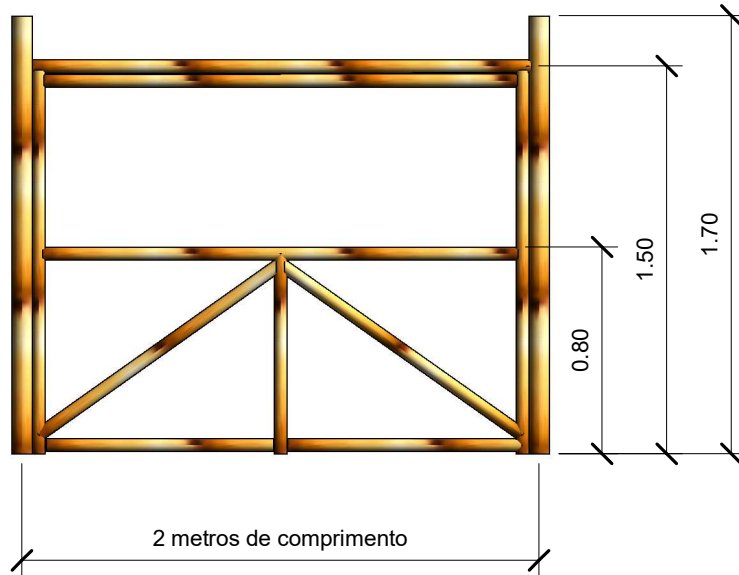
2 Cobertura
1 : 25

Conteúdo		FOLHA Nº
PLANTA BAIXA E COBERTURA		1
Escala	Data	Nº DE FOLHAS
INDICADA	18/11/2018	5
Assunto (TEMA)		
PROJETO ARQUITETÔNICO		

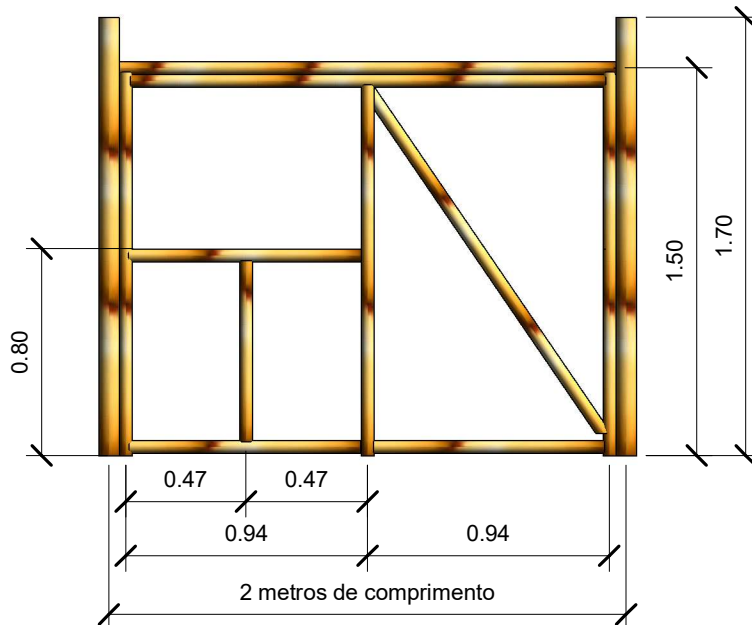
PROTÓTIPO EM BAMBU DE 2,4 m²

Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Engenharia Civil

Autor Alexandre Oliveira Vitor
Orientador Lisiane Ilha Librelotto

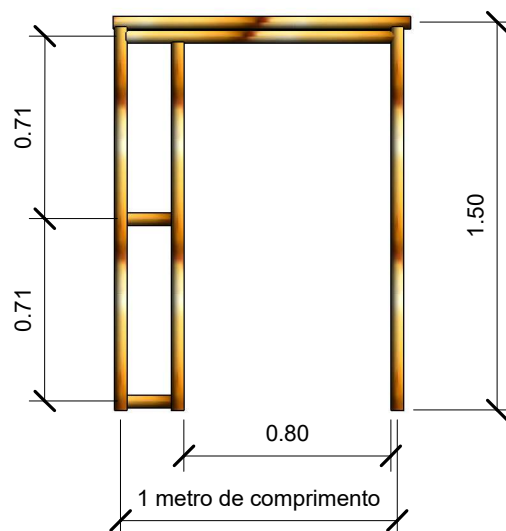


1 Painel Leste
1 : 25

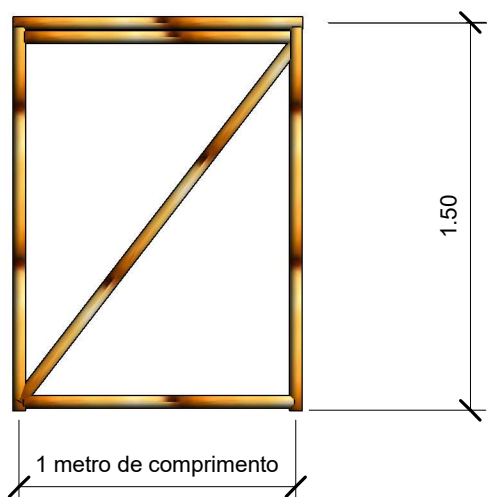


2 Painel Oeste
1 : 25

Conteúdo		FOLHA Nº	2	PROTÓTIPO EM BAMBU DE 2,4 m²
PAINÉIS LESTE E OESTE		Nº DE FOLHAS		
Escala	Data	Universidade Federal de Santa Catarina Curso de Engenharia Civil		
INDICADA	18/11/2018	Autor	Alexandre Oliveira Vitor	
Assunto (TEMA)		Orientador	Lisiane Ilha Librelotto	
PROJETO ARQUITETÔNICO				

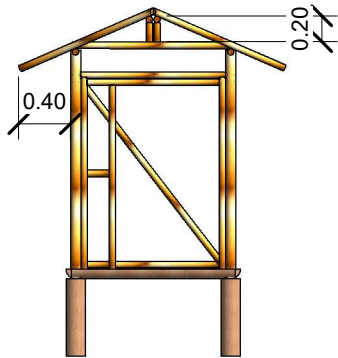


① **Painel Norte**
1 : 25

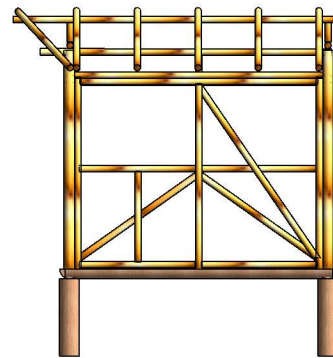


② **Painel Sul**
1 : 25

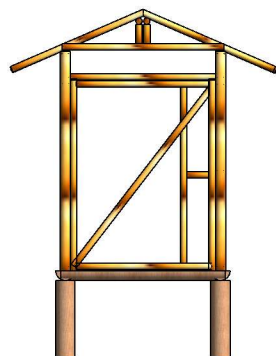
Conteúdo		FOLHA Nº	3	PROTÓTIPO EM BAMBU DE 2,4 m²
PAINÉIS NORTE E SUL				
Escala	Data	Nº DE FOLHAS	Universidade Federal de Santa Catarina Curso de Engenharia Civil	
INDICADA	18/11/2018	5	Autor	Alexandre Oliveira Vitor
Assunto (TEMA)			Orientador	Lisiane Ilha Librelotto
PROJETO ARQUITETÔNICO				



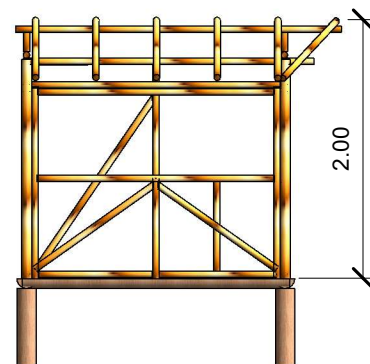
1 Norte
1 : 50



3 Oeste
1 : 50



2 Sul
1 : 50



4 Leste
1 : 50

Conteúdo

FACHADAS

FOLHA Nº

4

**PROTÓTIPO EM
BAMBU DE 2,4 m²**

Escala
INDICADA

Data
18/11/2018

Nº DE
FOLHAS 5

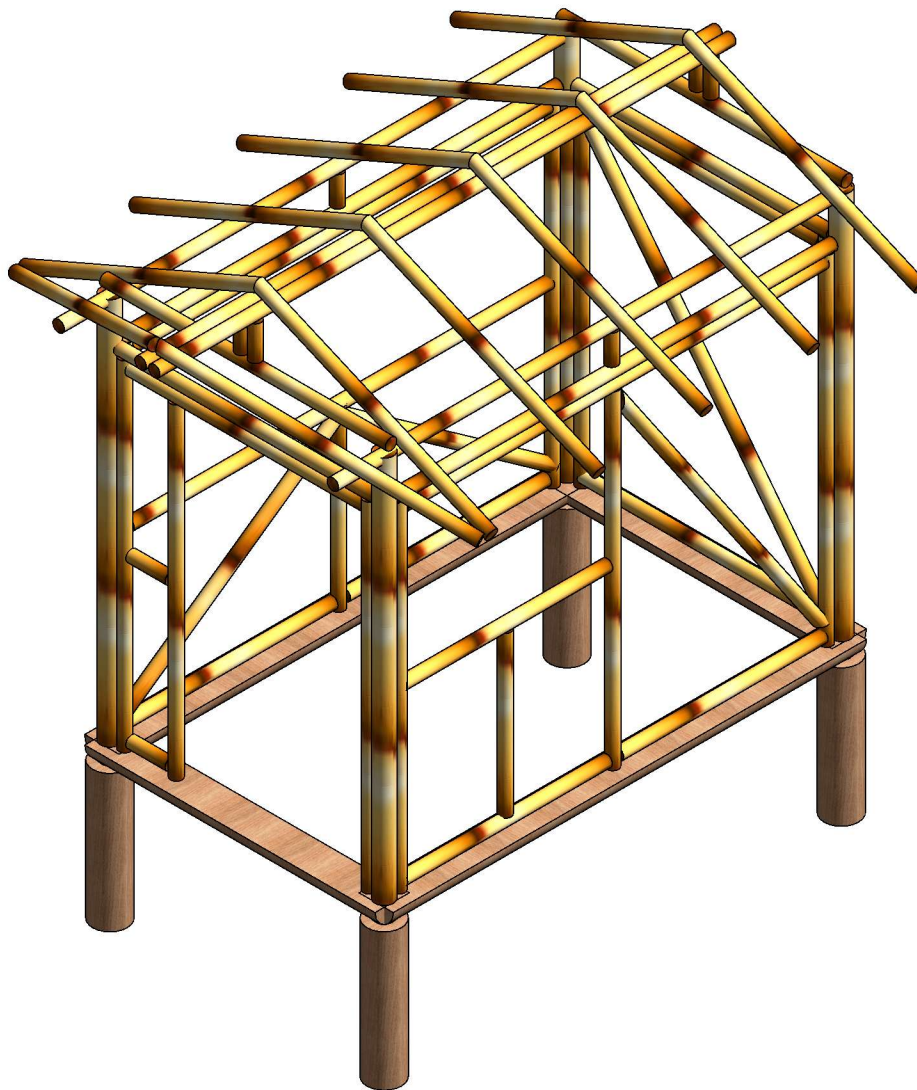
Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Engenharia Civil

Assunto (TEMA)

PROJETO ARQUITETÔNICO

Autor
Alexandre Oliveira Vitor

Orientador
Lisiane Ilha Librelotto



1 Isométrico

Conteúdo

ISOMÉTRICO

FOLHA Nº

5

**PROTÓTIPO EM
BAMBU DE 2,4 m²**

Escala

INDICADA

Data

18/11/2018

Nº DE
FOLHAS 5

Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Engenharia Civil

Assunto (TEMA)

PROJETO ARQUITETÔNICO

Autor

Alexandre Oliveira Vitor

Orientador

Lisiane Ilha Librelotto

**APÊNDICE B – MEMORIAL DESCRITIVO E ORÇAMENTO
DOS MATERIAIS**

PROTÓTIPO EM BAMBU DE 2,4 m

APÊNDICE B - Memorial descritivo

Especificações técnicas para a construção de um protótipo em bambu de 2,4 m de área construída, contendo um único cômodo. A fundação será feita com troncos roliços de pinus ou eucalipto auto clavado e a superestrutura composta por quatro modelos de painéis de vedação pré-moldados em bambu. Todos os serviços serão executados em sistema de mutirão sob coordenação do aluno Alexandre Oliveira Vitor, em parceria com a Maquetaria. A construção será realizada nas dependências da Arquitetura da UFSC, servindo como um modelo de estudo para a comunidade universitária. Este protótipo faz parte do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do graduando em Engenharia Civil, Alexandre Oliveira Vitor.

1. INFRA-ESTRUTURA

1.1 Locação da obra

A demarcação será feita pelo método de gabarito. O gabarito será executado com reutilização de madeiras de caixaria, envolvendo todo o perímetro da obra. As tábuas que compõem esses quadros precisam ser niveladas, alinhadas, aprumadas e travadas para resistirem à tensão dos fios de demarcação sem oscilar ou deslocar da posição correta.

Serão necessários 14 metros de madeira de caixaria.

1.2 Escavações

As escavações serão executadas manualmente com a utilização de ferramentas do próprio coordenador do projeto. Serão escavados quatro buracos com raio de 0,25 metros e profundidade de 0,50 metros. A compactação do terreno será feita com socador manual.

1.3 Sapatas

As sapatas serão realizadas em pinus ou eucalipto roliço auto clavado previamente impermeabilizadas com três demãos de tinta asfáltica respeitando o tempo de secagem recomendado pelo produtor. Os 50 centímetros escavados serão preenchidos com 5 centímetros de brita, 5 centímetros de concreto para fundação (traço 1:2:3). Deve ser fixado, antes de atingir a pega do concreto, um vergalhão de aço CA 50 com 3/8" (\varnothing 10 mm) de 10 centímetros no centro da escavação, conforme delimitado pelo gabarito, para posterior travamento das sapatas. Não serão utilizadas formas de madeira como contenções laterais, o concreto será lançado diretamente sobre a camada de brita.

No centro de cada sapata será fixado 1 vergalhão de 0,40 m em aço CA 50 com 3/8" (\varnothing 10 mm), sendo 0,20 m inserido na sapata e 0,20 m em espera para os pilares dos painéis pré-moldados conforme o projeto de fundações (Apêndice D – FOLHA N°1).

Serão necessários 2,00 metros de eucalipto roliço auto clavado 14/16 Ø cortado em quatro pedaços de 0,50 metros cada, a quantidade de tinta asfáltico para impermeabilizar 2,5 m de superfície e 2,00 m de vergalhão de aço 3/8" (Ø 10 mm).

1.4 Viga baldrame

As vigas baldrames serão realizadas em pinus ou eucalipto roliço auto clavado serrado ao meio no sentido longitudinal. O trabalho de aplainamento e encaixe das peças será realizado em parceria com a Maquetaria.

Ao longo das vigas de sustentação, serão fixados 8 vergalhões de 0,40 m em aço 5/16" (Ø 8 mm) e 2 vergalhões de 0,25 m em aço 5/16" (Ø 8 mm), dispostos conforme o projeto de fundações (Apêndice D – FOLHA N°2).

Serão necessários 6,4 metros de eucalipto roliço auto clavado 12/14 Ø e 3,70 m de vergalhão de aço 5/16" (Ø 8 mm).

2. SUPRA-ESTRUTURA

2.1. Painéis pré-moldados de bambu

A concretagem será realizada injetando concreto no interior do colmo de bambu através de uma pequena abertura feita utilizando a serra copo. O lançamento do concreto deve ser realizado após a colocação de todos os painéis de vedação e da estrutura de cobertura. A estrutura deve estar aprumada e travada durante a concretagem. Tal procedimento evita o surgimento de trincas no concreto dentro dos colmos de bambu. O concreto da fixação dos painéis de vedação será no traço 1:2:3.

Os painéis são compostos por duas variedades de bambu: *dendrocalamus asper* para os pilares e *bambusa tuldoides* para as outras peças dos painéis modulares de bambu. Para confecção dos painéis serão utilizados barras roscadas 5/16" (Ø 8 mm), arruelas e porcas.

Devem ser aplicadas três demãos de stain impregnante em todos os bambus aparentes da estrutura de vedação, obedecendo o tempo de secagem do produto.

3. COBERTURA

A estrutura de cobertura será realizada com bambu *dendrocalamus asper* para as empenas e *bambusa tuldoides* para caibro, ambos fixados com barras roscadas 5/16" (Ø 8 mm), arruelas e porcas.

4. VEDAÇÃO COM BAMBU PLANIFICADO

Nos painéis pré-moldados de bambu serão fixados comprimentos de bambu planificado (*bambusa oldhamii*) com a face interna do bambu voltado para o exterior. O

bambu planificado será instalado somente no exterior da casa com auxílio de parafusos espaçados em no máximo 8 centímetros e interligado com arame. Mais especificações encontram-se disponíveis no TCC do coordenador do projeto.

Orçamento dos materiais					
Protótipo em bambu de 2,4m					

Item	Descrição	Quant.	Unidade	Custo Un.	Total (R\$)
1	Serviços Preliminares				18,00
1.3	Madeira de caixaria 10cm, c=3m	4,00	m	4,50	18,00
2	Fundação				202,55
2.1	Escavação manual até 0,50m	0,18	m3	0,00	0,00
2.2	Brita 1	5,00	saco	5,00	25,00
2.3	Areia grossa	5,00	saco	2,00	10,00
2.4	Cimento	1,00	saco	25,00	25,00
2.5	Eucalipito auto clavado Ø14-16	2,40	m	12,00	28,80
2.6	Eucalipito auto clavado Ø12-14	6,40	m	9,00	57,60
2.7	Impermeabilização com neutrol	2,50	m2	9,50	23,75
2.8	Braçadeira galvanizada	8,00	m	1,75	14,00
2.9	Vergalhão de aço 3/8" (Ø 10 mm)	2,50	m	3,40	8,50
2.10	Vergalhão de aço 5/16" (Ø 8 mm)	4,50	m	2,20	9,90
3	Paredes e painéis				71,28
3.1	Barra roscada 5/16" (Ø 8 mm)	9,00	und	5,50	49,50
3.2	Arruela 5/16" (Ø 8 mm)	66,00	und	0,18	11,88
3.3	Porca 5/16" (Ø 8 mm)	66,00	und	0,15	9,90
4	Cobertura				38,06
4.1	Barra roscada 5/16" (Ø 8 mm)	5,00	und	5,50	27,50
4.2	Arruela 5/16" (Ø 8 mm)	32,00	und	0,18	5,76
4.3	Porca 5/16" (Ø 8 mm)	32,00	und	0,15	4,80
5	Vedação				31,25
5.1	Parafuso para madeira 3,5 x 25 mm	90,00	und	0,15	13,50
5.2	Arame galvanizado n.16 (1kg)	1,00	und	17,75	17,75
6	Revestimento				73,50
6.1	Cal	x	und	0,00	0,00
6.2	Fibra	x	und	0,00	0,00
6.3	Terra	x	und	0,00	0,00
6.4	Stain impregnante (3,6L)	0,50	lata	147,00	73,50

TOTAL (R\$)	434,64
--------------------	---------------

APÊNDICE C – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

PROTÓTIPO EM BAMBU DE 2,4 m
