



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Laila Nuić

**Aplicabilidade do Bambu em Zona Bioclimática 1 como Alternativa
Construtiva: Proposição de Pannel, Sistema Construtivo Modular e Simulação
do Desempenho Térmico**

FLORIANÓPOLIS

2024

Laila Nuić

**Aplicabilidade do Bambu em Zona Bioclimática 1 como Alternativa
Construtiva: Proposição de Pannel, Sistema Construtivo Modular e Simulação
do Desempenho Térmico**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Dra. Lisiane Ilha Librelotto

Florianópolis

2024

Nuic, Laila

Aplicabilidade do bambu em zona bioclimática 1 como alternativa construtiva: proposição de painel, sistema construtivo modular e simulação do desempenho térmico / Laila Nuic ; orientador, Lisiane Ilha Librelotto, 2024. 248 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Bambu. 3. Arquitetura modular em bambu. 4. Sistema construtivo modular em bambu. 5. Desempenho térmico do bambu. I. Librelotto, Lisiane Ilha. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Laila Nuić

**Aplicabilidade do Bambu em Zona Bioclimática 1 como Alternativa
Construtiva: Proposição de Painel, Sistema Construtivo Modular e Simulação
do Desempenho Térmico**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado, em 20 de março de 2024, por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Anelizabete Alves Teixeira, Dra.
Universidade Estadual de Goiás

Prof. Celso Salamon, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Tomaz Queiroz Ferreira Barata, Dr.
Universidade de São Paulo

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dra. Lisiane Ilha Librelotto
Orientadora

Florianópolis, 2024.

Dedico este trabalho à minha mãe Bernaditti Bertoncini Nuić, pelo seu incentivo constante, ao meu pai Srećko Nuić (in memoriam), que sempre esteve presente em nossas vidas e aos meus filhos Ana Nuić e Guilherme Lucas Nuić, que possam também se inspirar e desfrutar de suas conquistas.

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui os meus agradecimentos a todos que colaboraram para o desenvolvimento e finalização deste trabalho.

Em especial à minha orientadora Lisiane Ilha Librelotto, no encaminhamento do desenvolvimento do trabalho.

Aos Professores Fernando Simon Westphal, e Saulo Guths pela grande contribuição na simulação de desempenho dos ambientes e nas medições das resistências térmicas dos bambus, respectivamente.

Aos professores membros da banca de qualificação, Gilberto Carbonari, Fernando Barth e Vanessa Casarin, que dedicaram o seu tempo para a leitura e apontamentos com críticas e contribuições para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores membros da banca de defesa, Anelizabeth Alves Teixeira, Celso Salamon e Tomaz Queiroz Ferreira Barata, que também dedicaram seu tempo com as avaliações deste trabalho.

Aos meus familiares, em particular à minha mãe que nunca me deixou desistir de concluir este trabalho, e aos meus filhos que sempre tiveram muita paciência com o tempo que tive que dedicar a este estudo.

RESUMO

Esta pesquisa assume como tema principal o estudo do bambu como elemento construtivo, reconhecendo-se este material como uma alternativa de construção mais sustentável. O estudo teve como objetivo avaliar a aplicabilidade do bambu como material construtivo em região de zona bioclimática 1, através da proposição de um sistema construtivo modular e da simulação do desempenho térmico de painéis verticais de bambu. Avaliando-se os fatores e requisitos de desempenho optou-se por pesquisar questões relativas à habitabilidade, através do estudo do desempenho térmico de painéis de bambu de uma edificação residencial. Após a delimitação da área para pesquisa, a escolha da edificação partiu de um estudo das construções locais através de um levantamento fotográfico, com a verificação de alguns padrões construtivos de caráter evolutivo. Optou-se por uma arquitetura modular, respeitando as características estéticas encontradas no levantamento inicial, resultando em uma edificação residencial de um pavimento, com a possibilidade de pré-fabricação dos elementos construtivos. A avaliação do desempenho térmico foi feita através de simulações computacionais da edificação proposta e de medições da resistência térmica de colmos de bambu e de chapas de bambu. Os resultados encontrados com as simulações, utilizando-se painéis de bambu nas paredes internas e externas, apresentaram uma redução do consumo total de energia na edificação, para simulações com o arquivo climático de São Joaquim/SC. Foram feitas outras simulações com arquivos climáticos de outras cidades de Santa Catarina, que também obtiveram resultados satisfatórios, no sentido de contribuir para a utilização de um menor número de horas com climatização mecânica nos ambientes, reduzindo, assim, o consumo total de energia da edificação. Quanto às medições dos colmos e chapas de bambu, ficou evidenciado as diferenças nos valores da resistência térmica dos colmos para as duas espécies de bambu pesquisadas, devendo-se levar em consideração a variação dimensional dos diâmetros internos e da espessura do bambu, apesar da medida dos diâmetros externos serem próximos, em torno de 6 cm. As chapas de bambu obtiveram um resultado para o valor da resistência térmica/condutividade, mais próximo do valor utilizado nas simulações, que os colmos de bambu. Além do estudo do bambu, também foram feitas simulações com materiais utilizados na região de estudo (madeira e alvenaria de tijolos cerâmicos), e comparados os resultados de cada material com os resultados obtidos para o bambu. Dessa forma, verificou-se que o bambu obteve resultados melhores que os outros materiais, com sua utilização nas paredes da edificação, externas e internas. Apenas a alvenaria de tijolos cerâmicos com argamassa obteve um resultado melhor em uma das simulações. Avaliando o desempenho do bambu como material construtivo, em regiões de zona bioclimática brasileira 1, sob o ponto de vista do desempenho térmico, através das simulações e medições feitas nesta pesquisa, pode-se dizer que o bambu contribui para a diminuição do consumo total de energia na edificação. No caso desta pesquisa, uma edificação residencial de um pavimento, com as características específicas do estudo.

Palavras-chave: Bambu. Arquitetura modular em bambu. Sistema construtivo modular em bambu. Desempenho térmico do bambu.

ABSTRACT

The main theme of this research is the study of bamboo as a constructive element, recognizing this material as a more sustainable construction alternative. The objective of this study was to evaluate the applicability of bamboo as a construction material in a bioclimatic zone 1 region, through the proposition of a modular construction system and the simulation of the thermal performance of vertical bamboo panels. Evaluating the performance factors and requirements, it was decided to research issues related to habitability, through the study of the thermal performance of bamboo panels of a residential building. After the delimitation of the area for research, the choice of the building was based on a study of the local constructions through a photographic survey, with the verification of some construction patterns of an evolutionary nature. We opted for a modular architecture, respecting the aesthetic characteristics found in the initial survey, resulting in a one floor residential building, with the possibility of prefabrication of the construction elements. The evaluation of the thermal performance was done through computer simulations of the proposed building and measurements of the thermal resistance of bamboo culms and bamboo sheets. The results found with the simulations, using bamboo panels on the internal and external walls, showed a reduction in the total energy consumption in the building, for simulations with the climatic archive of São Joaquim/SC. Other simulations were carried out with climatic files from other cities in Santa Catarina, which also obtained satisfactory results, to contribute to the use of a smaller number of hours with mechanical air conditioning in the environments, thus reducing the total energy consumption of the building. As for the measurements of the bamboo stalks and sheets, the differences in the values of the thermal resistance of the stalks for the two species of bamboo studied were evidenced, considering the dimensional variation of the internal diameters and thickness of the bamboo, although the measurement of the external diameters is close, around 6 cm. The bamboo sheets obtained a result for the value of thermal resistance/conductivity, closer to the value used in the simulations, than the bamboo stalks. In addition to the study of bamboo, simulations were also made with materials used in the study region (wood and ceramic brick masonry), and the results of each material were compared with the results obtained for bamboo. Thus, it was found that bamboo obtained better results than the other materials, with its use in the walls of the building, external and internal. Only ceramic brick masonry with mortar obtained a better result in one of the simulations. Evaluating the performance of bamboo as a construction material, in regions of Brazilian bioclimatic zone 1, from the point of view of thermal performance, through the simulations and measurements made in this research, it can be said that bamboo contributes to the reduction of total energy consumption in the building. In the case of this research, a one-story residential building, with the specific characteristics of the study.

Keywords: Bamboo. Modular bamboo architecture. Modular bamboo construction system. Thermal performance of bamboo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Objeto de pesquisa	20
Figura 2 - (a) Zoneamento bioclimático brasileiro; (b) Zona bioclimática 1.	23
Figura 3 - Localização do município de Bom Jardim da Serra.	24
Figura 4 - Imagem aérea do Município de Bom Jardim da Serra.	24
Figura 5 - (a) Paisagens rurais; (b) Mata de araucária e Campos. Bom Jardim da Serra.	25
Figura 6 - IDMS dos Municípios Catarinenses de 2018.	26
Figura 7 - IDMS do Município de Bom Jardim da Serra.	27
Figura 8 – Inter-relação dos temas pesquisados.....	29
Figura 9 - Materiais construtivos na região.	30
Figura 10 - Vista da região no inverno.	31
Figura 11 - Delimitação do tema pesquisado.	35
Figura 12 - Síntese dos resultados. Base de dados Scielo.	42
Figura 13 - Resultados, por ano, dos artigos obtidos na busca. Base de dados Scielo.	43
Figura 14 - Temas abordados nos artigos, relativos ao bambu. Base de dados Scopus.	43
Figura 15 - Resultados, por ano, dos artigos obtidos na busca. Base de dados Scopus.	44
Figura 16 - Sistema construtivo modular com utilização do bambu.	44
Figura 17 - Síntese da revisão sistemática.....	45
Figura 18 - Resultados para teses envolvendo o bambu, no Brasil.	47
Figura 19 - Resultados para teses envolvendo o bambu, após aplicação dos filtros de pesquisa, e que têm relação com o bambu como elemento construtivo.	48
Figura 20 - Síntese dos resultados apresentados para teses, após aplicação dos filtros de pesquisa.	49
Figura 21 - Temas abordados em artigos e teses.	50
Figura 22 - Número de publicações de artigos e teses por ano.	50
Figura 23 - Cadeia produtiva do bambu como elemento construtivo.	52
Figura 24 - Temas pesquisados associados às etapas da cadeia produtiva.	53
Figura 25 – Demarcação dos tópicos de pesquisa.....	54

Figura 26 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ONU.....	55
Figura 27 - Mapa de distribuição dos países-membros da INBAR.....	56
Figura 28 - Desenho esquemático da composição do bambu.....	58
Figura 29 - Distribuição de bambus nativos no mundo.	59
Figura 30 - Espécies de bambu. Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento dos Agronegócios do Bambu, Tatuí/SP.	60
Figura 31 - Ferramenta para seleção de espécies de bambu - INBAR.....	61
Figura 32 - Resultados obtidos com o aplicativo INBAR – Seleção das espécies de bambu.	62
Figura 33 - Espécies de bambu consideradas prioritárias pela INBAR, por região. ...	64
Figura 34 - Manejo dos colmos de bambu.	65
Figura 35 - Tratamento dos colmos de bambu por imersão.....	66
Figura 36 - Agentes intervenientes na gestão do processo de projeto.....	75
Figura 37 - Grelha tartã, Arup Associates.	80
Figura 38 - Unidades modulares de construção.....	82
Figura 39 - Unidades modulares formando estrutura autoportante. Instalação de módulo Yorkon.	83
Figura 40 – Unidades modulares apoiadas em estrutura independente: (a) Edifício Hong Kong Shanghai Bank, Hong Kong. (b) Acréscimo de varandas e painéis verticais em fachada.	83
Figura 41 - Sistema estrutural modular em bambu.	85
Figura 42 - Etapas de construção do sistema modular.	85
Figura 43 - Detalhes da estrutura.....	85
Figura 44 - Esquema de desenvolvimento dos módulos.....	86
Figura 45 - Superposição de malhas de quadrados. (a) Projeção horizontal; (b) grupamento de poliedros; (c) grupamento apenas de arestas e nós.	86
Figura 46 - Vista da edificação no panorama da região.....	87
Figura 47 - Vista externa da edificação.....	88
Figura 48 - Desenho esquemático da proposta do projeto.....	88
Figura 49 - Detalhe da estrutura de bambu: pilares, vigas e ligações.....	89
Figura 50 - Vistas dos detalhes construtivos: a) fixação dos painéis na estrutura; b) amarração das vigas e pilares; c) estrutura da escada interna.	89
Figura 51 - Vista panorâmica do empreendimento (Projeto).	90

Figura 52 - Vistas das áreas internas do condomínio e vista frontal dos módulos habitacionais (Projeto).....	90
Figura 53 - Opção de agrupamento com quatro módulos.	91
Figura 54 - Detalhes da fixação da estrutura no solo e aspectos construtivos de piso e parede.	92
Figura 55 - Etapas da pesquisa.....	94
Figura 56 - Procedimentos para revisão sistemática da literatura.....	96
Figura 57 - Processo de desenvolvimento da pesquisa.	102
Figura 58 – Etapas de pesquisa descritas neste capítulo.	103
Figura 59 – Município de Bom Jardim da Serra, área urbana.	105
Figura 60 – Setorização da área urbana do Município de Bom Jardim da Serra. ...	105
Figura 61 – Vista aérea e mapa da Área Central com destaque para as ruas escolhidas para o levantamento das construções.....	107
Figura 62 – Vista aérea e mapa da Área 1 com destaque para as ruas escolhidas para o levantamento das construções.....	108
Figura 63 – Vista aérea e mapa da Área 2 com destaque para as ruas escolhidas para o levantamento das construções.....	109
Figura 64 – Vista aérea e mapa da Área 3 com destaque para as ruas escolhidas para o levantamento das construções.....	110
Figura 65 – Exemplos de utilização da pedra.....	114
Figura 66 – (a) Números de pavimentos; (b) Tipo de cobertura.....	115
Figura 67 – Materiais utilizados nas construções.....	115
Figura 68 – Tipologia construtiva.	116
Figura 69 – (a) reconstrução dinérgica do contorno da concha – Haliote (Haliotis asinina); (b) espiral logarítmica típica da expansão da concha, representada através da proporção áurea.	118
Figura 70 – Peças estruturais propostas inicialmente.	119
Figura 71 – Construção dos módulos.....	120
Figura 72 – Painéis de bambu.....	128
Figura 73 – Aspectos construtivos essenciais para a construção dos painéis.	129
Figura 74 – Modelo de ligação das peças estruturais.	130
Figura 75 – Conjunto estrutural: vigas, pilares e ligações.	131
Figura 76 – Conjunto estrutural – contraventamentos.....	131

Figura 77 – Conexão das ligações estruturais com a fundação.	132
Figura 78 – Estudo do apoio do piso na estrutura.	133
Figura 79 – Estudo da fixação dos painéis.	133
Figura 80 – Fixação dos painéis verticais no conjunto estrutural.	134
Figura 81 – Modelos de painéis com colmos de bambu.	135
Figura 82 – Modelos de painéis variados.	136
Figura 83 – Teto e forro.	137
Figura 84 – Estudo da cobertura – estrutura.	138
Figura 85 – Estudo da cobertura – acabamentos.	139
Figura 86 – Vistas da maquete referente ao Módulo 1.	140
Figura 87 – Croqui da planta do projeto arquitetônico.	141
Figura 88 - Tipos de painéis.	141
Figura 89 - Painéis definidos para simulação.	143
Figura 90 – Simulação 1. Objeto de estudo e estratégias aplicadas.	148
Figura 91 – Simulação 1. Dados iniciais.	149
Figura 92 – Simulação 1. Painéis pesquisados.	149
Figura 93 – Descrição da inserção de dados dos painéis.	150
Figura 94 – Simulação do modelo de referência.	151
Figura 95 – Simulação com painel de bambu. Consumo de energia.	152
Figura 96 – Gráfico para redução de consumo com várias espessuras de bambu.	153
Figura 97 – Resultados para o consumo total de energia – Painel de Bambu Simples (PBS).	154
Figura 98 – Simulação com parede de alvenaria e parede dupla de madeira. Consumo de energia.	155
Figura 99 - Simulação 2. Edificação residencial para simulação.	156
Figura 100 - Simulação 2. Modelos de simulação.	157
Figura 101 - Simulação 2. Modelo simplificado para simulação.	158
Figura 102 - Resultados para o modelo de referência.	159
Figura 103 - Resultados para o modelo 1.	160
Figura 104 - Resultados para o modelo 2.	161
Figura 105 - Resultados dos três modelos.	162
Figura 106 - Resultados. Modelo 1.	163
Figura 107 - Colmos de bambu utilizados na medição.	164

Figura 108 - Medidas da seção transversal dos colmos de bambu - <i>Dendrocalamus asper</i> .	165
Figura 109 - Peças do colmo de bambu lixadas.	165
Figura 110 - Colmos de bambu utilizados na confecção da amostra do painel.	166
Figura 111 - Medidas da seção transversal dos colmos de bambu - <i>Guadua chacoensis</i> .	166
Figura 112 - Amostras da chapa de bambu laminado colado.	167
Figura 113 - Chapa de bambu, com detalhes das superfícies.	167
Figura 114 - Equipamento para medição da resistência térmica dos colmos de bambu.	168
Figura 115 - Equipamento utilizado para medição da chapa de bambu laminado colado.	168
Figura 116 - Síntese do desenvolvimento da pesquisa.	170
Figura 117 - Etapas para o desenvolvimento dos painéis.	171
Figura 118 - Síntese da evolução da proposta do sistema construtivo.	172
Figura 119 - Síntese das simulações e medições.	174
Figura 120 - Resultados para simulação com telha e forro de bambu.	176
Figura 121 - Modelos para simulação.	177
Figura 122 - Resultados da simulação.	178
Figura 123 - Localização dos arquivos climáticos.	179
Figura 124 - Resultados para variação do arquivo climático.	179
Figura 125 - Resultados das medições.	181
Figura 126 - Estratégias projetuais a partir dos dados coletados.	182
Figura 127 - Aceitação do uso do bambu na construção de edificações.	183
Figura 128 - Intervenientes necessários para a construção com bambu.	185
Figura 129 - Localização dos produtores de bambu e Centros de Pesquisa que estudam o bambu, em Santa Catarina.	186
Figura 130 - Questões de pesquisa e ações relacionadas.	187

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Contextualização dos temas com o desenvolvimento da pesquisa.	22
Quadro 2 - Síntese da relevância e ineditismo relacionados à pesquisa.	34
Quadro 3 - Classificação da pesquisa.	37
Quadro 4 - Síntese da revisão sistemática para teses no Brasil.	40
Quadro 5 - Filtros de pesquisa para revisão sistemática em teses no Brasil.	46
Quadro 6 - Resultados encontrados para teses.	47
Quadro 7 - Normas relacionadas ao bambu (em vigor). continua.....	68
Quadro 8 - Exigências do usuário segundo a NBR 15575-1.	72
Quadro 9 - Custos incorridos na produção e uso de edifícios.	73
Quadro 10 - Tipos de controle da qualidade.	74
Quadro 11 - Fatores essenciais da produtividade.	77
Quadro 12 - Vantagens e desvantagens do uso do bambu na construção.	79
Quadro 13 - Normas para coordenação modular (em vigor).	81
Quadro 14 - Parâmetros de referência relacionados às edificações.	93
Quadro 15 - Descrição das etapas de pesquisa.	95
Quadro 16 - Etapas de desenvolvimento do sistema construtivo.	99
Quadro 17 - Materiais, equipamentos, programas computacionais e laboratórios. .	101
Quadro 18 – Edificações representativas da região de estudo.	112
Quadro 19 – Modelos 1 a 8, constituídos por um tipo de módulo.	122
Quadro 20 – Síntese dos modelos de agrupamentos dos módulos. Modelos 9 a 12, constituídos por mais de um tipo de módulo.	124
Quadro 21 – Agrupamentos de Módulos “1”.	127
Quadro 22 - Descrição dos painéis.	142
Quadro 23 – Tópicos para avaliação de desempenho. continua.....	145
Quadro 24 – Verificação de desempenho térmico do bambu.	147
Quadro 25 - Síntese dos resultados com as medições.	169
Quadro 26 - Descrição da composição dos painéis.	173
Quadro 27 - Resultados esperados e resultados alcançados.	188
Quadro 28 - Publicações relacionadas à pesquisa.	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de ligações utilizadas em cada modelo de agrupamento.	126
Tabela 2 - Síntese dos resultados das simulações com os painéis de bambu, parede dupla de madeira e alvenaria. Redução do consumo de energia.....	175

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	O OBJETO DE PESQUISA	19
1.2	JUSTIFICATIVA.....	20
1.3	CONTEXTUALIZAÇÃO	22
1.3.1	Considerações sobre o local de estudo.....	23
1.3.2	O papel da arquitetura no contexto atual.....	27
1.4	PROBLEMA DE PESQUISA	30
1.4.1	Problemática envolvendo o bambu e a região de estudo	30
1.4.2	Lacuna do conhecimento.....	32
1.4.3	Delimitação do tema.....	35
1.4.4	Pergunta e hipótese de pesquisa	36
1.5	OBJETIVOS	36
1.5.1	Objetivo geral	36
1.5.2	Objetivos específicos.....	36
1.6	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	37
1.7	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	37
2	REVISÃO DA LITERATURA	39
2.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	39
2.1.1	Síntese dos resultados	49
2.2	PESQUISA CIENTÍFICA E PRÁTICA CONSTRUTIVA COM BAMBU	51
2.2.1	Tópicos para desenvolvimento da pesquisa.....	54
2.3	REFERENCIAL TEÓRICO	55
2.3.1	Características do bambu como material construtivo	57
2.3.1.1	Características gerais do Bambu.....	57
2.3.1.2	Aspectos relevantes para o uso do bambu em edificações	60
2.3.2	Projeto de edificações com bambu.....	66
2.3.2.1	Normas técnicas para projeto e construção com bambu.....	66
2.3.2.2	Qualidade e desempenho em projeto	70

2.3.2.2.1	<i>O conceito de desempenho aplicado à qualidade do projeto</i>	71
2.3.2.2.2	<i>Qualidade em projeto e produtividade</i>	73
2.3.3	Construção modular com bambu	78
2.3.3.1	Vantagens e desvantagens da construção com bambu	78
2.3.3.2	Sistemas modulares de construção	80
2.3.3.3	Sistemas construtivos modulares com bambu	84
2.3.3.3.1	<i>Edificação 1</i>	84
2.3.3.3.2	<i>Edificação 2</i>	87
2.3.3.3.3	<i>Edificação 3</i>	90
2.3.3.3.4	<i>Edificação 4</i>	91
2.3.3.3.5	<i>Parâmetros relativos aos sistemas construtivos apresentados</i>	93
3	MATERIAIS E MÉTODOS	94
3.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	94
3.1.1	Estudo exploratório	96
3.1.1.1	Pesquisa bibliográfica	96
3.1.1.2	Pesquisa de campo	96
3.1.1.2.1	<i>Entrevistas</i>	96
3.1.1.2.2	<i>Visitas técnicas</i>	97
3.1.1.2.3	<i>Visitas a Institutos de Pesquisa</i>	97
3.1.2	Proposta e avaliação do sistema construtivo	97
3.1.2.1	Levantamento das construções locais	97
3.1.2.2	Diretrizes e estratégias para concepção do sistema construtivo	98
3.1.2.3	Avaliação do sistema construtivo	99
3.1.2.3.1	<i>Avaliação de desempenho</i>	100
3.1.2.3.2	<i>Viabilidade construtiva</i>	100
3.1.3	Estudo comparativo	100
3.1.4	Tratamento dos dados e análise dos resultados	100

3.2	MATERIAIS	101
4	PROPOSTA DE EDIFICAÇÃO MODULAR EM BAMBU	103
4.1	CARACTERÍSTICAS DAS CONSTRUÇÕES LOCAIS.....	104
4.1.1	Levantamento das construções locais.....	104
4.1.1.1	Delimitação da área pesquisada.....	104
4.1.2	Síntese dos resultados	110
4.2	DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DO SISTEMA CONSTRUTIVO ...	117
4.2.1	Etapa 1 – Elaboração dos módulos estruturais	118
4.2.1.1	Características gerais	118
4.2.1.2	Os módulos.....	120
4.2.2	Etapa 2 – Composição dos módulos	121
4.2.2.1	Possibilidades de agrupamento dos módulos	121
4.2.2.2	Tipos de ligações geradas com o agrupamento dos módulos.....	125
4.2.3	Etapa 3 – Projeto do sistema construtivo modular	126
4.2.3.1	Maquete	129
4.3	PROPOSTA ARQUITETÔNICA PARA SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO	140
5	DESEMPENHO DO BAMBU COMO MATERIAL CONSTRUTIVO	144
5.1	AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS DE DESEMPENHO	144
5.2	DESEMPENHO TÉRMICO.....	147
5.2.1	Simulação 1	148
5.2.2	Simulação 2	156
5.2.3	Medições da resistência térmica do bambu.....	164
5.2.3.1	Medição 1.....	164
5.2.3.2	Medição 2.....	166
5.2.3.3	Medição 3.....	167
5.2.3.4	Equipamentos de medição.....	168
5.2.3.5	Síntese dos resultados	169
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	170
6.1	PAINÉIS DE BAMBU.....	171

6.2	DESEMPENHO TÉRMICO DOS PAINÉIS DE BAMBU	174
6.2.1	Simulação 1 – Redução do consumo de energia	175
6.2.2	Simulação 2 – Total de horas em cada faixa de temperatura por zona térmica 177	
6.2.3	Medições da resistência térmica.....	180
6.3	ESTRATÉGIAS PROJETUAIS A PARTIR DOS DADOS COLETADOS	182
6.4	VIABILIDADE CONSTRUTIVA COM BAMBU NA REGIÃO DE ESTUDO .	183
6.4.1	Aceitação do bambu.....	183
6.4.2	Oferta e disponibilidade dos produtos	185
6.5	RESULTADOS ESPERADOS E RESULTADOS ALCANÇADOS.....	187
7	CONCLUSÕES	189
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	193
8.1	PUBLICAÇÕES RELACIONADAS	193
8.2	SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS	193
	REFERÊNCIAS.....	194
	APÊNDICE A – Foco das pesquisas com bambu, em teses, no Brasil	201
	APÊNDICE B – Síntese da revisão sistemática de temas relacionados à pesquisa, em teses, no Brasil	203
	APÊNDICE C – Síntese da revisão sistemática para artigos nacionais e internacionais, base de dados Scielo	204
	APÊNDICE D – Síntese da revisão sistemática para artigos nacionais e internacionais, base de dados Scopus.....	206
	APÊNDICE E – Entrevistas com moradores locais.....	208
	APÊNDICE F – Levantamento Fotográfico	211
	APÊNDICE G – Quantitativos do Levantamento Fotográfico	241
	APÊNDICE H – Foco das pesquisas com bambu em teses	242
	APÊNDICE I – Tipos de ligações geradas com o agrupamento dos módulos.....	244

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo, desenvolvido no Grupo de Pesquisa VirtuHab, constitui-se em pesquisa de doutorado, integrante do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósArq, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, tendo como área de concentração, *Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído*, e linha de pesquisa, *Métodos e Técnicas Aplicados ao Projeto em Arquitetura e Urbanismo*.

Os temas abordados neste trabalho envolvem questões como meio ambiente e o potencial de utilização dos recursos naturais renováveis na construção de edificações, os desafios para um crescimento integrado socialmente e economicamente, focado na cadeia produtiva do bambu, o papel da arquitetura neste contexto e suas contribuições, o desenvolvimento de tecnologias construtivas em determinada região, e sua cultura construtiva, para aplicação dos vários conceitos pesquisados e alinhados com a proposta desta pesquisa.

Como introdução para este estudo, neste capítulo são abordados: o objeto de pesquisa; sua justificativa; a contextualização dos temas pesquisados; a lacuna do conhecimento, envolvendo o tema pesquisado; o problema de pesquisa e a delimitação do tema pesquisado; os objetivos; a classificação desta pesquisa; bem como a estruturação do trabalho.

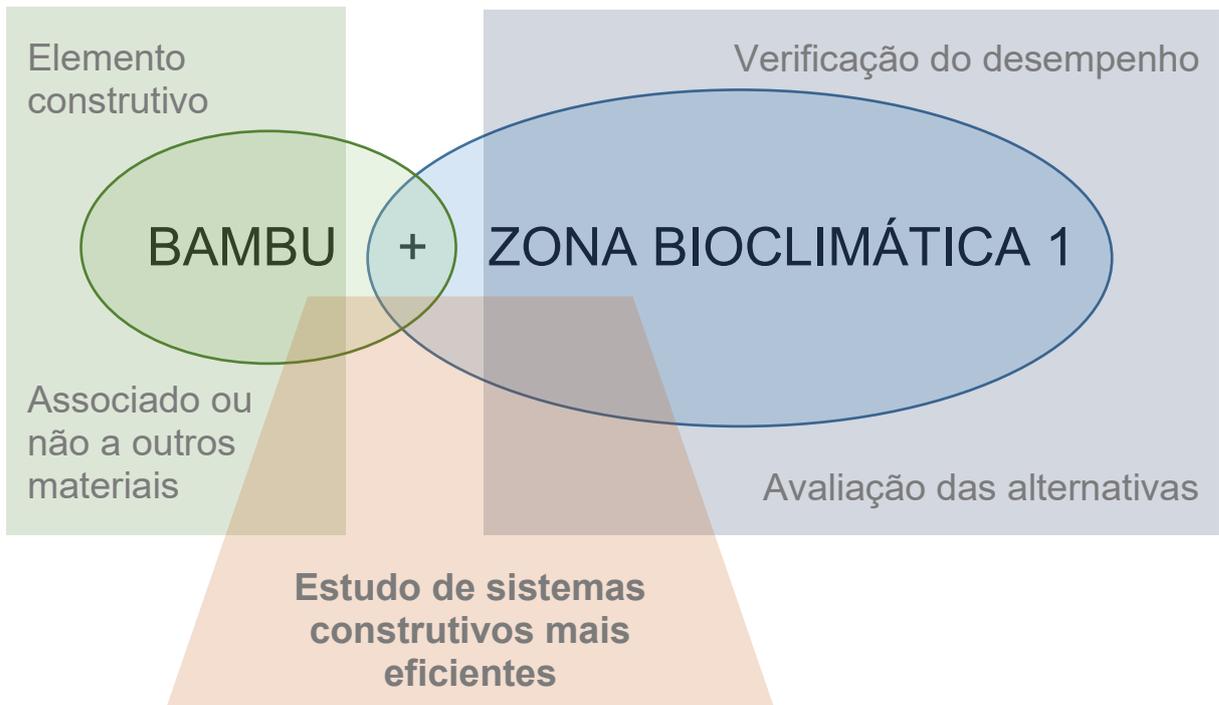
1.1 O OBJETO DE PESQUISA

Esta pesquisa assume como foco a avaliação de um sistema construtivo modular, com utilização de elementos constituídos por bambu, com e sem associação de outros materiais, considerando o desempenho do bambu como material construtivo. A motivação desta pesquisa parte da ideia de colaborar para uma arquitetura com menor impacto ambiental, através do uso consciente dos materiais, o que levou à escolha do bambu.

Neste trabalho, foi pesquisado o uso do bambu em construções modulares e sua adequação em regiões com baixas temperaturas e umidade do ar alta. Dessa forma, buscou-se gerar alternativas construtivas para regiões com estas

características, agregar valor aos materiais naturais renováveis disponíveis e pouco utilizados na nossa cultura, como também, possibilitar uma arquitetura mais dinâmica e sustentável (Figura 1).

Figura 1 - Objeto de pesquisa



Fonte: Autora (2021).

Esta pesquisa foi desenvolvida em região de zona bioclimática 1, onde foram estudados aspectos relevantes do comportamento do bambu como elemento construtivo, relativos ao seu desempenho, nesta região específica. Os resultados foram avaliados e comparados com construções locais consideradas como referência neste estudo. Sendo que as edificações locais foram pesquisadas em levantamento específico, após definição do recorte, dentro da área de zona bioclimática 1.

1.2 JUSTIFICATIVA

Dentre os materiais estudados para contribuir com o baixo impacto ambiental estão os materiais naturais renováveis. No Brasil, eles se apresentam com bastante disponibilidade e oferecem um consumo reduzido de energia em sua produção.

Materiais naturais renováveis são uma ótima opção e dentre eles estão os bambus, que podem tornar-se uma importante alternativa como material construtivo, já que possuem um tempo curto de renovação, com crescimento rápido e baixo consumo energético em sua produção, e com várias possibilidades plásticas. Outro fator determinante, para a utilização de outros materiais renováveis como o bambu, é o crescente desmatamento das áreas florestais e a grande demanda pelas madeiras de reflorestamento (TEIXEIRA,2013).

O impacto das edificações no meio ambiente é definido na etapa de projeto sendo a escolha dos materiais construtivos um dos principais determinantes (KEELER e BURKE, 2010; MANZINI e VEZZOLI, 2011; GONÇALVES e BODE, 2015). Por isso a importância da escolha consciente destes materiais, considerando também que os edifícios podem ser utilizados para fins diferentes ao longo do tempo e seus componentes reutilizados ou readaptados. Para tanto, Mulfart (2002) esclarece que, observando os critérios ambientais, deve-se avaliar: “o potencial de reciclagem ou reuso do material construtivo; o impacto ambiental embutido nos processos de extração, transporte, utilização e demolição; a energia embutida; a toxicidade do material para o homem e o meio ambiente”.

As pesquisas envolvendo o bambu na arquitetura e na construção civil, no Brasil, estão voltadas para o desenvolvimento de materiais com associação de fibras de bambu para confecção de placas para pisos, divisórias verticais e para forro (OSTAPIV, 2011; BORGES NETO, 2014; CORREIA, 2015; KRAUSE, 2015; MORAIS, 2016; LLANOS, 2018; COSTA, 2019), estruturas com tecnologias de laminação do bambu (NOGUEIRA, 2013; YAMADA, 2016; SMITS, 2018), bem como painéis de bambu em composição com outros materiais (TEIXEIRA, 2013; NAKANISHI, 2018; MOIZÉS, 2019), e diversas opções estruturais com colmos de bambu (SILVA, 2014; MELO, 2017). Também foram pesquisados a durabilidade do bambu quando utilizado como elemento construtivo em edificações (BENAVIDES, 2019), o bambu associado à terra crua em um estudo de cobertura (CAMPOS,2013), bem como a atuação de grupos de pesquisa, em várias universidades brasileiras, voltada para o estudo do bambu, como contribuição para o desenvolvimento sustentável (LIBRELOTTO et al, 2019). Porém, não se tem avaliado um sistema construtivo modular, com elementos construtivos em bambu, e as condições mínimas de desempenho da edificação

gerada, considerando a aplicação em uma região específica, que é objeto desta pesquisa.

Este estudo tem o intuito de contribuir, tecnicamente, para o desenvolvimento de soluções construtivas, utilizando o bambu como material base, que possam dar apoio durante o processo de tomada de decisões dos projetistas, na solução dos problemas de projeto.

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO

O estudo de materiais renováveis vem se tornando cada vez mais frequente diante da necessidade de se obter uma arquitetura mais sustentável e adaptável a novos estilos de vida. As necessidades habitacionais estão em constante mudança e para contribuir com estes novos requisitos esta pesquisa envolve os temas: arquitetura sustentável, arquitetura evolutiva, arquitetura modular e o bambu. São temas que irão fundamentar as escolhas de pesquisa bem como o modelo do sistema construtivo a ser avaliado. Tendo o bambu como objeto de estudo, é apresentado, no Quadro 1, a relação do bambu com os temas mencionados acima.

Quadro 1 - Contextualização dos temas com o desenvolvimento da pesquisa.

Questões envolvidas	Temas relacionados			
Opção para inserção de novo material	Material renovável	Adaptação a outros materiais	Fácil reposição das peças	Bambu
O meio ambiente e o potencial dos recursos naturais renováveis	Arquitetura mais sustentável	Arquitetura evolutiva	Arquitetura modular	Ainda pouco utilizado no Brasil
Os desafios para um crescimento integrado socialmente e economicamente				O potencial da cadeia produtiva
O papel da arquitetura neste contexto e suas contribuições				Opção como material construtivo
Desenvolvimento de tecnologias construtivas				Composição de módulos
Foco em uma região definida para aplicação dos conceitos pesquisados				

Fonte: Autora (2020).

A escolha do bambu como material construtivo vem de encontro à tentativa de contribuir com as questões relacionadas inicialmente, como uma opção para

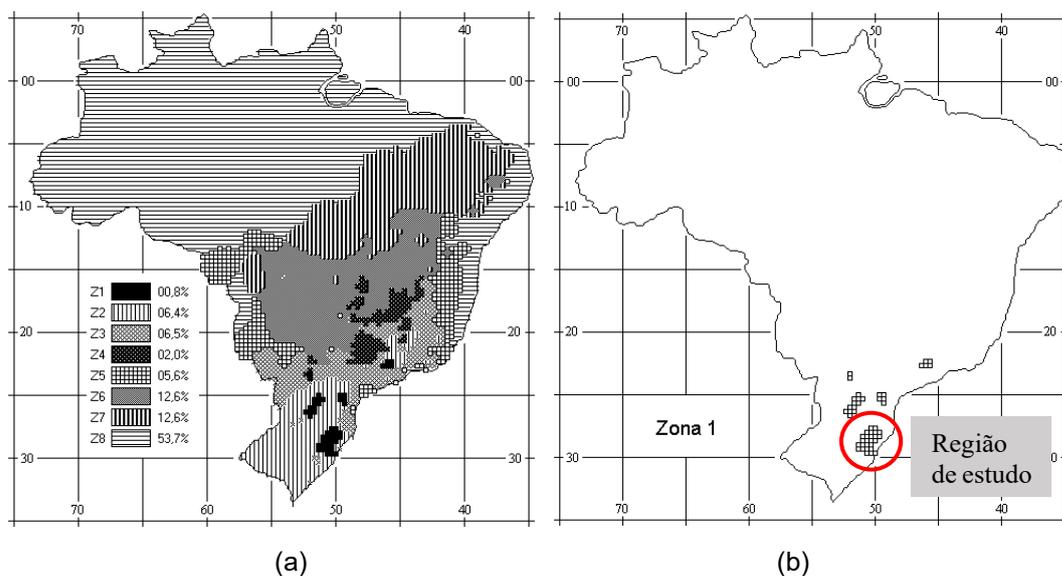
inserção de um novo material construtivo em uma região específica, para o desenvolvimento deste estudo. E assim, atender a determinadas características para uma arquitetura mais sustentável e evolutiva.

A região escolhida para a realização da pesquisa foi o Planalto sul Catarinense, onde se encontram as temperaturas mais baixas do estado e do país. A escolha desta região teve como objetivo, estudar o bambu como elemento construtivo em uma situação climática extrema, pouco estudada no caso do bambu, considerando o contexto brasileiro.

1.3.1 Considerações sobre o local de estudo

A região escolhida para estudo corresponde à zona bioclimática 1, que é caracterizada pelas baixas temperaturas e localizada em terrenos de altitude. Mais especificamente, a pesquisa foi realizada em área localizada no Planalto Sul Catarinense, no município de Bom Jardim da Serra. A área correspondente à zona bioclimática 1 representa apenas 0,8% da área total do país, porém, ocupa uma grande área dentro do Estado de Santa Catarina, o que justificou a pesquisa nesta área (Figura 2). E, também, o fato desta região já ter explorado a madeira local como material construtivo.

Figura 2 - (a) Zoneamento bioclimático brasileiro; (b) Zona bioclimática 1.



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). Marcação item b: Autora (2018).

O município de Bom Jardim da Serra está situado na região serrana de Santa Catarina. Possui uma área de 938.516 km², com uma população de 4.026 hab (IBGE, 2023), a uma altitude de 1450m (Figura 3).

Figura 3 - Localização do município de Bom Jardim da Serra.



Fonte: Autora (2018).

O acesso ao município, em Santa Catarina, é feito através da rodovia SC 390, que corta o centro urbano e que, por sua vez, direciona o crescimento da cidade. Bom Jardim da Serra faz divisa com seis municípios em Santa Catarina – São Joaquim, Urubici, Orleans, Lauro Müller, Treviso e Siderópolis – e com um município no Rio Grande do Sul – São José dos Ausentes. Partindo do Rio Grande do Sul o acesso é feito pela rodovia BJ 050, que também conduz o crescimento da cidade de Bom Jardim da Serra, no sentido São José dos Ausentes (Figura 4).

Figura 4 - Imagem aérea do Município de Bom Jardim da Serra.



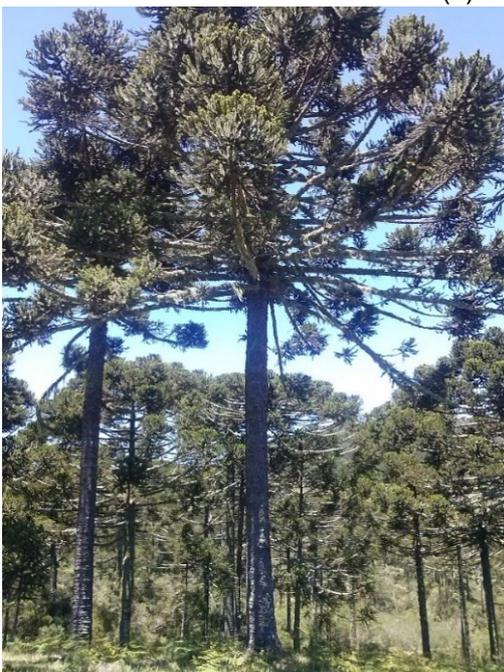
Fonte: Imagem: Prefeitura Municipal de Bom Jardim da Serra (2018). Marcações: Autora (2018).

A região serrana de Santa Catarina, principalmente no município de Bom Jardim da Serra, é constituída por campos, com predomínio da agropecuária, e matas de araucária (Figura 5). Historicamente, esta região sempre utilizou a madeira como material construtivo. Primeiro, com a extração da araucária e, posteriormente, com a proibição do seu corte, foi incentivado o plantio de madeiras de reflorestamento como o pinus e o eucalipto. Hoje, considerando a grande demanda por estas madeiras e a limitação de sua produção, por questões de adaptação e tempo de crescimento para o corte, abre-se uma perspectiva para a inserção de outros materiais no mercado. O bambu é um desses materiais, e possui características físicas e mecânicas compatíveis com o uso na construção.

Figura 5 - (a) Paisagens rurais; (b) Mata de araucária e Campos. Bom Jardim da Serra.



(a)



(b)

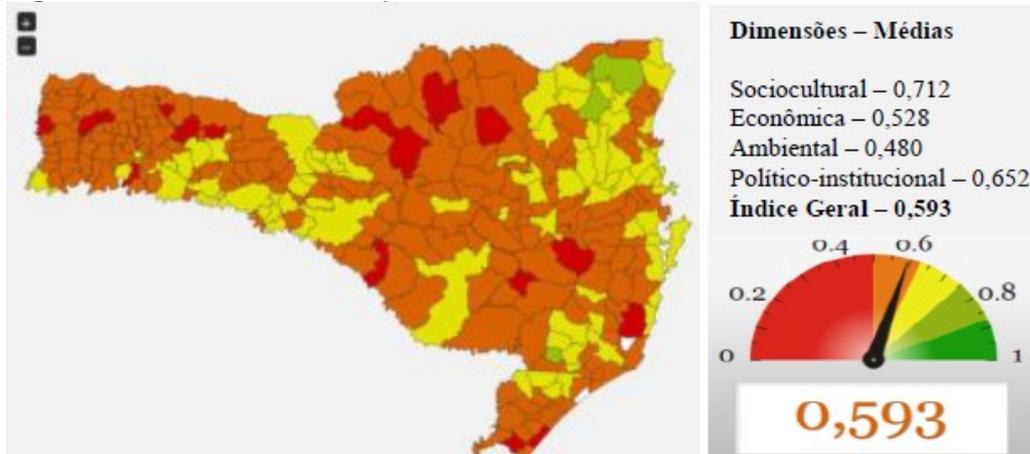


Fotos: Autora.

Uma das justificativas para a escolha do bambu como material construtivo, nesta pesquisa, é a possibilidade de oferecer alternativas construtivas que venham de encontro a um desenvolvimento mais sustentável e menos agressivo ao meio ambiente. Um parâmetro que é utilizado pelos municípios catarinenses para medir o grau de desenvolvimento sustentável de cada um deles é o Índice de Desenvolvimento Municipal Sustentável – IDMS, que trata de uma ferramenta que tem como objetivo auxiliar na gestão municipal. Este índice foi utilizado como parâmetro para compreender a situação da região de estudo com relação ao seu desenvolvimento sustentável e delinear um panorama regional.

O IDMS geral, calculado para o Estado de Santa Catarina, é o resultado da média dos índices dos municípios catarinenses. O valor calculado é igual a 0,593, correspondente à cor laranja, classificado como médio baixo. O mapa apresentado na Figura 6 permite visualizar a classificação de todos os municípios do estado, onde são apresentados os resultados de 2018.

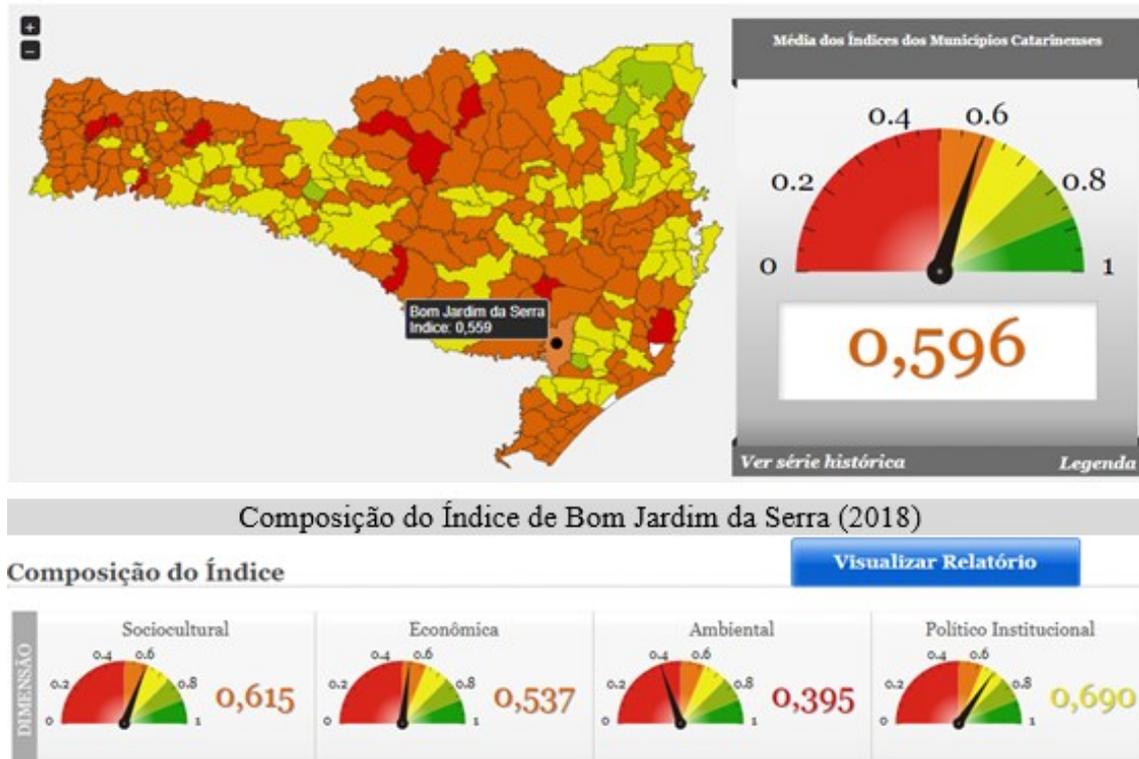
Figura 6 - IDMS dos Municípios Catarinenses de 2018.



Fonte: Federação Catarinense das Associações de Municípios (2021).

Dentre as dimensões que compõem o índice geral, a dimensão ambiental é a que possui menor índice na média geral dos municípios. Considerando o IDMS para Bom Jardim da Serra, o município está com um índice baixo, tendo em vista a média dos quatro índices utilizados na composição do valor final do IDMS que é de 0,596 – nível laranja, para o ano de 2018 (Figura 7). O menor índice é o correspondente à dimensão ambiental com valor de 0,395.

Figura 7 - IDMS do Município de Bom Jardim da Serra.



Fonte: Federação Catarinense das Associações de Municípios (2021).

Diante deste contexto, pode-se dizer que mesmo em um ambiente rural e em cidades de pequeno porte já há, e deve haver, uma preocupação com a qualidade do ambiente e com os seus mananciais. Os desafios para um crescimento integrado socialmente e economicamente, sem perdas para o meio ambiente, são grandes e a arquitetura tem um papel importante neste contexto. As contribuições da arquitetura começam na escolha dos materiais que serão empregados em suas intervenções no meio ambiente e de que forma a comunidade local pode estar envolvida e beneficiada durante todo o processo. O bambu é um material natural, que pode ser plantado na região, traz benefícios ao meio ambiente e pode movimentar a economia local, do plantio ao artesanato, passando pela construção de edificações, no todo ou em parte, contribuindo para o desenvolvimento da região e para a cadeia produtiva do bambu.

1.3.2 O papel da arquitetura no contexto atual

A degradação dos meios naturais tem sido uma preocupação constante em todo o mundo e tem gerado discussões e mudanças na maneira de viver das pessoas.

O desequilíbrio ambiental vivenciado hoje pode ser associado a alguns fenômenos como o rápido crescimento da população, o desperdício de matérias-primas e de fontes de energia fóssil, a degradação do ar, da água e do solo e a abundância de resíduos. Sendo a atividade humana considerada como a responsável pelas alterações ambientais, o modelo econômico dos países industrializados passa a ser questionado. É nesse momento que se começa a pensar em proteção da natureza e desenvolvimento econômico como ações indissociáveis. Surge, então, a noção de desenvolvimento sustentável que se traduz em “um projeto de sociedade que busca conciliar critérios ecológicos, econômicos e sociais” (GAUZIN-MULLER, 2011).

O setor da construção civil e a arquitetura passaram a considerar em sua atuação vários aspectos por hora negligenciados. A partir da década de 1970, a preocupação com o meio ambiente gerou discussões a respeito de como as cidades iriam sobreviver, em função da demanda crescente por recursos naturais, do volume de resíduos gerados e da dependência contínua por geração de energia. Além das questões urbanas, o edifício também foi foco de estudo, concentrado nas áreas do conforto ambiental e do consumo energético. É neste contexto que a arquitetura bioclimática volta a ganhar espaço, e interesse dos profissionais da arquitetura, que passam a inserir em suas premissas, fatores como as condições climáticas e a geometria solar para a concepção dos projetos (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Considerando o tema e as abordagens sobre sustentabilidade, a evolução da arquitetura contemporânea passa necessariamente pela preocupação com a inserção do edifício, ou de qualquer outra intervenção arquitetônica, em todo o processo de qualificação do ambiente local. Entendendo, assim, que o edifício deve fazer parte de um todo maior, integrado ao conjunto, sem que sua produção afete de maneira degradativa o ambiente a que pertence, ou outros adjacentes (GONÇALVES e BODE, 2015).

Em paralelo às questões de conforto ambiental e consumo energético, outros fatores foram sendo agregados ao estudo da qualificação dos ambientes, interno e externo às edificações. Um deles foi o desenvolvimento de tecnologias envolvendo novos materiais e técnicas construtivas, como também, o impacto ambiental da construção. Seguido pelo estudo do impacto gerado pelos processos de industrialização dos materiais (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Diante deste panorama, segue a busca por uma melhor compreensão dos recursos necessários para a construção e a operação do edifício, como os materiais empregados, a energia necessária para a produção dos materiais, a construção e a manutenção da edificação, a origem da água utilizada durante o processo. Gonçalves e Duarte (2006) completam este raciocínio argumentando que “o papel do edifício, como um elemento do projeto urbano e da sustentabilidade da cidade (...)”, também deve ter o “potencial para contribuir para as dinâmicas socioeconômicas do lugar”.

Todo esse novo contexto, afeta diretamente o processo de projeto em arquitetura, exigindo dos profissionais novas habilidades, como também, a interação com profissionais de outras áreas, durante o processo de elaboração do projeto, tornando-o de caráter interdisciplinar. Keeler e Burke (2010) consideram o projeto integrado de edificações, como a “prática de projetar de maneira sustentável”. As variáveis de projeto devem ser tratadas de forma unificada a fim de se alcançar as soluções desejadas. Essa prática projetual exige dos profissionais um preparo e conhecimento ampliados, que deve ser abordado já na fase acadêmica, nos cursos de graduação, com trabalho em equipe, de forma produtiva e eficiente (KEELER e BURKE, 2010).

Sendo assim, um aspecto importante é o papel do projeto no alcance dos objetivos desta pesquisa. Sendo considerado fundamental um estudo detalhado em todas as etapas do processo de projeto do sistema construtivo. Como apresentado na Figura 8, existe uma relação entre as etapas de projeto e o nível de abrangência dos temas pesquisados.

Figura 8 – Inter-relação dos temas pesquisados.



Fonte: Autora (2020).

Os desafios atuais envolvendo o meio ambiente, as transformações sociais e as necessidades econômicas, passam por uma reavaliação, sendo vital que se entenda a relação entre todos estes aspectos. Há um grande desafio no estudo destas questões que possa ser refletido em ações, e que contribuam para a sociedade e o meio em que vive. Este é um dos aspectos importantes deste estudo: a iniciativa, ou tentativa, de envolver a sociedade em um projeto de desenvolvimento local a partir de soluções técnicas inovadoras, proporcionando alternativas construtivas para a região, bem como, a oportunidade de exploração de um novo material de fonte renovável.

1.4 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema que envolve este estudo diz respeito diretamente à região escolhida para a realização da pesquisa, como também, ao uso específico do bambu como material principal de uma edificação, considerando toda a sua cadeia produtiva e os aspectos técnicos relacionados. Dessa forma, é descrita a seguir a problemática em que estão envolvidos o bambu e a região de estudo.

1.4.1 Problemática envolvendo o bambu e a região de estudo

O bambu não é utilizado como material construtivo, na região de estudo e, também, pouco conhecido como elemento construtivo de uma edificação. Historicamente há uma predominância do uso da pedra e da madeira (Figura 9).

Figura 9 - Materiais construtivos na região.



Fonte: Prefeitura Municipal de Bom Jardim da Serra (2019b).

A região possui clima frio, apresentando temperaturas negativas no inverno. Faz-se necessária uma pesquisa mais detalhada sobre o desempenho técnico de uma construção com bambu, para se verificar a possibilidade de atendimento das necessidades habitacionais da região (Figura 10).

Figura 10 - Vista da região no inverno.



Fonte: Sul in foco (2023).

As condições para a aceitação do bambu como material construtivo, para a região, foram pesquisadas e avaliadas através de entrevistas com moradores locais (Apêndice E), em um estudo exploratório das necessidades e expectativas dos moradores com relação às suas próprias moradias e à adaptação de novos materiais, no caso o bambu, às condições climáticas da região. Destacando, no entanto, a dificuldade dos entrevistados em visualizar as diversas opções construtivas existentes para a utilização do bambu na arquitetura, por falta de um repertório construtivo conhecido e vivenciado com o bambu.

Para o caso de construções com bambu na região serrana de Santa Catarina, além da disseminação do conhecimento sobre o bambu nas construções deve-se, também, procurar resolver um problema técnico com relação ao conforto térmico nos ambientes internos em função das baixas temperaturas no local.

Algumas questões relacionadas ao bambu, como material construtivo, foram levantadas:

a) a grande variedade das espécies de bambu, onde há uma diversidade nas características do material e, em consequência a sua indicação de uso (PEREIRA e BERALDO, 2016);

b) a confiabilidade do suprimento das peças que, pela falta de registros no acompanhando do seu plantio, corte e manejo, gera uma incerteza quanto à sua procedência (BENAVIDES, 2019);

c) a durabilidade das peças em seu estado natural é comprometida, necessitando de tratamento preservativo específico (BENAVIDES, 2019);

d) a cadeia produtiva do bambu ainda é pouco explorada e, também, pouco organizada (RADAIK, 2018; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2018; LIBRELOTTO et al, 2019);

e) a falta de normatização fragiliza a credibilidade construtiva com o bambu, sendo que foi publicada a primeira norma brasileira sobre estruturas de bambu, em dezembro de 2020 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020);

f) o desempenho do sistema construtivo composto por elementos de bambu é pouco estudado nas diversas zonas bioclimáticas brasileiras (CAPES, 2021);

g) o projeto e a construção com bambu, no Brasil, ainda são pouco explorados.

1.4.2 Lacuna do conhecimento

O bambu não está inserido na cultura local, ou seja, na região de estudo, como elemento construtivo tradicional, como por exemplo, a madeira e a alvenaria, nas edificações habitacionais, de acordo com estudo realizado e apresentado no Capítulo 4. Através de pesquisa exploratória, bibliográfica e de campo, observou-se que o bambu vem sendo utilizado no Brasil, em sua maioria, em construções pontuais de caráter comercial, como restaurantes e pousadas ou de abrangência social de uso comum, com pouca utilização em residências, quando comparado com a utilização de outros materiais.

De acordo com a revisão sistemática da literatura, apresentada no Capítulo 2, referente às pesquisas realizadas no Brasil, especificamente em teses, relativas às áreas de arquitetura, urbanismo, design e engenharias, foram encontrados 43 resultados de pesquisa para a palavra-chave bambu. Deste total, apenas 22 teses foram consideradas tendo relação com esta pesquisa (Quadro 4). Estas 22 teses estão distribuídas entre os anos de 2010 e 2019, com defesa de apenas uma tese por ano no período de 2010 a 2012, e variando entre duas e três teses por ano no período de 2013 a 2019. O foco destas pesquisas varia em temas dispersos, podendo-se citar: desenvolvimento sustentável; espécies de bambu; projeto; estruturas; painéis; compósitos; durabilidade; bambu e outros materiais. Estes dados revelam a carência de pesquisas envolvendo o bambu, principalmente na área da arquitetura, tornando de extrema relevância os estudos nesta área. Destaca-se, também, a busca por artigos nacionais e internacionais, em que foi encontrado apenas um artigo que teve como tema um sistema construtivo modular com utilização do bambu, para uma habitação voltada para o desenvolvimento regional, em uma comunidade local. Do total de 37 artigos encontrados na busca, nas duas bases de dados, Scielo e Scopus, considerando os 36 restantes, estes também se encontram em temas dispersos, com temas próximos aos das teses no Brasil.

A contribuição desta pesquisa, para a região de estudo, está na introdução do bambu como elemento construtivo, com a possibilidade de desenvolvimento de tecnologias construtivas avançadas, tanto para as edificações rurais, quanto para as construções urbanas. Em contrapartida, o incentivo ao plantio do bambu na região, através da análise das espécies adaptáveis, pode proporcionar um incremento na economia local através das diversas categorias de uso do bambu.

A região escolhida encontra-se em terrenos de altitude com clima frio e úmido. O desafio está em organizar os elementos construtivos constituídos por bambu e, também, associado a outros materiais, de forma que atendam às necessidades climáticas da região, além das questões técnicas inerentes ao material, e que sejam economicamente competitivos quando comparados com as edificações locais.

A relevância e o ineditismo desta pesquisa são tratados aqui em relação: ao bambu como elemento construtivo; ao sistema construtivo modular; ao local de

estudo; aos materiais regionais utilizados na construção local; à perspectiva de inserção de um novo material natural nas construções locais.

No Quadro 2, a seguir, estão relacionados os aspectos considerados mais importantes neste trabalho, associados ao seu ineditismo em pesquisa e sua relevância como estudo científico.

Quadro 2 - Síntese da relevância e ineditismo relacionados à pesquisa.

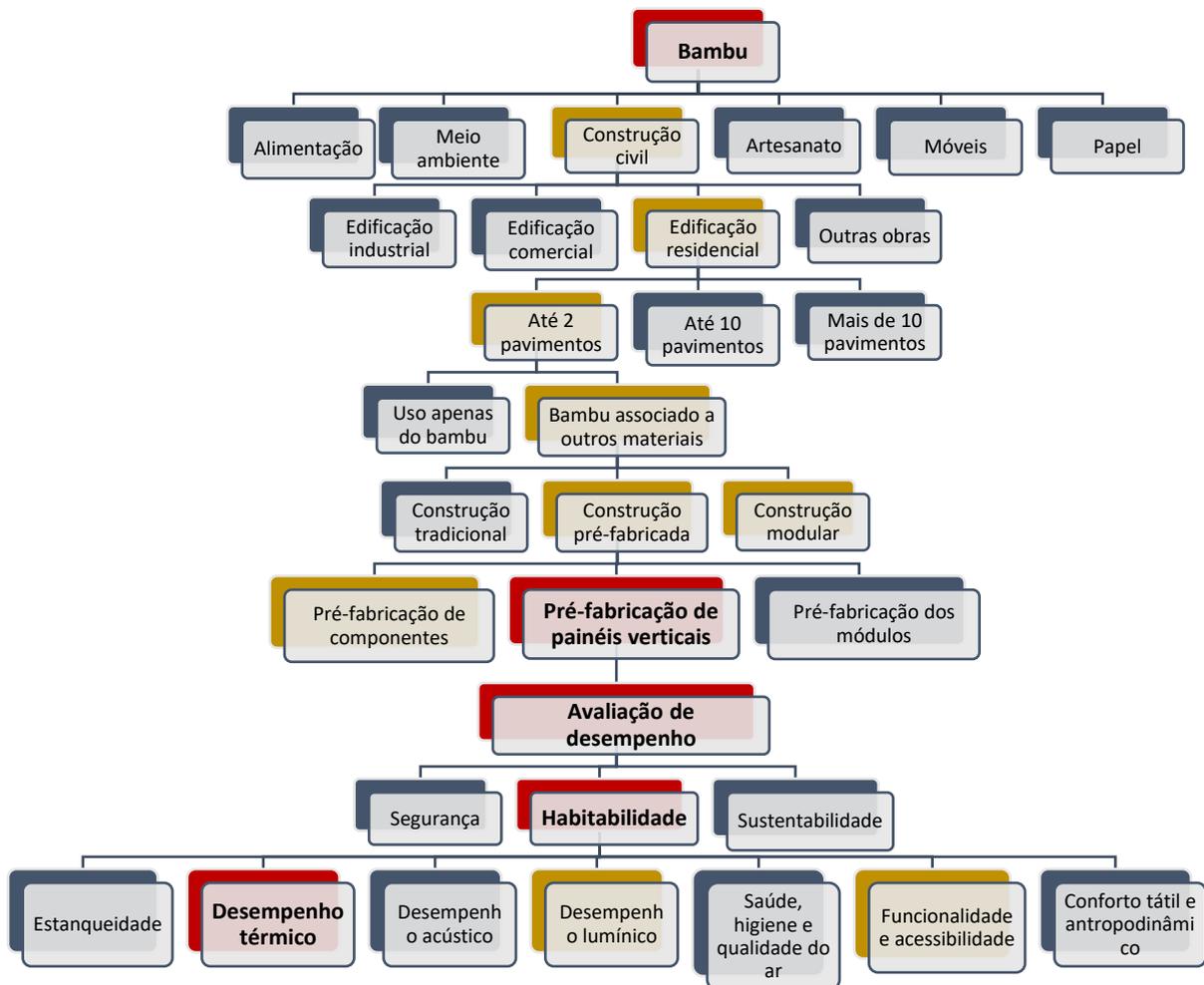
Aspecto relacionado	Relevância	Ineditismo
Bambu	O estudo do bambu como material construtivo contribui para a cadeia produtiva do bambu, no Brasil, gerando emprego e renda.	Estudo do bambu como material predominante em uma habitação, com foco no desempenho da edificação.
Sistema construtivo	O estudo de um sistema construtivo que inclui todas as etapas da construção de uma edificação, ou seja, sistemas de piso, fechamento e cobertura, tem como proposta, poder oferecer uma residência, em bambu, com tecnologia testada e aprovada.	Sistemas construtivos modulares com bambu, permitindo a flexibilidade nas edificações de acordo com a necessidade dos usuários, bem como acréscimos em edificações já existentes.
Local de estudo	A região em que foi feita a pesquisa possui grande potencial para a inserção do bambu como material construtivo. Além do fato de, historicamente, já se utilizar a madeira na maioria das construções, o clima frio, da região de zona bioclimática 1, propicia um estudo do comportamento do bambu, como material construtivo nestas condições.	Não foi encontrada pesquisa relacionada ao bambu como material construtivo, em região de zona bioclimática 1, no Brasil, até o momento da realização da pesquisa sistemática, em jan/2021.
Materiais regionais	A utilização do bambu em associação com outros materiais regionais contribui para que, aos poucos, possa ser utilizado o bambu em habitações na região. Sendo em composição com outros materiais ou em pequenos acréscimos nas edificações.	Composição do bambu com materiais regionais no sistema construtivo de toda a habitação.
Inserção de um novo material natural renovável	O uso de materiais naturais renováveis vem ganhando força e incentivo em sua utilização, em função da grande demanda por materiais construtivos que possam gerar o menor impacto ambiental possível e que, por sua vez, possam contribuir social e economicamente com as comunidades locais e regionais.	Inserção de um novo material natural renovável na região, com ênfase na utilização do bambu como material construtivo. A possibilidade do plantio do bambu na região como fator de geração de emprego e renda em todos os setores da cadeia produtiva.
Pesquisa: Avaliação de desempenho térmico de painéis de bambu de sistema construtivo modular, em região de zona bioclimática 1		

Fonte: Autora (2021).

1.4.3 Delimitação do tema

Esta pesquisa parte do estudo do bambu como material construtivo, utilizado em habitações de um a dois pavimentos, em região específica, com ênfase na construção pré-fabricada. O bambu foi estudado em associação com outros materiais e avaliado em função de seu desempenho, seguindo critérios das normas em uso (Figura 11).

Figura 11 - Delimitação do tema pesquisado.



Fonte: Autora (2023).

Avaliados os fatores e requisitos de desempenho da norma ABNT NBR 15575, foi avaliado, neste estudo, a partir da exigência de habitabilidade, o

desempenho térmico dos painéis de bambu, propostos nesta pesquisa. Outros fatores como desempenho lumínico e funcionalidade e acessibilidade, foram levados em consideração no desenvolvimento da proposta do sistema construtivo.

1.4.4 Pergunta e hipótese de pesquisa

Pergunta de pesquisa: *O bambu tem desempenho térmico satisfatório para construção em regiões de zona bioclimática 1?*

Hipótese: *O desempenho térmico do bambu, em edificações localizadas em região de zona bioclimática 1, pode ser verificado através do estudo de painéis verticais em sistema construtivo específico. E a sua aplicabilidade, através de um comparativo com outros materiais utilizados na mesma região.*

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicabilidade do bambu como material construtivo em região de zona bioclimática 1, através da proposição de um sistema construtivo modular e da simulação do desempenho térmico de painéis verticais de bambu.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) Pesquisar o bambu como material construtivo e seu potencial arquitetônico;
- b) Propor sistema construtivo modular com utilização do bambu, também compatível com materiais utilizados na região;
- c) Avaliar o sistema construtivo, sob o ponto de vista do atendimento às condições mínimas de desempenho;
- d) Verificar a viabilidade construtiva do sistema construtivo proposto na região de estudo;

e) Comparar o sistema construtivo proposto com edificações existentes na região, considerando o seu desempenho térmico.

1.6 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa foi classificada de acordo com os seguintes critérios: suporte de registro, relação com os sujeitos, método de abordagem, método de procedimento, espacial, relação com a sociedade, abrangência e profundidade, tratamento dos dados. Estes critérios estão relacionados no Quadro 3, a seguir, com suas respectivas denominações.

Quadro 3 - Classificação da pesquisa.

Critério	Denominação
Suporte de registro	Bibliográfica, Documental, Imagética, Levantamento
Relação com os sujeitos	Não participante
Método de abordagem	→ Indutivo
Método de procedimento	→ Descritivo (avaliação do sistema construtivo). → Comparativo (comparativo entre o sistema construtivo elaborado e construções usuais na região – madeira e alvenaria).
Espacial	→ De Campo: levantamento das construções locais. → De Laboratório: avaliação do material utilizado (bambu); simulação computacional do ambiente projetado.
Relação com a sociedade	Aplicada
Abrangência e profundidade	1ª. etapa – Estudo exploratório através de entrevistas com moradores, arquitetos e engenheiros civis; pesquisa bibliográfica e documental. 2ª. etapa – Proposição e avaliação do sistema construtivo. 3ª. etapa – Estudo comparativo entre o sistema construtivo elaborado e edificações existentes na região.
Tratamento dos dados	Qualitativa e Quantitativa

Fonte: Autora (2018).

1.7 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A pesquisa desenvolvida está estruturada em oito capítulos. No capítulo 1, a *Introdução*, constam os dados gerais sobre o delineamento da pesquisa, tais como: o objeto de pesquisa e a sua justificativa, a contextualização do tema pesquisado, a lacuna do conhecimento apresentando a relevância e o ineditismo da pesquisa a ser desenvolvida, a descrição dos objetivos da pesquisa, bem como sua classificação.

No capítulo 2, *Revisão da Literatura*, são abordados a revisão sistemática da literatura e os temas relevantes que nortearam a pesquisa, com foco na arquitetura

modular, no processo de projeto envolvendo desempenho, qualidade e produtividade, e no bambu e suas aplicações na arquitetura modular.

No capítulo 3, *Materiais e Métodos*, estão descritos os materiais utilizados na realização da pesquisa e os procedimentos metodológicos aplicados nas etapas de pesquisa, incluindo o estudo exploratório, a proposta e a avaliação do sistema construtivo e o estudo comparativo.

O capítulo 4, *Proposta de Edificação Modular em Bambu*, trata da proposta do sistema construtivo, objeto deste estudo, incluindo o levantamento das construções locais e apresentando algumas considerações sobre a tomada de decisões no processo de desenvolvimento da proposta.

No capítulo 5, *Desempenho do Bambu como Material Construtivo*, são descritas as avaliações feitas relativas ao desempenho do sistema construtivo modular.

O capítulo 6, *Resultados e Discussões*, apresenta os resultados e as avaliações relativos ao desempenho do bambu como material construtivo e à viabilidade construtiva com bambu na região de estudo. Também é apresentado um estudo comparativo entre o bambu e outros materiais, sob o ponto de vista do desempenho térmico da edificação proposta.

O capítulo 7, *Conclusões*.

No capítulo 8, *Considerações Finais*, são apresentadas as publicações relacionadas a este estudo e algumas sugestões para pesquisas futuras.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão sistemática abrange, neste trabalho, a pesquisa em teses de doutorado, desenvolvidas no Brasil, e em artigos publicados em revistas nacionais e internacionais. É apresentado aqui o resultado da pesquisa, com o relato dos principais estudos que têm relação com os temas abordados neste trabalho.

Inicialmente, a pesquisa em teses de doutorado brasileiras, teve como objetivo verificar as pesquisas já realizadas no Brasil e que têm relação com os temas de interesse. Considerando que o foco desta pesquisa é o desenvolvimento de um sistema construtivo modular com a utilização do bambu, e que atenda às necessidades habitacionais de determinada região, foram selecionadas as seguintes palavras-chave para o filtro de pesquisa: arquitetura evolutiva, arquitetura modular, construção modular, coordenação modular, pré-fabricação, processo de projeto, materiais renováveis e bambu. A busca foi feita no Portal Capes, em Catálogo de Teses e Dissertações, sendo que, no Quadro 4, estão relacionados os filtros de pesquisa utilizados e o resultado de teses encontrado.

De acordo com os resultados da busca sistemática por teses, no Brasil, as que têm como estudo o bambu, de acordo com os filtros utilizados, totalizam 43 teses. Destas 43 teses, foi considerado que 22 têm relação com os temas pesquisados neste trabalho. A maioria destas pesquisas envolvem o estudo de materiais compósitos, a partir de fibras de bambu em composição com outros materiais.

De uma maneira geral, as teses que tratam do bambu e que, de alguma forma, têm relevância para este estudo abordam os seguintes temas: desenvolvimento sustentável, espécies de bambu, projeto, estruturas, painéis, compósitos, durabilidade, bambu e outros materiais. Estes temas, as teses correspondentes e o foco da pesquisa estão relacionados, em quadro específico, no Apêndice A. No caso dos dois primeiros temas apresentados – desenvolvimento sustentável e espécies de bambu – estes, têm relação com esta pesquisa, no sentido de verificar a possibilidade do plantio do bambu na região de estudo, e como este material pode contribuir com a economia local.

Quadro 4 - Síntese da revisão sistemática para teses no Brasil.

PORTAL CAPES – Catálogo de teses e dissertações				
Filtros de pesquisa				
Tipo	Teses			
Ano	2010 a 2020			
Grande área do conhecimento	Ciências Sociais Aplicadas, Engenharias e Multidisciplinar			
Área do Conhecimento	Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil, Engenharia de Materiais, Engenharia de Produção			
Área avaliação	Arquitetura, Urbanismo e design, Engenharias I, II e III			
Área concentração	Resultados que envolvem arquitetura, engenharias, construção, materiais, gestão, produção e meio ambiente			
Palavras-chave	Número de teses relacionadas à palavra-chave	Total de teses que têm relação com os temas pesquisados neste trabalho (sem repetição)		
Arquitetura evolutiva	664	134		
Arquitetura modular	299			
Construção modular	590			
Coordenação modular	50			
Pré-fabricação	125			
Processo de projeto	376			
Materiais renováveis	363			
Bambu	43	22		
Obs: Considere-se, nesta busca, algumas teses repetidas no item <i>número de teses relacionadas à palavra-chave</i> .				
Teses que têm relação com os temas pesquisados → total = 156 (134 + 22)				
Número de teses/ano			Número de teses/tema	
Ano	Número de teses		Tema	Número de teses
	Bambu	Outros temas		
2010	1		Arquitetura evolutiva	2
2011	1		Arquitetura modular	2
2012	1	3	Pré-fabricação	16
2013	3	15	Processo de projeto	70
2014	3	20	Materiais	5
2015	3	27	Bambu	22
2016	2	22	Desenvolvimento sustentável	23
2017	2	16	Design	7
2018	3	13	Gerenciamento	6
2019	3	18	Cadeia produtiva	3
2020	(*) Não há opção para busca neste ano			
Total	22	134	Total	156
(*) última busca realizada em jan/2021.				

Fonte: Autora (2021).

Os demais temas relacionados ao bambu – projeto, estruturas, painéis, compósitos, durabilidade, bambu e outros materiais – têm relação com o desenvolvimento do sistema construtivo modular, proposto neste estudo. Com relação ao número de teses por assunto, o resultado encontrado foi o seguinte: projeto – 1 tese; estruturas – 4 teses; painéis – 3 teses; compósitos – 7 teses; durabilidade – 1 tese; bambu e outros materiais – 1 tese. É importante ressaltar que, nesta busca

sistemática por teses, não foram encontradas pesquisas desenvolvidas, no Brasil, que tratam de um sistema construtivo modular, constituído por elementos de bambu.

Além das pesquisas envolvendo o bambu, dentre os outros sete temas, foi considerado que, entre todas as teses listadas na busca, 134 teses têm relação com este estudo, abordando os seguintes temas: arquitetura evolutiva, arquitetura modular, cadeia produtiva, desenvolvimento sustentável, design, gerenciamento, materiais, pré-fabricação e processo de projeto. Os temas abordados, e os vários assuntos correspondentes, estão relacionados no Apêndice B.

Todos os temas relacionados (Apêndice B) têm relevância para este estudo, contribuindo como fundamentação para o desenvolvimento da proposta do sistema construtivo modular. No item *materiais*, estão relacionados estudos sobre a madeira, a pedra e materiais sustentáveis. Isto se justifica pelo fato de estar presente nesta pesquisa a opção de utilizar o bambu em associação com outros materiais e, principalmente, com materiais utilizados em construções na região de estudo que, no caso, são a madeira e a pedra.

Nos referidos estudos, são abordados aspectos importantes para a pesquisa, tais como, modularidade, construção e desconstrução de estruturas pré-fabricadas, ampliação e acréscimo de ambientes, qualidade e desempenho das habitações.

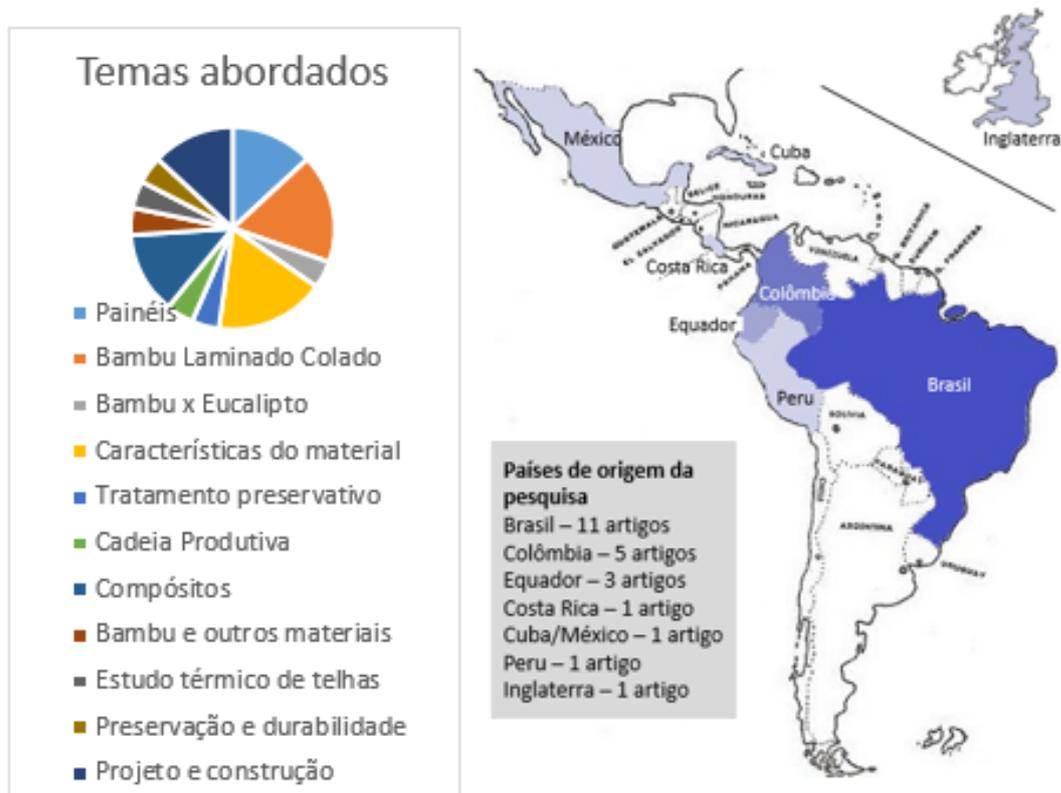
De acordo com a pesquisa, o item *processo de projeto* é o que apresenta maior número de teses selecionadas, e englobam estudos sobre a relação do processo de projeto com os espaços gerados, através do desempenho dos materiais utilizados e dos ambientes proporcionados, da otimização da forma estrutural, dos aspectos multiplicadores de espaços, e da qualidade das habitações.

Além da busca sistemática em teses nacionais, também foram pesquisados artigos nacionais e internacionais, através das bases de dados Scielo (Apêndice C) e Scopus (Apêndice D).

A busca por artigos, através da base de dados Scielo, teve como foco a abordagem de temas relacionados a sistemas construtivos modulares e, também, relacionados diretamente a pesquisas envolvendo o bambu. Para tanto, foram utilizadas, como filtro de pesquisa, as seguintes palavras-chave: arquitetura evolutiva, arquitetura modular, coordenação modular, pré-fabricação, processo de projeto e bambu. Dentre os artigos relacionados na busca, 110 artigos foram considerados de

interesse para a pesquisa, podendo ser utilizados como referencial teórico, nas diversas etapas da pesquisa. Destes, apenas 23 artigos tratam diretamente sobre o bambu. Estes 23 artigos estão relacionados no Apêndice C e abordam os seguintes assuntos: painéis, compósitos, bambu laminado colado, características do material, tratamento preservativo, durabilidade, cadeia produtiva, e projeto e construção. Os países de origem destas pesquisas são: Brasil, Colômbia, Equador, Costa Rica, México/Cuba, Peru e Inglaterra (Figura 12).

Figura 12 - Síntese dos resultados. Base de dados Scielo.



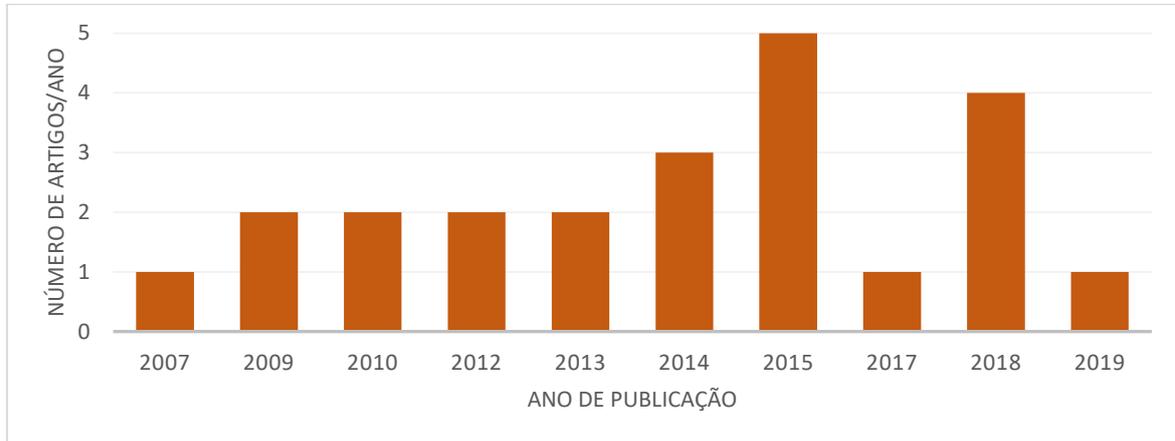
Fonte: Autora (2021).

De acordo com os resultados da busca sistemática, os temas mais pesquisados foram painéis, bambu laminado colado, características do material, compósitos e projeto e construção. Dentre os países de origem da pesquisa, o Brasil destacou-se com 11 artigos publicados, do total de 23 artigos. Os outros dois países que mais publicaram foram Colômbia, com 5 artigos, e Equador, com 3 artigos.

Como resultado da busca na base de dados Scielo, foram obtidos artigos com ano de publicação a partir de 2007, mesmo sendo considerado, como filtro de

pesquisa, todos os anos. No gráfico da Figura 13 são apresentados os resultados, por ano, dos artigos relacionados no Apêndice C.

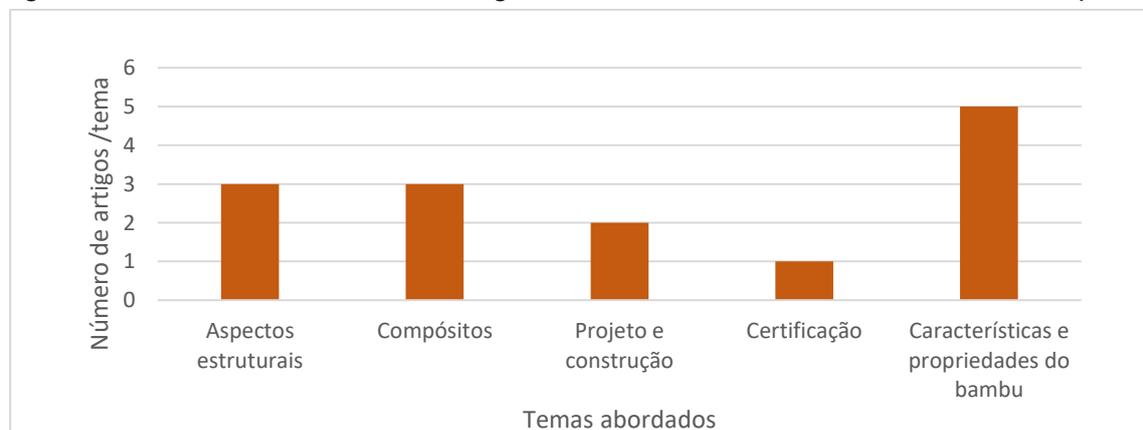
Figura 13 - Resultados, por ano, dos artigos obtidos na busca. Base de dados Scielo.



Fonte: Autora (2021).

A busca por artigos, através da base de dados Scopus, teve como foco sistemas construtivos modulares com utilização do bambu, sendo utilizadas as seguintes palavras-chave: *bamboo modular system*, *bamboo modular construction*, *bamboo modular architecture*, *bamboo modular structure*. Do total de artigos relacionados, 14 artigos tratam de assuntos relativos ao bambu. Os temas abordados nestes artigos estão relacionados no Apêndice D e envolvem: aspectos estruturais, compósitos, características e propriedades do bambu, certificação e projeto e construção, indicados no gráfico da Figura 14.

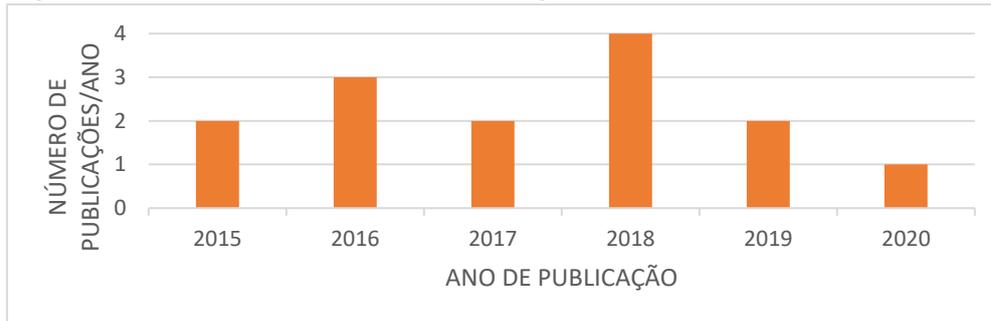
Figura 14 - Temas abordados nos artigos, relativos ao bambu. Base de dados Scopus.



Fonte: Autora (2021).

Um fator importante a ser destacado é o ano de publicação dos artigos relacionados como resultado da busca de pesquisa. Apesar do filtro aplicado constar de 2010 a 2021, os artigos encontrados foram publicados a partir de 2015, de acordo com os dados apresentados no gráfico da Figura 15.

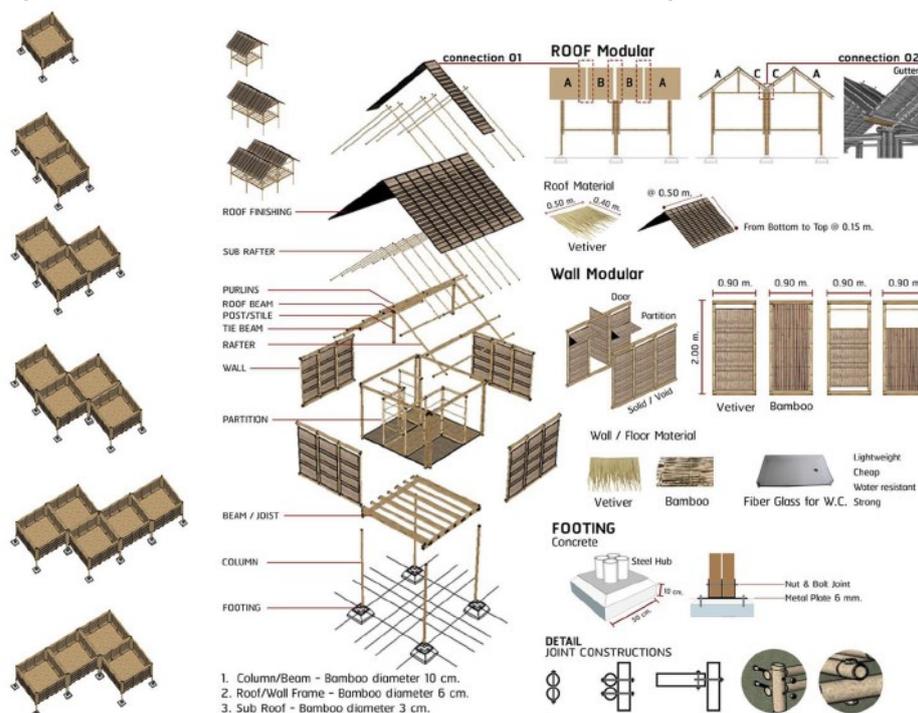
Figura 15 - Resultados, por ano, dos artigos obtidos na busca. Base de dados Scopus.



Fonte: Autora (2021).

Na busca realizada, nas duas bases de dados, foi encontrado apenas um artigo que teve como tema um sistema construtivo modular com utilização do bambu, e tem relação direta com o desenvolvimento desta pesquisa (Figura 16).

Figura 16 - Sistema construtivo modular com utilização do bambu.

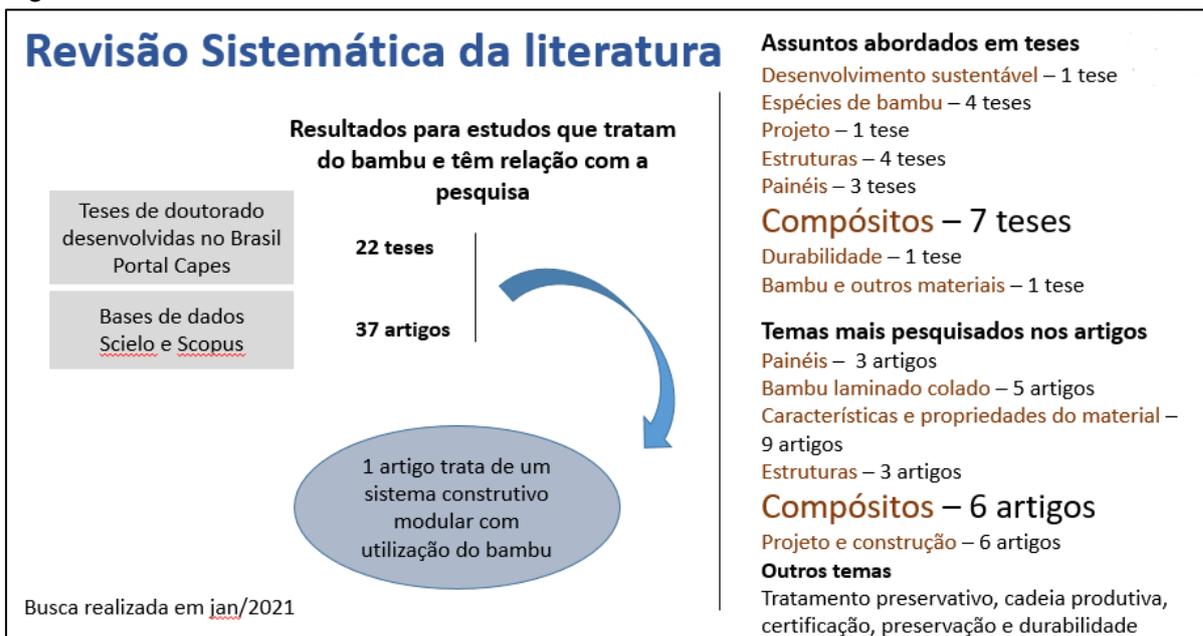


Fonte: Bunyavipakul (2018).

O desenvolvimento do projeto teve origem na Tailândia, com o objetivo de proporcionar alternativas construtivas aos moradores locais. Este estudo teve como finalidade dar apoio ao incentivo do turismo local, através do conceito de *homestay* – hospedagem em casas de famílias nativas. Na proposta, foram estudadas as possibilidades de agrupamento dos módulos, desenvolvidos em um pavimento, e feito o detalhamento dos sistemas estrutural, de piso, de cobertura e de fechamento. O projeto inclui o estudo dos seguintes ambientes: varanda/sacada, sala, quarto e banheiro. O acesso é feito por uma escada externa, mantendo o piso da edificação elevado (BUNYAVIPAKUL, 2018).

Na Figura 17 é apresentada a síntese da revisão sistemática da literatura, realizada em janeiro/2021, com os principais assuntos abordados.

Figura 17 - Síntese da revisão sistemática.



Fonte: Autora (2021).

Nova busca foi realizada em novembro de 2021 no Portal Capes, em Catálogo de Teses e Dissertações. Esta busca teve como objetivo verificar as pesquisas realizadas no Brasil, em 2021, e que têm relação com estudos envolvendo o bambu como elemento construtivo. Foi utilizada a palavra-chave *bambu* com o intuito de buscar todas as pesquisas relativas a este material, para depois ser feita a seleção das pesquisas relativas ao tema *bambu como elemento construtivo*.

A partir da apuração dos resultados foram aplicados filtros de pesquisa nos tópicos: Grande área do conhecimento, Área do conhecimento, Área de avaliação, Área de concentração. No Quadro 5 estão relacionados os filtros de pesquisa utilizados nesta busca.

Quadro 5 - Filtros de pesquisa para revisão sistemática em teses no Brasil.

PORTAL CAPES – Catálogo de teses e dissertações / Filtros de pesquisa	
Tipo	Teses
Ano	Todos
Grande área do conhecimento	Ciências Sociais Aplicadas, Engenharias e Multidisciplinar
Área do Conhecimento	Arquitetura e Urbanismo, Biotecnologia, Ciências Ambientais, Desenho Industrial, Engenharia Civil, Engenharia de Materiais e Metalurgia, Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica, Engenharia Química, Engenharia Sanitária, Engenharia/Tecnologia/Gestão, Estruturas, Garantia de Controle e Qualidade, Interdisciplinar, Materiais, Meio Ambiente e Agrárias, Planejamento Urbano e Regional, Sociais e Humanidades
Área de avaliação	Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e Design, Biotecnologia, ciências Ambientais, Engenharias I, II e III, Interdisciplinar, Materiais, Multidisciplinar, Planejamento Urbano e Regional/Demografia
Área de concentração	Opções que envolvem arquitetura e urbanismo, engenharias, construção, materiais, gestão, produção, processos, meio ambiente, tecnologias e desenvolvimento sustentável (total de 49 opções marcadas para aplicação do filtro de pesquisa)
Palavra-chave	Bambu
(*) Busca realizada em nov/2021.	

Fonte: Autora (2021).

De acordo com os resultados da busca sistemática por teses, no Brasil, as que têm como estudo o bambu, de acordo com os filtros utilizados, totalizam 41 teses. Destas 41 teses, foi considerado que 24 têm relação com os temas pesquisados neste trabalho. Além destas, também constam no quadro abaixo (Quadro 6), 4 teses que não foram relacionadas nesta busca de novembro/2021, mas encontram-se na busca realizada em janeiro/2021, e têm relação com esta pesquisa, totalizando então 28 teses. Em contrapartida, também ocorreu na listagem de teses de novembro/2021 algumas teses que não foram relacionadas na busca anterior.

No Apêndice H estão relacionadas as 28 teses citadas acima, pertinentes ao tema aqui pesquisado, com indicação do tema, a tese correspondente e o foco da pesquisa.

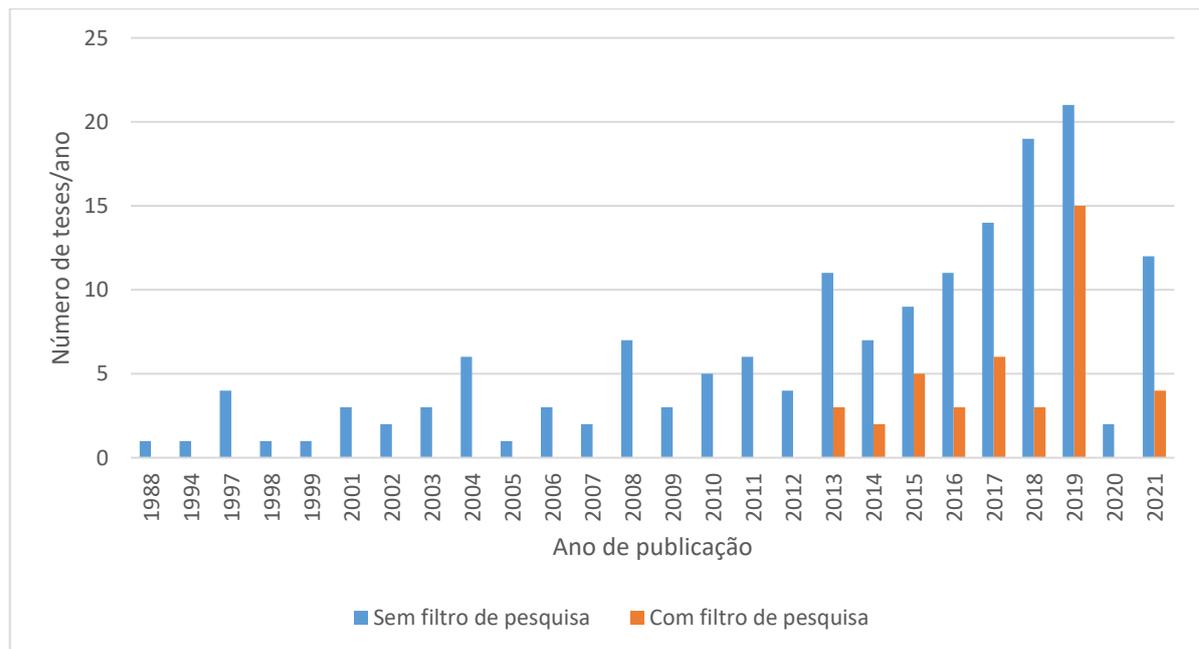
Quadro 6 - Resultados encontrados para teses.

		Ano																				Total												
		1988	1994	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		2016	2017	2018	2019	2020	2021						
Número de teses	Sem filtro	1	1	4	1	1	3	2	3	6	1	3	2	7	3	5	6	4	1	7	9	1	1	1	2	2	1	59						
	Com filtro																		3	2	5	3	6	3	1	-	4	41						
	Relacionadas à pesquisa	Busca realizada em novembro/2021																-	-	3	2	4	2	3	3	6	-	1	28					
		Busca realizada em janeiro/2021 (Teses não relacionadas na busca de nov/2021, em função dos filtros de pesquisa)																1	1	1									1					

Fonte: Autora (2021).

No gráfico da Figura 18 estão relacionados os resultados, por ano, das pesquisas relacionadas ao bambu, com e sem os filtros de pesquisa. Observando-se uma quantidade bem menor de teses, quando aplicado o filtro de pesquisa relacionado à *Grande Área do Conhecimento*, considerando *Ciências Sociais Aplicadas*, *Engenharias* e *Multidisciplinar*.

Figura 18 - Resultados para teses envolvendo o bambu, no Brasil.



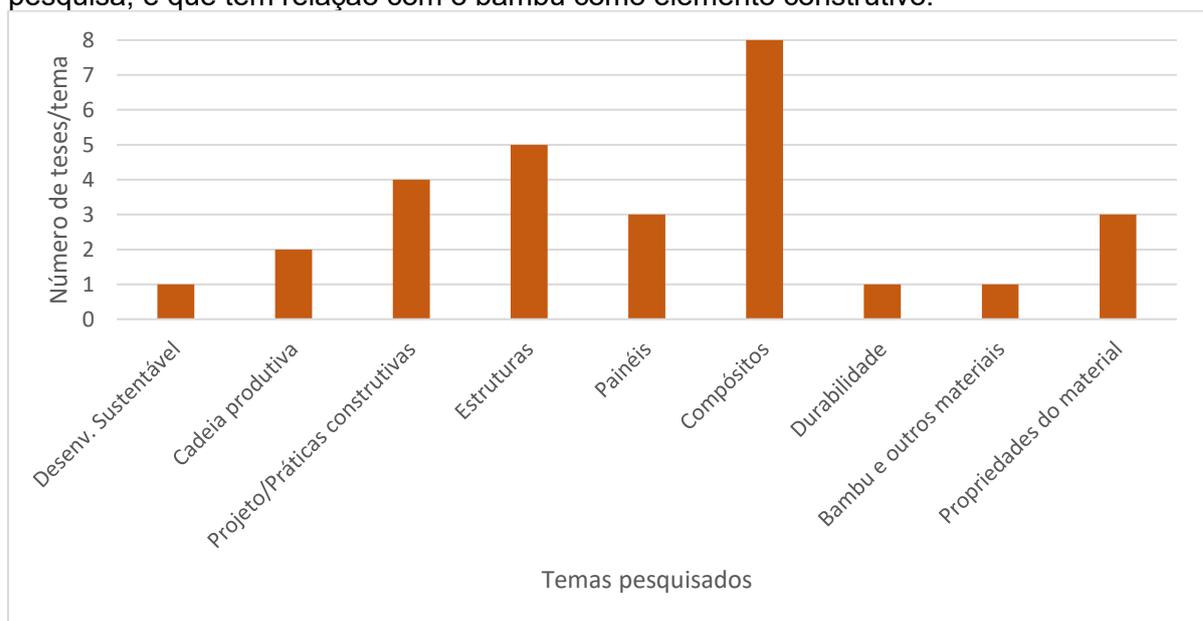
Fonte: Autora (2021).

Um fator que se destaca, após a aplicação dos filtros de pesquisa, é o ano a partir do qual são relacionadas as teses. Apenas a partir de 2013 são apresentados resultados para esta pesquisa. Além disso, é possível perceber que os estudos envolvendo as áreas da arquitetura e engenharias são em menor quantidade que as demais, excetuando-se o ano de 2019. Neste ano, dentre as 21 teses apresentadas, 15 encontram-se dentro dos filtros desta pesquisa.

Considerando-se que a primeira tese, relativa ao bambu, no Brasil, foi apresentada em 1988, foi só depois de 25 anos, que as primeiras teses relativas às áreas do conhecimento em questão foram publicadas. Em nove anos, totalizando 41 teses, até o momento da realização da busca (nov/2021), tem-se uma média entre 4 e 5 teses por ano, em todo o país, relacionadas ao estudo do bambu como material construtivo.

De uma maneira geral, as teses que tratam do bambu com foco no seu uso como elemento construtivo, abordam os seguintes temas: desenvolvimento sustentável, cadeia produtiva, espécies de bambu, projeto/práticas construtivas, estruturas, painéis, compósitos, durabilidade, bambu e outros materiais, propriedades do material. O gráfico representado na Figura 19 relaciona os temas pesquisados nas teses e a quantidade em que se apresentam.

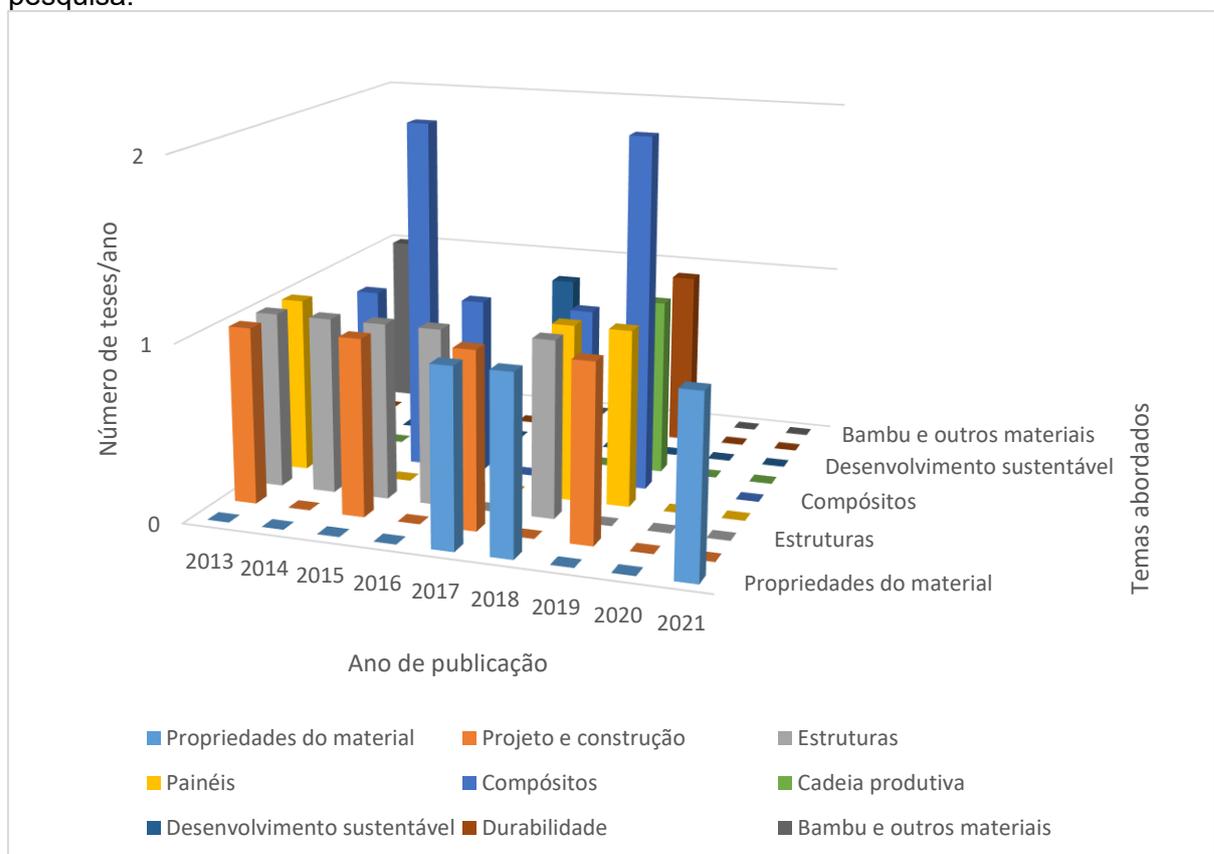
Figura 19 - Resultados para teses envolvendo o bambu, após aplicação dos filtros de pesquisa, e que têm relação com o bambu como elemento construtivo.



Fonte: Autora (2021).

Os temas mais pesquisados, após a aplicação dos filtros de pesquisa, foram aqueles envolvendo as etapas de projeto e de construção das edificações. Ou seja: projeto/práticas construtivas (4), estruturas (5), painéis (3), compósitos (8), propriedades do material (3). Na figura 20 é apresentado um gráfico com a síntese dos resultados considerando os temas abordados, o ano de publicação e o número de publicações por ano.

Figura 20 - Síntese dos resultados apresentados para teses, após aplicação dos filtros de pesquisa.

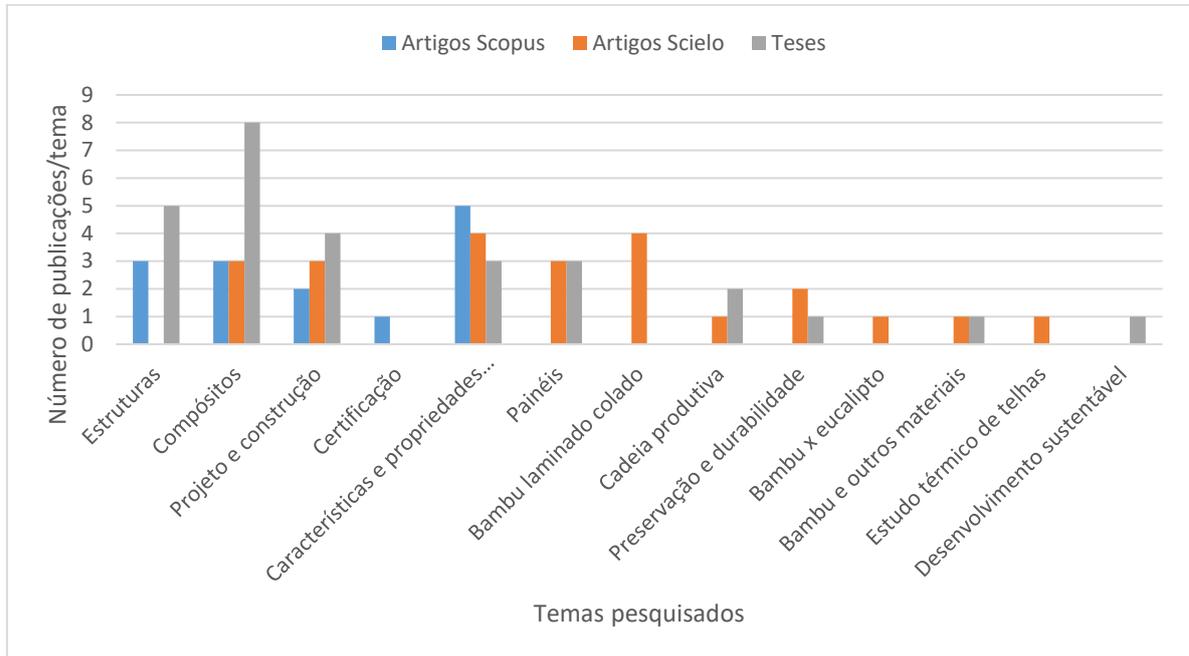


Fonte: Autora (2021).

2.1.1 Síntese dos resultados

Nas Figuras 21 e 22 são apresentados gráficos relacionando a busca nas duas bases de dados Scielo e Scopus e no Catálogo de Teses e Dissertações no Portal da Capes. No primeiro, relacionando os temas pesquisados, e no segundo, o ano de publicação.

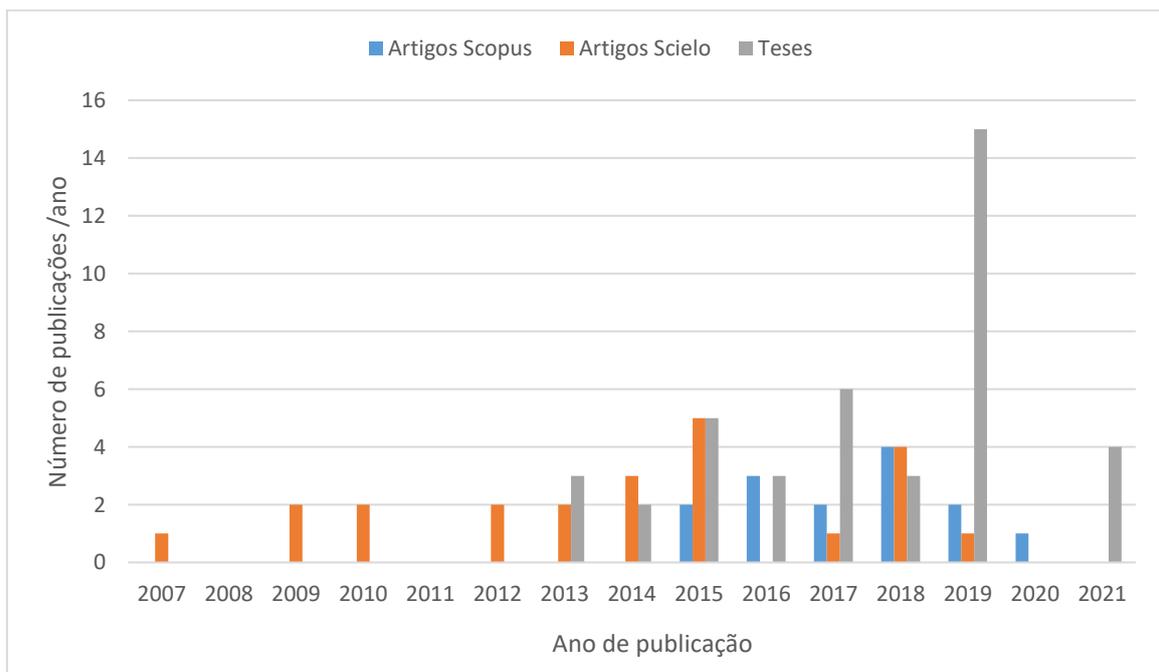
Figura 21 - Temas abordados em artigos e teses.



Fonte: Autora (2021).

No gráfico abaixo é importante ressaltar a diferença entre o número de teses publicadas em 2019 e o número de artigos publicados em 2019 e 2020.

Figura 22 - Número de publicações de artigos e teses por ano.



Fonte: Autora (2021).

Considerando que há a exigência de publicação de um a dois artigos para a defesa da tese, pode-se entender que os artigos relativos a estas pesquisas foram publicados em periódicos não indexados às bases de dados em questão, ou não vinculados às palavras-chave e aos filtros de pesquisa utilizados.

2.2 PESQUISA CIENTÍFICA E PRÁTICA CONSTRUTIVA COM BAMBU

Um dos grandes gargalos para a utilização do bambu como material construtivo é a carência de pontos de comercialização das peças estruturais, ou outros elementos construtivos. Por exemplo, elementos para vedação, portas, janelas e encaixes. Uma edificação construída com bambu necessita que todos os elementos constituídos por bambu sejam preparados, manufaturados ou pré-fabricados para a realização da obra. Sendo que para a compra dos colmos de bambu é necessário o contato direto com o produtor.

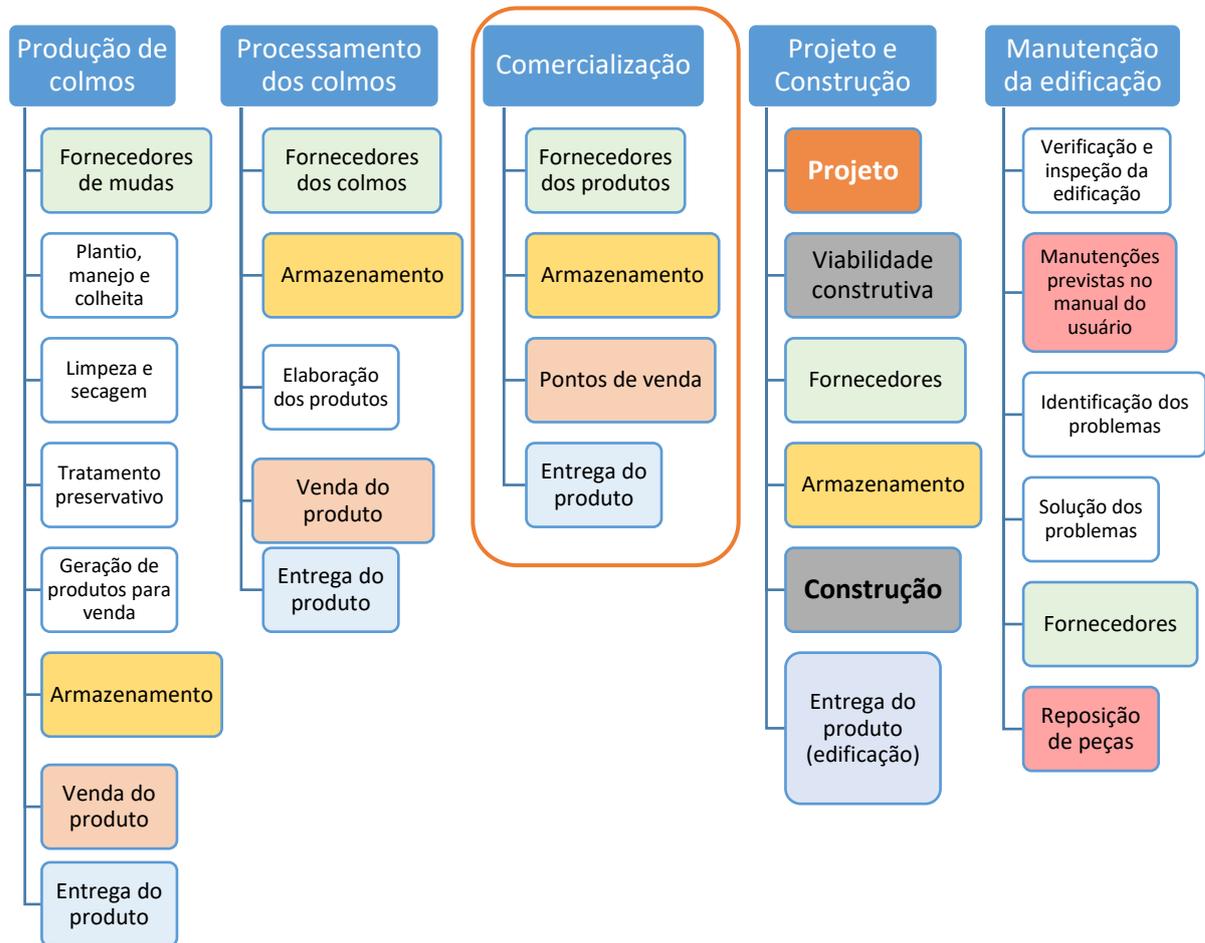
Não é possível, ainda, encontrar produtos de bambu em uma loja de materiais de construção, como por exemplo, colmos de bambu para uso estrutural. O que se tem, no momento, ainda são objetos de decoração ou algum tipo de mobiliário, geralmente encontrados em lojas de produtos diversos, nos departamentos de casa/cozinha/decoração.

Quando se pensa em construir com bambu, o projetista já deve ter em mãos a gama de produtos oferecidos no mercado, com todas as especificações técnicas necessárias para se projetar com segurança. E assim, poder levar aos seus clientes as possibilidades construtivas com argumentações técnicas legítimas. Nesse sentido, a pesquisa científica sobre o bambu, como material construtivo, tem ainda um campo vasto como pôde ser visto no levantamento feito através da revisão sistemática, em artigos nacionais e internacionais e nas teses desenvolvidas no Brasil. Na Figura 23 são apresentadas as etapas básicas de uma cadeia produtiva do bambu, como um elemento construtivo, desde o plantio do bambu até a manutenção da edificação.

A cadeia produtiva do bambu para construção de edificações foi descrita, inicialmente, em cinco etapas básicas: 1) produção dos colmos de bambu; 2) processamento dos colmos; 3) comercialização; 4) construção; 5) manutenção da edificação. Em todas as etapas existem problemas que devem ser sanados para se

ter efetivamente o bambu como uma opção corrente nos projetos de arquitetura e nas construções de uma maneira geral.

Figura 23 - Cadeia produtiva do bambu como elemento construtivo.



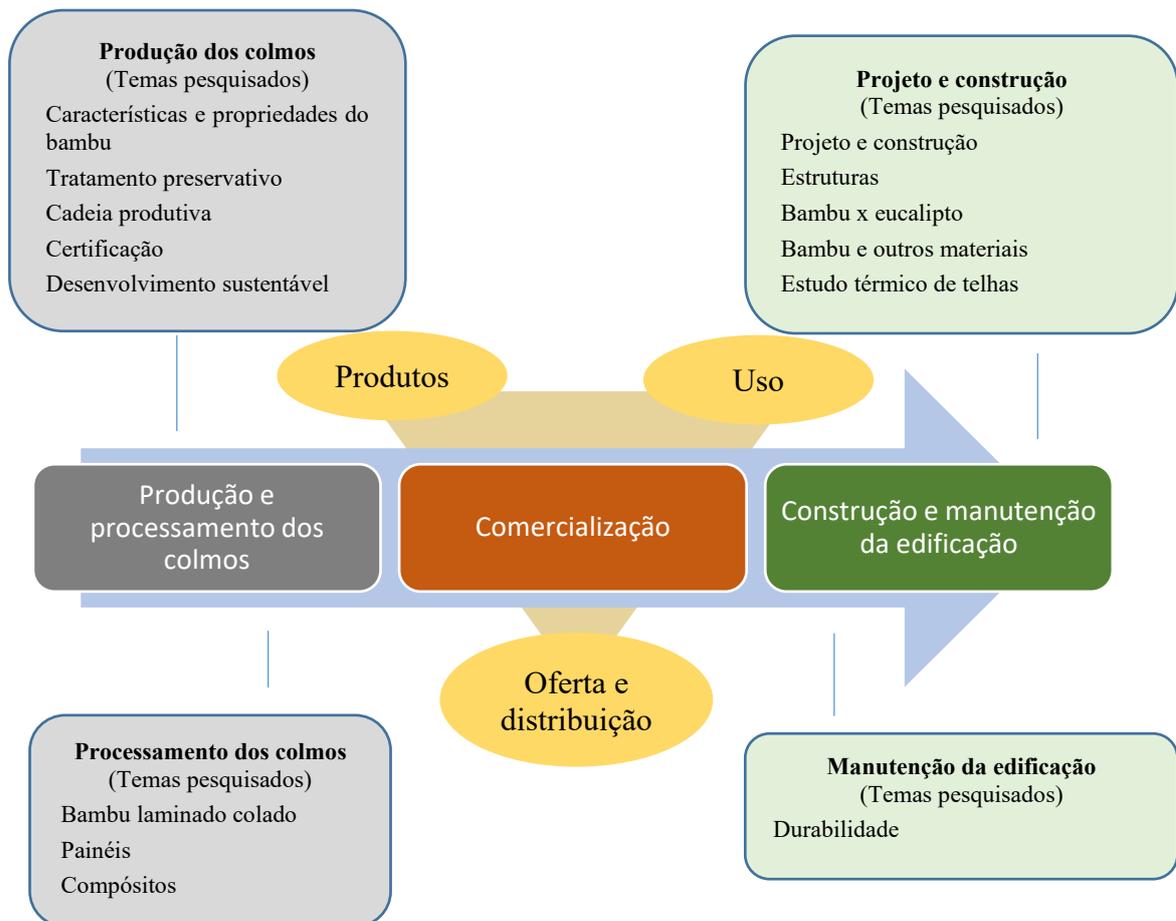
Fonte: Autora (2021).

Em todo o processo, da produção dos colmos de bambu à manutenção da edificação, os fornecedores são agentes importantes, bem como o armazenamento, venda e entrega dos produtos. Ou seja, a comercialização dos produtos gerados com o bambu necessita de uma logística, que vai afetar direta ou indiretamente os projetos envolvendo o bambu. Por exemplo, o comprimento dos colmos que podem ser transportados, sem danificá-los, irá afetar diretamente o projeto estrutural e outros elementos da construção, como esquadrias, painéis e pisos.

Dentre os artigos relacionados, obtidos através da pesquisa sistemática, nenhum artigo trata das questões de logística aplicadas ao bambu como elemento

construtivo. Para se projetar e construir com bambu, os materiais precisam estar disponíveis, o que ainda se encontra de forma precária. Portanto, há um vácuo entre a efetivação da arquitetura em bambu e a oferta de produtos de bambu para construção. Conforme apresentado na Figura 24, pode-se perceber que os temas pesquisados estão relacionados em maior quantidade, de acordo com os gráficos apresentados anteriormente, às etapas de produção e processamento dos colmos de bambu. Há uma carência de pesquisa e de mercado na etapa de comercialização dos produtos gerados. Considerando as fases da comercialização, o fornecimento, o armazenamento, os pontos de venda e as formas de entrega do produto, ainda precisam ser desenvolvidos. Nestes temas, as pesquisas científicas ainda podem contribuir bastante. Já nas etapas de construção e manutenção da edificação o foco maior das pesquisas está no estudo de estruturas compostas por bambu.

Figura 24 - Temas pesquisados associados às etapas da cadeia produtiva.



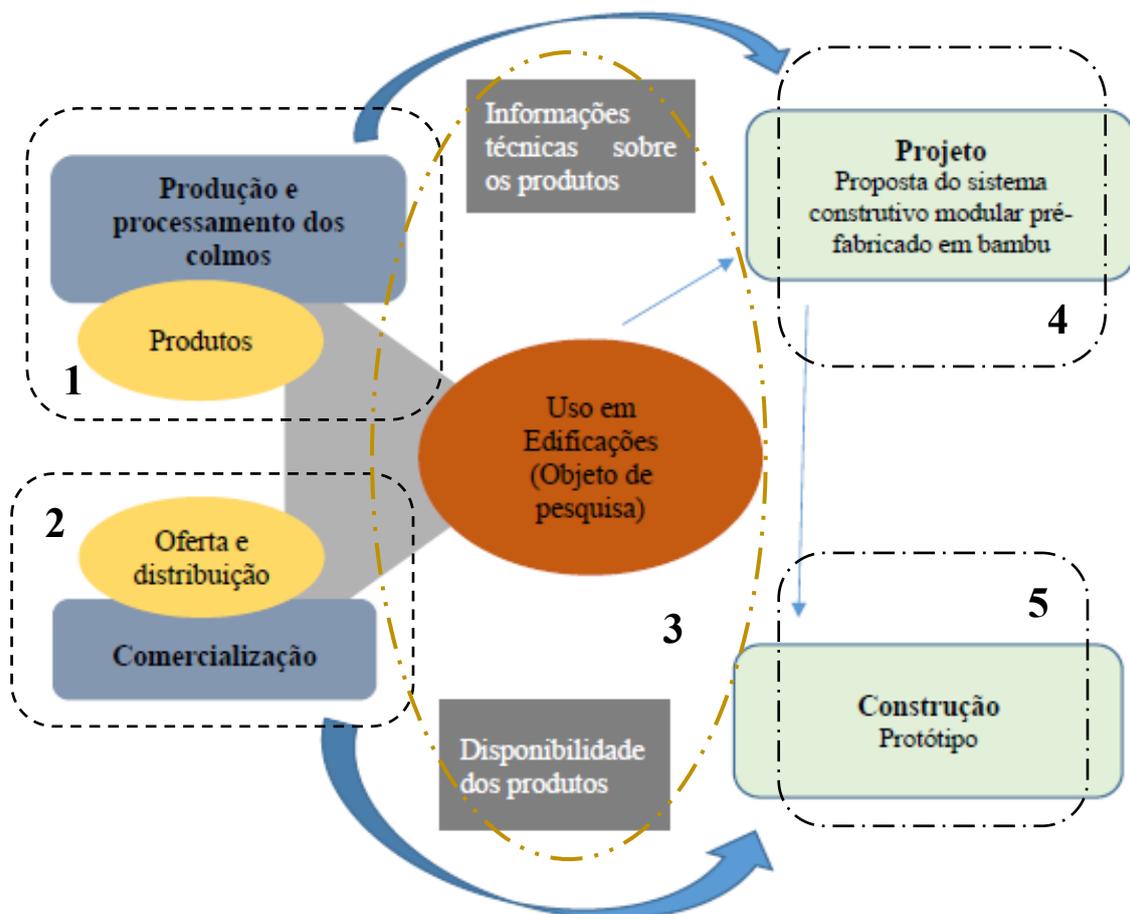
Fonte: Autora (2021).

2.2.1 Tópicos para desenvolvimento da pesquisa

Esta pesquisa busca contribuir nas etapas de projeto, construção e manutenção da edificação, através do estudo de um sistema construtivo pré-fabricado de bambu. Com este estudo serão pesquisadas e avaliadas as várias etapas da cadeia produtiva, identificando as dificuldades encontradas para se construir com bambu (Figura 25).

O conteúdo pesquisado foi organizado partindo-se do bambu como material construtivo, abordando assim as questões técnicas necessárias para o desenvolvimento do projeto e da construção com este material.

Figura 25 – Demarcação dos tópicos de pesquisa.



Fonte: Autora (2022).

De acordo com o diagrama apresentado na Figura 25, os tópicos destacados nos itens 1 e 2, bem como os temas *informações técnicas sobre o bambu e disponibilidade dos produtos* destacados no item 3, são tratados no capítulo 6, através de levantamentos realizados na região de estudo.

O uso do bambu em edificações, envolvendo o material, o projeto e a construção, destacados nos itens 3, 4 e 5 do diagrama anterior, são tratados nos capítulos 4 ao 6, sendo estes temas abordados com maior relevância no referencial teórico.

2.3 REFERENCIAL TEÓRICO

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, aprovados pelos países-membros da Organização das Nações Unidas – ONU, em 2015, através do documento “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, vêm contribuir para direcionar os esforços com relação à erradicação da pobreza, à proteção do meio ambiente e às questões climáticas. No total são 17 objetivos, representados na Figura 26 (Nações Unidas – Brasil, 2023).

Figura 26 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ONU.



Fonte: Nações Unidas – Brasil (2023). Marcações: Autora (2023).

Com o intuito de promover o uso de edifícios sustentáveis de bambu e outras construções, a INBAR busca com suas ações: compartilhar o conhecimento de tecnologias construtivas de baixo custo; apoiar a inovação no desenvolvimento de novos projetos e tecnologias; desempenhar um papel relevante no desenvolvimento de padrões internacionais para projeto e testes com bambu (INBAR, 2023a). Nesse sentido, dentre os trabalhos desenvolvidos estão os do Grupo de Trabalho de Construção de Bambu. Através da INBAR, este Grupo coordena as atividades de institutos de pesquisa internacionais e empresas comerciais com foco nos usos estruturais do bambu, buscando promover uma maior comunicação entre as equipes de pesquisa. Dentre as suas atividades também está o apoio à participação da INBAR na Rede Global para Habitação Sustentável, organizada pela ONU-HABITAT, em Nairobi (INBAR, 2023a).

2.3.1 Características do bambu como material construtivo

São tratados neste item as características gerais do bambu, seu desenvolvimento, sua distribuição geográfica e alguns aspectos relevantes para o uso do bambu em edificações.

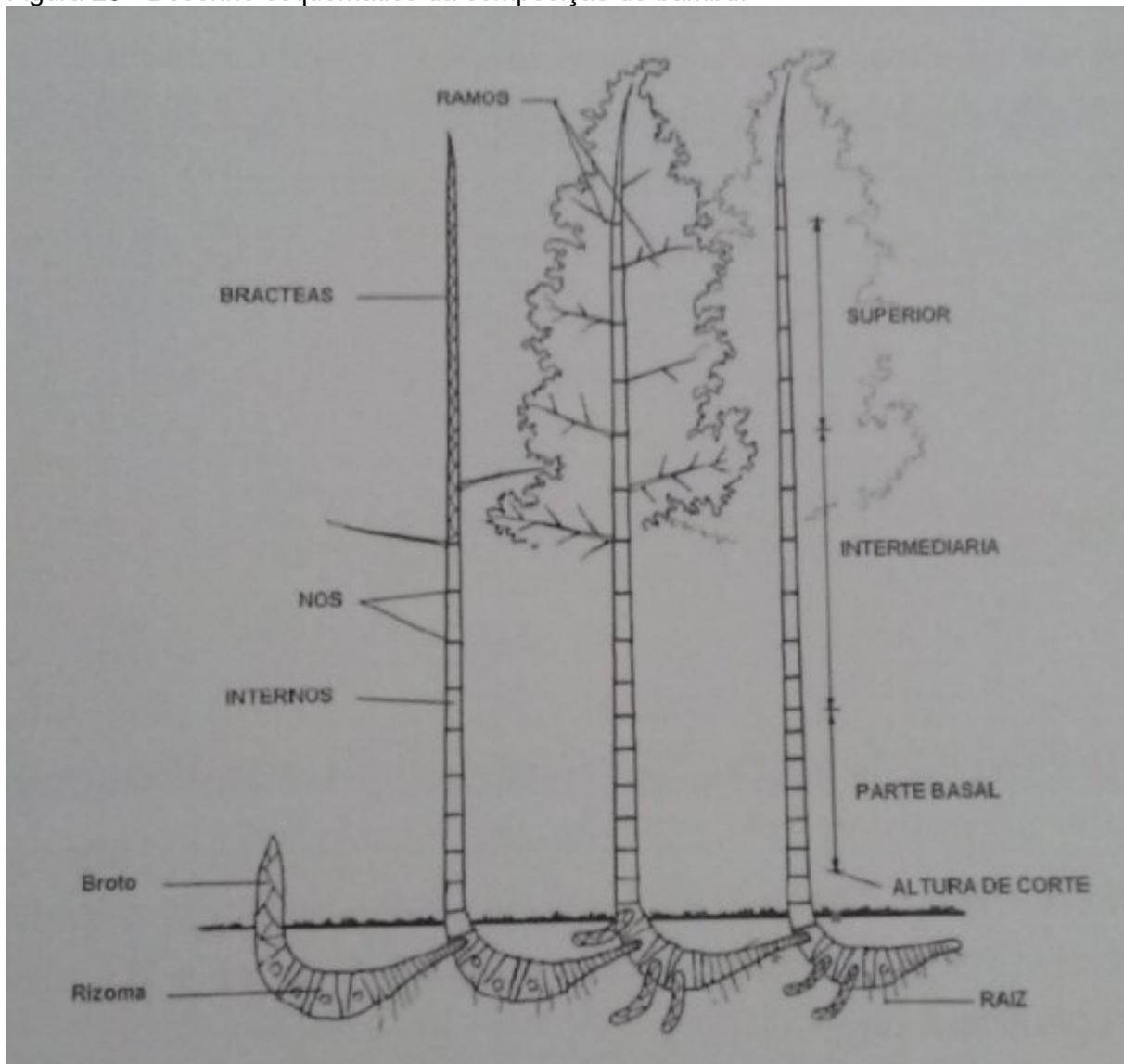
2.3.1.1 Características gerais do Bambu

A importância do bambu em civilizações antigas é mencionada e pesquisada por vários autores. Já foram encontrados, na China, registros de aplicação do bambu que datam de 5.000 a 6.000 anos, com relíquias datadas de 16 séculos a.C. Conhecido como a “planta dos mil usos”, o bambu tem inúmeras aplicações em quase todos os ramos de atividade. Cada espécie, porém, tem uma recomendação de uso específica, devendo ser avaliada antes de sua utilização ou plantio (MOGNON, 2015).

O bambu pertence às plantas da subfamília *Bambusoideae*, da família das gramíneas. Esta subfamília se subdivide em *Bambuseae*, sendo os bambus chamados de lenhosos, e *Olyrae*, considerados herbáceos. Os bambus são constituídos por uma parte aérea, com colmo, folhas e ramificações e outra subterrânea, com rizoma e raiz. A seção transversal do colmo de aspecto circular

possui dimensões que variam de alguns milímetros a 30 cm ou um pouco mais de acordo com a espécie, podendo chegar a 40 metros de altura em alguns casos (Figura 28). Os bambus nascem com o diâmetro que terão em toda a sua vida, não aumentando com o passar dos anos. O período de amadurecimento dos colmos é de três a quatro anos, sendo que o colmo morre, em média, aos doze anos, variando com a espécie. (PEREIRA e BERHALDO, 2016).

Figura 28 - Desenho esquemático da composição do bambu.

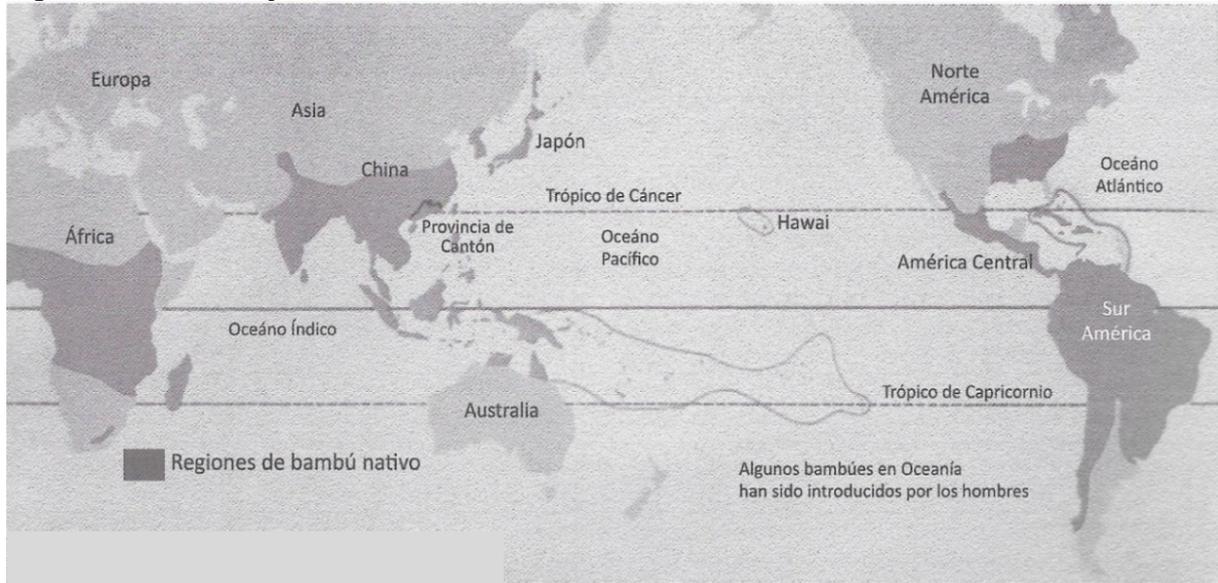


Fonte: Pereira e Beraldo, 2016.

Os bambus nativos estão distribuídos geograficamente no mundo em regiões de climas tropicais, subtropicais e temperados da seguinte forma (Figura 29): 67% na

Ásia e Oceania, 30% nas Américas e 3% na África. (HIDALGO-LÓPEZ, 2003; PEREIRA e BERALDO, 2016).

Figura 29 - Distribuição de bambus nativos no mundo.



Fonte: Minke, 2010.

O bambu é amplamente difundido em países como a China e o Japão, que possuem uma tradição milenar na utilização deste material, e hoje, com tecnologias avançadas de aplicação para vários usos, em destaque a arquitetura. Países da América Latina também possuem um grande legado de construções com bambu, como exemplos, a Colômbia, Costa Rica e Equador (MOGNON, 2015).

No Brasil, o bambu tem tido uma valorização em sua utilização na construção civil muito em função do desenvolvimento de sistemas construtivos através de projetos de pesquisa em universidades de todo o país. Todos buscando, em um primeiro momento, o melhor aproveitamento dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente através da utilização de materiais renováveis, bem como o reaproveitamento de produtos. Através destes projetos já foram pesquisados a associação de materiais com fibras de bambu para confecção de placas para pisos, divisórias verticais e para forro, estruturas com tecnologias de laminação do bambu (BARRA, 2007; NOGUEIRA, 2013; OSTAPIV, 2011; YAMADA, 2016), bem como painéis de bambu em composição com outros materiais (TEIXEIRA, 2013) e diversas opções estruturais com colmos de bambu (SILVA, 2014; MARY, 2007; PADOVAN, 2010).

Em agosto de 2018, foram realizados um seminário na Federação das Indústrias de São Paulo (FIESP), e um Workshop em Pardinho/SP, com a participação do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Estes encontros fizeram parte do Simpósio *Economia do bambu no Brasil: Tecnologia e Inovação na Cadeia Produtiva – Perspectivas e Desafios*, que teve como objetivo “discutir a importância social, ambiental e econômica do bambu e seu contexto em políticas públicas federais, aproximando o conhecimento acadêmico do setor produtivo”. Foram tratados, neste Simpósio, temas tais como: oportunidades e desafios da cadeia produtiva do bambu; agregação de valor na cadeia produtiva do bambu; implementação da política nacional de incentivo ao manejo sustentável e ao cultivo do bambu; oportunidades de negócios (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2018).

2.3.1.2 Aspectos relevantes para o uso do bambu em edificações

A utilização do bambu como material construtivo exige alguns cuidados, como por exemplo, a espécie utilizada. É necessário que se faça uma pesquisa prévia para a escolha do bambu, pois nem todas as espécies são adequadas para o uso em construção (Figura 30). Além disso, deve ser observado o clima, o solo e a temperatura ambiente em que a espécie de bambu tem condições para crescer e se desenvolver (PEREIRA e BERALDO, 2016).

Figura 30 - Espécies de bambu. Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento dos Agronegócios do Bambu, Tatuí/SP.



Fonte: Autora (2017).

Este fator é importante pois a região de estudo possui características climáticas específicas em que as baixas temperaturas afetam diretamente a escolha da espécie de bambu a ser plantada. Considera-se, neste estudo, que a espécie de bambu a ser utilizada na proposta do sistema construtivo seja compatível com o seu plantio na região.

Através de um aplicativo, disponibilizado pela INBAR, é possível selecionar as espécies de bambu mais indicadas em função da localização geográfica, da finalidade de uso, e de parâmetros climáticos e de solo. As espécies selecionadas por esta ferramenta “devem ser capazes de crescer nas condições edafoclimáticas do local, ao mesmo tempo que podem fornecer colmos adequados para o desenvolvimento de produtos desejáveis e cadeias de abastecimento” (INBAR, 2023b). Na Figura 31 é apresentado os parâmetros para seleção das espécies, aplicados pela ferramenta.

Figura 31 - Ferramenta para seleção de espécies de bambu - INBAR.

Fonte: INBAR (2023b).

Os parâmetros climáticos são compostos por temperatura, precipitação e altitude. De acordo com a ferramenta podem ser aplicados valores para a temperatura entre -30°C e 40°C , para a precipitação entre 0mm e 5000mm e para a altitude entre 0m e 5000m.

Os parâmetros de solo aplicados são: textura do solo, drenagem e pH do solo. Com relação à textura do solo as escolhas podem variar entre argila, barro, areia e silte e suas particularidades como argila arenosa, barro franco-argiloso, dentre outros. No parâmetro drenagem, podem ser definidos três tópicos: drenado, inundações

repentinas e água registrada. E no pH do solo podem ser escolhidos valores entre 1 e 14.

O item *Usa Parâmetros* (Figura 31) é utilizado para selecionar a destinação de uso onde constam 57 opções, desde utensílios domésticos, tecidos, até produtos específicos utilizados em construção e tratamento de águas residuais. E por fim, a localização geográfica, determinada por escolha de países.

Para efeito de verificação dos resultados apresentados pela ferramenta, foram utilizados no aplicativo apenas dois parâmetros: destinação de uso – construção, e localização geográfica – Brasil. Os demais parâmetros foram mantidos de acordo com o visto na Figura 31. Os resultados estão apresentados na Figura 32, através dos seguintes tópicos: nome da espécie, tipo de rizoma, faixa nativa, em cultivo/naturalizado em, e uso.

Figura 32 - Resultados obtidos com o aplicativo INBAR – Seleção das espécies de bambu. continua

Nome da espécie	Tipo de rizoma	Faixa nativa	Em cultivo/naturalizado em	Uso
<i>Dendrocalamus latiflorus</i> Munro	Paquimorfo, Peçoço curto	N. Mianmar para S. China e Taiwan; China- China Centro-Sul, Hainan, China Sudeste; Indo- China- (Camboja, Mianmar, Vietnã)	Ásia Oriental - Nansei- Shoto, Ogasawara-Shoto, Taiwan; Malésia - Java; Caribe - Cuba; Brasil - Brasil Sudeste	Artesanato; Tecelagem; Colmo para construção; Brotos comestíveis; Mobiliário; Celulose de Papel;
<i>Dendrocalamus strictus</i>	Paquimorfo, peçoço curto	Subcontinente Indiano – Assam, Índia, Nepal, Paquistão, Himalaia Ocidental; Indo China – Ilhas Andamão, Laos, Mianmar, Tailândia e Vietnã;	África tropical ocidental – Togo ; Oceano Índico Ocidental - Madagáscar e Seicheles; China – China Sudeste ; Ásia Oriental – Taiwan ; Malésia – Java, Malásia; Pacífico Sudoeste- Nova Caledônia ; América Central – Honduras ; Caribe- Bahamas , Cuba, Porto Rico, Trinidad- Tobago , Windward Is; Brasil – Brasil Sudeste;	Artesanato; Colmo para construção; Brotos comestíveis; Utensílios domésticos; Puxadores de ferramentas; Escadas; Cercas e divisórias; Bengalas, bastões; Celulose de Papel ; Carvão;
<i>Apus de Gigantochloa</i> (Schult.f.) Kurz	Paquimorfo de peçoço curto	China: China Sudeste; Subcontinente indiano: Assam, Bangladesh ; Indo- China: Laos, Mianmar, Tailândia ; Malésia: Bornéu, Jawa, Pequenas Ilhas Sunda, Malásia ;	Malésia: Sulawesi, Sumatera; Caribe: Porto Rico; Brasil: Brasil Centro-Oeste, Brasil Sudeste;	Artesanato; Colmo para construção; Mobiliário; Utensílios; Brotos comestíveis (Preferencial); Fios tecidos;
<i>Guadua chacoensis</i> (Rojas Acosta) Londoño & P.M.Peterson	Paquimorfo, peçoço curto	Bolívia a S. Brasil e N. Argentina; América do Sul Ocidental: Bolívia; Brasil: Brasil Centro-Oeste, Brasil Sul; Sul da América do Sul: Nordeste da Argentina, Noroeste da Argentina, Paraguai		Artesanato; Tecelagem; Colmo para construção ; Bambu Laminado; Carvão

Fonte: INBAR (2023b).

conclusão

<i>Melocanna baccifera</i> (Roxb.) Kurz	Paquimorfo com pescoço longo	Subcontinente indiano a Mianmar.; Subcontinente indiano: Assam, Bangladesh, Himalaia Oriental, Nepal; Indo-China: Mianmar	Malésia: Java; Caribe: Jamaica; América do Sul Ocidental: Colômbia, Equador; Brasil: Brasil Sudeste	Artesanato; Sim; Tecelagem; Colmo para construção; Brotos comestíveis
<i>Phyllostachys edulis</i> (Carrère) J.Houz.	Bambu monopodial de médio a grande porte	China Central e do Sul, Taiwan.; China: China Centro-Sul, China Centro-Norte, China Sudeste; Ásia Oriental: Taiwan	Indo-China: Vietnã.; Brasil: Sul do Brasil, Sudeste do Brasil, Centro-Oeste do Brasil; Ásia Oriental: Japão, Coreia, Nansai-shoto; Malésia: Filipinas.; Sudeste dos EUA: Geórgia, Carolina do Sul	Artesanato; Tecelagem; Colmo para construção; Mobiliário; Tubulação de água; Brotos comestíveis (espécies preferidas); Bambu laminado; Celulose de Papel; Carvão;
<i>Bambusa multiplex</i> (Lour.) Raeusch. ex Schult.f.	Rizomas paquimorfos de pescoço curto	China (China Centro-Sul, Hainan, China Sudeste); Ásia Oriental (Taiwan) ;Subcontinente da Índia (Himalaia Oriental, Nepal) ;Indo China (Laos, Mianmar, Vietnã)Himalaia para Indo China	Oceano Índico Ocidental (Maurícias, Madagascar, Seicheles); Ásia Ocidental (Iraque); Ásia Oriental (Nansai-shoto);Subcontinente Indiano (Bangladesh, Paquistão, SriLanka);Indo China (Camboja); Malésia (Malásia); Papuásia (Arquipélago de Bismarck); Nova Zelândia (Nova Zelândia Norte); Sudeste dos EUA (Flórida); México (México Sudeste) Caribe (Cuba, República Dominicana, Haiti, Jamaica, PuertoRico, Ilhas de Barlavento); Oeste da América do Sul (Colômbia, Equador), Brasil (Brasil Sudeste)	Cesto; Carvão; Tubo de carvão; Tábua de cortar; Pauzinhos; Piso composto; Composto; Móveis compostos; Armadura de concreto; Construção; Cortina; Talheres; Controle de erosão; Esgrima ao vivo; Fibra (Fibra natural); Fibra (Viscose/Rayon); Piso de bambu achatado; Revestimento; Mobiliário; Artesanato;Bastões de incenso;Piso interno; Bambu laminado; Madeira serrada; Esteira;Placa de fios orientados;Ornamental;Pavimentos externos; Palete; Painel; Móveis à base de painéis; Celulose de papel; Painéis de partículas; Pelota; Bambu compensado; Móveis à base de postes; Postes para construção civil; Varas redondas; Refinaria; Scrimber; Atirar; Fechamento de quadro de fôrmas; Varas pequenas; Varas; Fios tecidos; Tira; Síntese; Têxtil; Palitos; Painéis folheados; Vinagre; Tratamento de efluentes (tratamento de raízes); Tecelagem
<i>Dendrocalamus strictus</i> (Roxb.) Nees	Paquimorfo de pescoço curto	Subcontinente indiano – Assam, Índia , Nepal , Paquistão, Himalaia Ocidental	África tropical ocidental (Togo); Oceano Índico Ocidental (Madagascar e Seicheles); China (China Sudeste); Ásia Oriental (Taiwan); Malésia (Java, Malásia); Pacífico Sudoeste Nova Caledônia ; América Central – Honduras ; Caribe- Bahamas , Cuba, Porto Rico, Trinidad- Tobago , Windward Is; Brasil – Brasil Sudeste	Cesto; Carvão; Tábua de cortar; Pauzinhos; Piso composto; Composto; Móveis compostos; Armadura de concreto; Construção; Cortina; Talheres; Controle de erosão; Fibra (Fibra natural); Fibra (Viscose/Rayon); Piso de bambu achatado; Revestimento; Forragem; Mobiliário; Artesanato;Bastões de incenso;Piso interno; Bambu laminado; Madeira serrada; Esteira; Palete; Painel; Móveis à base de painéis; Celulose de papel; Painéis de partículas; Pelota; Bambu compensado; Móveis à base de postes; Postes para construção civil; Varas redondas; Fechamento de quadro de fôrmas; Varas pequenas; Varas; Fios tecidos; Tira; Síntese; Têxtil; Palitos; Painéis folheados; Vinagre; Tratamento de efluentes (tratamento de raízes); Tecelagem

Fonte: INBAR (2023b).

De acordo com os resultados obtidos, 8 espécies foram selecionadas. Dentre elas apenas uma foi considerada nativa no Brasil – a *Guadua chacoensis*, podendo ser encontrada nas regiões Sul e Centro-oeste. O uso para esta espécie de bambu está associado ao artesanato, tecelagem, colmo para construção, bambu laminado e carvão. Não foram indicados, nesta busca, os locais onde essa espécie teria sido plantada. As demais espécies são consideradas *em cultivo/naturalizada em*, sendo encontradas no Sul, Sudeste e Centro-oeste do Brasil. Dentre estas espécies estão: *Dendrocalamus latiflorus* Munro, *Dendrocalamus strictus*, *Apus de Gigantochloa*, *Melocanna bacifera*, *Phyllostachys edulis*, *Bambusa multiplex*, *Dendrocalamus strictus* Nees.

Para o desenvolvimento do uso do bambu nas diversas regiões do mundo, foram indicadas, pela INBAR, algumas espécies consideradas prioritárias para plantio, que estão listadas na Figura 33.

Figura 33 - Espécies de bambu consideradas prioritárias pela INBAR, por região.

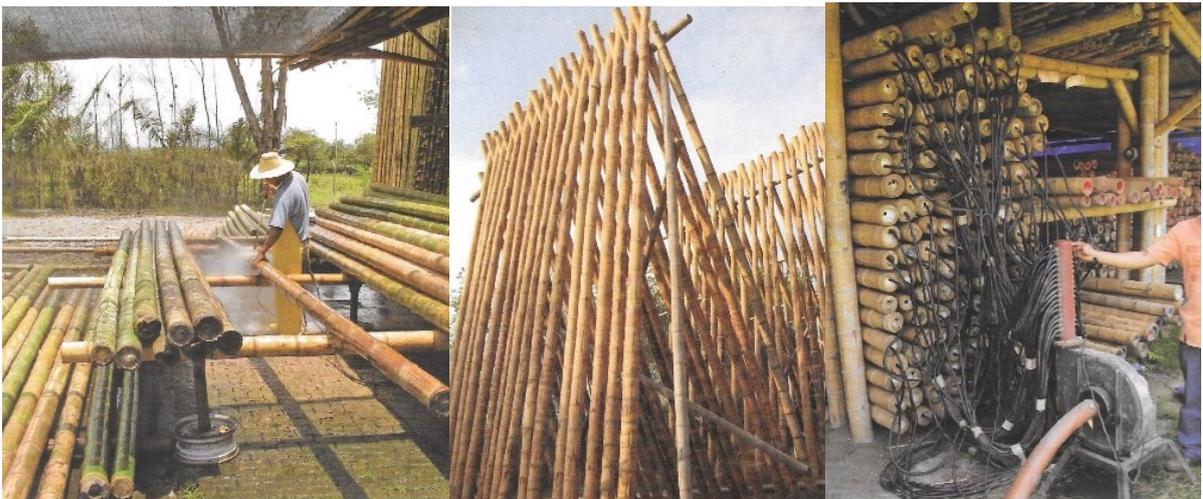
<p>A. Africa</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bambusa balcooa</i> 2. <i>Bambusa multiplex</i> 3. <i>Bambusa vulgaris</i> 4. <i>Dendrocalamus asper</i> 5. <i>Dendrocalamus giganteus</i> 6. <i>Dendrocalamus hamiltonii</i> 7. <i>Dendrocalamus membranaceus</i> 8. <i>Dendrocalamus strictus</i> 9. <i>Guadua angustifolia</i> 10. <i>Oldeania alpina</i> 11. <i>Oxytenanthera abyssinica</i> 12. <i>Phyllostachys aurea</i> 13. <i>Phyllostachys edulis</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 31. <i>Phyllostachys edulis</i> 32. <i>Phyllostachys edulis var bambusoides</i> 33. <i>Pseudoxytenanthera madhavii</i> 34. <i>Pseudoxytenanthera ritcheyi</i> 35. <i>Pseudoxytenanthera stocksii</i> 36. <i>Schizostachyum dullooa</i> 37. <i>Schizostachyum pergracile</i> 38. <i>Schizostachyum zollingeri</i> 39. <i>Thyrsostachys oliveri</i> 40. <i>Thyrsostachys siamensis</i>
<p>B. Asia: South and Southeast Asia</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bambusa balcooa</i> 2. <i>Bambusa bambos</i> 3. <i>Bambusa cacharensis</i> 4. <i>Bambusa multiplex</i> 5. <i>Bambusa nutans</i> 6. <i>Bambusa oldhamii</i> 7. <i>Bambusa polymorpha</i> 8. <i>Bambusa spinosa (B. blumeana)</i> 9. <i>Bambusa textilis</i> 10. <i>Bambusa tulda</i> 11. <i>Bambusa vulgaris</i> 12. <i>Dendrocalamus asper</i> 13. <i>Dendrocalamus barbatus</i> 14. <i>Dendrocalamus brandisii</i> 15. <i>Dendrocalamus giganteus</i> 16. <i>Dendrocalamus hamiltonii</i> 17. <i>Dendrocalamus latiflorus</i> 18. <i>Dendrocalamus longispathus</i> 19. <i>Dendrocalamus membranaceus</i> 20. <i>Dendrocalamus sikkimensis</i> 21. <i>Dendrocalamus somdevae</i> 22. <i>Dendrocalamus strictus</i> 23. <i>Gigantochloa apus</i> 24. <i>Gigantochloa atrovioleacea</i> 25. <i>Gigantochloa scortechinii</i> 26. <i>Melocanna baccifera</i> 27. <i>Ochlandra scriptoria</i> 28. <i>Ochlandra setigera</i> 29. <i>Ochlandra travancorica</i> 30. <i>Phyllostachys violascens (P. praecox)</i> 	<p>C. Asia: China</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bambusa intermedia</i> 2. <i>Bambusa rigida</i> 3. <i>Bambusa vulgaris</i> 4. <i>Chimonobambusa quadrangularis</i> 5. <i>Chimonobambusa tumidissinoda</i> 6. <i>Chimonobambusa utilis</i> 7. <i>Dendrocalamus giganteus</i> 8. <i>Dendrocalamus hamiltonii</i> 9. <i>Dendrocalamus latiflorus</i> 10. <i>Dendrocalamus membranaceus</i> 11. <i>Phyllostachys aurea (P. bambusoides)</i> 12. <i>Phyllostachys edulis (P. pubescens)</i> 13. <i>Phyllostachys violascens</i> 14. <i>Phyllostachys nidularia</i> 15. <i>Phyllostachys glauca</i> 16. <i>Schizostachyum pergracile</i> 17. <i>Schizostachyum funghomii</i> 18. <i>Schizostachyum zollingeri</i>
<p>D. Latin America</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bambusa multiplex</i> 2. <i>Bambusa oldhamii</i> 3. <i>Bambusa vulgaris</i> 4. <i>Chusquea culeou</i> 5. <i>Dendrocalamus asper</i> 6. <i>Guadua aculeata</i> 7. <i>Guadua amplexifolia</i> 8. <i>Guadua angustifolia</i> 9. <i>Guadua chacoensis</i> 10. <i>Guadua paraguayana</i> 11. <i>Guadua trinii</i> 12. <i>Otatea acuminata</i> 13. <i>Phyllostachys aurea</i> 14. <i>Phyllostachys edulis</i> 	

Fonte: INBAR (2023c).

As espécies mencionadas na Figura 33 são fruto de uma tentativa de rever a lista de espécies prioritárias de bambu que, até então, estavam concentradas em espécies asiáticas. Esta lista foi apresentada em um relatório (LONG, 2022), em que foi realizado um novo estudo sobre a biodiversidade das espécies de bambu, considerando os vários produtos e aplicações do bambu, hoje. A ênfase do relatório foi no potencial de cultivo em larga escala, em diferentes condições climáticas e de solo, visando atender os diversos usos (INBAR, 2023c).

Além da escolha das espécies, o plantio, o corte e o manejo do bambu precisam ter acompanhamento e registro dos procedimentos para se obter peças de qualidade e garantias na compra do produto (BENAVIDES, 2019). Na Figura 34 são apresentados exemplos de limpeza do bambu, secagem ao sol e ao vento, e secagem por injeção de ar quente.

Figura 34 - Manejo dos colmos de bambu.



Fonte: Minke (2010).

Como consequência, o tratamento preservativo das peças deve ser feito corretamente para garantir a durabilidade do produto comercializado (BENAVIDES, 2019). Alguns tipos de tratamento podem ser citados: por imersão em líquidos que funcionem como inseticidas e fungicidas (Figura 35); por injeção de imunizantes; por pressão – “Método Boucherie” (MINKE, 2010).

Figura 35 - Tratamento dos colmos de bambu por imersão.



Fonte: Minke (2010).

Em função da pouca demanda de bambu para construções, levando-se em consideração o predomínio de outros materiais, a cadeia produtiva do bambu para a construção civil ainda se encontra dispersa e pouco organizada, no Brasil (RADAIK, 2018; LIBRELOTTO et al, 2019).

2.3.2 Projeto de edificações com bambu

Com relação à elaboração de projetos com elementos construtivos de bambu, são tratados aqui, primeiramente, as normas técnicas existentes relativas ao bambu e sua abrangência. Partindo da escolha por uma construção modular pré-fabricada, segue-se o estudo sobre temas como qualidade, desempenho e produtividade em projeto.

2.3.2.1 Normas técnicas para projeto e construção com bambu

Para impulsionar o uso de técnicas construtivas com bambu é necessário, dentre outros fatores, desenvolver normas técnicas e atualizar as já existentes. O Grupo de Trabalho de Construção de Bambu da INBAR tem desenvolvido ações

nesse sentido, contribuindo com as Normas ISO, relacionadas ao bambu. Essas ações fazem parte dos objetivos do Grupo de Trabalho que são os seguintes: a) ajudar a impulsionar e refinar o desenvolvimento de novas normas internacionais sobre os usos estruturais do bambu e revisar e atualizar as normas internacionais existentes; b) apoiar a coordenação global e a disseminação de conhecimento sobre a construção sustentável de bambu; c) facilitar o desenvolvimento de metodologias pró-pobres para projetar e construir casas de bambu sustentáveis; d) fortalecer a capacidade dos atores do setor na construção de casas sustentáveis de bambu; e) conscientizar e defender que a construção de bambu seja incorporada às políticas públicas e regulamentações nacionais de habitação (INBAR, 2023a).

Dentre as realizações do GT de Construção de Bambu está a revisão das Normas ISO existentes sobre usos estruturais do bambu, atualizando-as a cada 5 anos. Nesta área, novas normas foram desenvolvidas e publicadas e são relativas a: classificação de resistência, projeto de ligação, métodos de ensaio e determinação de biomaterial/caracterização do produto de bambu e valores de especificação. Para alcançar estas metas, fazem parte do Grupo de Trabalho ISO TC 12165, o presidente e o coordenador do GT de Construção de bambu do INBAR. Além da contribuição com as normas internacionais ISO, também são elaboradas publicações da INBAR sobre construção com bambu e tecnologias relacionadas (INBAR, 2023a).

No Brasil, existem algumas dificuldades com relação ao projeto e à construção com bambu, começando pela falta de normatização brasileira. Foi publicada, em 21/12/2020, a primeira norma brasileira sobre estruturas de bambu, em duas partes: ABNT NBR 16828-1:2020 – Estruturas de Bambu, Parte 1: Projeto e ABNT NBR 16828-2:2020 – Estruturas de Bambu, Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Sendo que, a NBR 16828-1:2020 “estabelece os requisitos básicos para projeto de estruturas feitas com colmos de bambu, abordando as propriedades físicas e mecânicas, a servicibilidade e a durabilidade das estruturas de bambu”. De acordo com esta Norma, não estão incluídas as estruturas feitas com bambu laminado colado (BLC), como também, as estruturas em que o bambu é utilizado como parte de materiais compósitos. Também não são considerados nesta Norma os requisitos para evitar os estados-limites gerados por ações provenientes de sismos, impactos e explosões. Na NBR 16828-2:2020 são especificados “métodos de

ensaio para determinação das propriedades físicas e mecânicas do colmo ou de parte dele, para servirem de base ao projeto de estruturas de bambu”. Em 24//03/2023, foi publicada mais uma norma relativa ao bambu, a ABNT NBR 17043: 2023 – Varas de bambu para uso estrutural: Colheita, tratamento preservativo e classificação pelo diâmetro (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023).

No Quadro 7 estão relacionadas as normas referentes ao bambu para uso na construção. A busca por estas normas foi feita através do Catálogo de Normas da ABNT, onde foram encontrados 35 registros. Dentre eles, 25 normas estão relacionadas ao bambu para uso na construção. Além destas, ainda foram pesquisadas mais três normas latino-americanas e uma norma indiana.

Quadro 7 - Normas relacionadas ao bambu (em vigor).

continua

Norma	Título (nº páginas) / Comitê técnico	Idioma	Data de publicação
ABNT NBR 17043: 2023	Varas de bambu para uso estrutural – Colheita, tratamento preservativo e classificação pelo diâmetro (10p.) / ABNT/CB – 002 Construção civil	Português	24/03/2023
ABNT NBR 16828-1: 2020	Estruturas de bambu, Parte 1: Projeto (31p.) / ABNT/CB – 002 Construção civil	Português	21/12/2020
ABNT NBR 16828-2: 2020	Estruturas de bambu, Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu (17p.) / ABNT/CB – 002 Construção civil	Português	21/12/2020
NEC – SE – GUADÚA	Estructuras de Guadúa – GaK (108p.) / Norma Equatoriana	Espanhol	26/08/2016
NSR - 10	Título G – Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua (168p.) / Norma Colombiana	Espanhol	1997
Norma E.100	Bambú (58p.) / Norma Peruana	Espanhol	2012
ISO 6128: 2023	Laminated products made of bamboo strips for indoor furniture purposes – Requirements and test methods (7p.) / ISO/TC 296 Bamboo and rattan	Inglês	06/07/2023
ISO 21629-2: 2022	Bamboo floorings – Part 2: Outdoor use (14p.) / ISO/TC 296 Bamboo and rattan	Inglês	29/08/2022
ISO 23478: 2022	Bamboo structures – Engineered bamboo products – Test methods for determination of physical and mechanical properties (28p.) / ISO/TC 165 Timber structures	Inglês	23/06/2022
ISO 21629-1: 2021	Bamboo floorings – Part 1: Indoor use (16p.) / ISO/TC 296 Bamboo and rattan	Inglês	15/06/2021
ISO 22156: 2021	Bamboo structures – Bamboo culms – Structural design (48p.) / ISO/TC 165 Timber structures	Inglês	03/06/2021
ISO 21625: 2020	Vocabulary related to bamboo and bamboo products (9p.) / ISO/TC 296 Bamboo and rattan	Inglês	09/07/2020

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2023).

conclusão

Norma	Título (nº páginas) / Comitê técnico	Idioma	Data de publicação
ISO 22157: 2019	Bamboo structures – Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms – Test methods (25p.) / ISO/TC 165 Timber structures	Inglês	18/01/2019
ISO 19624: 2018	Bamboo structures – Grading of bamboo culms – Basic principles and procedures (22p.) / ISO/TC 165 Timber structures	Inglês	11/09/2018
ISO 38200:2018	Chain of custody of wood and wood-based products (28p.) / CT não mencionado	Inglês	30/10/2018
ISO 16572: 2008	Timber structures – wood-based panels – test methods for structural properties (28p.) / ISO/TC 165 Timber structures	Inglês	26/05/2008
BS ISO 6128: 2023	Laminated products made of bamboo strips for indoor furniture purposes. Requirements and test methods (16p.) / B/541 Wood based panels	Inglês	07/07/2023
BS ISO 21629-2: 2022	Bamboo floorings – Part 2: Outdoor use (20p.) / B/541 Wood based panels	Inglês	07/10/2022
BS ISO 23478: 2022	Bamboo structures. Engineered bamboo products. Test methods for determination of physical and mechanical Properties (36p.) / B/518 Structural timber	Inglês	03/08/2022
BS ISO 22156: 2021	Bamboo structures. Bamboo culms. Structural design (56p.) / B/518 Structural timber	Inglês	17/06/2021
BS ISO 22157: 2019	Bamboo structures. Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms. Test methods (34p.) / B/518 Structural timber	Inglês	31/01/2019
BS ISO 19624: 2018	Bamboo structures. Grading of bamboo culms. Basic principles and procedures (32p.) / B/518 Structural timber	Inglês	17/09/2018
BS EN 12104: 2023 - TC	Tracked Changes. Resilient floor coverings. Cork floor tiles. Specification (34p.) / PRI/60 Resilient floor coverings	Inglês	01/06/2023
BS EN 12104: 2023	Resilient floor coverings. Cork floor tiles. Specification (14p.) / PRI/60 Resilient floor coverings	Inglês	24/05/2023
BS EN 17009:2019	Flooring of lignified materials other than wood. Characteristics, assessment, and verification of constancy of performance and marking (44p.) / B/543 Round and sawn timber	Inglês	19/03/2019
DIN EN 12104: 2023 DE	Resilient floor coverings – Cork floor tiles – Specification (12p.) / CT não mencionado	Alemão	01/07/2023
DIN ISO 38200:2019 DE	Chain of custody of wood and wood-based products (ISO 38200:2018) / CT não mencionado	Alemão	01/06/2019
DIN EN 61308: 2006 DE	High-frequency dielectric heating installations - Test methods for the determination of power output (IEC 61308:2005) (16p.) / German Commission for Electrical, Electronic and Information Technologies of DIN and VDE	Alemão	01/09/2006
IS 6874	Method of tests for bamboo (16p.) / Norma Indiana	Inglês	2008

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2023).

A norma equatoriana NEC – SE – GUADÚA trata do bambu para uso estrutural, em destaque para a espécie *Guadua angustifolia Kunth* (GaK), desde a escolha do colmo na plantação, corte, tratamento e armazenamento, até requisitos e recomendações específicos para o uso estrutural. Para a elaboração desta norma tomou-se como referência a norma peruana E.100 – Bambú e a norma colombiana NSR – 10, dentre outros trabalhos acadêmicos relativos à espécie de bambu em questão.

As normas ISO, que foram utilizadas como referência para as demais normas relacionadas no Quadro 7, tratam dos seguintes temas: uso estrutural do bambu (ISO 23478:2022, ISO 22156:2021, ISO 22157:2019, ISO 19624:2018); produtos laminados de tiras de bambu (ISO 6128:2023); requisitos técnicos, métodos de teste e requisitos para manuseio, armazenamento, embalagem e marcação de pisos de bambu para uso interno e externo (ISO 21629-1:2021 e ISO 21629-2:2022); termos técnicos relativos ao bambu e aos produtos de bambu (ISO 21625:2020). Outras normas não tratam especificamente do bambu, mas o incluem como material em que a norma se aplica, tratando de temas como revestimentos e rastreamento de produtos acabados (ISO 38200:2018 e ISO 16572:2008).

2.3.2.2 Qualidade e desempenho em projeto

Foi definido, neste estudo, a pré-fabricação como base para o desenvolvimento do projeto, considerando que dessa forma pode-se obter um maior controle na execução dos processos e conseqüentemente, maior qualidade no produto final. Sendo assim, um dos aspectos determinantes no desenvolvimento deste estudo é a qualidade que uma construção com bambu pode proporcionar. Neste item serão abordados temas relacionados ao processo de projeto e à execução de obras com foco na qualidade e produtividade. Também será tratado aqui a relação do desenvolvimento do projeto com o desempenho da edificação e o atendimento às necessidades do cliente final, ou, o usuário do edifício.

2.3.2.2.1 *O conceito de desempenho aplicado à qualidade do projeto*

O termo “desempenho” na construção civil pode ser entendido como o “comportamento de um produto quando em utilização” (SILVA e SOUZA, 2003). Sendo assim, o conceito de desempenho pode ser aplicado em diversas situações, como por exemplo: durante o projeto e execução de um edifício ou de um programa de produção; no desenvolvimento e comercialização de um produto; na estruturação de diretrizes de projeto; no controle de qualidade de produtos considerando a inspeção, aprovação e certificação. Para tanto é necessário identificar as necessidades dos usuários e as condições de exposição a que a edificação estará sujeita, bem como estabelecer os requisitos, critérios e métodos de avaliação de desempenho. Portanto, há uma diferença entre necessidades dos usuários e requisitos de desempenho. No primeiro caso, são “as condições que devem ser atendidas por uma edificação ou produto para um fim específico, independente de sua localização”. Já os requisitos de desempenho “definem em termos quantitativos as condições que devem ser atendidas por uma edificação ou produto para um fim específico, numa situação geográfica específica, e de acordo com decisões de projeto particulares para o caso em questão”. Inicialmente, a identificação das necessidades dos usuários é feita através do levantamento dos aspectos técnicos, fisiológicos, psicológicos e sociológicos, de forma qualitativa para, em sequência, serem traduzidos em dados quantitativos (SILVA e SOUZA, 2003).

O conceito de desempenho pode ser aplicado em todas as fases do desenvolvimento do projeto, na etapa de construção da edificação e, também, durante o uso do edifício, quando será realizada a avaliação pós-ocupação, para retroalimentação das necessidades dos usuários e dos requisitos de projeto. Além das questões técnicas, para a concepção de um edifício também devem ser levadas em consideração as questões culturais, sociais e de inserção urbana.

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), é estabelecida uma lista geral de exigências do usuário que é utilizada como referência para a definição de requisitos e critérios a serem atendidos em projeto. As exigências dos usuários são consideradas sob três aspectos: segurança, habitabilidade e sustentabilidade (Quadro 8). De acordo com esta norma, ainda são estabelecidos níveis de desempenho que devem ser

atingidos, são eles: atendimento aos requisitos mínimos de desempenho (M), nível intermediário (I) e nível superior (S).

Quadro 8 - Exigências do usuário segundo a NBR 15575-1.

Exigência	Fatores
Segurança	Segurança estrutural Segurança contra o fogo Segurança no uso e na operação
Habitabilidade	Estanqueidade Desempenho térmico Desempenho acústico Desempenho lumínico Saúde, higiene e qualidade do ar Funcionalidade e acessibilidade Conforto tátil e antropodinâmico
Sustentabilidade	Durabilidade Manutenibilidade Impacto ambiental

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013).

Segundo a Norma ABNT NBR 15575-1 “a avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada”.

Ainda segundo esta Norma, a avaliação de desempenho deve ser realizada através de uma “investigação sistemática baseada em métodos consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema, nas condições de uso definidas”. Sendo assim, são considerados como métodos de avaliação desta Norma a realização de ensaios laboratoriais, ensaios de tipo, ensaios em campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análise de projetos.

Em princípio, para efeito deste estudo, serão avaliados os requisitos de desempenho, em que possam ser utilizados os métodos de inspeção em protótipos ou em campo, simulações e análise de projeto.

Para a verificação do desempenho de uma edificação também são considerados a vida útil dos produtos empregados e os custos envolvidos ao longo da vida útil do edifício. A vida útil de um produto pode ser definida como o “período de tempo, após a instalação, durante o qual o desempenho de um material ou componente da edificação, excede os valores mínimos aceitáveis, quando sofrerem

manutenção rotineira” (JOHN, 1987). A vida útil de um produto pode ainda ser entendida e avaliada sob dois pontos de vista: vida útil estrutural e vida útil econômica. A vida útil estrutural é “determinada pelos fenômenos de degradação que ocorrem em relação aos materiais e componentes principais”. A vida útil econômica é “determinada por razões econômicas, que levam à não-realização das atividades necessárias para a manutenção dos padrões de desempenho”, como também “pela descaracterização do valor da edificação em função das mudanças de uso a que é submetida, tanto individualmente quanto em relação à zona urbana em que se situa” (SILVA e SOUZA, 2003).

Os custos decorrentes da produção e do uso ao longo da vida útil de um edifício podem ser classificados da seguinte forma: a) custos de construção; b) custos de operação; c) custos de manutenção; d) custos de modernização ou adaptação; e) custos de demolição ou venda. As características de cada componente de custo estão descritas no Quadro 9. Entretanto, a tomada de decisões em projeto vai influenciar todos os valores dos componentes de custo, devendo ser avaliado o custo global de uma edificação. Como descrito no Quadro 9, o custo global compreende os custos de construção, de operação e de manutenção.

Quadro 9 - Custos incorridos na produção e uso de edifícios.

Componente de custo	Descrição
Custos de construção	Incluem todos os custos incorridos desde a concepção até o término da construção da edificação.
Custos de operação	Custos decorrentes de limpeza, iluminação, operação de equipamentos e instalações, consumo de água, etc.
Custos de manutenção	Custos decorrentes da substituição de materiais ou componentes, reparos a componentes e elementos, decoração.
Custos de modernização ou adaptação	Custos provenientes da adaptação da edificação às necessidades de uso, a fim de evitar sua obsolescência funcional.
Custos de demolição ou venda	Todos os custos provenientes destas ações.
Custo global	Custos de construção + custos de operação + custos de manutenção

Fonte: Silva e Souza (2003).

2.3.2.2.2 *Qualidade em projeto e produtividade*

Vários processos compõem a produção de um edifício e o ciclo da qualidade se estabelece a partir das relações criadas entre clientes e fornecedores através de

toda a cadeia produtiva. Dessa forma, o universo de relações clientes-fornecedores, durante todo o processo produtivo de uma edificação, pode ser desdobrado em vários conjuntos de relações (SILVA e SOUZA, 2003).

Na relação processo/produto tem-se um critério definido como controle de qualidade, incorporado pela indústria da construção civil brasileira, que pode ser de dois tipos: controle de produção ou controle de processo e controle de recebimento ou controle de produtos. Este critério é fundamentado no atendimento de normas e procedimentos padronizados sendo considerado, porém, de caráter restrito (SILVA e SOUZA, 2003). Estes dois tipos de controle possuem diferenças quanto ao tipo de agente, ao tipo de inspeção e ao tipo de controle (Quadro 10).

Quadro 10 - Tipos de controle da qualidade.

	CONTROLE DA QUALIDADE	
	Controle de Produção	Controle de Recebimento
O que é controlado	O produto	O produto
Quem é o agente	O produtor	O contratante/comprador
Qual o tipo de inspeção	Contínua	Intermitente
Qual o tipo de controle	Fatores que afetam a qualidade do produto	A conformidade do produto

Fonte: Silva e Souza, 2003.

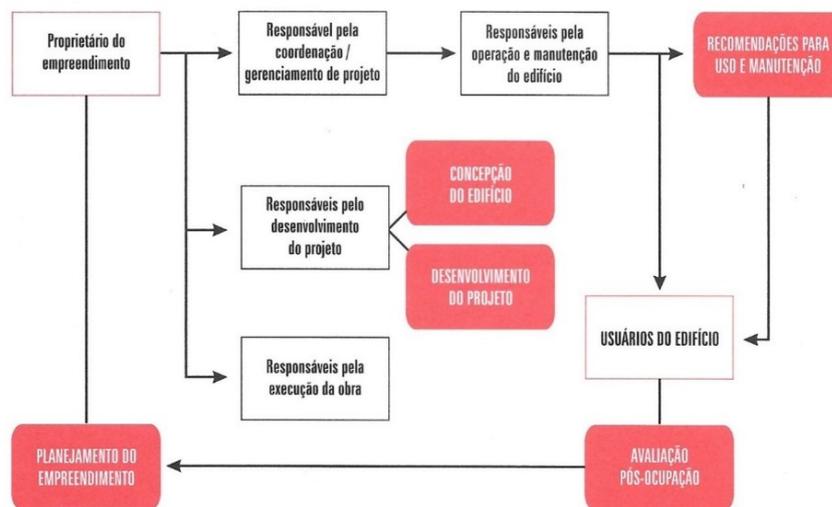
O controle de processo se dá através de procedimentos estabelecidos e de treinamento de clientes, fornecedores e operadores em sistemas de gestão da qualidade. O objetivo é aplicar ações corretivas de forma a diminuir a necessidade de controle e, por consequência, aumentar a confiabilidade do processo. Já o controle de recebimento tem foco em identificar a conformidade a normas e padrões pré-estabelecidos. O critério de controle de qualidade estabelece, então, uma abordagem da qualidade voltada para uma relação de causa e efeito entre o controle de processo e o controle de recebimento de produto. Quanto maior a confiabilidade nos processos de produção, menor a necessidade de controle no recebimento do produto (SILVA e SOUZA, 2003).

O exposto acima, sobre a confiabilidade nos processos de produção, vem de encontro com questões relativas ao bambu, já citadas no capítulo 1 – *Introdução*. A falta de confiabilidade na procedência dos colmos de bambu, como por exemplo, a

inexistência, no Brasil, de certificados de origem de colmos de bambu para a construção, não sendo possível, ainda, obter materiais com registros relativos ao plantio, manejo, corte, secagem e, por conseguinte, controle de qualidade do material vendido.

Para se obter a qualidade em projeto é necessário primeiro identificar os agentes intervenientes na gestão do processo de projeto. Considerando o processo de projeto de edificações um processo compartilhado entre vários agentes com dinâmicas próprias, o desenvolvimento do projeto deve ter como estratégia principal o atendimento das necessidades do cliente final da cadeia, ou seja, a quem o produto se destina. Sendo assim, é fundamental que esta estratégia esteja clara para todos os agentes durante o processo – projetistas, consultores, fornecedores de produtos e serviços – podendo integrar estratégias específicas a cada um, sem prejuízo do atendimento adequado ao cliente final (SILVA e SOUZA, 2003). Na Figura 36 estão representados os vários agentes intervenientes na gestão do processo de projeto, sua participação e responsabilidades.

Figura 36 - Agentes intervenientes na gestão do processo de projeto.



Fonte: Silva e Souza (2003).

De acordo com Silva e Souza (2003), são considerados clientes, durante o processo de projeto, “todos os clientes do processo de projeto e suas reais necessidades – as diferentes áreas de negócios de um contratante, os diferentes profissionais envolvidos do ponto de vista do desenvolvimento do projeto e os usuários

finais”. Ou seja, de acordo com o diagrama acima são clientes: a) o proprietário do empreendimento; b) os responsáveis pela coordenação/gerenciamento dos projetos, os responsáveis pelo desenvolvimento do projeto, os responsáveis pela execução da obra; c) responsáveis pela operação e manutenção do edifício; d) os usuários do edifício. Neste ponto de vista, os diversos clientes devem atender sempre as necessidades do cliente final, que são os usuários do edifício.

De acordo com a Norma ABNT NBR 15575-1, tem-se como incumbências técnicas dos intervenientes as seguintes atividades, consideradas relevantes neste trabalho: a) Fornecedor – caracterizar o desempenho do produto ou sistema; b) Projetista – estabelecer a Vida Útil Projetada (VUP) de cada sistema que compõe a Norma ABNT NBR 15575-1, com base na seção 14; especificar materiais, produtos e processos que atendam o desempenho mínimo estabelecido na Norma citada, observando o que foi declarado pelos fabricantes dos produtos, utilizados no projeto, a respeito do seu desempenho; c) Construtor e Incorporador – elaborar o Manual de Operação, Uso e Manutenção, ou similar, atendendo à ABNT NBR 14037 – *Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos*, e ABNT NBR 5674 – *Manutenção de edifícios – Procedimentos*, que deve ser entregue ao proprietário da unidade, quando a edificação for disponibilizada para uso; d) Usuário – realizar a manutenção de acordo com o que estabelece a Norma ABNT NBR 5674 e o Manual de Operação, Uso e Manutenção. Informações sobre os intervenientes também são encontradas na Norma ABNT NBR 5671 – *Participação dos intervenientes em serviços e obras de engenharia e arquitetura*.

No ciclo da qualidade do desenvolvimento de projeto tem-se ações sequenciais, porém inter-relacionadas, podendo haver reavaliações e alterações no decorrer do processo de projeto. O ciclo da qualidade compreende, assim, dez fases, sendo elas: 1) identificação das necessidades dos clientes finais; 2) elaboração das necessidades do contratante de projeto; 3) formulação do programa de necessidades; 4) análise do terreno; 5) concepção do projeto; 6) análise de interfaces com os demais projetos e com o processo de produção; 7) desenvolvimento do projeto; 8) entrega do projeto; 9) execução da obra; 10) avaliação pós-ocupação (SILVA e SOUZA, 2003).

A qualidade em projeto também pode ser determinada como função da produtividade proporcionada na execução da obra. Como as denominações *buildability* e *constructability* determinam: "...projetos habilitados a serem construídos com facilidade de execução a partir do que foi projetado". Ou seja, a alta produtividade de um empreendimento, ou de um edifício, está diretamente relacionada às suas características definidas em projeto (SILVA e SOUZA, 2003).

Alguns fatores que contribuem para a elevação da produtividade na execução de uma obra podem ser relacionados e estão descritos no Quadro 11. Dentre os fatores expostos no quadro abaixo estão as características das operações (tipos, número, relações de dependência, continuidade e repetição), da força de trabalho (quantidade e habilidade requerida) e de execução (complexidade). Em todos eles, as formas geométricas definidas em projeto vão determinar as condições de execução da edificação, como também, as dimensões e características dos materiais.

Quadro 11 - Fatores essenciais da produtividade.

Fatores	Descrição
Tipos, número e relações de dependência entre as operações	Determinadas pelas formas geométricas, características da tecnologia selecionada em projeto, características dos materiais e componentes e da forma como são combinados para gerar o produto final.
Quantidade e habilidades requeridas da força de trabalho	Determinadas pelas formas geométricas e dimensões dos elementos de projeto, características tecnológicas dos produtos empregados; posicionamento dos elementos construtivos em planta e configuração da planta.
Complexidade de execução	Determinada por formas geométricas, dimensões e características de posicionamento e combinação dos materiais e componentes.
Continuidade entre operações	Determinada pelas formas geométricas, diversidade e características dos materiais e componentes empregados, compatibilidade dimensional e de características dos materiais e componentes.
Repetição de operações	Determinada pela coordenação e compatibilização dimensional e física dos materiais, pela incidência de elementos similares ou idênticos no projeto.

Fonte: Silva e Souza (2003).

Para contribuir para uma alta produtividade no processo de produção de uma edificação dois fatores são considerados bastante relevantes: a repetição e a continuidade de operações. Dentre as características desses dois fatores pode-se citar: a repetição de dimensões de vãos, a modulação de paredes, as dimensões de

peças estruturais e as dimensões de componentes de vedações (SILVA e SOUZA, 2003).

Além das características físicas definidas em um projeto e suas relações com o processo de produção, o projeto também pode determinar os custos finais de um empreendimento. Os custos de um edifício começam na etapa de projeto, se avolumam durante a fase de construção e podem variar quando em uso de acordo com a manutenção exigida. Tanto na fase de construção quanto na fase de utilização do imóvel os custos vão variar de acordo com as soluções adotadas em projeto (SILVA e SOUZA, 2003).

A qualidade de um produto, com foco no atendimento às necessidades dos clientes, tem no projeto o potencial para assegurar que isto aconteça, porém, depende de todas as fases seguintes, dentro do ciclo da qualidade, para se alcançar a sua adequação ao uso. As características aplicadas ao produto durante a fase de projeto podem, no entanto, não satisfazer às expectativas do cliente final. Segundo Levitt (1990), para atender as necessidades dos clientes, os produtos podem ser classificados em quatro níveis:

- 1) Produto genérico ou produto básico;
- 2) Produto esperado: produto básico mais as expectativas mínimas que o cliente tem sobre ele;
- 3) Produto aumentado: produto esperado mais fatores de diferenciação;
- 4) Produto potencial: todas as possibilidades latentes nos níveis anteriores.

Silva e Souza (2003) consideram que “a qualidade que o projeto determina é, antes de mais nada, relacionada ao desempenho do produto perante as necessidades dos clientes que o utilizam, e dos clientes internos do processo de desenvolvimento do produto”. Assim, um produto é considerado de alta qualidade quando se consegue identificar as reais necessidades dos clientes e incorporá-las nas características do produto.

2.3.3 Construção modular com bambu

2.3.3.1 Vantagens e desvantagens da construção com bambu

Com todas as possibilidades de uso do bambu, em vários campos de atividades, pode-se apontar algumas vantagens e desvantagens do uso do bambu, que irão determinar a sua aplicação e os cuidados necessários para a sua utilização e manutenção. De acordo com Minke (2010), algumas dessas vantagens e desvantagens estão relacionadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Vantagens e desvantagens do uso do bambu na construção.

Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • O bambu, como material construtivo, é um material leve e com bastante flexibilidade, se comparado com a madeira, o que é importante para a resistência de uma edificação quando sofre abalos sísmicos; • O material externo da casca do bambu oferece uma altíssima resistência à tração, comparável ao aço; • O crescimento do bambu é rápido e este pode ser utilizado para a construção a partir dos 4 a 6 anos; • Segundo as normas ISO 22156 e ISO 22157-2, são produzidos na Colômbia, por ano, considerando o material seco, 36 ton/ha de bambu contra 10,8 ton/ha de madeira, o que significa que o rendimento na produção do bambu por hectare é 3,3 vezes maior que o da madeira; • O bambu acumula CO₂; • O bambu possui uma baixíssima energia primária, resultando em uma pegada ecológica muito baixa; • O custo com corte e transporte é relativamente baixo; • O bambu não possui casca, como as árvores, para ser descascada; • Os galhos são fáceis de retirar; • O bambu laminado, utilizado no piso, demonstra uma grande resistência à abrasão.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • O seu comportamento estrutural pode variar muito dependendo da espécie, do terreno onde foi plantado, da idade, do teor de unidade e da parte do colmo (tronco) que foi utilizado; • O bambu é vulnerável à exposição de raios ultravioleta e à chuva, o que requer proteção durante o manejo, execução e manutenção; • O bambu é sensível ao ataque de insetos e fungos devendo receber tratamento contra eles; • Sua seção redonda e sua facilidade para rachar-se facilmente dificulta a execução de ligações e cortes de apoio; • Possui variações no diâmetro e espessura do colmo; • Dificilmente o colmo (tronco) cresce totalmente reto; • As ferramentas para o manuseio do bambu necessitam de mais afiação do que as de uso com a madeira; • O cálculo de estruturas e as permissões para construção com bambu são mais difíceis de se obter por não haver uma norma oficial.

Fonte: Minke, 2010.

Outras questões também dificultam a construção com bambu, como por exemplo, a falta de mão-de-obra especializada e de especificações técnicas sobre o bambu comercializado, temas abordados no Capítulo 6.

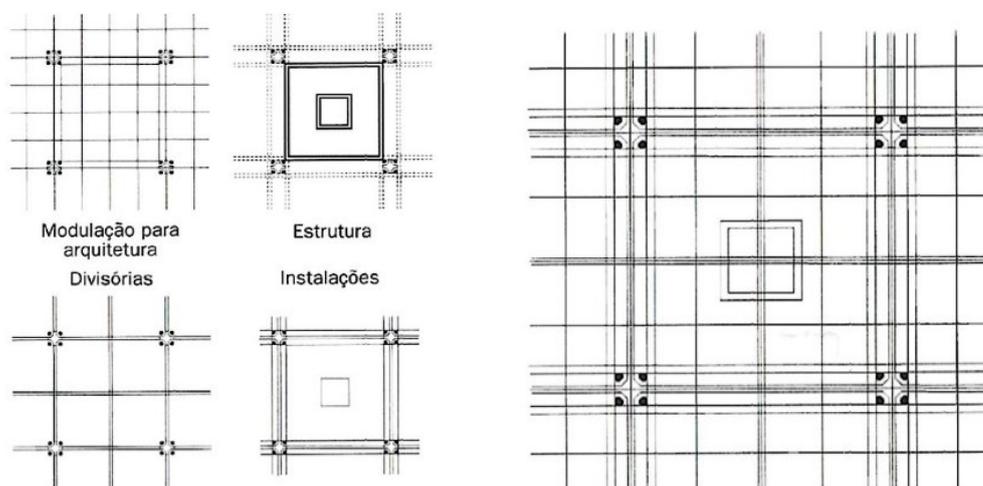
2.3.3.2 Sistemas modulares de construção

Para entender a complexidade de um sistema construtivo modular, é necessário compreender os vários processos que o envolvem. Serão tratados, neste item, para elucidação destes processos, alguns conceitos básicos. São eles: modulação, coordenação modular, pré-fabricação, industrialização da construção e construção modular.

A modulação, na construção civil, envolve várias questões, tais como, o número de componentes e as condições de fabricação, montagem e execução. Mais importante ainda, torna-se a conciliação de todos estes componentes, e etapas, em projeto. A partir deste modelo de construção, surge o conceito de coordenação modular, que compreende a coordenação de todos esses elementos, envolvendo aspectos importantes como a repetição e a organização (BRUNA, 2002).

Como exemplo de um projeto, coordenado modularmente, pode-se citar aqueles apresentados pela empresa Arup Associates, fundada na década de 1960, com uma equipe multidisciplinar de projetos de edificações, tendo como objetivo a “arquitetura total”, incluindo todos os elementos da construção, da estrutura às instalações. Para estruturar todos os elementos de uma edificação, a empresa desenvolveu uma técnica conhecida como “grelha tartã” (Figura 37), para integrar os sistemas da edificação, em um todo unificado (ADISS, 2009).

Figura 37 - Grelha tartã, Arup Associates.



Fonte: Addis (2009).

Algumas normas, que tratam da coordenação modular, podem ser citadas e estão relacionadas no Quadro 13, sendo que a Norma Brasileira ABNT NBR 15873:2010 veio substituir várias outras normas existentes anteriormente. Esta norma define os termos, o valor do módulo básico e os princípios da coordenação modular para edificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023).

Quadro 13 - Normas para coordenação modular (em vigor).

Norma	Título (nº páginas) / Comitê técnico	Idioma	Data de publicação
ABNT NBR 15873:2010	Coordenação modular para edificações (9 p.) / ABNT/CB-002 Construção Civil	Português	01/09/2010 Confirmada em 27/11/2018
ISO 21723:2019	Buildings and civil engineering works — Modular coordination — Module (8p.) / CT não mencionado	Inglês	03/09/2019
ISO 2848:1984	Building construction – Modular coordination – Principles and rules (5p.) / CT não mencionado	Inglês	01/04/1984
ISO 6511:1982	Building construction – Modular coordination – Modular floor plane for vertical dimensions (3p.) / CT não mencionado	Inglês	01/02/1982
ISO 3881:1977	Building construction — Modular co-ordination — Stairs and stair openings — Co-ordinating dimensions (2p.) / CT não mencionado	Inglês	01/08/1977
DIN 4172:2015 DE	Modular coordination in building construction (9p.) / CT não mencionado	Alemão	01/09/2015
BS ISO 21723:2019	Buildings and civil engineering works. Modular coordination. Module (16p.) / CB/-/8 CB/-/8	Inglês	09/09/2019
BS 6759:1986	Specification for modular coordination in Building (24p.) / B/554 Dimensions and Accuracy - Building construction	Inglês	29/08/1986
BS 5578-2: 978	Building construction – stairs – Part 2: Modular co-ordination: specification for co-ordinating dimensions for stairs and stair openings (8p.) / B/208 Stairs and walkways	Inglês	28/04/1978
ISO 3443-3: 987	Tolerances for building — Part 3: Procedures for selecting target size and predicting fit (12p.) / ISO/TC 59 Building construction	Inglês	19/02/1987
ISO 3443-1: 979	Tolerances for building — Part 1: Basic principles for evaluation and specification (2p.) / ISO/TC 59 Building construction	Inglês	01/06/1979
BS 6954-1:1988	Tolerances for Building – Part 1: Recommendations for basic principles for evaluation and specification (8p.) / B/554 Dimensions and Accuracy - Building construction	Inglês	29/02/1988
BS 6954-3:1988	Tolerances for Building – Part 3: Recommendations for selecting target size and predicting fit (16p.) / B/554 Dimensions and Accuracy - Building construction	Inglês	29/02/1988

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2023).

Tratando-se de uma construção modular é importante diferenciar os conceitos de pré-fabricação e industrialização. O termo industrialização está associado à ideia de organização e repetição, onde há a reprodução de modelos físicos, originando o conceito de produção em série. Esta produção, por sua vez, pode gerar produtos variados, através de mecanismos de automação, operando com diversos conteúdos de informação. Todo o processo, envolvendo o planejamento da produção, passa pelo estudo do produto a ser fabricado, sua industrialização, controle, comercialização e distribuição. A pré-fabricação de um componente pode ser considerada como uma fase da industrialização. Ela não está associada à produção em série, sendo que qualquer peça pode ser produzida em determinada quantidade, com um fim específico, não caracterizando uma produção industrial (BRUNA, 2002).

No caso da construção civil, vários componentes, ou mesmo módulos, podem ser pré-fabricados e montados no local, no todo ou em partes, formando, assim, componentes básicos de uma edificação. A partir deste modelo de construção, surge o conceito de construção modular, que pode ser constituída por unidades modulares de ambientes completos, ou parte deles, e unidades de serviço como banheiros, escadas e caixas de elevadores, apresentados na Figura 38 (LAWSON, 1999).

Figura 38 - Unidades modulares de construção.



Fonte: Lawson (1999).

As unidades modulares podem formar estruturas autoportantes, apoiadas umas nas outras, através da sua estrutura modular (Figura 39), como também, serem fixadas em um sistema estrutural independente (Figura 40a). Além disso, os elementos modulares também podem ser combinados com outros sistemas construtivos, sendo apoiados em uma estrutura independente de uma construção existente (Figura 40b). Alguns aspectos podem influenciar na escolha por uma construção modular: velocidade de construção no local, maior controle das operações durante a construção e repetições de componentes ou de ambientes (LAWSON, 1999).

Figura 39 - Unidades modulares formando estrutura autoportante. Instalação de módulo Yorkon.



Fonte: Lawson (1999).

Figura 40 – Unidades modulares apoiadas em estrutura independente: (a) Edifício Hong Kong Shanghai Bank, Hong Kong. (b) Acréscimo de varandas e painéis verticais em fachada.



(a)



(b)

Fonte: Lawson (1999).

2.3.3.3 Sistemas construtivos modulares com bambu

Com o intuito de elucidar alguns parâmetros estabelecidos para o desenvolvimento do sistema construtivo, foram relacionadas e descritas, neste item, algumas edificações consideradas de referência sob alguns aspectos. Os critérios utilizados para a escolha das edificações foram, inicialmente, a possibilidade de pré-fabricação dos elementos construtivos, a capacidade de agrupamento dos módulos estruturais em diversas situações (número de pavimentos e diversidade da composição, por exemplo), a valorização do bambu como elemento construtivo (deixando-o aparente e em destaque), a inserção de painéis de vedação pré-fabricados no contexto do sistema construtivo.

São apresentadas, a seguir, quatro propostas de sistemas construtivos modulares com a utilização do bambu, em que cada uma delas apresenta características que vão de encontro aos objetivos deste estudo. Como por exemplo, evidenciar o potencial arquitetônico do bambu como material construtivo e a sua capacidade de ser compatível com outros materiais, desenvolver tecnologias construtivas utilizando o bambu como material principal, evidenciar a importância da utilização de materiais renováveis na construção de edificações. O fato de se destacar estas edificações não exclui a relevância e a importância da contribuição de outras construções modulares em bambu já existentes.

Para cada edificação são explicitados os autores do projeto, sua localização, características gerais da proposta e os pontos que são considerados referência para este estudo.

2.3.3.3.1 *Edificação 1*

Este exemplo é uma proposta de sistema estrutural modular em bambu (Figura 41). Os módulos são confeccionados a partir de peças de bambu pré-fabricadas e conectadas através de amarrações com cordas (Figuras 42 e 43). Este sistema estrutural, desenvolvido pelo escritório chinês Penda, foi denominado “Canas Ascendentes” (“*Rising Canes*”), através do qual podem ser adicionados novos

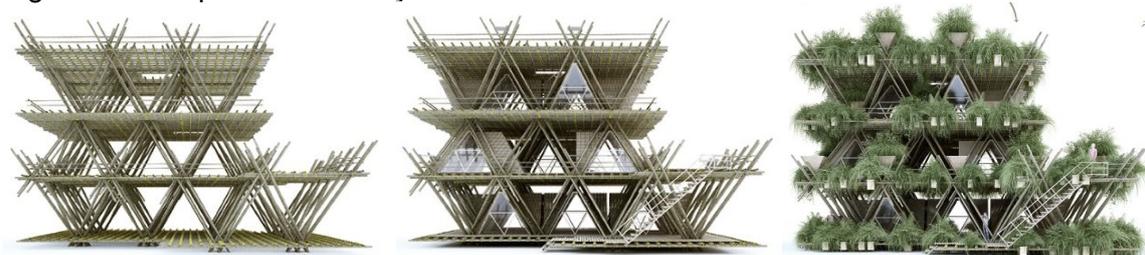
módulos a um conjunto anterior, formando vários ambientes e núcleos edificados, conforme Figura 44 (ENGENHARIA CIVIL, 2019).

Figura 41 - Sistema estrutural modular em bambu.



Fonte: Engenharia civil (2019).

Figura 42 - Etapas de construção do sistema modular.



Etapa 1

Etapa 2

Etapa 3

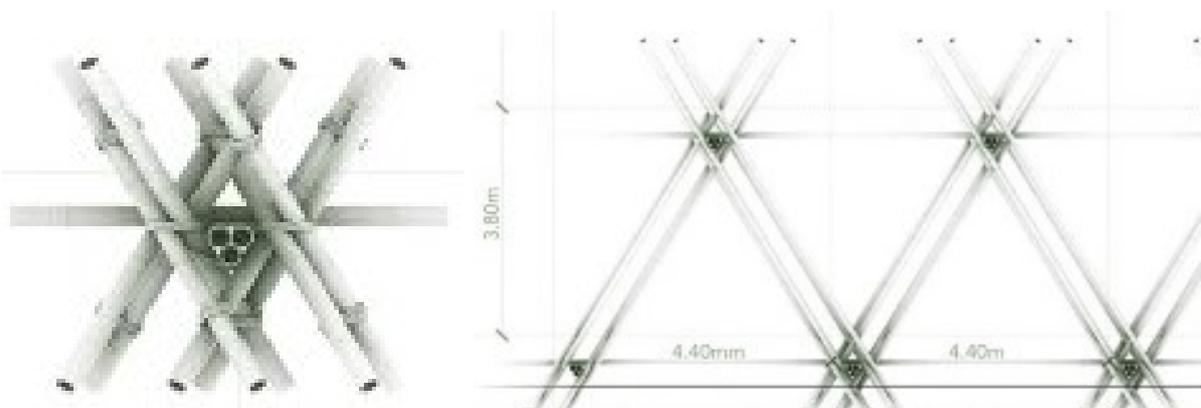
(1) Construção dos módulos estruturais; (2) Criação dos espaços internos;
(3) Acréscimo da vegetação ao conjunto.

Fonte: Engenharia civil (2019).

Figura 43 - Detalhes da estrutura.

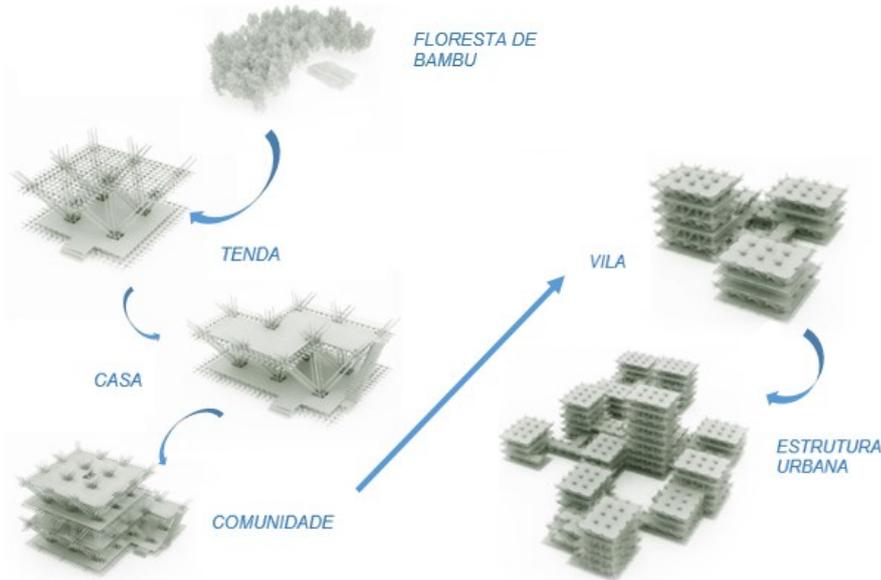
LIGAÇÕES

ESTRUTURA



Fonte: Engenharia civil (2019).

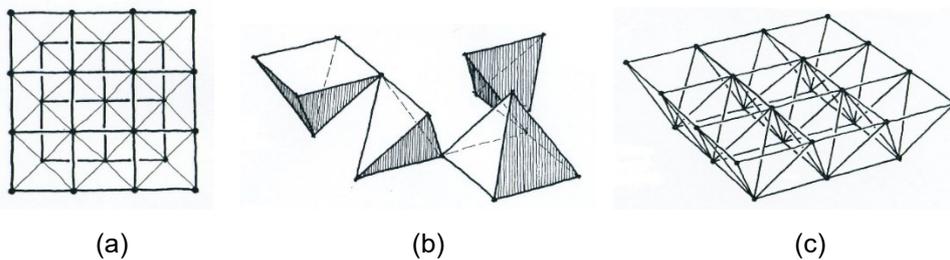
Figura 44 - Esquema de desenvolvimento dos módulos.



Fonte: Engenharia civil (2019).

O sistema estrutural, neste caso, parte de uma malha poliédrica, uma malha de pirâmides de base quadrada, que se desenvolve através da superposição de malhas de quadrados, duais entre si (Figura 45). É uma malha que possui oito arestas em cada nó, formando pirâmides de base quadrada e tetraedros regulares, com alta razão resistência/peso.

Figura 45 - Superposição de malhas de quadrados. (a) Projeção horizontal; (b) grupamento de poliedros; (c) grupamento apenas de arestas e nós.



Fonte: Sá, 1982.

O que chama a atenção neste projeto é a composição dos módulos de forma simples, podendo ser utilizado tanto para uma pequena edificação quanto para um conjunto aglomerado mais complexo, traduzindo-se em uma composição variada e harmoniosa (Figura 44). Sendo um sistema modular, a pré-fabricação dos

componentes se torna mais vantajosa, bem como a facilidade de montagem dos elementos construtivos.

Com relação ao tipo de ligação, esta é feita através de amarrações, de forma manual, o que pode facilitar em um primeiro momento, porém, pode também ocasionar um problema com relação à qualidade da mão de obra empregada e quanto desta mão de obra qualificada estará disponível.

Em síntese, destaca-se a simplicidade do sistema construtivo modular proposto e a sua facilidade em agrupar novos módulos em contextos diversos.

2.3.3.3.2 *Edificação 2*

A edificação projetada pelo Studio Cardenas (Figuras 46 e 47), localizada na China, teve como ponto principal as questões ambientais, tais como, minimização das emissões de carbono e proteção ambiental e, em consequência, a adequação da edificação ao local onde foi construída, valendo-se das condições ambientais locais e do uso de materiais naturais (SUSTENTARQ, 2019).

Figura 46 - Vista da edificação no panorama da região.



Fonte: Sustentarq (2019).

Para o projeto desta casa, inaugurada em 2016, foram considerados os seguintes tópicos: estrutura confeccionada em bambu; modularidade e industrialização dos componentes; organização dos espaços internos através do Feng Shui; refrigeração geotérmica (SUSTENTARQ, 2019).

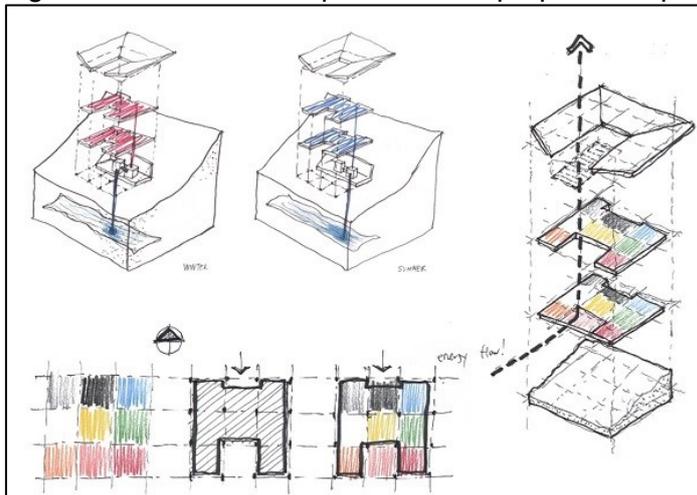
Figura 47 - Vista externa da edificação.



Fonte: Sustentarq (2019).

Para a organização dos espaços, os arquitetos basearam-se nos princípios do Feng Shui estabelecendo nove áreas específicas em cada andar. Assim, foi projetado um pátio interno e espaços internos com poucas paredes para que a energia e a ventilação possam fluir livremente nos ambientes. Outro fator considerado foi a minimização do uso de energia, onde foi utilizada água subterrânea acoplada a uma bomba geotérmica para aquecimento e resfriamento internos (Figura 48). (SUSTENTARQ, 2019).

Figura 48 - Desenho esquemático da proposta do projeto.



Fonte: Sustentarq (2019).

O sistema construtivo modular deste projeto é constituído por bambu industrializado associado a conexões de alumínio, com dimensões e geometria precisas (Figura 49). Todas as peças de bambu possuem o mesmo comprimento, buscando a padronização e um melhor controle de qualidade. Além disso, foi pensado

uma estrutura fácil de montar, para que pudesse ser feita por trabalhadores locais. (SUSTENTARQ, 2019).

Figura 49 - Detalhe da estrutura de bambu: pilares, vigas e ligações.



Fonte: Sustentarq (2019).

Alguns detalhes construtivos da edificação, como por exemplo, o sistema de fechamento através de painéis, a estrutura de bambu com reforço nas vigas e pilares e a estrutura de sustentação da escada interna estão apresentados na Figura 50.

Figura 50 - Vistas dos detalhes construtivos: a) fixação dos painéis na estrutura; b) amarração das vigas e pilares; c) estrutura da escada interna.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Sustentarq (2019).

Como referência para esta pesquisa, ressalto, neste projeto, a questão da padronização dos componentes do sistema construtivo, favorecendo a pré-fabricação e a industrialização dos elementos estruturais. Este é um fator bastante importante, que acredito ser fundamental para a popularização do uso do bambu em edificações. Esta popularização passa necessariamente pela credibilidade construtiva, assimilada pelo possível usuário, através do controle de qualidade do sistema construtivo promovido pela pré-fabricação dos elementos construtivos, entendendo-se que dessa forma todo o modelo já tenha sido pensado e solucionado tecnicamente. Uma das

questões pesquisadas neste estudo, através de entrevistas, é a insegurança das pessoas com relação à eficiência de um sistema construtivo com a utilização do bambu.

2.3.3.3.3 *Edificação 3*

Elaborado pela empresa Eleena Jamil Architect, localizada na Malásia, este projeto é proposto com a utilização de materiais como concreto, aço e tijolo, em conjunto com o bambu aplicado na estrutura dos pisos e da cobertura das residências (Figura 51), (DESIGNBOOM, 2019).

Figura 51 - Vista panorâmica do empreendimento (Projeto).



Fonte: Designboom (2019).

O empreendimento é composto por unidades habitacionais moduladas organizadas de forma linear e por ambientes de convivência (Figura 52). Os componentes de bambu estão estruturados entre as paredes limites das unidades habitacionais e sustentam toda a edificação (DESIGNBOOM, 2019).

Figura 52 - Vistas das áreas internas do condomínio e vista frontal dos módulos habitacionais (Projeto).



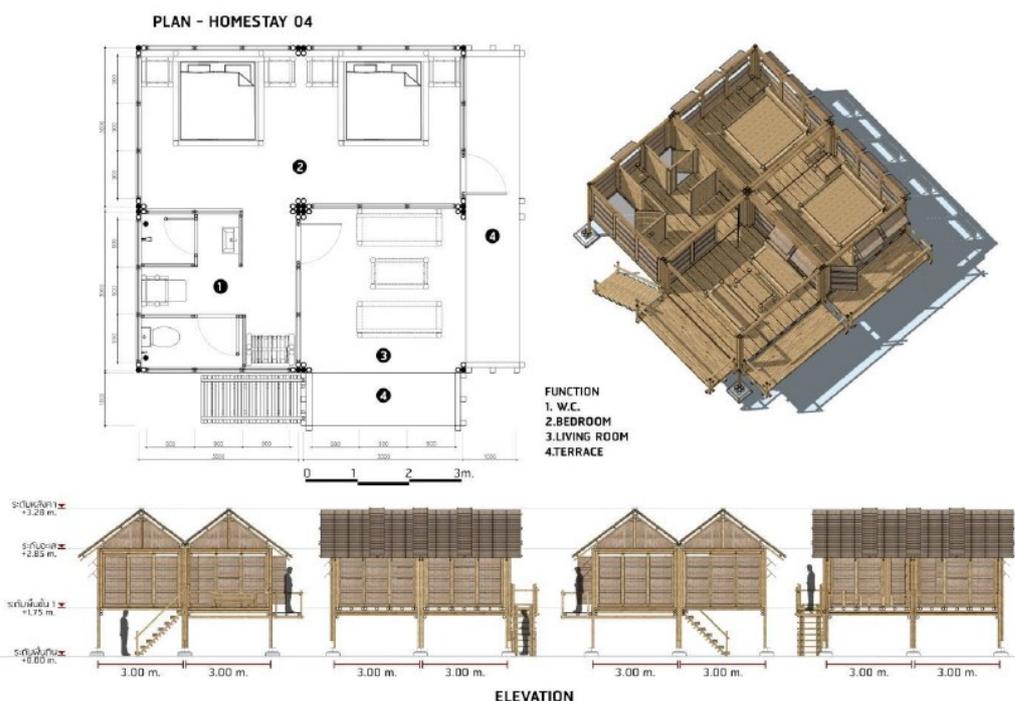
Fonte: Designboom (2019).

Neste projeto, o que é observado como referência para esta pesquisa é a integração do bambu como elemento construtivo, juntamente com outros materiais. Como também, a inserção do bambu em um contexto urbano, em um empreendimento que pode estar localizado em qualquer região e de qualquer classe social. O bambu, neste caso, foi enaltecido como um material nobre estruturalmente e de grande valor estético.

2.3.3.3.4 Edificação 4

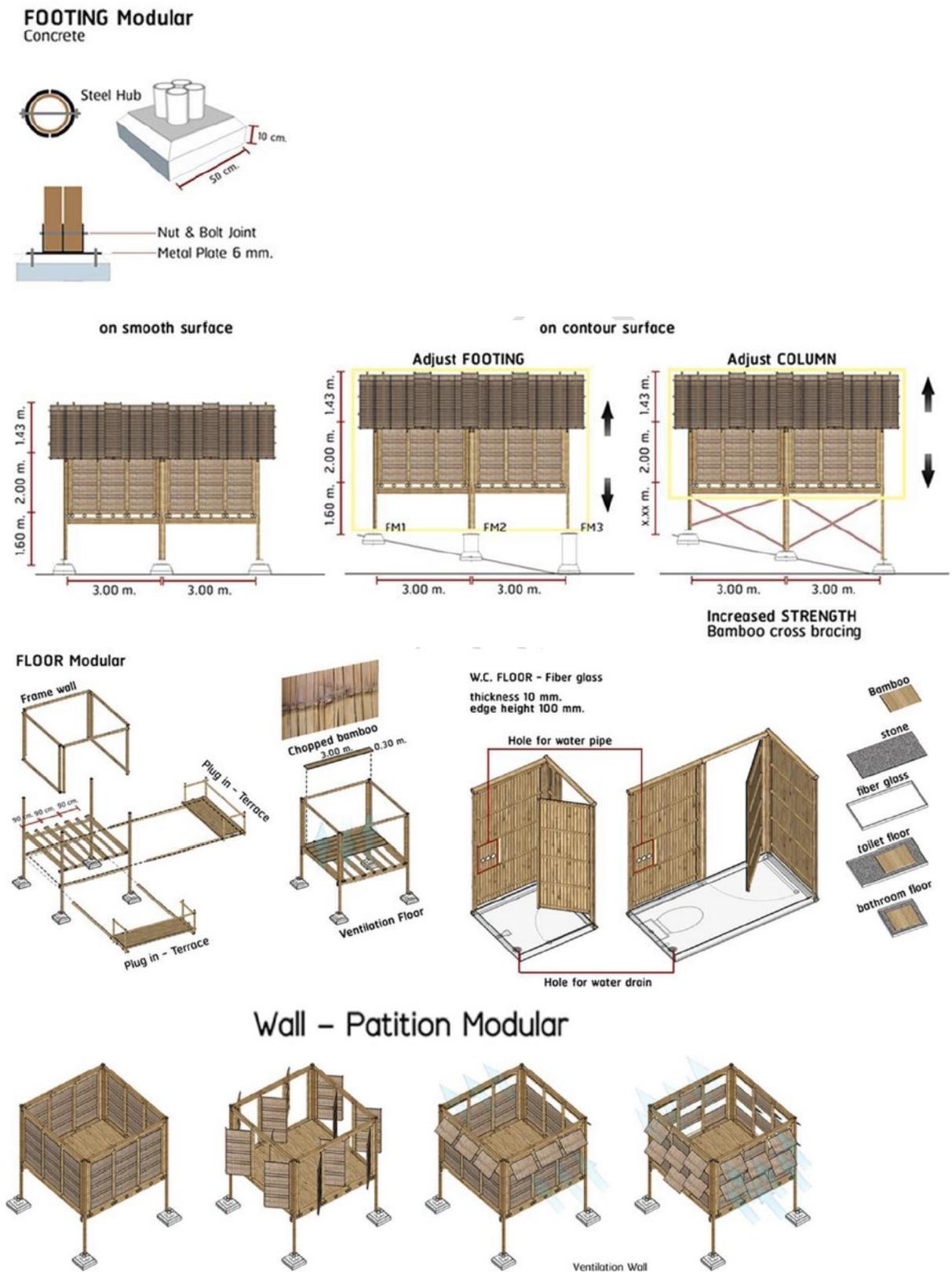
Neste projeto são desenvolvidos módulos habitacionais com todos os elementos construtivos em bambu. Foi projetado por arquitetos na Rangsit University, Tailândia, com o objetivo de atender a uma população local, que pudesse utilizar este sistema construtivo como alternativa econômica para *homestay* (turismo em casa de famílias nativas). São apresentados nas Figuras 53 e 54 o detalhamento do sistema construtivo modular e uma opção de agrupamento com quatro módulos (BUNYAVIPAKUL, 2018).

Figura 53 - Opção de agrupamento com quatro módulos.



Fonte: Bunyavipakul (2018).

Figura 54 - Detalhes da fixação da estrutura no solo e aspectos construtivos de piso e parede.



Fonte: Bunyavipakul (2018).

2.3.3.3.5 *Parâmetros relativos aos sistemas construtivos apresentados*

Nos projetos das edificações acima relacionadas, podem ser destacados alguns parâmetros que foram utilizados como referência para esta pesquisa e estão relacionados no Quadro 14.

Quadro 14 - Parâmetros de referência relacionados às edificações.

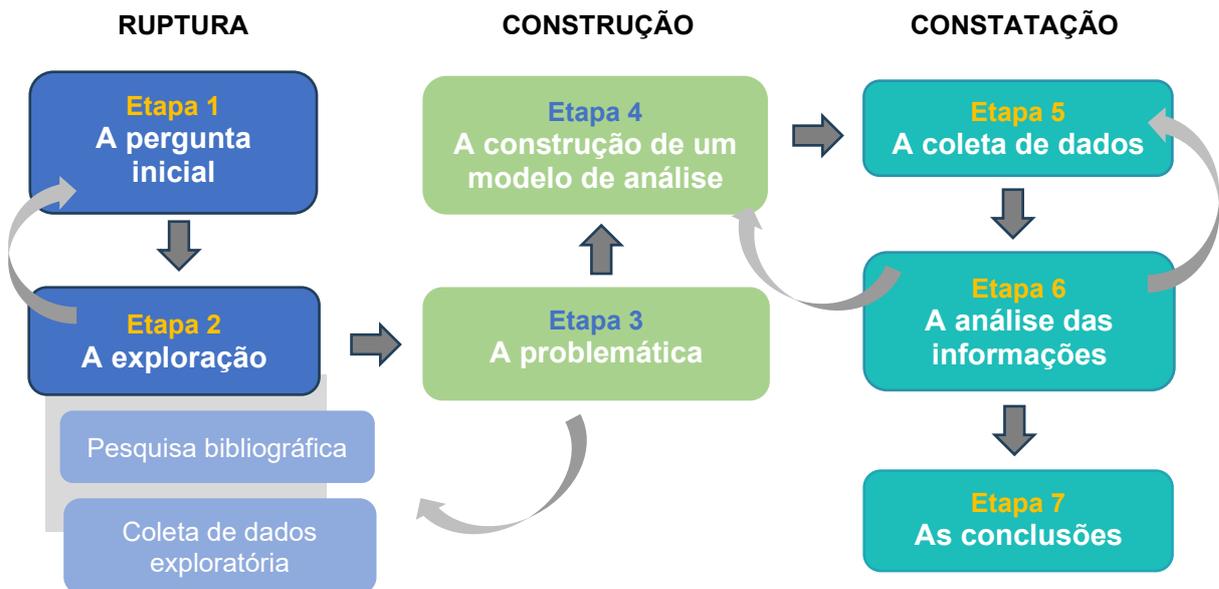
Projeto	Parâmetros de referência
Edificação 1	Simplicidade do sistema construtivo modular
	Facilidade em agrupar novos módulos em contextos diferentes
Edificação 2	Padronização dos componentes do sistema construtivo, favorecendo a pré-fabricação dos elementos estruturais
Edificação 3	Integração do bambu como elemento construtivo juntamente com outros materiais
	Inserção do bambu em um contexto urbano, em um empreendimento que pode estar localizado em qualquer região e de qualquer classe social
	O bambu enaltecido como um material nobre estruturalmente e de grande valor estético
Edificação 4	Projeto do módulo com o sistema construtivo completo
	Possibilidade de assentamento dos módulos em terrenos planos ou inclinados
	Utilização do bambu em todos os elementos construtivos

Fonte: Autora (2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa segue etapas de acordo como as descritas por Quivy e Campenhoudt (1995), apresentado na Figura 55.

Figura 55 - Etapas da pesquisa.



Fonte: Quivy e Campenhoudt (1995).

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho foi definido em três etapas de pesquisa: o estudo exploratório, a proposta e avaliação do sistema construtivo, e um estudo comparativo. Para o estudo exploratório foram realizados: pesquisa bibliográfica, entrevistas, visitas técnicas, pesquisa de campo e estudo das técnicas construtivas com bambu. Esta etapa foi realizada durante todo o período da pesquisa, como apoio ao estudo. A segunda etapa engloba o desenvolvimento da proposta do sistema construtivo, incluindo o levantamento das construções locais, simulações computacionais, maquete e avaliações do sistema proposto, através da avaliação de desempenho e da viabilidade construtiva na região. A última etapa, definida como estudo comparativo, tem como objetivo, comparar os resultados encontrados para o sistema construtivo proposto com edificações locais, consideradas representativas na região.

No Quadro 16 estão relacionados os objetivos específicos da pesquisa e os procedimentos metodológicos utilizados para alcançá-los.

Quadro 15 - Descrição das etapas de pesquisa.

Objetivo Geral		
Avaliar a aplicabilidade do bambu como material construtivo em região de zona bioclimática 1, através da proposição de um sistema construtivo modular e da simulação do desempenho térmico de painéis verticais de bambu		
Objetivos Específicos	Procedimentos Metodológicos	Resultados Esperados
ESTUDO EXPLORATÓRIO		
Pesquisar o bambu como material construtivo e seu potencial arquitetônico	Estudo e pesquisa das técnicas construtivas com bambu;	Conhecimento sobre o material bambu;
	Pesquisa bibliográfica – Livros, artigos, teses e dissertações, literatura técnica; Pesquisa de campo – Entrevistas com moradores locais – Verificar o conhecimento que os usuários possuem sobre o bambu como material construtivo e sua utilização na arquitetura. Entrevistas com arquitetos e engenheiros civis que utilizam o bambu em suas construções; Visita Técnica a edificações construídas com bambu no todo ou em parte; Visita a Institutos de Pesquisa	Conhecimento das técnicas construtivas com bambu já existentes; Verificação do uso do bambu em projetos de arquitetura, já utilizados por arquitetos para a região em estudo.
	Levantamento para verificação das melhores espécies de bambu para plantio em região de zona bioclimática 1 e sua utilização em arquitetura no local	Divulgação das espécies mais indicadas para utilização do bambu na arquitetura, na região.
PROPOSTA E AVALIAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO		
Propor sistema construtivo modular com utilização do bambu, também compatível com materiais utilizados na região	Pesquisa de Campo para identificação das construções mais comuns e dos materiais mais utilizados na região	Elaboração de sistemas construtivos que possam ser avaliados quanto ao seu desempenho em região de zona bioclimática 1
	Desenvolvimento das propostas dos sistemas construtivos , compatível com a região	
Avaliar o sistema construtivo, sob o ponto de vista do atendimento às condições mínimas de desempenho Verificar a viabilidade construtiva do sistema construtivo proposto na região de estudo	Simulação computacional – Simulação das propostas do sistema construtivo, com combinações variadas para os elementos de fechamento – piso, parede e cobertura. Maquete – Maquete em escala reduzida para auxílio na tomada de decisão no desenvolvimento da proposta do sistema construtivo.	Escolha de um sistema construtivo que possa ser construído na região de estudo para avaliação e análise dos seus componentes.
	Avaliações: 1. Atendimento das condições mínimas de desempenho : verificação de acordo com a Norma ABNT NBR 15.575:2013, considerando alguns tópicos da norma; 2. Viabilidade construtiva : produtos disponíveis, parâmetros de projeto e construção;	Estudo da melhor opção construtiva que responda à pergunta de pesquisa.
ESTUDO COMPARATIVO		
Comparar o sistema construtivo proposto com edificações locais, considerando o seu desempenho térmico	Comparação entre os painéis de bambu e outros materiais regionais considerando o seu desempenho térmico .	Desenvolvimento de novas tecnologias para associação e combinação dos elementos construtivos.

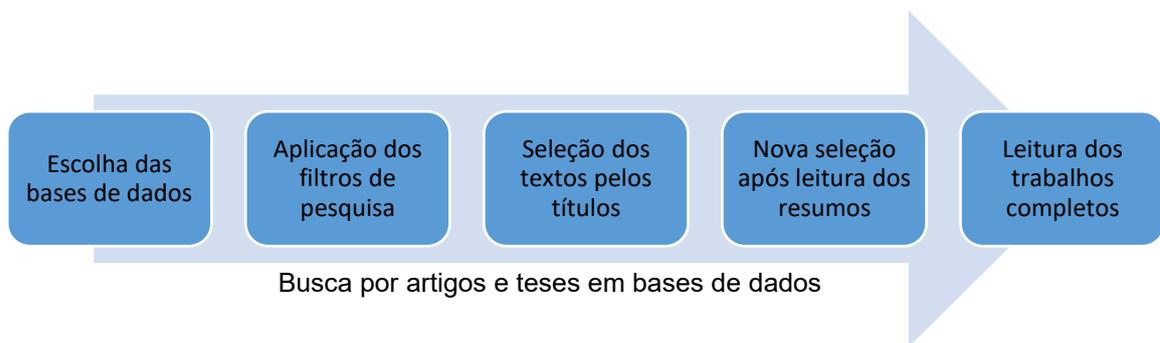
Fonte: Autora (2018).

3.1.1 Estudo exploratório

3.1.1.1 Pesquisa bibliográfica

A revisão de literatura foi realizada em duas etapas: a) revisão sistemática em teses e artigos relacionados ao tema pesquisado, com o intuito de identificar lacunas do conhecimento em áreas específicas do estudo; b) revisão de conteúdo para fundamentar os elementos de pesquisa e o desenvolvimento da proposta de estudo. Na Figura 56 são apresentados os procedimentos para a realização da busca sistemática.

Figura 56 - Procedimentos para revisão sistemática da literatura.



Fonte: Autora (2018).

3.1.1.2 Pesquisa de campo

3.1.1.2.1 Entrevistas

Foram realizadas entrevistas com moradores locais, com residência na região de estudo, com foco no conhecimento do bambu como material construtivo e na aceitação do uso deste material em edificações. O roteiro de entrevistas e a metodologia para a aplicação das mesmas foram submetidos ao Comitê de Ética para Pesquisa com Seres Humanos, e aprovados sob parecer número 2.949.810 (UFSC) e CAEE 97161818.4.0000.0121.

3.1.1.2.2 *Visitas técnicas*

As visitas técnicas são destinadas a um maior conhecimento sobre a aplicação do material bambu, como material construtivo, em edificações que possam contribuir para o desenvolvimento da pesquisa. Para tanto, algumas edificações foram escolhidas, observando o seguinte critério: a) localização; b) tipo de construção.

Em função da localização, foram escolhidas edificações localizadas no Planalto sul Catarinense, na região metropolitana de Florianópolis e região sul do Estado. Este critério foi estabelecido por questões de logística e custos de viagem. Os locais escolhidos ficam próximos à base de estudos, bem como a região do Planalto ser a região de estudo.

Com relação ao tipo de construção, foi levado em consideração, edificações que possuíam até dois pavimentos e que, pelo menos, utilizassem o bambu em sua estrutura.

3.1.1.2.3 *Visitas a Institutos de Pesquisa*

No caso das visitas aos Institutos de Pesquisa, o foco foi o acervo de bambus plantados e a pesquisa das espécies compatíveis com a região de estudo. O Instituto visitado foi a *Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento dos Agronegócios do Bambu*, em Tatuí/SP.

3.1.2 **Proposta e avaliação do sistema construtivo**

3.1.2.1 Levantamento das construções locais

A identificação das edificações locais tem como objetivo conhecer, de maneira geral, o modo de vida das pessoas através da forma como ocupam e constroem os seus espaços. Isso nos dá uma dimensão da situação social e econômica do local, o que reflete diretamente nas suas necessidades e expectativas com relação à ocupação dos seus espaços.

Considerando se tratar de uma cidade pequena, a área delimitada para o levantamento das construções foi o perímetro urbano, com ênfase no sentido de crescimento da cidade para poder verificar a evolução das construções através do tempo.

Com relação ao estudo das tipologias construtivas, foi feito um mapeamento das construções nas vias urbanas, identificando os materiais utilizados na sua construção, os elementos de fachada, o tipo de cobertura e a base da edificação.

Após o levantamento das construções, com os dados sistematizados, foram consideradas edificações representativas aquelas que possuíam elementos comuns, que por sua vez, foram identificados com maior repetição. Ou seja, características comuns encontradas na maior parte das edificações.

3.1.2.2 Diretrizes e estratégias para concepção do sistema construtivo

Seguindo a ideia de uma arquitetura evolutiva, com possibilidade de agregação de espaços dentro de um mesmo conceito construtivo e de agregar espaços em ambientes já construídos, optou-se por um sistema modular, onde vários tipos de módulos possam ser agrupados e remanejados de acordo com as necessidades dos usuários.

Adotando a proposta do sistema construtivo modular, foram estipuladas as seguintes premissas para a elaboração sistema construtivo:

- a) A possibilidade de pré-fabricação dos elementos construtivos;
- b) Adequação dos elementos de fechamento, em composição com o sistema estrutural proposto;
- c) A viabilidade de montagem e desmontagem dos módulos para utilização em locais variados;
- d) A adaptabilidade do sistema modular proposto com relação à composição deste sistema com outros materiais utilizados na região;
- e) A flexibilidade do sistema modular com relação à proposta de uma arquitetura evolutiva, podendo ser objeto de acréscimos considerando o mesmo sistema de módulos, como também ser uma opção de acréscimo em edificações já existentes.

O desenvolvimento do projeto do sistema construtivo modular foi estruturado em 3 etapas: Etapa 1 – Elaboração dos módulos estruturais; Etapa 2 – Composições dos módulos; Etapa 3 – Proposta do sistema construtivo (Quadro 17).

Quadro 16 - Etapas de desenvolvimento do sistema construtivo.

Etapas	Descrição
Etapa 1 – Módulos	Elaboração dos módulos estruturais a partir dos conceitos de modularidade arquitetônica e padrões existentes na natureza.
Etapa 2 – Composições dos módulos	Elaboração de modelos de agrupamentos a partir dos módulos propostos; Verificação dos tipos de ligações geradas.
Etapa 3 – Proposta do sistema construtivo	Elaboração do projeto do sistema construtivo, considerando os sistemas estrutural, de cobertura, de fechamento e de piso; Verificação das possibilidades construtivas para instalações hidráulicas e elétricas.

Fonte: Autora (2018).

O processo de projeto para a elaboração da proposta do sistema construtivo partiu do levantamento das construções locais, na região definida para o estudo. Este levantamento proporcionou o conhecimento sobre o tipo de construção feita na região, dando subsídios para a avaliação do processo de evolução construtiva.

De acordo com as características construtivas encontradas, foi definido o tipo de sistema construtivo a ser adotado. A partir da construção de uma maquete, foram desenvolvidos os detalhes construtivos da proposta. Dentre todos os elementos da composição arquitetônica, foi escolhido um componente para o estudo específico, que, no caso, foram os painéis verticais não estruturais.

O foco do estudo dos painéis foi a avaliação de desempenho destes painéis, dentro do contexto arquitetônico proposto. Com a definição do estudo de desempenho, foram delimitados os tópicos de pesquisa a partir das exigências dos usuários definidas na Norma ABNT NBR 15575:2013.

3.1.2.3 Avaliação do sistema construtivo

A proposta do sistema construtivo foi avaliada sob dois aspectos: a) atendimento das condições mínimas de desempenho de acordo com a Norma ABNT

NBR 15575:2013, considerando alguns tópicos da norma; b) viabilidade construtiva na região de estudo.

3.1.2.3.1 *Avaliação de desempenho*

Para a avaliação de desempenho foi feita uma análise dos fatores e requisitos apresentados na Norma ABNT NBR 15575 e verificado os tópicos pertinentes à pesquisa. Dentre estes tópicos, alguns foram avaliados segundo critérios de análise de projeto e outros foram avaliados em estudo específico.

3.1.2.3.2 *Viabilidade construtiva*

A viabilidade construtiva do sistema modular proposto foi avaliada sob os seguintes aspectos: oferta e disponibilidade dos produtos em Santa Catarina; parâmetros de projeto e execução dos painéis de bambu.

3.1.3 **Estudo comparativo**

O estudo comparativo foi realizado através dos resultados obtidos do desempenho térmico dos painéis verticais de bambu e de outros materiais de fechamento utilizados na região de estudo, segundo levantamento das construções.

3.1.4 **Tratamento dos dados e análise dos resultados**

Os dados têm tratamento quantitativo e qualitativo. A análise quantitativa foi feita através de tabelas e gráficos e estudos estatísticos, a partir dos dados coletados no levantamento das construções locais, nas medições em laboratório e na simulação computacional. A avaliação qualitativa foi feita através da análise de conteúdo, primeiro com as entrevistas, na etapa do estudo exploratório e, em seguida, com os resultados alcançados com a avaliação do sistema construtivo proposto e com o estudo comparativo com as edificações locais.

3.2 MATERIAIS

No Quadro 15 estão relacionados os materiais, os equipamentos, os programas computacionais e os laboratórios envolvidos, associados às atividades desenvolvidas.

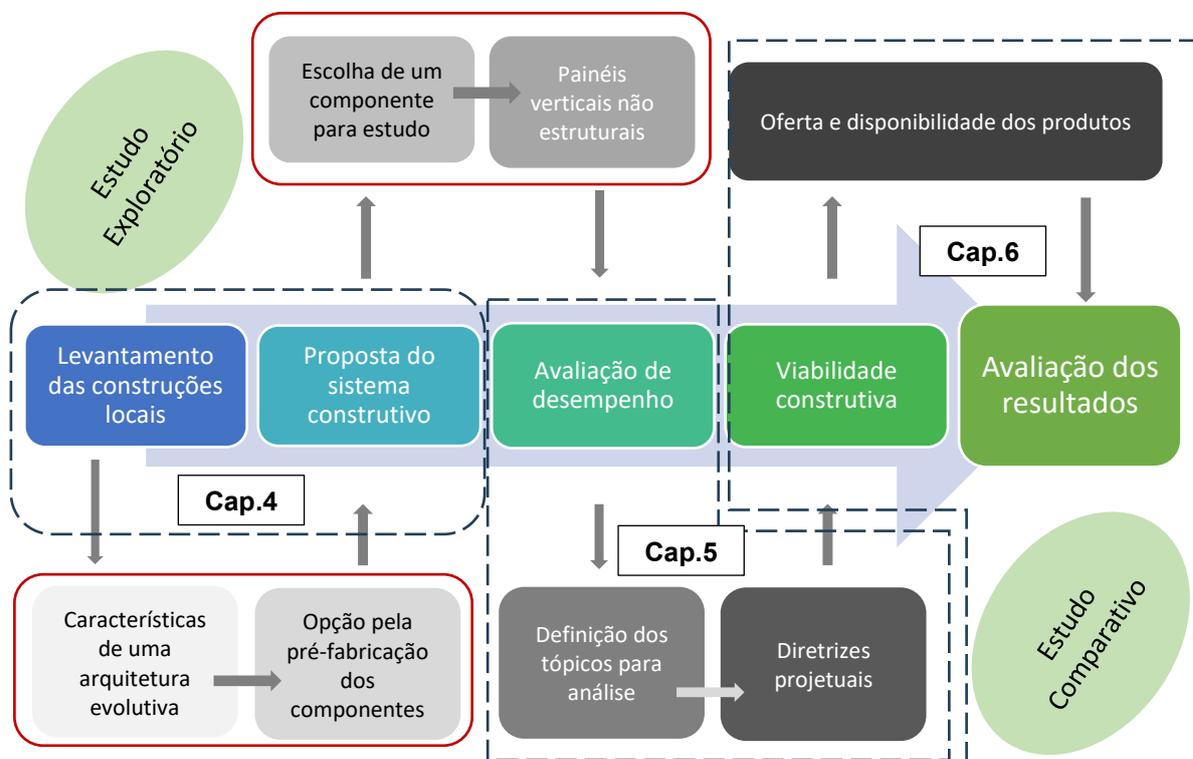
Quadro 17 - Materiais, equipamentos, programas computacionais e laboratórios.

	Atividades	Materiais	Equipamentos	Programas computacionais	Laboratórios envolvidos	
Levantamento das construções locais	Coleta de dados através de imagens das construções			Google Earth Pro Google maps – <i>street view</i>		
	Desenhos			Autocad		
	Análise dos resultados - Gráficos			Excel		
Projeto do sistema construtivo	Maquete	Papelão Papel sulfite Palito de bambu Papel ondulado colorido Cola				
	Desenhos			Autocad		
Avaliação de desempenho	Des. térmico	Simulação computacional			EnergyPlus 22.2.0	
		Análise dos resultados			Excel	
		Medição 1	Colmos de bambu – Espécie <i>Dendrocalamus asper</i>			LabTermo (Ufsc)
		Medição 2	Colmos de bambu – Espécie <i>Dendrocalamus asper</i> Argamassa			
		Medição 3	Painel de bambu laminado colado			
		Medição 4	Colmos de bambu – Espécie <i>Guadua chacoensis</i>			
		Medição 5	Colmos de bambu – Espécie <i>Guadua chacoensis</i> Argamassa			
		Coleta e tratamento dos bambus	Colmos de bambu Ácido bórico Tonel metálico de 200l			LabRestauro (Ufsc)
		Cortes e lixamento do bambu	Colmos de bambu	Serra fita Serra esquadrejadeira Lixadeira de cinta		Maquetaria (Ufsc)

Fonte: Autora (2023).

Na Figura 57 está representado o encadeamento do desenvolvimento da pesquisa, bem como algumas tomadas de decisão durante o processo.

Figura 57 - Processo de desenvolvimento da pesquisa.

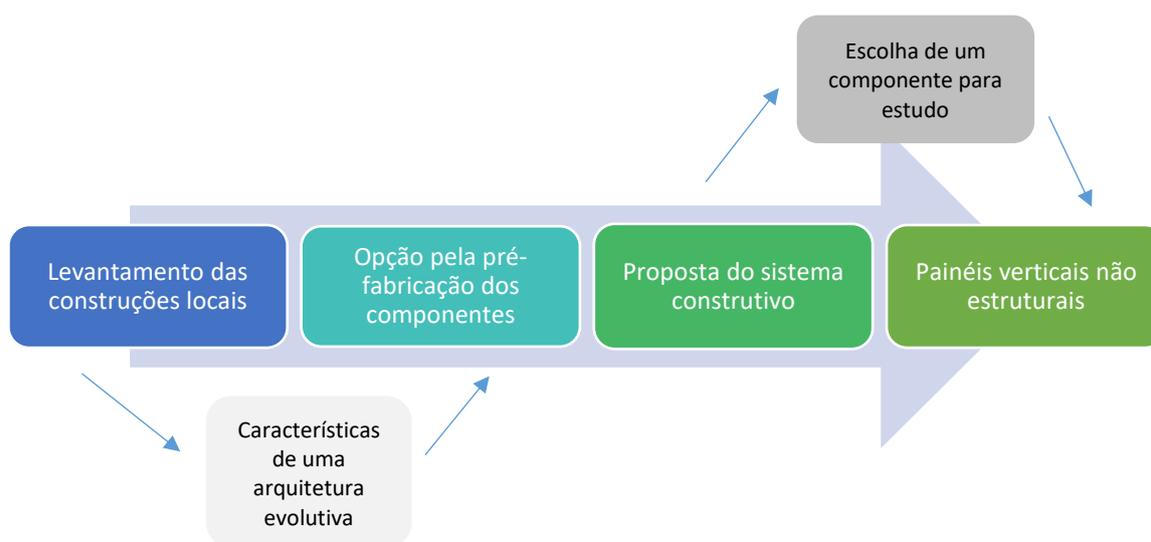


Fonte: Autora (2023).

4 PROPOSTA DE EDIFICAÇÃO MODULAR EM BAMBU

A edificação modular em bambu, objeto deste estudo, foi proposta levando-se em consideração as construções existentes na região. Na Figura 58 é apresentado o encaminhamento das atividades desenvolvidas durante a pesquisa, sendo que parte do processo, descrito neste capítulo, está demarcada com a linha tracejada. As características encontradas nas construções locais nortearam o desenvolvimento da proposta do sistema construtivo. Após a análise do projeto elaborado, foi definido o componente da edificação para estudo específico.

Figura 58 – Etapas de pesquisa descritas neste capítulo.



Fonte: Autora (2023).

De acordo com o diagrama acima, as construções locais apresentaram, segundo levantamento, características de uma arquitetura evolutiva. Em função destas características, optou-se por uma arquitetura modular a partir da pré-fabricação dos seus componentes. Sendo que os componentes escolhidos para análise foram os painéis verticais não estruturais, desenvolvidos na proposta.

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS CONSTRUÇÕES LOCAIS

Conhecer as características construtivas na região de estudo é importante para verificar as técnicas aplicadas e os materiais comumente utilizados. Estas informações contribuíram para o desenvolvimento da proposta do sistema construtivo, como também, foram determinantes para a realização do estudo comparativo da edificação em bambu com as construções locais. Sendo assim, é apresentado aqui o levantamento das edificações na região de estudo, com a delimitação da área pesquisada e os resultados encontrados.

4.1.1 Levantamento das construções locais

O reconhecimento e identificação das edificações locais tem como objetivo verificar as principais características das construções locais e identificar as necessidades dos moradores com relação aos ambientes em que vivem. Feito este levantamento, algumas edificações foram escolhidas para a realização do estudo comparativo com o sistema construtivo modular proposto.

Inicialmente foi feito um reconhecimento do perímetro urbano da cidade e definido qual seria o foco da pesquisa com relação às áreas nas quais seriam feitos os levantamentos das construções. Em seguida, a identificação das tipologias construtivas e os materiais utilizados nas edificações. Após a análise dos dados levantados foram definidas as tipologias construtivas que norteariam a escolha das edificações para constarem do estudo comparativo, nesta pesquisa.

4.1.1.1 Delimitação da área pesquisada

Bom Jardim da Serra é um município com o predomínio da área rural, porém, foi definido a área urbana para o levantamento das construções, por entender que neste espaço estão concentrados os vários tipos de edificações, onde são realizadas diversas atividades: institucionais, comerciais, residenciais, educacionais e de lazer (Figura 59).

Figura 59 – Município de Bom Jardim da Serra, área urbana.



Fonte: Prefeitura Municipal de Bom Jardim da Serra (2019a).

Para o levantamento das construções locais foi feito, inicialmente, uma setorização da área urbana em função das suas características de ocupação, estando assim, para efeito deste estudo, o perímetro urbano dividido em quatro áreas. Estas foram assim denominadas: a) Área central; b) Área 1; c) Área 2; d) Área 3 (Figura 60).

Figura 60 – Setorização da área urbana do Município de Bom Jardim da Serra.



Fonte: Prefeitura Municipal de Bom Jardim da Serra (2019a). Marcações: Autora.

Em seguida, foram determinadas, em cada área, as ruas que seriam objeto de estudo, de acordo com as suas características. Para a sistematização dos dados foi feito, primeiramente, o levantamento em cada setor (Área Central, 1, 2 e 3) e identificado os aspectos principais de cada um. Posteriormente, os dados foram compilados e traduzidos em uma síntese das principais características construtivas da área urbana pesquisada.

A Área Central, representada pela letra C e contorno vermelho no mapa (Figura 60), é onde estão concentradas as atividades administrativas do município (prefeitura e órgãos municipais e estaduais), o comércio principal (banco, supermercados, lojas, posto de gasolina e prestação de serviços), bem como residências, igreja, escola, clube recreativo e pousadas.

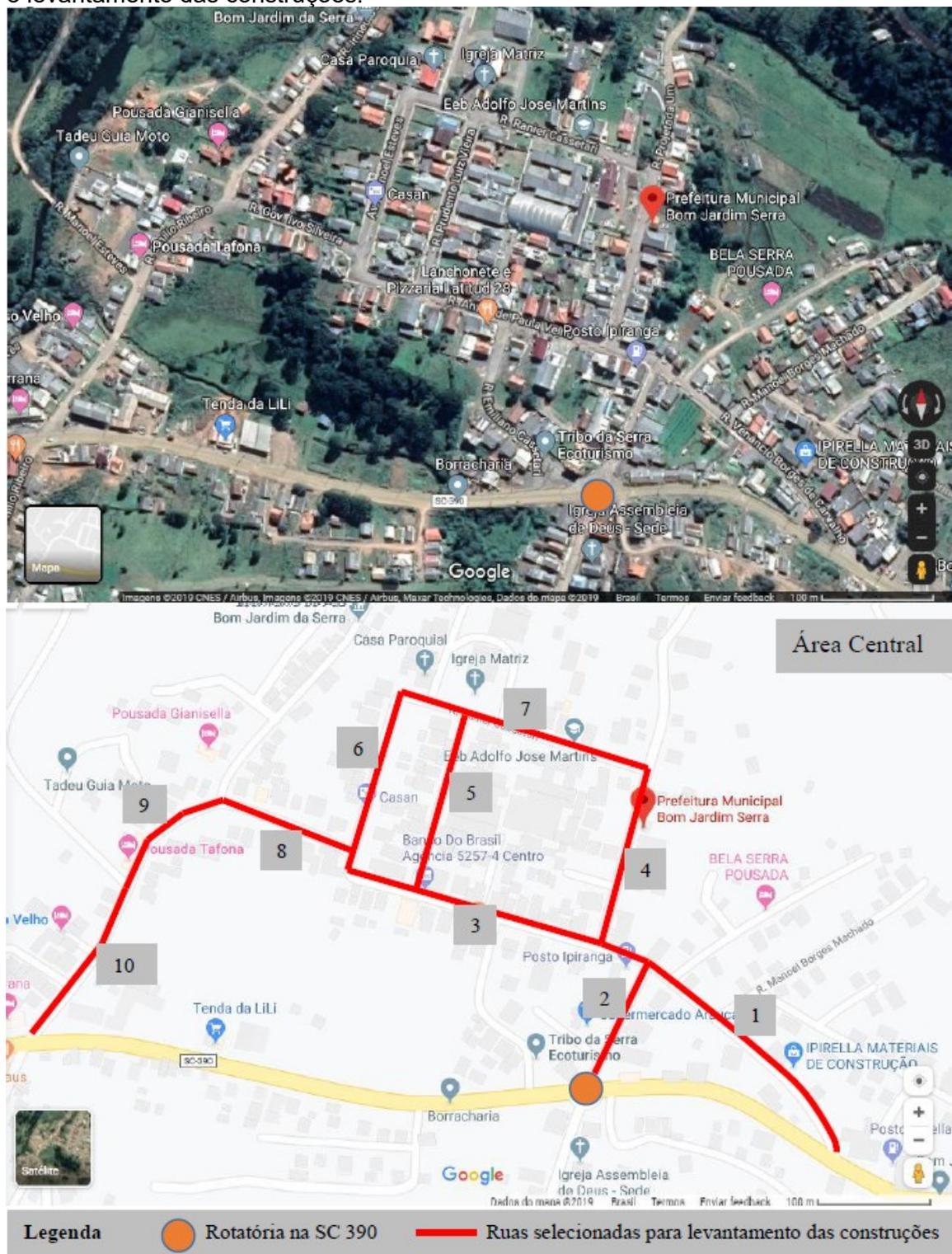
As ruas escolhidas para o levantamento das construções na Área Central estão identificadas, em cor vermelho, no mapa da Figura 61. Estas ruas são representativas, neste setor, por conter edificações com várias destinações de uso e representam a evolução da cidade no decorrer do tempo, sendo os primeiros espaços a serem ocupados na cidade.

A numeração dos trechos de 1 a 10, demarcados nas ruas em vermelho, representa a ordem de descrição do levantamento e que, por sua vez, também apresentam características próprias de ocupação.

A Área 1, representada pelo número 1 e contorno verde no mapa (Figura 60), é a chegada à cidade pela Rodovia SC 390 vindo de Lauro Müller, passando pela Serra do Rio do Rastro. Esta área caracteriza-se por construções em torno da rodovia, composta por residências, pousadas, pequeno comércio (pontos de venda na beira da rodovia, lanchonetes e restaurantes), CTG (onde se realizam eventos e feiras) e madeireira.

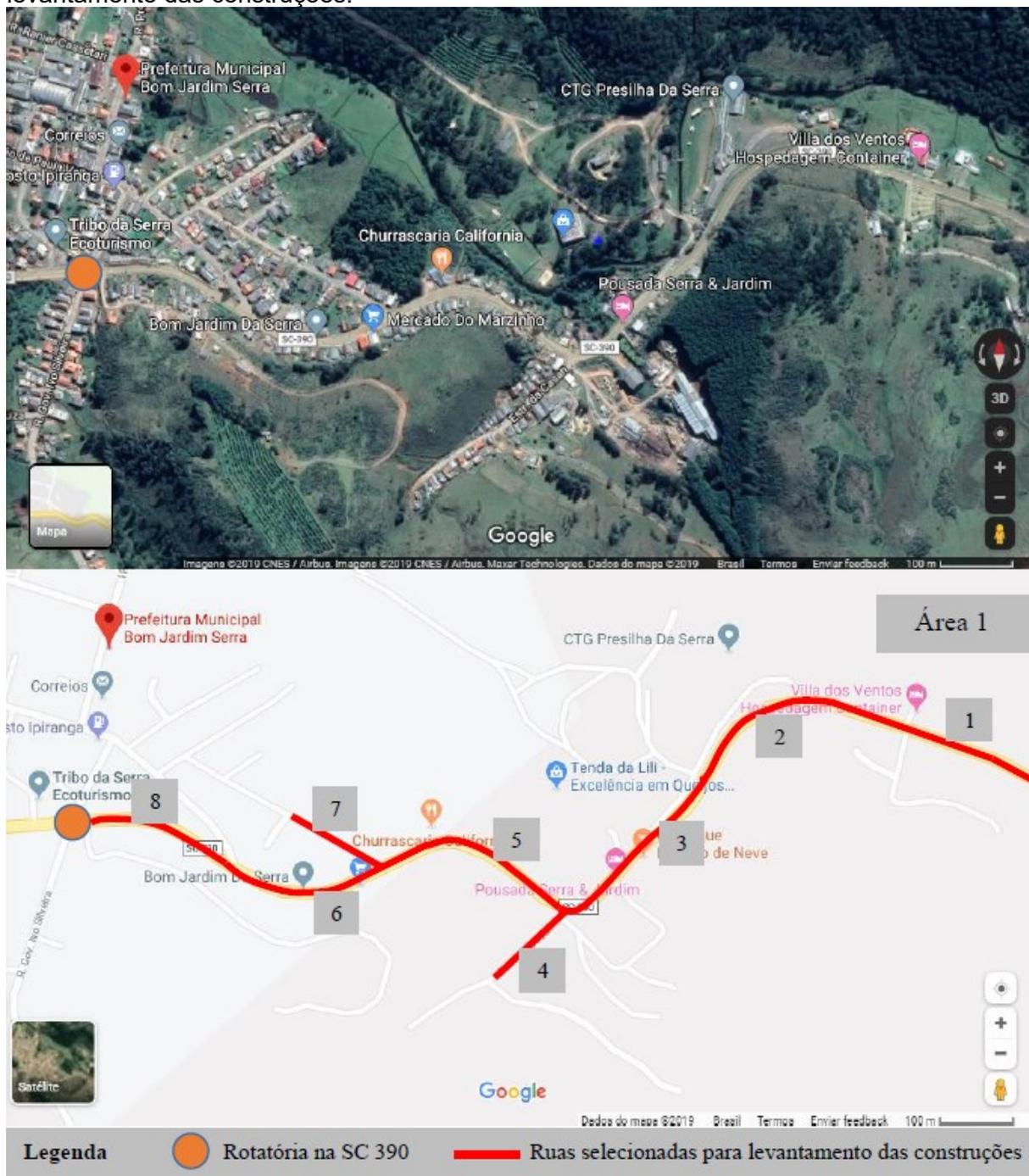
As ruas escolhidas para o levantamento das construções na Área 1 estão identificadas, em cor vermelho, no mapa da Figura 62. Os trechos de 1 a 8 correspondem ao trecho da Rodovia SC 390, com exceção dos trechos 4 e 7 que representam ruas com acesso pela rodovia.

Figura 61 – Vista aérea e mapa da Área Central com destaque para as ruas escolhidas para o levantamento das construções.



Fonte: Prefeitura Municipal de Bom Jardim da Serra (2019b). Marcações: A Autora.

Figura 62 – Vista aérea e mapa da Área 1 com destaque para as ruas escolhidas para o levantamento das construções.



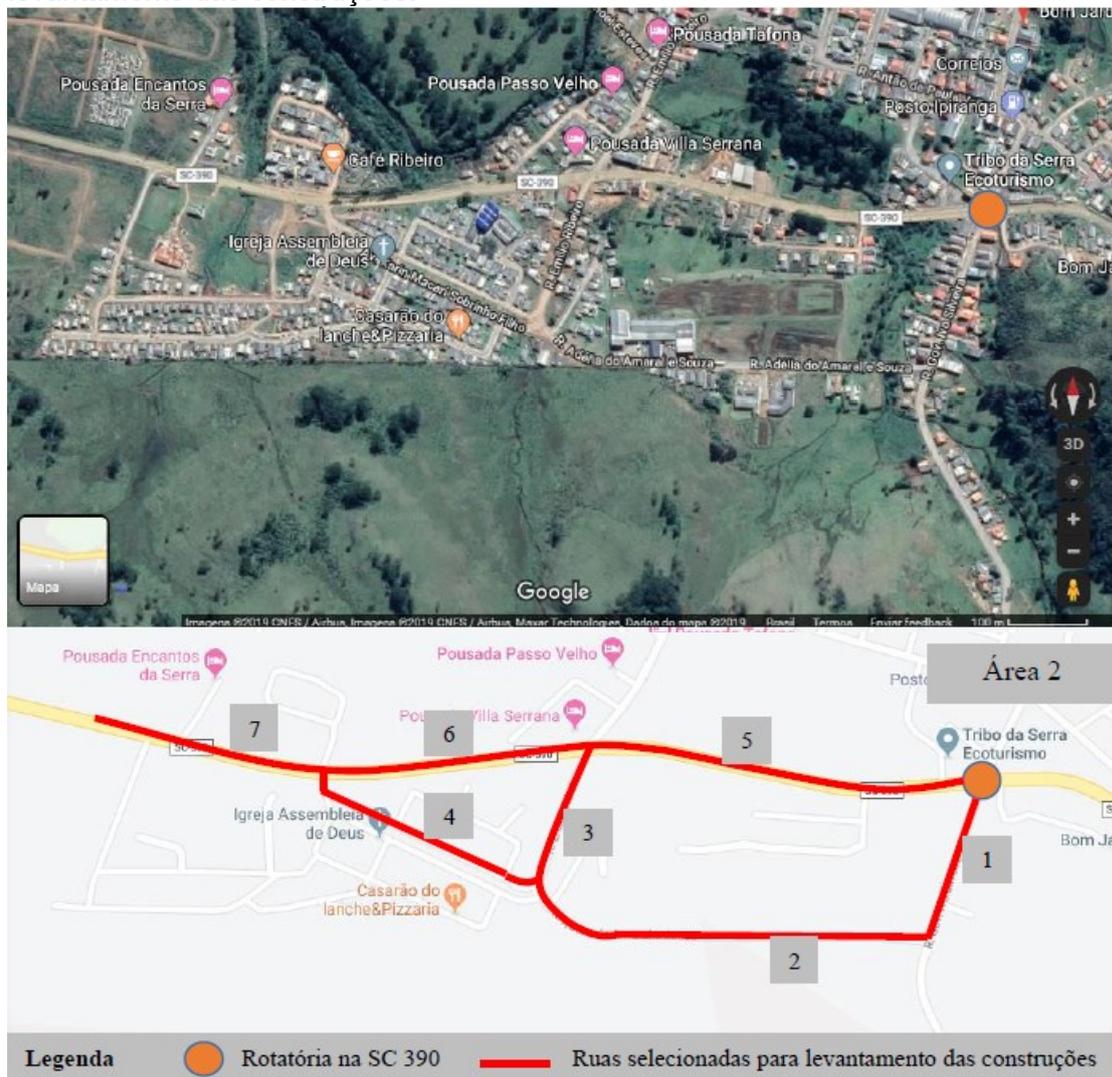
Fonte: Prefeitura Municipal de Bom Jardim da Serra (2019b). Marcações: A Autora.

A Área 2, representada pelo número 2 e contorno laranja no mapa (Figura 60), é a chegada à cidade pela Rodovia SC 390 vindo de São Joaquim. Esta área, além das construções em torno da rodovia, com residências, pequeno comércio (pontos de venda na beira da rodovia, lanchonetes e restaurantes), pousadas e galpões de

armazenamento, possui um loteamento e é onde estão localizadas a rodoviária, a delegacia e o posto de saúde.

As ruas escolhidas para o levantamento das construções na Área 2 estão identificadas, em cor vermelho, no mapa da Figura 63. Os trechos de 5 a 7 estão localizados na Rodovia SC 390, o trecho 1 na saída da cidade, partindo da rotatória, e os trechos 2 a 4 em área adjacente à rodovia.

Figura 63 – Vista aérea e mapa da Área 2 com destaque para as ruas escolhidas para o levantamento das construções.



Fonte: Prefeitura Municipal de Bom Jardim da Serra (2019b). Marcações: A Autora.

A Área 3, representada pelo número 3 e contorno azul no mapa (Figura 60), é a chegada à cidade pela Rodovia, vindo de São José dos Ausentes/RS. Apesar desta rodovia ligar os dois estados, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, este acesso

é utilizado com maior frequência para acesso às fazendas locais, com apenas parte da rodovia asfaltada (obra realizada a pouco tempo) e o restante em estrada de terra. As construções neste trecho são predominantemente residenciais, com apenas algum comércio e prestação de serviços próximo à rotatória com a Rodovia SC 390.

As ruas escolhidas para o levantamento das construções na Área 3 estão identificadas, em cor vermelho, no mapa da Figura 64. O trecho da rodovia próximo à rotatória ficou incluído na Área 2 por possuir características de ocupação desta área. Os trechos 1 e 2 definidos neste setor possuem construções predominantemente residenciais, com características semelhantes.

Figura 64 – Vista aérea e mapa da Área 3 com destaque para as ruas escolhidas para o levantamento das construções.



Fonte: Prefeitura Municipal de Bom Jardim da Serra (2019b). Marcações: A Autora.

4.1.2 Síntese dos resultados

De acordo com a setorização feita anteriormente, dividindo a área urbana do município em quatro subáreas, a identificação dos materiais utilizados e das tipologias construtivas adotadas foi feita através do levantamento das construções em cada rua selecionada para o estudo (Apêndice F).

O objetivo deste levantamento é verificar de que forma os moradores se apropriam do espaço, o tipo de construção adotada, os materiais que foram utilizados

e que estão disponíveis na região e a adequação de suas construções ao clima local em função das necessidades dos moradores.

Tendo este estudo como base para o desenvolvimento do sistema construtivo aqui proposto, foram determinados como elementos fundamentais para o levantamento das construções os seguintes itens: número de pavimentos, apoio do piso, estrutura, materiais utilizados nos fechamentos das paredes, esquadrias e cobertura (estrutura do telhado e telhas).

O estudo das construções locais seguiu, então, a seguinte ordem de procedimentos: a) levantamento fotográfico das construções em cada trecho das Áreas Central, 1, 2 e 3; b) identificação dos materiais utilizados nas edificações; c) tipologia construtiva adotada nos diversos trechos; d) verificação dos tipos de construção semelhantes e a porcentagem de cada uma delas dentro do total de edificações pesquisadas.

O resultado do levantamento em cada área do centro urbano está apresentado no Apêndice F, expondo em cada trecho o levantamento fotográfico das edificações. Os itens relacionados anteriormente para compor o estudo das edificações estão descritos no final do capítulo.

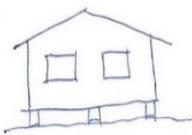
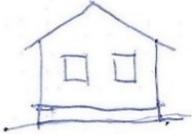
Como procedimentos para o levantamento foram verificadas, em cada trecho, as tipologias construtivas semelhantes e escolhida uma edificação que representasse cada um dos tipos de construção encontrados para compor, no final do levantamento, um quadro síntese com os resultados da pesquisa. Este levantamento foi feito, inicialmente, a partir das rodovias, sendo que nas vias adjacentes será feito um estudo posterior.

Neste primeiro momento da pesquisa foi feito o levantamento fotográfico das edificações para identificação das principais características construtivas, no município, e verificar de que forma foram empregados os materiais. Tendo como objetivo final, a escolha de algumas edificações para a elaboração do estudo comparativo entre o sistema construtivo proposto e as edificações locais, um estudo mais detalhado será feito posteriormente.

Dentre as edificações pesquisadas, as tipologias construtivas que mais puderam ser observadas, nas quatro áreas, e que são representativas da região estão apresentadas no Quadro 18. Quatro situações foram identificadas de forma mais

recorrente e que ainda trazem características das construções mais antigas e estão relacionadas quanto ao seu apoio no solo e estruturação dos espaços.

Quadro 18 – Edificações representativas da região de estudo.

Edificações	
Foto	Desenho esquemático
	 Situação 1 – S1
	 Situação 2 – S2
	 Situação 3 – S3
	 Situação 4 – S4

Fonte: Autora (2019).

Como mencionado anteriormente, as edificações pesquisadas concentram-se nos eixos das rodovias e nas vias que vão de encontro a rodovia SC 390. As demais vias serão estudadas posteriormente, caso haja necessidade deste levantamento para o desenvolvimento da pesquisa, com relação ao desenvolvimento da proposta do sistema construtivo e quanto à escolha das edificações para o estudo comparativo. Este procedimento foi definido por serem as rodovias os eixos de crescimento da cidade e representarem a evolução das construções no decorrer do tempo.

No levantamento das construções foram identificadas edificações com 1 e 2 pavimentos, sendo que, em sua grande maioria, elas foram estruturadas com apoio do piso de forma bem característica: a) em blocos de pedra, sem o fechamento no contorno da edificação (situação 1, Quadro 18), com circulação do ar sob o piso – 1 pavimento; b) em blocos de pedra ou concreto, com o fechamento no contorno da edificação (situação 2, Quadro 18), com ou sem aberturas para circulação do ar sob o piso – 1 pavimento; c) em estrutura de madeira ou concreto, com altura suficiente para ocupação do pavimento térreo (situação 3, Quadro 18), sem fechamento lateral – edificação em dois pavimentos; d) estrutura em madeira ou concreto, com altura suficiente para ocupação do pavimento térreo (situação 4, Quadro 18), com fechamento lateral em madeira ou alvenaria, e também na composição dos dois materiais – edificação em dois pavimentos.

Nas situações 3 e 4, muitas vezes, a estrutura do térreo é construída inicialmente com uma altura maior, principalmente para abrigo de veículos e equipamentos, porém deixada aberta, para, posteriormente ser fechada, ou não. Outro procedimento muito comum na região é a construção do pavimento térreo onde será apoiada a casa de madeira já existente. Assim, nas edificações de dois pavimentos, o andar térreo tem sido utilizado como depósito, para armazenamento de materiais, peças e equipamentos, como garagem, como ampliação da residência com novos cômodos habitáveis, ou também com objetivos comerciais como lojas e prestação de serviços.

A maioria das casas são construídas em madeira e algumas tiveram ampliações em alvenaria ou madeira. A pedra tem sido utilizada em pisos, contenção de terra e base de edificações (Figura 65).

Figura 65 – Exemplos de utilização da pedra.



Fonte: Prefeitura Municipal de Bom Jardim da Serra (2019b).

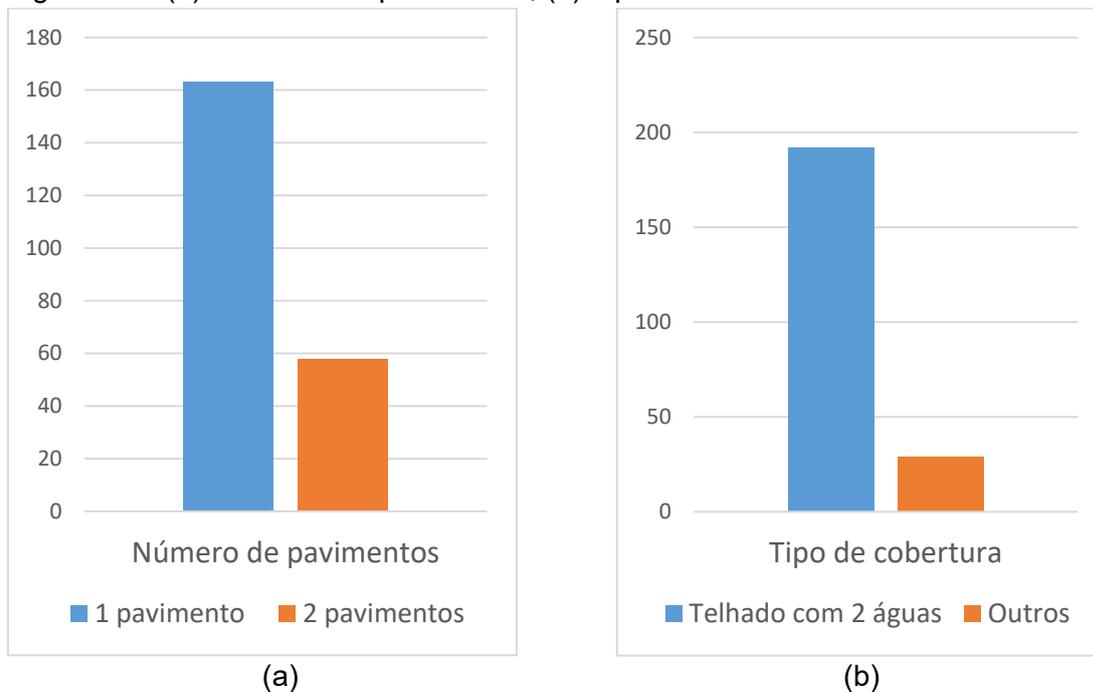
As edificações, construídas em sua maioria nas quatro situações acima descritas, possuem cobertura com telhado de duas águas, com estrutura em madeira e telha de fibrocimento. Como variação destas tipologias, algumas edificações possuem varanda nas laterais, considerando a fachada frontal aquela com duas janelas e frontão como apresentadas nos desenhos esquemáticos. A porta de entrada principal fica localizada em uma das fachadas laterais, onde está localizada a varanda, como também nas edificações sem varanda.

Foram consideradas, neste levantamento, 221 edificações, localizadas dentro da área urbana do município. Deste total, 163 possuem um pavimento e 58 dois pavimentos, conforme gráfico da Figura 66a. Com relação à cobertura, 192 possuem telhado com duas águas e telha de fibrocimento, conforme gráfico da Figura 66b.

Com relação aos materiais utilizados, 155 edificações são construídas com madeira e 66 são construídas em alvenaria, conforme gráfico da Figura 67. Nas

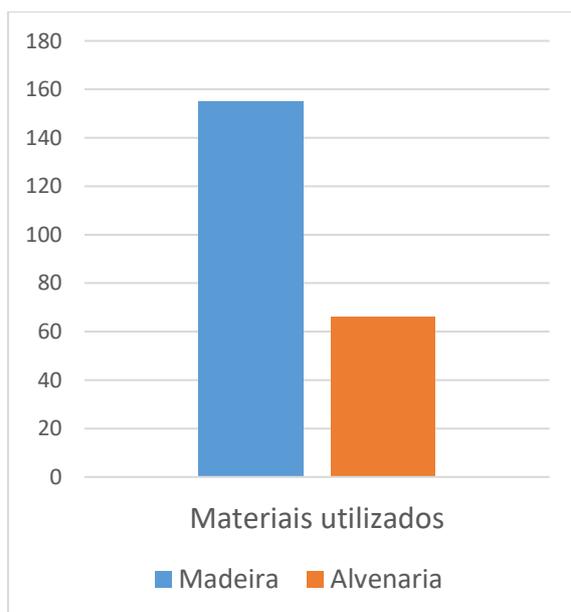
construções com madeira, aquelas que se constituem em uma residência, a área do banheiro é construída em alvenaria e o restante da edificação em madeira.

Figura 66 – (a) Números de pavimentos; (b) Tipo de cobertura.



Fonte: Autora (2019).

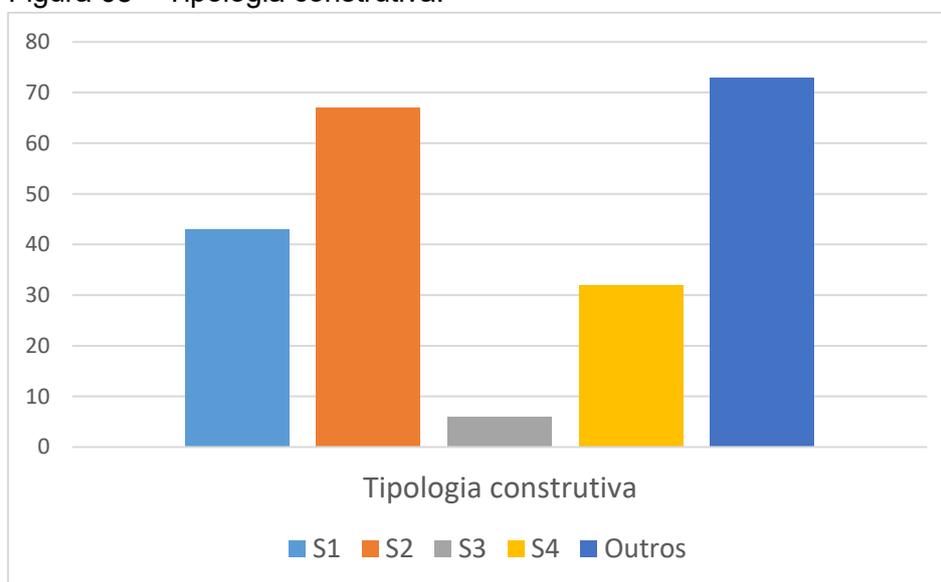
Figura 67 – Materiais utilizados nas construções.



Fonte: Autora (2019).

Representando as quatro situações acima mencionadas (Quadro 18), 43 edificações estão representadas pela situação 1, 67 pela situação 2, 6 pela situação 3 e 32 pela situação 4, conforme gráfico da Figura 68. As edificações representadas pelas situações 1 e 2, no Quadro 18, possuem variações com relação à existência ou não de varanda. Esta varanda pode estar localizada na fachada lateral, onde se encontra a porta de entrada, como também, na fachada frontal. Neste último tipo de construção, a varanda pode estar recuada para dentro da edificação, ou, em uma estrutura independente à frente da fachada. Em ambas as situações, a varanda é utilizada para a proteção da porta de entrada da edificação.

Figura 68 – Tipologia construtiva.



Fonte: Autora (2019).

O quantitativo do levantamento das construções está apresentado em tabela no Apêndice G. Foi levado em consideração os seguintes aspectos: o total de edificações pesquisadas; os trechos em que se encontram as edificações e quantas construções foram analisadas em cada trecho (a quantidade de edificações analisadas em cada trecho está indicada em parênteses, na tabela); o tipo de telhado, se de duas águas ou outras configurações; o número de pavimentos, sendo que de um ou dois pavimentos; a tipologia construtiva, baseada nas quatro situações apresentadas do Quadro 18, ou outras tipologias que podem ser diferentes entre si; e

os materiais utilizados na construção, sendo aqui considerado, a madeira e a alvenaria, que são os materiais que foram identificados nas construções.

Nesta etapa da pesquisa foram avaliados os trechos identificados nas rodovias, e alguns próximos a elas, não sendo considerados neste levantamento os trechos relativos à Área 3. Isto se explica pelo fato da captura das imagens ter sido feita através do *google maps (street view)*.

Como mencionado anteriormente, foram consideradas 221 edificações que se encontram distribuídas em trechos das áreas Central, 1 e 2. Na Área Central foram avaliadas 14 edificações, na Área 1, 110 edificações, e na Área 2, 97 edificações. Sendo que, na Área Central foram considerados os trechos 1 (5 edificações), 2 (5 edificações) e 10 (4 edificações), na Área 1, os trechos 1 (8 edificações), 2 (6 edificações), 3 (14 edificações), 4 (8 edificações), 5 (27 edificações), 6 (25 edificações), 7 (7 edificações) e 8 (15 edificações), e na Área 2, os trechos 1 (9 edificações), 3 (3 edificações), 4 (4 edificações), 5 (33 edificações), 6 (18 edificações) e 7 (30 edificações). Na Área 2 foram consideradas edificações existentes à beira da rodovia e, também, aquelas que podiam ser avistadas da rodovia, com condições de serem identificados os parâmetros estipulados no levantamento, principalmente nos trechos 6 e 7. Estes dados encontram-se no Apêndice G.

Os dados coletados neste levantamento foram utilizados como apoio e fundamentação da proposta do sistema construtivo para tentar alcançar o objetivo de inserção de novos materiais e de novas tecnologias construtivas na região de estudo.

4.2 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DO SISTEMA CONSTRUTIVO

A partir dos dados levantados com as construções locais, foi elaborada uma proposta de sistema construtivo modular. Esta proposta levou em consideração as formas de utilização do espaço edificado, em residências, bem como as alterações e acréscimos verificados no levantamento.

Uma característica considerada importante foi o caráter evolutivo das construções. Ou seja, as diversas ampliações possíveis realizadas no decorrer do tempo, como acréscimos de varanda e fechamento da estrutura inferior, para uso comercial ou mesmo para cobertura de garagem e uso residencial. Sendo assim, a

proposta de um sistema construtivo modular foi considerada adequada para a região, possibilitando o remanejamento dos espaços ao longo do tempo.

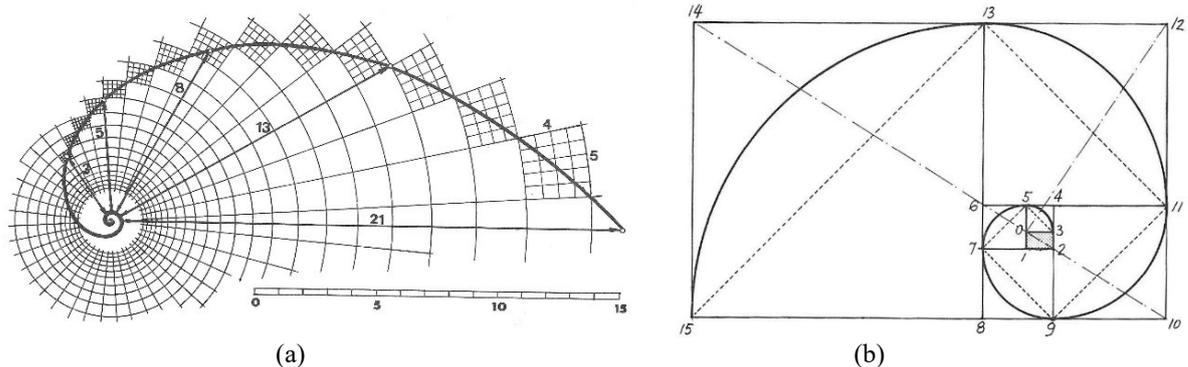
4.2.1 Etapa 1 – Elaboração dos módulos estruturais

4.2.1.1 Características gerais

Com base no processo de formação de padrões encontrados na natureza, foi elaborado um sistema construtivo modular inspirado, inicialmente, na forma de uma concha. Como exemplo, pode ser citado o molusco *Haliotis asinina* representado na Figura 69a, segundo seu esquema de crescimento. E na Figura 69b, a espiral logarítmica do crescimento típico de uma concha observando a proporção áurea.

Com a intenção de trabalhar com materiais naturais renováveis, esta proposta foi destinada a uma construção com elementos estruturais de colmos de bambu. Nesta proposta de estudo foram pesquisadas peças retas e curvas a partir de um quadrado de dimensões estabelecidas em função do pé-direito necessário para uma edificação e, também, das características físicas e mecânicas do material utilizado, no caso, o bambu.

Figura 69 – (a) reconstrução dinérgica do contorno da concha – Haliote (*Haliotis asinina*); (b) espiral logarítmica típica da expansão da concha, representada através da proporção áurea.



Fonte: Doczi (1990).

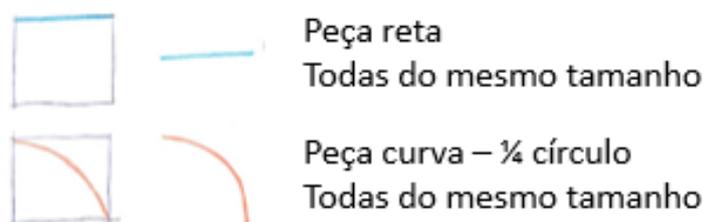
Estabelecidos os parâmetros construtivos, foram estudados os módulos para a composição arquitetônica. Estes módulos foram projetados para serem assentados em terrenos tanto planos quanto inclinados, possibilitando um maior e melhor aproveitamento das áreas. O sistema construtivo modular proposto teve seu foco em

edificações de no máximo dois pavimentos, sendo sua destinação para qualquer tipo de uso. Para efeito de avaliação, neste estudo, foi considerada uma edificação para uso residencial.

Neste estudo foi adotado um sistema modular de construção com o intuito de viabilizar uma edificação já pré-definida com relação às suas dimensões e modelo construtivo. Esta escolha tem como objetivo produzir um conjunto de peças que possam ser montadas a partir de um projeto arquitetônico modular, em função dos módulos propostos e suas várias possibilidades de agrupamento.

Nesta proposta de estudo foram pesquisadas peças retas e curvas a partir de um quadrado de dimensões estabelecidas em função do pé-direito necessário para uma edificação e, também, das características físicas e mecânicas do bambu (Figura 70).

Figura 70 – Peças estruturais propostas inicialmente.



Fonte: Autora (2018).

Inicialmente, a modulação proposta foi de 60 cm e 80 cm como medidas multiplicadoras básicas. Ou seja, as dimensões das peças estruturais podem variar de 2,40 m a 3,00 m tendo como medida básica 60 cm e, também, podem variar de 2,40 m a 3,20 m tendo como medida básica 80 cm. As dimensões das peças retas e curvas partem das dimensões estabelecidas para o quadrado de referência. Assim, a peça reta corresponde ao lado do quadrado e a peça curva a ¼ de círculo inscrito no quadrado, considerando a utilização de todas as peças estruturais com mesmo tamanho, tanto para as peças retas quanto para as peças curvas.

O sistema construtivo modular proposto teve foco em edificações de no máximo dois pavimentos e destinação para qualquer tipo de uso. Sendo assim, cada projeto poderá ter a composição dos módulos adequada às expectativas e

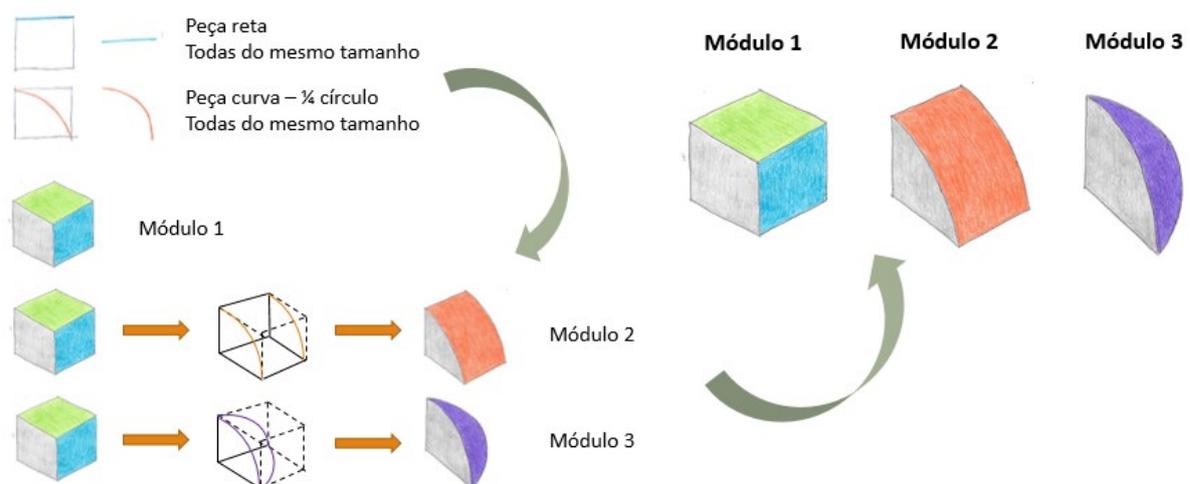
necessidades do usuário. Os módulos também poderão estar associados a outras construções já existentes ou também serem compostos juntamente com outros materiais utilizados na região, como a pedra e a madeira.

A modulação aqui proposta teve foco nos aspectos estruturais e específicos do bambu como material construtivo. Estabelecidos os parâmetros construtivos característicos para o bambu foram estudados os módulos para a composição arquitetônica, poderão ser assentados em terrenos tanto planos quanto inclinados.

4.2.1.2 Os módulos

Os módulos utilizados na pesquisa foram desenvolvidos a partir das peças estruturais retas e curvas provenientes do quadrado, comentado anteriormente. A partir da combinação destas peças, foram elaborados três módulos como base de todo o estudo do sistema construtivo (Figura 71). O primeiro, o cubo, onde só existem peças retas, no total de 12 peças. O segundo, em que, partindo do cubo são substituídas cinco peças retas por duas peças curvas, no total de 9 peças. No terceiro módulo são mantidos três eixos perpendiculares entre si com três peças retas, que são unidas com outras três peças curvas, no total de 6 peças.

Figura 71 – Construção dos módulos.



Fonte: Autora (2018).

Foram consideradas todas as peças retas com o mesmo comprimento e todas as peças curvas com o mesmo arco. A proporção entre as peças retas e curvas é estabelecida em função das dimensões iniciais do quadrado, como apresentado na Figura 70, e pela medida básica multiplicadora definida, em princípio, com 60 cm e 80 cm.

4.2.2 Etapa 2 – Composição dos módulos

4.2.2.1 Possibilidades de agrupamento dos módulos

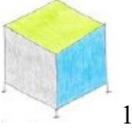
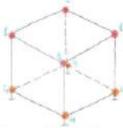
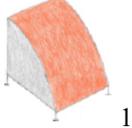
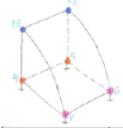
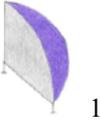
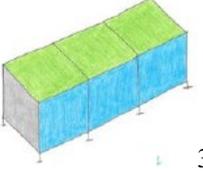
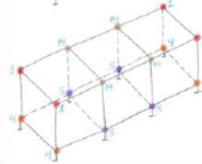
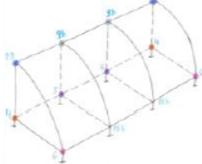
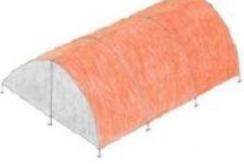
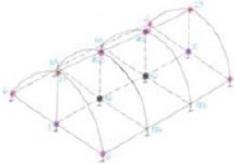
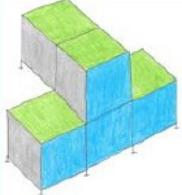
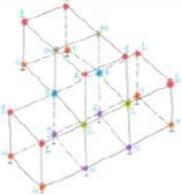
A partir dos três módulos base, foram propostos vários agrupamentos com utilização destes módulos, podendo ser utilizados módulos iguais ou em conjunto com um ou mais módulos diferentes. Dessa forma, foram elaborados 12 modelos de agrupamentos, gerados com o objetivo de verificar as possibilidades construtivas levando-se em consideração o número e o tipo de ligações envolvidos, a quantidade de peças estruturais necessárias e os sistemas de fechamento e de cobertura compatíveis com a proposta.

Os tipos de ligações gerados em todos os modelos estão relacionados no item 4.2.2.2, onde são apresentados o tipo de peças estruturais envolvidas na ligação, ou seja, peças retas ou peças curvas, o número de peças conectadas em cada ligação e um desenho esquemático correspondente para cada ligação.

Em todos os modelos foi estabelecido que o piso será suspenso, ou seja, não está apoiado no solo. Esta escolha foi feita em função dos materiais a serem utilizados no sistema construtivo, como a madeira e o bambu.

Para se ter uma visão geral de todos os modelos propostos, foi elaborado um quadro síntese constando as seguintes informações: o modelo proposto, os módulos utilizados em cada modelo, a composição dos módulos, o número de peças estruturais, retas e curvas, utilizadas em cada modelo, o número e o tipo de ligações formadas e o número de pavimentos proposto nos modelos. Estas informações estão apresentadas no Quadro 19, para os Modelos de 1 a 8, e no Quadro 20, para os Modelos de 9 a 12.

Quadro 19 – Modelos 1 a 8, constituídos por um tipo de módulo.

Modelo/ no.pav.	Módulos utilizados	Composições/ no.de módulos	Esquema estrutural	Número total de peças estruturais	Número de ligações
1 1 pav.				12 Retas – 12	8 (2 tipos de ligações)
2 1 pav.				9 Retas – 7 Curvas – 2	6 (3 tipos de ligações)
3 1 pav.				6 Retas – 3 Curvas – 3	4 (3 tipos de ligações)
4 1 pav.				28 Retas – 28	16 (4 tipos de ligações)
5 1 pav.				18 Retas – 14 Curvas – 4	12 (6 tipos de ligações)
6 1 pav.				29 Retas – 21 Curvas – 8	16 (6 tipos de ligações)
7 1 pav.				13 Retas – 5 Curvas – 8	6 (3 tipos de ligações)
8 2 pav.				44 Retas – 44	24 (6 tipos de ligações)

Fonte: Autora (2018).

No Modelo 1 foi utilizado apenas o Módulo 1 para verificação das ligações geradas a partir das peças estruturais envolvidas. Este modelo é composto por 12 peças estruturais retas e dois tipos de ligações, 8 no total.

O Modelo 2 é composto apenas pelo Módulo 2. Estão envolvidos três tipos de ligações, com peças estruturais retas e curvas, totalizando 6 ligações e 9 peças estruturais. Este modelo estrutural irá verificar os tipos de ligações necessárias para o encontro de peças retas e curvas e testar o ângulo de curvatura das peças estruturais curvas.

O Modelo 3 é composto apenas pelo Módulo 3. Neste modelo estão envolvidos três tipos de ligações e peças estruturais retas e curvas. No total, possui 4 ligações e 6 peças estruturais. Este modelo irá possibilitar a verificação das ligações onde há o encontro de peças estruturais retas e curvas e o encontro de peças estruturais curvas. Todas as peças estruturais, nos três modelos, encontram-se em planos perpendiculares entre si.

O Modelo 4 é composto pela união de 3 módulos. Neste modelo são utilizados apenas o Módulo 1 para a verificação estrutural do encontro destes módulos. Com estes três módulos já é possível identificar as ligações formadas nas faces externas e internas. Se forem agrupados mais módulos, seguindo o sentido longitudinal, os tipos de ligações irão apenas se repetir, não serão gerados novos tipos de ligação. Inicialmente foram agrupados os módulos em apenas um pavimento, sendo o esforço estrutural solicitado apenas para sustentação da cobertura.

O Modelo 5 é composto pelo agrupamento de três módulos, neste caso o Módulo 2. Este modelo tem o mesmo intuito do modelo anterior, ou seja, verificar o comportamento das peças estruturais e as ligações geradas com a junção destes.

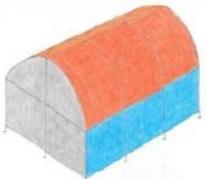
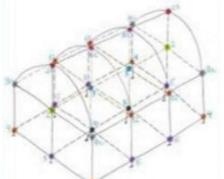
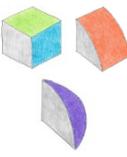
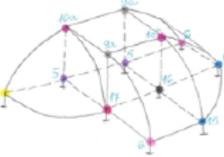
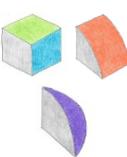
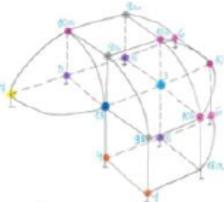
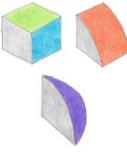
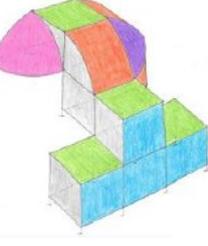
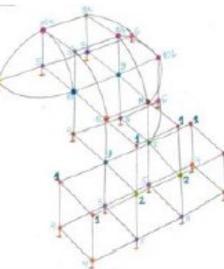
Com o Modelo 6 pretende-se verificar o espaço gerado com o agrupamento dos módulos, no caso o Módulo 2, no sentido longitudinal e transversal, e os novos tipos de ligações geradas.

O Modelo 7 é o resultado do agrupamento dos módulos, com utilização do Módulo 3, que se traduz em um espaço circular com uma ligação superior unindo todas as peças estruturais curvas.

Com o Modelo 8 é proposto um agrupamento organizado a partir do Módulo 1 sendo este agrupado tanto no sentido longitudinal quanto no sentido transversal,

porém, desenvolvido em dois pavimentos. A proposta inicial deste sistema construtivo é que ele possa ser desenvolvido em até dois pavimentos e que também possa ser agrupado de várias formas. Sendo assim, este modelo propõe a união de 5 Módulos 1 nos sentidos longitudinal e transversal e sobrepostos em dois pavimentos, para verificação das peças estruturais e das ligações geradas. Este modelo pode ser construído em terrenos planos, onde há uma projeção do 2º. Pavimento no sentido transversal, podendo gerar um espaço coberto e aberto, sendo o espaço aberto sustentado por dois pilares. E, também, pode ser construído em um terreno inclinado de forma que o módulo do 2º. Pavimento que não está sobreposto no módulo do 1º. Pavimento possa ser apoiado em uma fundação.

Quadro 20 – Síntese dos modelos de agrupamentos dos módulos. Modelos 9 a 12, constituídos por mais de um tipo de módulo.

Modelo/ no.pav.	Módulos utilizados	Composições/ no.de módulos	Esquema estrutural	No. Total de peças estruturais	Número de ligações
9 2 pav.		 12		54 Retas – 46 Curvas – 8	28 (9 tipos de ligações)
10 2 pav.		 5		24 Retas – 17 Curvas – 7	13 (8 tipos de ligações)
11 2 pav.		 7		34 Retas – 26 Curvas – 8	18 (9 tipos de ligações)
12 3 pav. (*)		 11		67 Retas – 59 Curvas – 8	34 (13 tipos de ligações)

(*) 3 pavimentos no total e no máximo 2 pavimentos em cada desnível.

Fonte: Autora (2018).

No Modelo 9 foram agrupados os módulos de forma a se utilizar mais de um tipo de módulo. Neste caso foram utilizados os Módulos 1 e 2 com a sobreposição dos Módulos 2 sobre os Módulos 1, totalizando 12 módulos. Apesar da forma final do modelo sugerir um galpão ou uma edificação com pé-direito alto, também pode ser utilizado como uma edificação de dois pavimentos, dependendo do seu uso e do tipo de cobertura escolhido.

O Modelo 10 é uma estrutura desenvolvida em 1 pavimento e com a utilização de três módulos diferentes, Módulos 1, 2 e 3. Os módulos foram agrupados de modo a se verificar a maneira como eles se complementam e, também, como se encaixará uma peça estrutural curva quando unida à face reta do cubo. Neste agrupamento novas ligações são geradas e novos espaços também. Foram utilizados, neste modelo, um Módulo 1, dois Módulos 2 e dois Módulos 3. No encontro do Módulo 3 (em rosa) com o Módulo 1, não só as ligações terão modificações estruturais, como também, o fechamento da face de encontro dos dois módulos deverá ter um projeto específico.

O Modelo 11 se desenvolve em dois pavimentos da mesma forma que o Modelo 8. Uma parte do agrupamento possui 1 pavimento e outra parte 2 pavimentos. Foi utilizado o Modelo 10 como base em composição com mais dois módulos, o Módulo 1 e o Módulo 2 que são os módulos que se agregam naturalmente na composição com os módulos superiores. Este modelo também pode ser construído em terrenos planos e inclinados, sendo que a parte agrupada em 1 pavimento pode ser apoiada em uma fundação ou com pilares, formando um espaço inferior coberto e aberto. A parte agrupada com dois pavimentos é composta por um Módulo 1, dois Módulos 2 e um Módulo 3. A parte agrupada com um pavimento é composta por um Módulo 1, um Módulo 2 e um Módulo 3.

O Modelo 12 é a junção dos modelos 8 e 11 em uma proposta para ser desenvolvida em um terreno inclinado que, neste caso, possui três pavimentos. Porém, cada desnível possui apenas dois pavimentos, sendo que o primeiro nível, o superior, possui apenas um pavimento.

4.2.2.2 Tipos de ligações geradas com o agrupamento dos módulos

Todas as ligações geradas a partir dos módulos e dos seus agrupamentos estão descritas no Apêndice I, onde estão relacionados o número de peças conectadas a cada tipo de ligação, bem como o tipo de peça, reta ou curva, e um desenho esquemático de como estas peças se agrupam em cada ligação.

Todas as ligações, descritas no Apêndice I, são formadas através das composições modulares dos modelos descritos anteriormente, Modelo 1 ao 12. Outras ligações podem ser geradas de acordo com os agrupamentos formados e o tipo de terreno onde serão inseridos. Na Tabela 1 estão apresentadas todas as ligações relacionadas a cada modelo de agrupamento sugerido no item 4.2.2.1.

Tabela 1 – Tipos de ligações utilizadas em cada modelo de agrupamento.

Modelos	Ligações																							Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	4			4																				8
2				2		2													2					6
3				1			2													1				4
4	4			4	4									4										16
5				2	2	2			2									2	2					12
6					2	4				2						2		4					2	16
7																1					4	1		6
8	8	2	2	6	4									2										24
9		2	2	4	6				4	2		4				2							2	28
10					2	2	1		2	2						2	1	1						13
11			1	2	3	2	1		3	4			1						1					18
12	6	2	2	5	7	2	1	1	2	3	1	1	1											34
Tot	22	6	7	30	30	14	5	1	13	13	1	5	2	6	2	6	1	7	4	1	4	1	4	

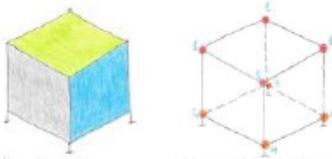
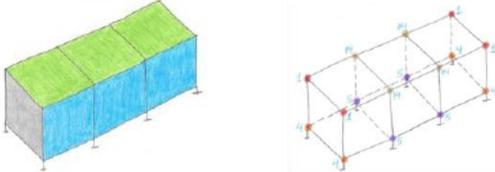
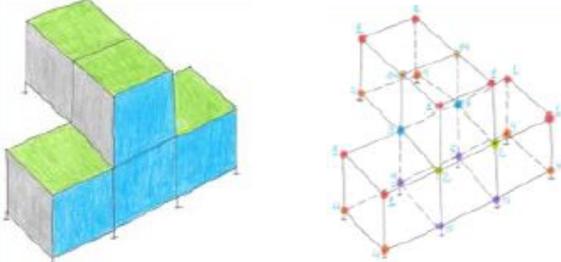
Fonte: Autora (2018).

4.2.3 Etapa 3 – Projeto do sistema construtivo modular

A partir dos módulos elaborados, primeiro pensou-se em desenvolver o sistema de fechamento, piso e cobertura, para construções projetadas a partir do módulo 1. Sendo assim, algumas possibilidades de estruturação, ou agrupamento, de vários módulos “1” são descritos no Quadro 21.

O sistema estrutural, previsto para este estudo, é composto por um conjunto de pilares, vigas e ligações, construídos de forma independente, de maneira que seus componentes possam ser pré-fabricados e montados no local.

Quadro 21 – Agrupamentos de Módulos “1”.

Modelo	Descrição
<p data-bbox="502 600 614 629">Modelo 1</p> 	<p data-bbox="903 645 1431 763">Corresponde a um módulo e pode ser organizado juntamente com outros módulos, porém, todos de forma independente estruturalmente.</p>
<p data-bbox="502 862 614 891">Modelo 4</p> 	<p data-bbox="903 846 1431 1088">Neste modelo pretende-se verificar a compatibilidade dos sistemas de fechamento, cobertura e piso em agrupamentos horizontais, que podem se desenvolver nos sentidos transversal, longitudinal ou em ambos. Todos desenvolvendo-se em apenas um pavimento.</p>
<p data-bbox="502 1124 614 1153">Modelo 8</p> 	<p data-bbox="903 1171 1431 1379">Para este modelo são estudados os sistemas construtivos com a possibilidade de dois pavimentos em parte da edificação ou em toda ela. É um modelo adequado para assentamento em terrenos inclinados, mas também pode ser utilizado com parte da edificação em pilotis.</p>

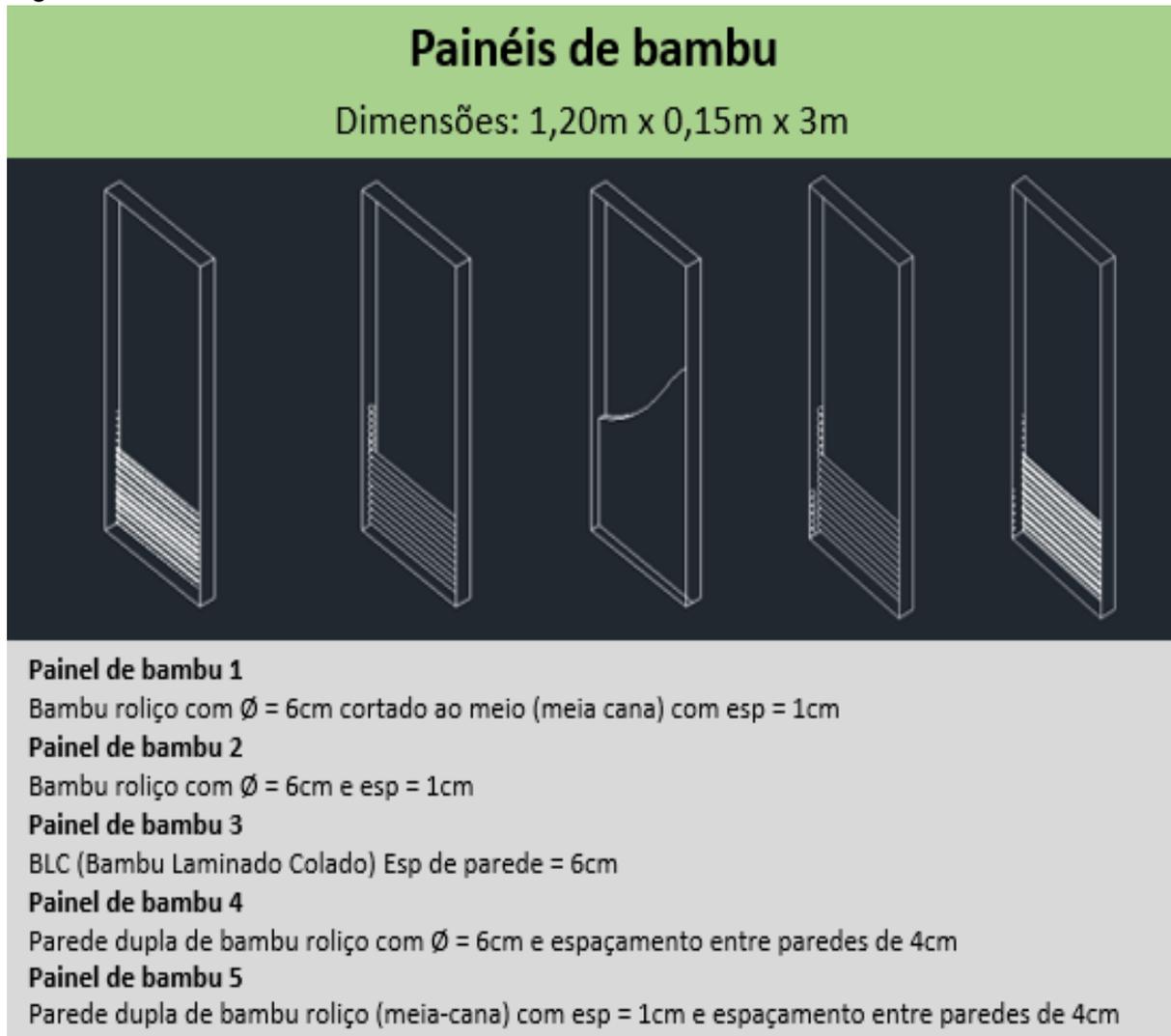
Fonte: Autora (2019).

Para o desenvolvimento do sistema construtivo foram elaborados painéis de fechamento que possam ser produzidos em fábrica e transportados já prontos para serem montados no local da obra.

O dimensionamento dos painéis obedece à ideia inicial de manter a proporção multiplicadora de 0,60m ou 0,80m. Neste caso, optou-se por 0,60m, mantendo a largura de 1,20m e a altura de 3,00m. Sendo assim, são painéis de bambu emoldurados e estruturados por peças de madeira, modulados nas dimensões 1,20m x 0,15m x 3,00m (Figura 72).

Os módulos propostos neste estudo podem ser utilizados para diversos fins. Sendo assim, foi pensado em cinco painéis onde o bambu é trabalhado de formas diferentes, podendo atender a necessidades diversas, desde paredes a elementos decorativos, tanto para áreas internas quanto externas.

Figura 72 – Painéis de bambu.



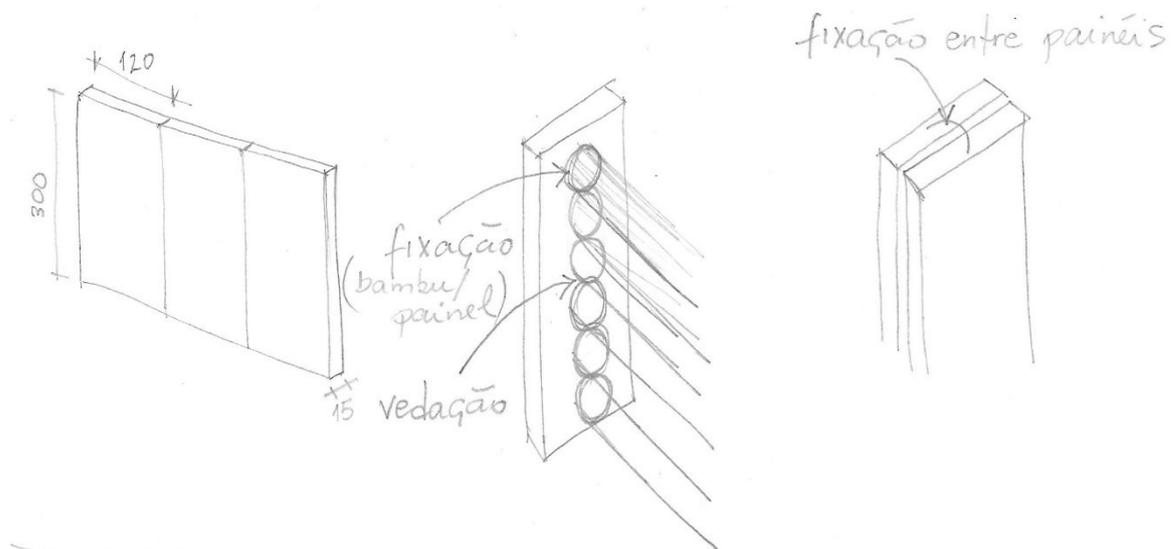
Fonte: Autora (2019).

Os painéis apresentados na Figura 66 são de bambu roliço, ou em colmos, e em bambu laminado colado (BLC). O painel 1 é composto por uma camada de colmos em meia cana (cortados ao meio), o painel 2 por colmos inteiros, o painel 3 é composto por BLC, o painel 4 por colmos em duas camadas e o painel 5 por duas camadas de colmos em meia cana.

A moldura em madeira tem como objetivo facilitar a fixação dos colmos e a união entre painéis. Também dar acabamento às paredes, além de favorecer o manuseio para o transporte.

Com relação aos painéis, algumas definições são essenciais para a sua construção. São elas: a fixação e a vedação entre os painéis, a fixação do bambu no painel e a vedação entre os colmos de bambu (Figura 73). Também são importantes a instalação das esquadrias nos painéis, para portas e janelas, a definição de quais painéis receberão esquadrias e como os painéis serão fixados à estrutura.

Figura 73 – Aspectos construtivos essenciais para a construção dos painéis.



Fonte: Autora (2019).

Com relação às esquadrias, estas podem ser fixadas ou encaixadas nos painéis de acordo com as necessidades do usuário, especificadas em projeto.

O sistema de cobertura será composto pelo forro, estrutura do telhado e telha. O forro foi pesquisado com os materiais madeira e bambu, a estrutura do telhado em bambu e as telhas de fibrocimento.

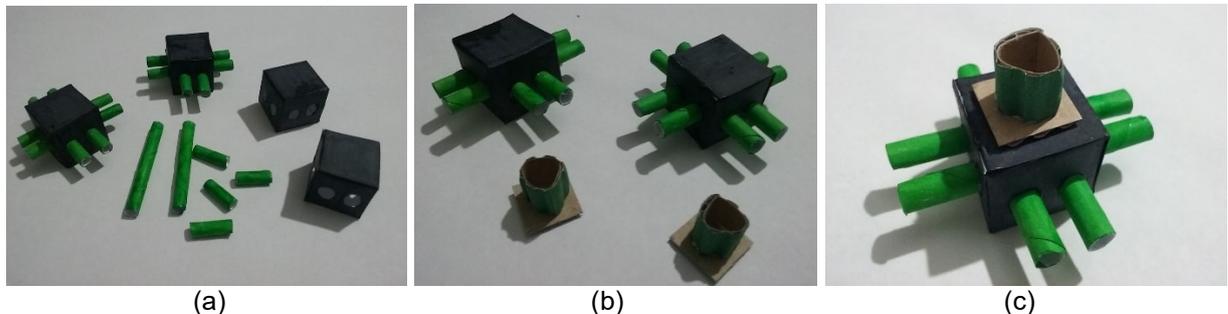
Os pisos são suspensos, apoiados sobre uma estrutura de concreto ou pedra. Os materiais a serem utilizados no piso, nesta pesquisa, serão madeira, bambu e concreto.

4.2.3.1 Maquete

No processo de desenvolvimento do sistema construtivo foi elaborada uma maquete relativa ao Módulo 1. Esta maquete foi construída com papel e palitos de bambu, com dimensões proporcionais à escala real, tendo como referência os painéis verticais.

A primeira questão a ser resolvida foi a definição do tipo de ligação a ser utilizada para conectar as peças estruturais (Figura 74). A ideia inicial foi obter uma única ligação, que possa ser utilizada em todas as conexões, nos três tipos de módulo. Pensou-se, então, em um cruzamento de tubos metálicos, representados pelos cilindros verdes, protegidos por uma caixa, representada pelo cubo preto. Até esta etapa do desenvolvimento da ligação, estão previstas as conexões das peças estruturais horizontais (Figura 74a). Neste mesmo modelo de ligação, também é necessário a previsão da conexão com as peças estruturais verticais. Para tanto, foi desenvolvida uma peça metálica, provavelmente cilíndrica (no caso de um colmo de bambu) ou triangular (se forem unidos três colmos de bambu), que deverá ser soldada em uma chapa metálica (figura 74b). Este conjunto, para espera dos pilares, será parafusado na caixa da ligação estrutural (Figura 74c).

Figura 74 – Modelo de ligação das peças estruturais.

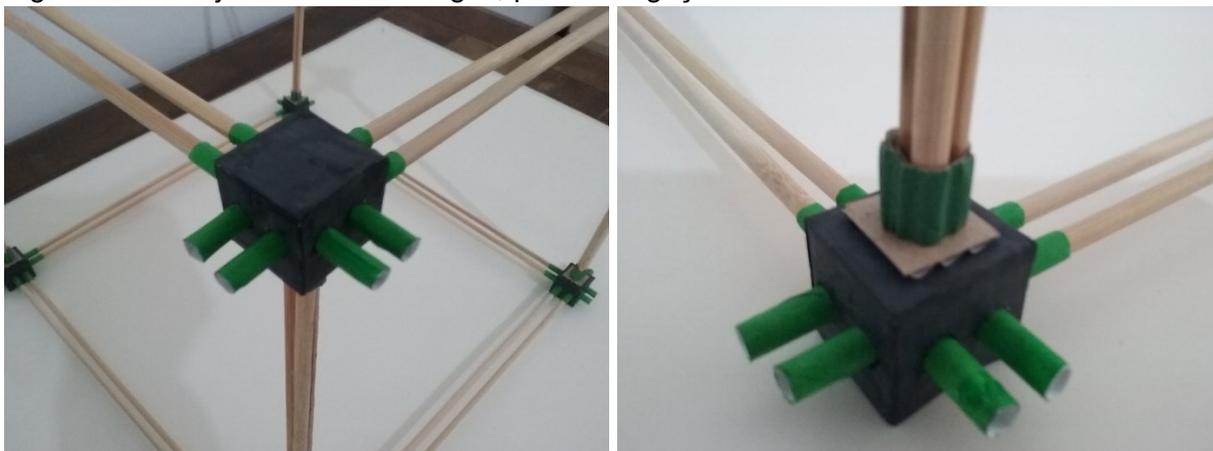


Fonte: Autora (2021).

A dimensão e a quantidade dos conectores (dependendo do número de colmos de bambu a ser utilizado), para as peças estruturais horizontais, serão estabelecidas após o cálculo estrutural. O mesmo acontece com o conector para as peças estruturais verticais.

Para a construção da maquete foram utilizados dois colmos de bambu nas vigas, e três colmos de bambu, unidos entre si, nos pilares. A mesma ligação foi utilizada para apoio do piso e forro (ou teto), representados na Figura 75.

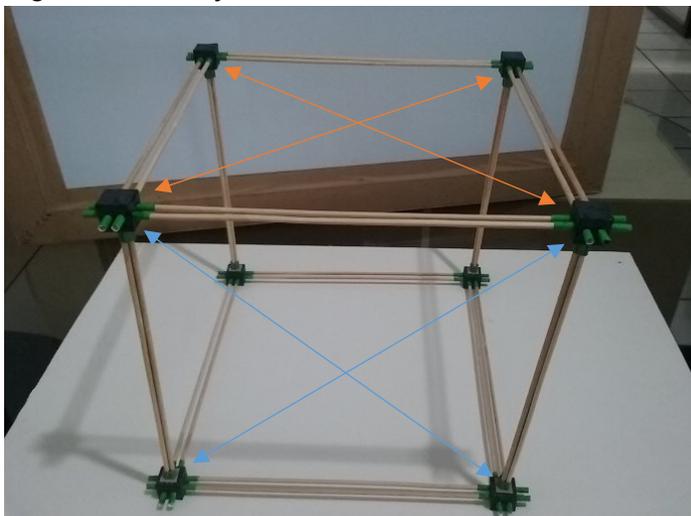
Figura 75 – Conjunto estrutural: vigas, pilares e ligações.



Fonte: Autora (2021).

Para o conjunto estrutural, ainda devem ser pesquisados e definidos os contraventamentos verticais e horizontais (Figura 76). É importante que cada módulo tenha sua estrutura independente dos painéis verticais, para propiciar uma maior flexibilidade dos ambientes.

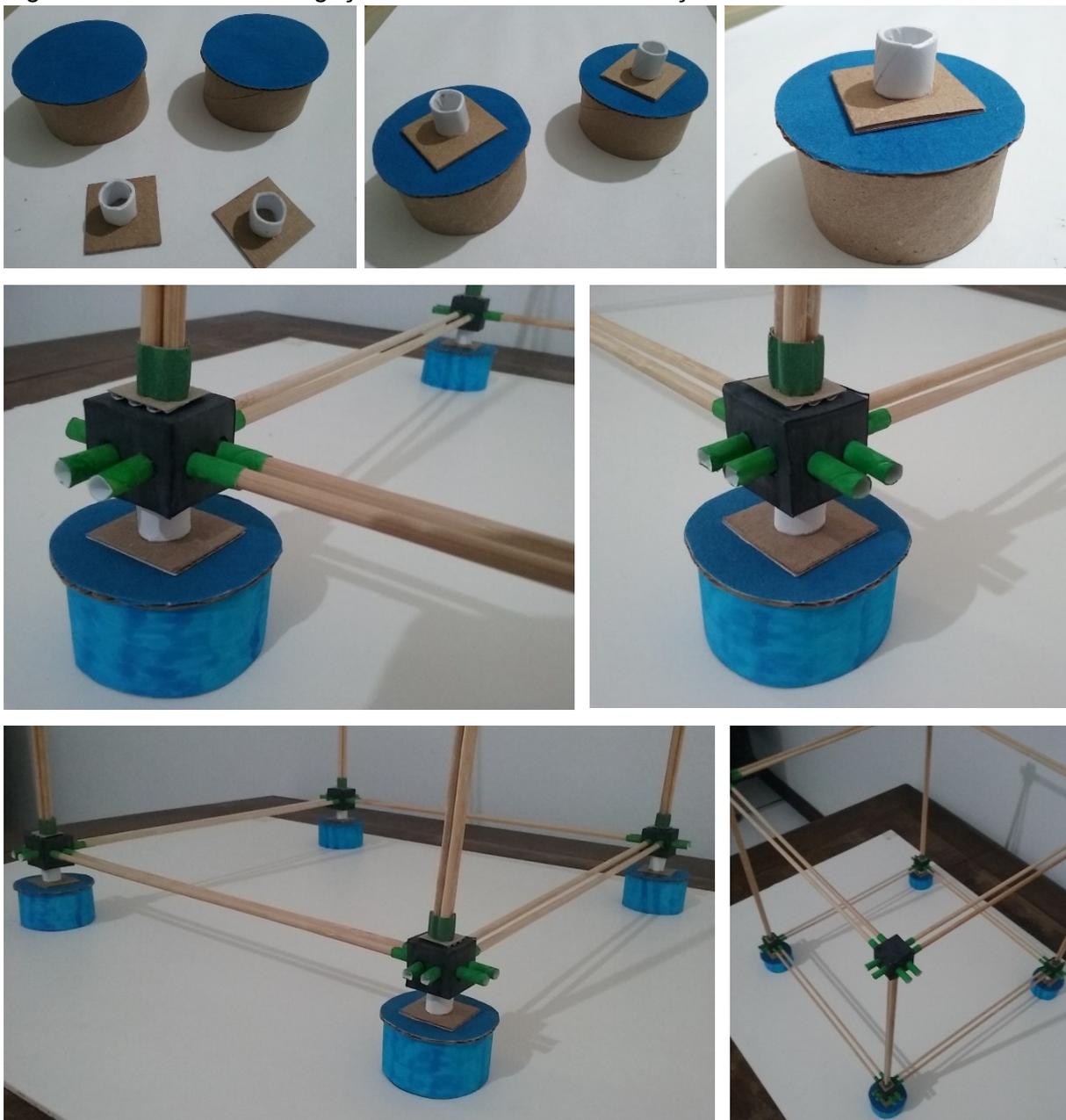
Figura 76 – Conjunto estrutural – contraventamentos.



Fonte: Autora (2021).

Para a conexão das ligações estruturais com a fundação, foi pensado um conector cilíndrico, soldado a uma chapa metálica, chumbada ou parafusada nos pilares de fundação (Figura 77). É importante ressaltar que as ligações estruturais devem manter os conectores de espera, para futuras ampliações, com o acréscimo de novos módulos.

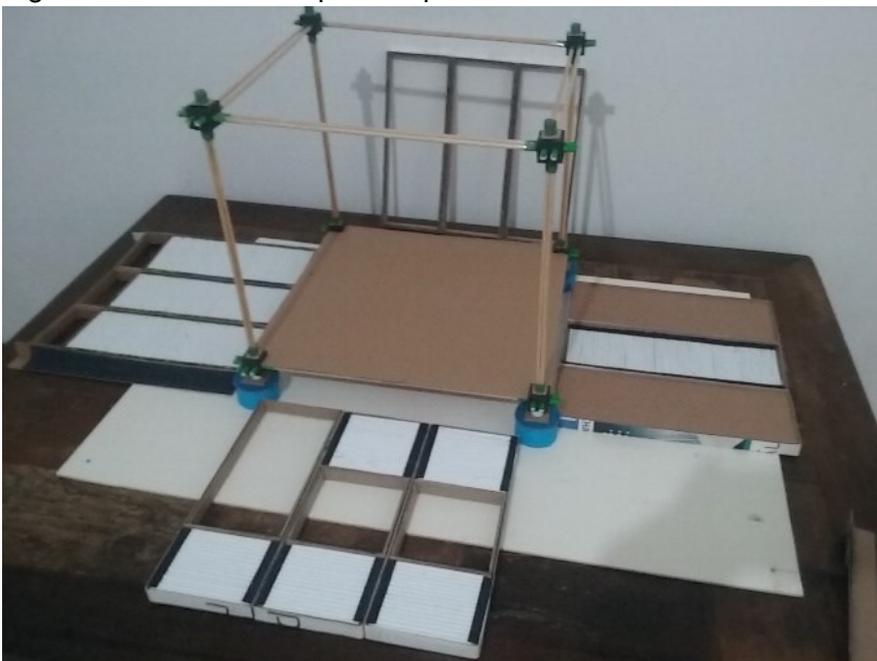
Figura 77 – Conexão das ligações estruturais com a fundação.



Fonte: Autora (2021).

O próximo passo foi a fixação do piso na estrutura, sendo que o piso foi estudado em madeira ou bambu laminado colado (BLC). Dessa forma deverá ser estudado a fixação de barrotes nas vigas, para que estes possam receber as lâminas de madeira ou bambu (Figura 78).

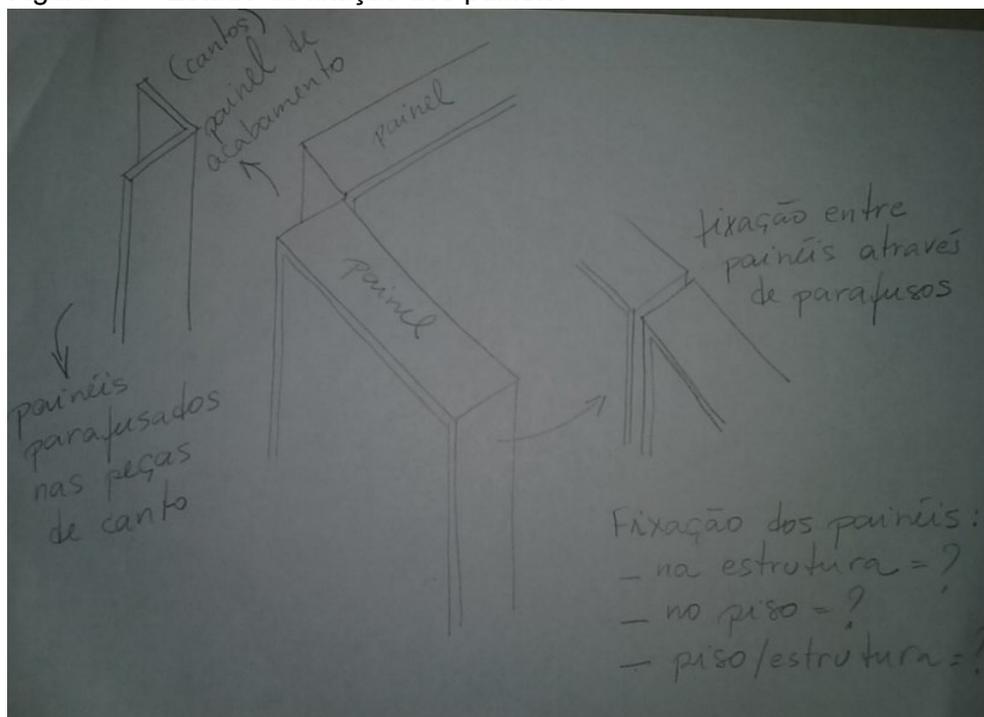
Figura 78 – Estudo do apoio do piso na estrutura.



Fonte: Autora (2021).

Em sequência, foi feito um estudo para fixação dos painéis na estrutura e sobre o piso (Figura 79).

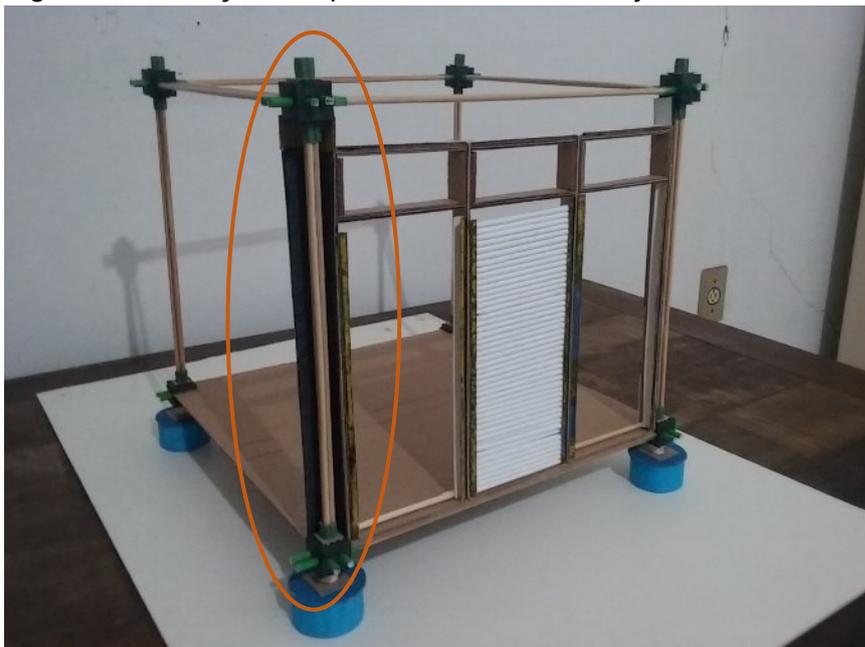
Figura 79 – Estudo da fixação dos painéis.



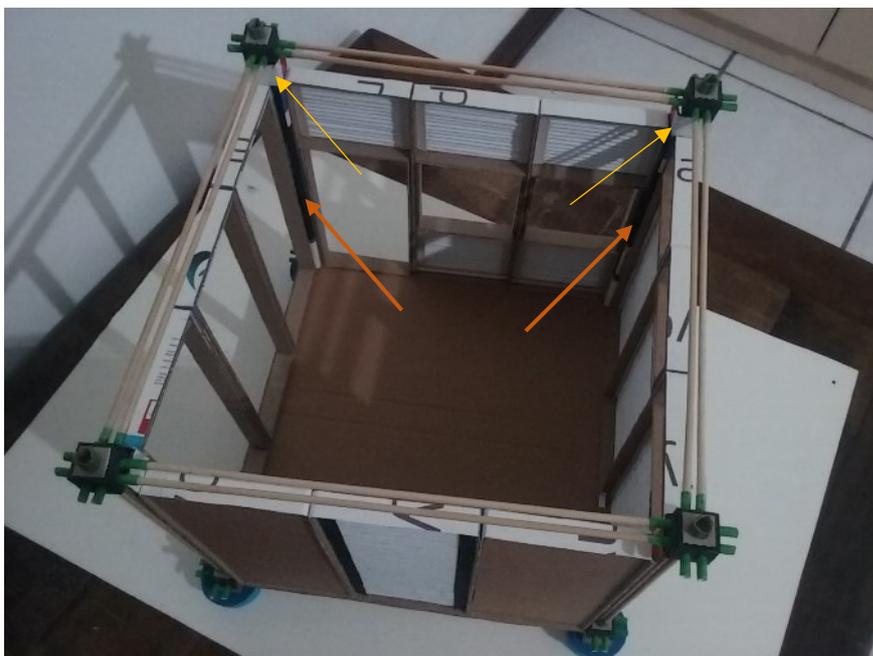
Fonte: Autora (2021).

Como apoio e acabamento junto à estrutura, foi projetada uma cantoneira para fixação dos painéis, nas laterais, e também, desenvolvendo-se de uma ligação a outra, no sentido vertical. Em princípio, esta cantoneira também será fixada nas caixas das ligações, conforme marcação nas fotos, nas Figuras 80a e 80b.

Figura 80 – Fixação dos painéis verticais no conjunto estrutural.



(a)



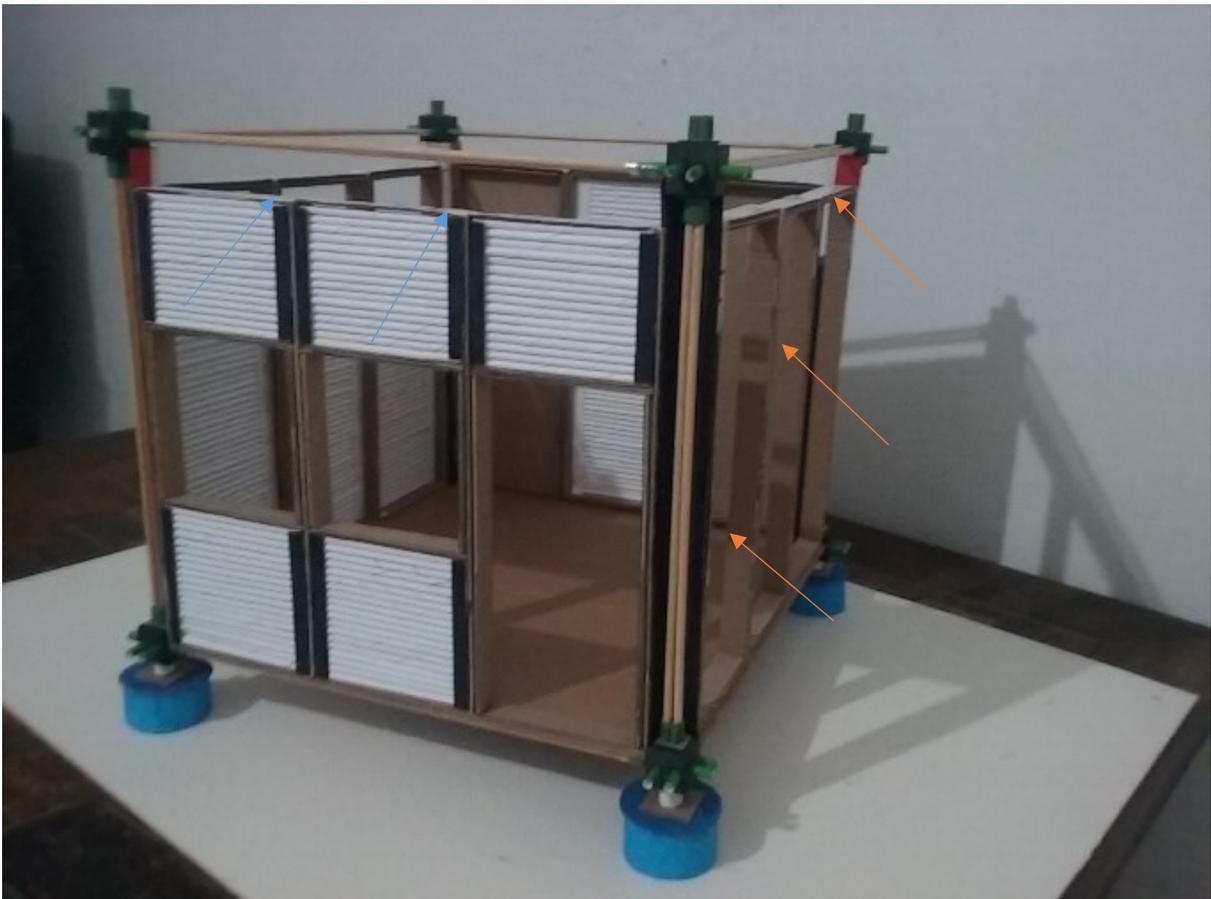
(b)

Fonte: Autora (2021).

Para a fixação entre painéis e entre painéis e cantoneira, pensou-se no aparafusamento das peças. Ainda está por definir o tipo de material a ser aplicado entre os painéis para estabelecer a vedação das paredes. Além deste material, também poderá ser fixado uma peça de bambu, para acabamento entre os painéis.

Os painéis, na sua concepção, serão formados por um enquadramento retangular de madeira ou bambu laminado colado. Internamente a este enquadramento, vários tipos de painéis podem ser montados. Na Figura 81 são apresentados os enquadramentos dos painéis, indicados pelas setas de cor laranja. Na parede adjacente, foram montados painéis com colmos de bambu, que serão testados com apenas uma fileira de colmos, parede simples e, também, com duas fileiras de colmos, parede dupla de bambu. Neste formato, podem ser acrescentadas esquadrias, tanto portas quanto janelas, de tamanhos variados, de acordo com a necessidade de projeto.

Figura 81 – Modelos de painéis com colmos de bambu.

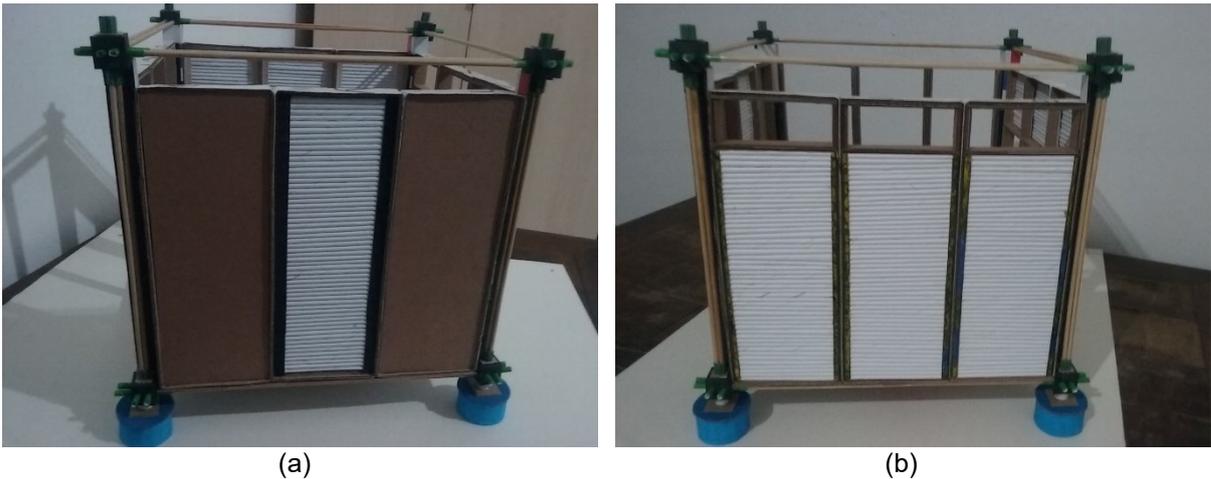


Fonte: Autora (2021).

Os colmos de bambu terão finalização e acabamento através de uma peça metálica, representada na cor preta, indicadas pelas setas azuis (Figura 81). Estas peças metálicas também poderão ser estudadas em madeira ou bambu.

Outros tipos de painéis podem ser compostos em paredes totalmente fechadas, compostos internamente por chapas, ou placas, de bambu laminado colado, como também, um painel completo com colmos de bambu (Figura 82a). Em uma outra opção, painéis com colmos de bambu e esquadrias de vidro fixo, ou basculantes, na parte superior (Figura 82b). Este modelo também poderia ser composto pelo bambu laminado colado no lugar dos colmos de bambu. Os painéis também podem ser compostos apenas por vidro, formando uma parede translúcida, ou esteiras de bambu, e demais opções que possam vir a ser necessárias em projeto.

Figura 82 – Modelos de painéis variados.

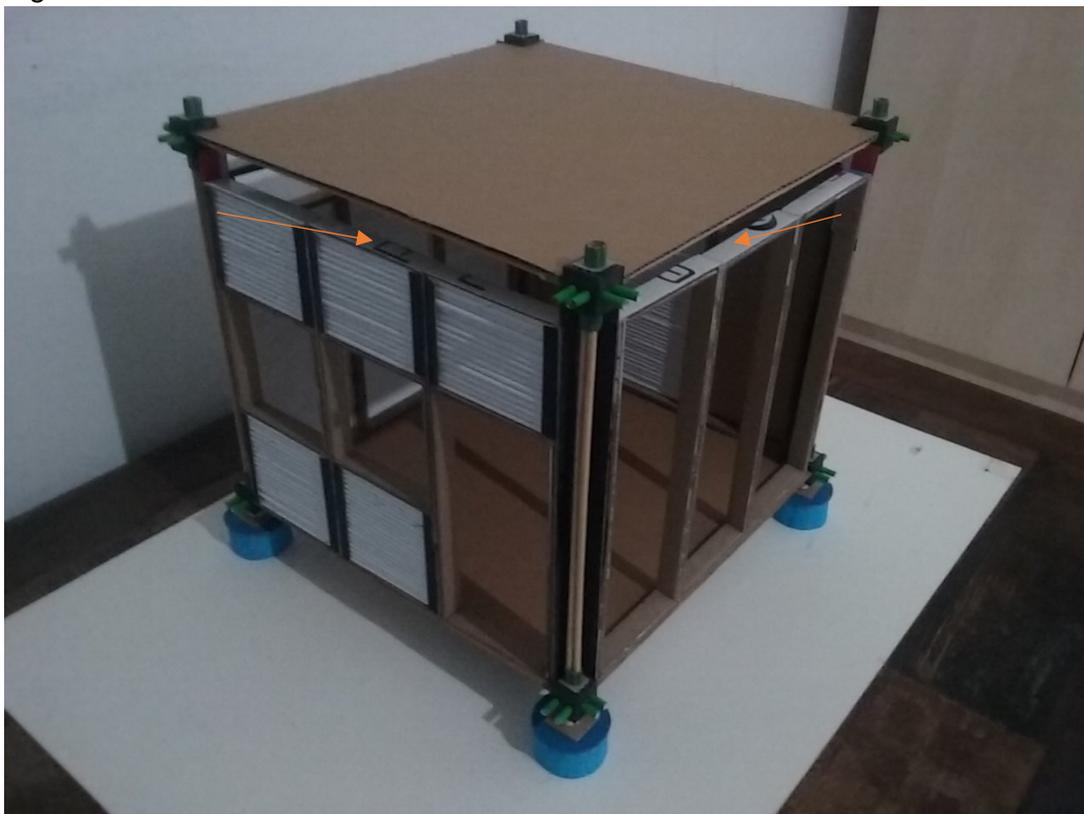


Fonte: Autora (2021).

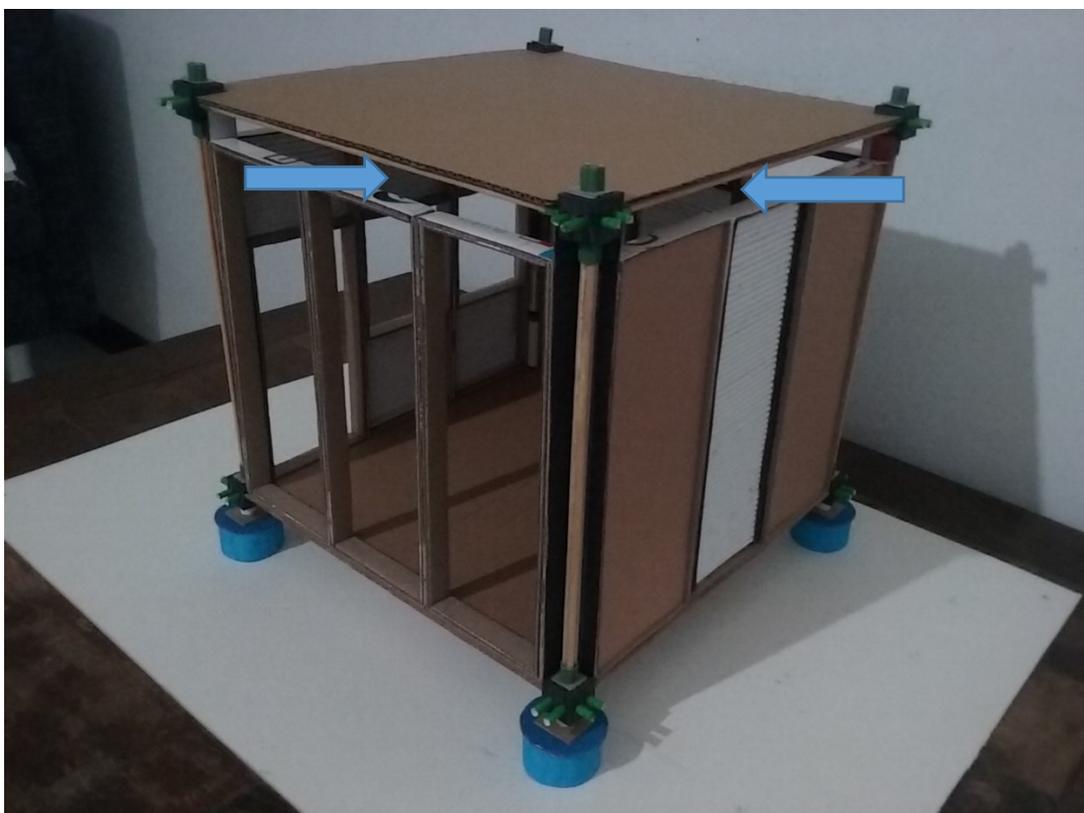
O teto será fixado na parte superior do módulo, acima das vigas de bambu, como apresentado na Figura 83. Este teto poderá ser a finalização da caixa do módulo, como também, o piso de um 2º.pavimento. O acabamento interno do teto será feito por um forro, de madeira ou bambu, fixado acima dos painéis verticais, conforme indicação das setas de cor laranja na Figura 83a.

Entre o forro e o teto deverá haver um espaço para passagem de tubulação, seja elétrica, hidráulica ou aquecimento (Figura 83b).

Figura 83 – Teto e forro.



(a)



(b)

Fonte: Autora (2021).

O estudo da cobertura está representado na Figura 84. Nas ligações, onde existem as esperas para a fixação dos pilares, caso não haja um segundo pavimento, a espera de cima será utilizada para receber a peça estrutural vertical da cobertura, em detalhe no círculo amarelo. A estrutura da cobertura será composta por quatro colmos de bambu (linhas de cor laranja, na figura abaixo), em posição horizontal, fazendo a amarração das peças verticais de apoio, onde poderão ser apoiadas as meia tesouras internas, representadas pelas linhas de cor azul (Figura 84).

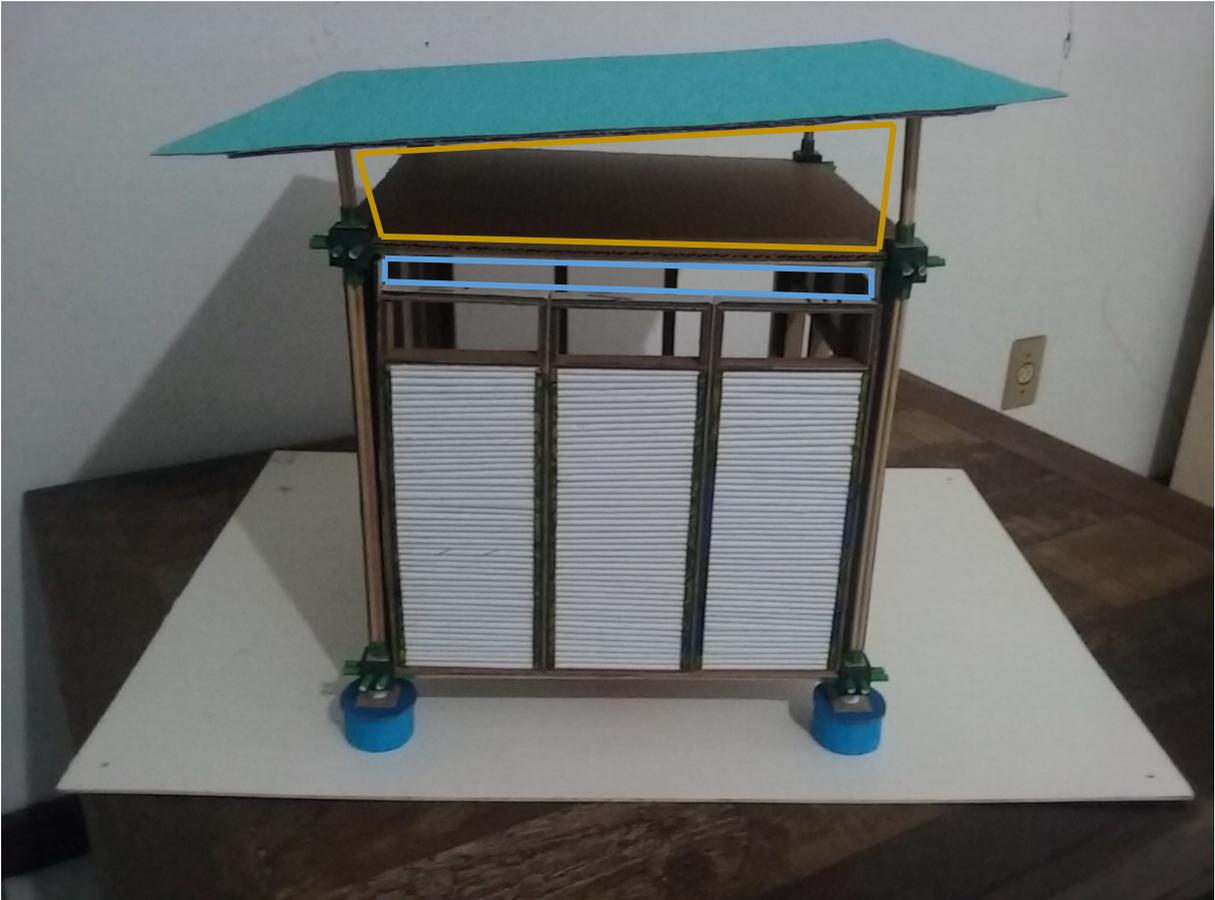
Figura 84 – Estudo da cobertura – estrutura.



Fonte: Autora (2021).

Dessa forma, a cobertura de cada Módulo 1 será desenvolvida em 1 água. A medida que os módulos forem sendo acrescentados, considerando acréscimos de módulos 1, poderão ter sequência em 1 água, no sentido longitudinal, ou duas águas, no sentido transversal. Para acabamento da área da cobertura, serão instalados painéis de fechamento, representados pela cor amarela (Figura 85), que podem ser totalmente fechados, em algumas laterais, e com treliça de bambu, em outras. O mesmo acontece nos espaços entre o forro e o teto, com painéis de fechamento representados por linhas de cor azul, conforme Figura 85.

Figura 85 – Estudo da cobertura – acabamentos.



Fonte: Autora (2021).

As telhas utilizadas para cobertura do Módulo 1 serão em fibrocimento, onduladas, pintadas em azul, em cor aproximada à utilizada na maquete. As telhas para cobertura dos Módulos 2 e 3 serão estudadas nas etapas seguintes, pelo fato de possuírem a forma curva e, por consequência deverão ser estudados, se for o caso, outras finalizações e acabamentos.

Assim, ficam apresentados os primeiros conceitos, relativos ao sistema construtivo modular proposto, bem como, algumas pré-definições dos elementos estruturais (vigas, pilares e ligações), e sistema de fechamento, piso e cobertura.

Na figura 86 são apresentadas fotos com vistas da maquete, representando o sistema construtivo proposto, com soluções para o Módulo 1, e espera, nas ligações estruturais, para o acréscimos de outros módulos. Estes módulos podem ser qualquer um dos três módulos propostos, Módulo 1, 2 ou 3, lembrando que o conceito é de que seja utilizado apenas um tipo de ligação, para qualquer módulo.

Figura 86 – Vistas da maquete referente ao Módulo 1.



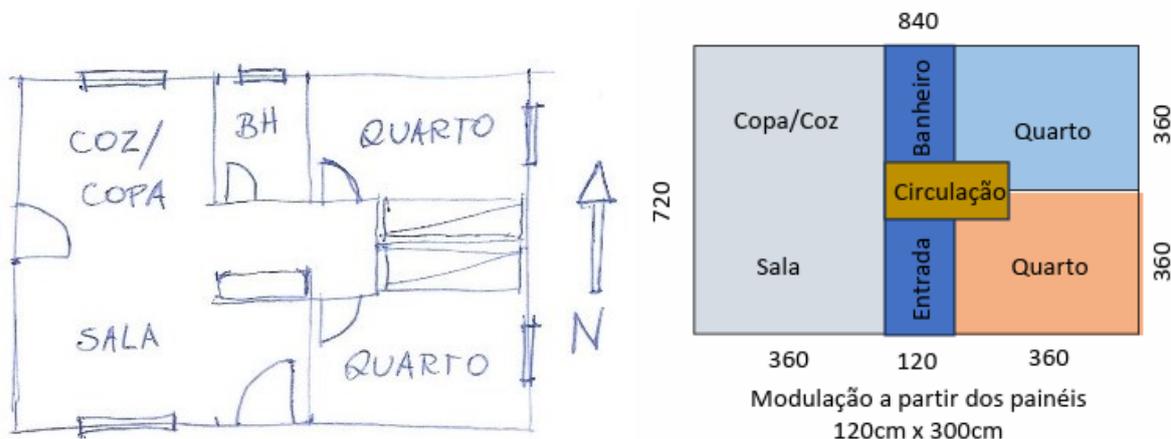
Fonte: Autora (2021).

4.3 PROPOSTA ARQUITETÔNICA PARA SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO

O projeto elaborado, para a simulação computacional e demais avaliações, teve como referência o levantamento feito com as construções locais, ou seja, foi incorporado no projeto características semelhantes às encontradas na região. Por exemplo, casas com dois quartos, um banheiro, um ambiente integrado para copa/cozinha/sala, duas janelas voltadas para a fachada frontal. Na figura 87 é apresentado o croqui da planta da edificação, para efeito de simulação e avaliação dos ambientes.

A partir da ideia de simular uma casa de dois quartos, esta foi dimensionada em função dos painéis do sistema de fechamento que são 1,20mx0,15mx3,00m. Sendo que as medidas externas da edificação, sem varanda, ficaram 7,20m x 8,40m. Isto corresponde a um total de 26 painéis de bambu para o fechamento da casa.

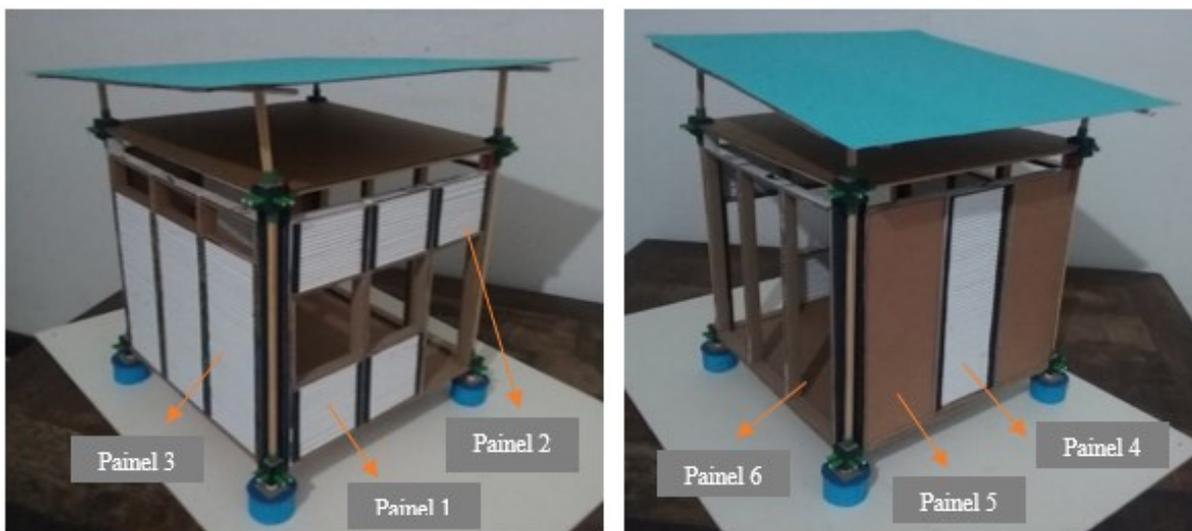
Figura 87 – Croqui da planta do projeto arquitetônico.



Fonte: Autora (2021).

Através da maquete do Módulo 1 foram projetados seis painéis, que podem ser adaptados para cada situação de projeto (Figura 88). Estes painéis estão descritos no Quadro 22.

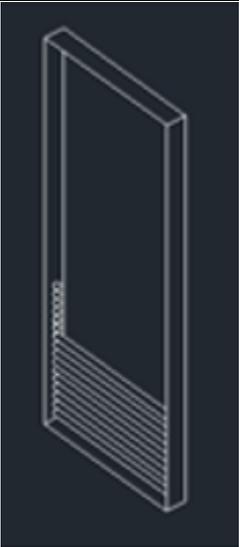
Figura 88 - Tipos de painéis.



Fonte: Autora (2021).

Os painéis descritos no Quadro 22 foram utilizados para avaliação e simulação no decorrer da pesquisa, podendo ainda haver variações para efeito comparativo e evolução no desenvolvimento dos painéis, sendo considerados ponto de partida para o estudo.

Quadro 22 - Descrição dos painéis.

Painel	Descrição	Componentes
Painel 1	Painel com colmos de bambu e espaço para janela	Enquadramento de madeira Colmos de bambu Janela de bambu ou madeira
Painel 2	Painel com colmos de bambu e espaço para porta	Enquadramento de madeira Colmos de bambu Porta de bambu ou madeira
Painel 3	Painel com colmos de bambu com abertura superior	Enquadramento de madeira Colmos de bambu Abertura superior livre para fechamento com vidro ou janela
Painel 4	Painel com colmos de bambu sem aberturas	Enquadramento de madeira Colmos de bambu
Painel 5	Painel com bambu laminado colado	Enquadramento de madeira Chapa de bambu laminado colado
Painel 6	Painel livre para composição com vidro ou outros materiais	Enquadramento de madeira Abertura livre para fechamento com materiais diversos
Detalhe da composição dos painéis		
Painel de bambu simples (PBS)	Painel de bambu duplo (PBD)	Painel de bambu laminado colado (PBLC)
		

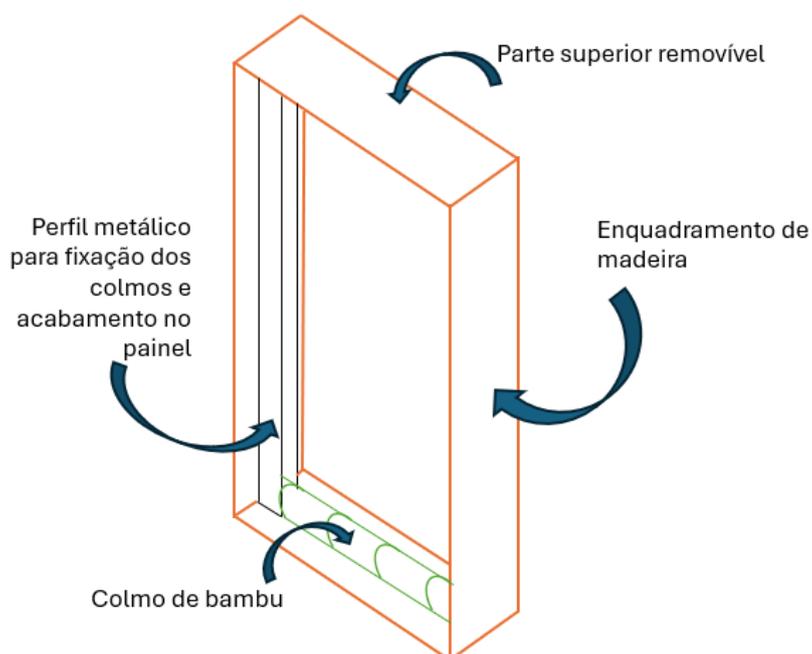
Fonte: Autora (2021).

No caso de simulação computacional, serão utilizados os painéis descritos na Figura 89. Estes painéis também serão utilizados para efeito comparativo com outros materiais construtivos encontrados na região de estudo, conforme levantamento específico.

Figura 89 - Painéis definidos para simulação.



Detalhe construtivo do painel



Fonte: Autora (2021).

Para efeito deste estudo, toda a pesquisa teve foco nos painéis de bambu, desde a avaliação de desempenho até a verificação da viabilidade construtiva na região de estudo.

5 DESEMPENHO DO BAMBU COMO MATERIAL CONSTRUTIVO

O estudo do desempenho do bambu como material construtivo foi desenvolvido a partir dos fatores descritos na norma de desempenho ABNT NBR 15575, que foram avaliados e delimitados para esta pesquisa. Após a avaliação, alguns fatores foram verificados a partir das possibilidades projetuais dos painéis de bambu propostos, através da análise de projeto. Outros fatores foram pesquisados em estudo específico.

5.1 AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS DE DESEMPENHO

Em função da extensão das exigências constantes na Norma ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013), são tratados, neste estudo, alguns tópicos para avaliação do desempenho do sistema construtivo proposto. Para tanto, foram pesquisados os fatores, os requisitos, os critérios e os métodos de avaliação, relacionados na Norma, que pudessem estar dentro do alcance deste trabalho.

Segundo esta norma, as exigências dos usuários são tratadas sob três aspectos: 1) segurança – segurança estrutural, segurança no uso e na operação, segurança contra incêndio; 2) habitabilidade – estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico; 3) sustentabilidade – durabilidade e manutenibilidade, impacto ambiental (Quadro 23).

A delimitação do estudo de desempenho do bambu parte da avaliação dos requisitos e é definida através da análise dos métodos de avaliação. Sendo assim, foram considerados métodos com base em análise de projeto, simulações e inspeções em protótipos ou em campo.

Em síntese, o estudo de desempenho do bambu como material construtivo tem maior ênfase, nesta pesquisa, no desempenho térmico do bambu em região específica. Os fatores avaliados através da análise de projeto têm caráter de substanciar o sistema construtivo proposto. Os fatores não marcados no Quadro 23 não foram considerados neste estudo.

Quadro 23 – Tópicos para avaliação de desempenho.

continua

E	Fatores	Requisitos	Critério	Método de avaliação
SEGURANÇA	Segurança estrutural	Estabilidade e resistência estrutural	Estado-limite último	Análise do projeto estrutural, verificando sua conformidade com as Normas Brasileiras específicas
		Deformações, fissurações, ocorrência de outras falhas	Estados-limites de serviço	Análise do projeto estrutural, verificando sua conformidade com as Normas Brasileiras específicas
	Segurança no uso e na operação	Segurança na utilização do imóvel	Segurança na utilização dos sistemas	Análise do projeto ou inspeção em protótipo
		Segurança das instalações	Segurança na utilização das instalações	Análise do projeto ou inspeção em protótipo
	Segurança contra incêndio	Os requisitos propostos pela Norma não serão pesquisados neste trabalho. São eles: dificultar o princípio de incêndio, facilitar a fuga em situação de incêndio, dificultar a inflamação generalizada, dificultar a propagação do incêndio, segurança estrutural, sistema de extinção e sinalização de incêndio		
E	Fatores	Requisitos	Critério	Método de avaliação
HABITABILIDADE	Estanqueidade	Estanqueidade a fontes de umidade externas à edificação	Estanqueidade à água da chuva, à umidade do solo e do lençol freático	Análise de projeto e métodos de ensaio especificados na NBR 15575-3 e NBR 15575-5
		Estanqueidade a fontes de umidade internas à edificação	Estanqueidade à água utilizada na operação e na manutenção do imóvel	Análise de projeto e métodos de ensaio especificados na NBR 15575-3 e NBR 15575-5
	Desempenho térmico	Procedimento 2 – Medição (Anexo A da Norma). Verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.		
	Desempenho acústico	Isolação acústica de vedações externas	Desempenho acústico das vedações externas	Especificado nas Normas NBR15575-4 e NBR 15575-5
		Isolação acústica entre ambientes	Isolação ao ruído aéreo entre piso e paredes internas	Especificado nas Normas NBR15575-3 e NBR 15575-4
		Ruídos de impactos	Ruídos gerados por impactos	Análise do projeto e conforme especificado nas Normas NBR15575-3 e NBR 15575-5
	Desempenho lumínico	Iluminação natural	Foi considerado para efeito deste estudo: Projeto dos painéis no sentido de permitir as condições mínimas necessárias para a iluminação natural dos ambientes.	
Iluminação artificial		Foi considerado para efeito deste estudo: Projeto que proporcione condições para instalação de tubulações, pontos de luz e energia, necessários para o funcionamento do sistema elétrico.		

Fonte: Autora (2021).

conclusão

E	Fatores	Requisitos	Critério	Método de avaliação
HABITABILIDADE	Saúde, higiene e qualidade do ar	Os requisitos propostos pela Norma não serão pesquisados neste trabalho. São eles: proliferação de microrganismos, poluentes na atmosfera interna à habitação e poluentes no ambiente de garagem.		
	Funcionalidade e Acessibilidade	Altura mínima de pé-direito	Altura mínima de pé-direito não deve ser inferior a 2,50m	Análise de projeto
		Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação	Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação	Análise de projeto
		Adequação para pessoas com deficiências físicas ou pessoas com mobilidade reduzida	Adaptações de áreas comuns e privativas (NBR 9050)	Análise de projeto
		Possibilidade de ampliação da unidade habitacional	Ampliação de unidades habitacionais evolutivas	Análise de projeto
	OBS – No projeto e na execução das edificações térreas e assobradadas de caráter evolutivo, deve ser prevista a possibilidade de ampliação, especificando-se os detalhes construtivos necessários para ligação ou a continuidade de paredes, pisos, coberturas e instalações. NOTA – Edificações de caráter evolutivo são aquelas comercializadas já com previsão de ampliações.			
Conforto tátil e antropodinâmico	Os requisitos propostos pela Norma não serão pesquisados neste trabalho. São eles: conforto tátil e adaptação ergonômica, adequação antropodinâmica de dispositivos de manobra.			
E	Fatores	Requisitos	Critério	Método de avaliação
SUSTENTABILIDADE	Durabilidade e Manutenibilidade	Vida útil de projeto (VUP) do edifício e dos sistemas que o compõem	Vida útil de projeto	Análise do projeto
			Durabilidade	Na inexistência de Normas brasileiras, a avaliação deverá ser feita através do cumprimento das exigências estabelecidas em normas estrangeiras específicas e coerentes com os componentes empregados na construção e sua aplicação
		Manutenibilidade do edifício e seus sistemas	Facilidade ou meios de acesso	Análise do projeto
	Impacto ambiental	Segundo a Norma, “técnicas de avaliação do impacto ambiental, resultante das atividades da cadeia produtiva da construção, ainda são objeto de pesquisa e, no atual estado-da-arte, não é possível estabelecer critérios e métodos de avaliação relacionados à expressão desse impacto”.		

Fonte: Autora (2021).

5.2 DESEMPENHO TÉRMICO

Uma das questões importantes a serem verificadas neste estudo é o comportamento do bambu em regiões de baixas temperaturas. Neste sentido foi feita a simulação computacional com relação ao desempenho térmico de uma edificação com elementos construtivos constituídos por bambu. Para se ter um parâmetro do desempenho térmico do bambu na região, foi feito um comparativo entre edificações construídas com madeira, alvenaria e bambu. Isto porque a madeira e a alvenaria são os materiais mais utilizados no local de estudo, segundo levantamento descrito no capítulo 4. A verificação do desempenho térmico foi feita através de 2 simulações de ambientes e 3 medições de resistência térmica, duas de colmos de bambu e uma de chapa laminada colada (Quadro 24). Foram escolhidas para análise, espécies de bambu consideradas prioritárias na região da América Latina, segundo a INBAR, relacionadas no capítulo 2, item 2.3.1.2, para o caso das espécies *Dendrocalamus asper* e *Guadua chacoensis*. A espécie *Phyllostachys pubescens* não está na lista para a América Latina, porém faz parte do produto chapa de bambu, que é importado.

Quadro 24 – Verificação de desempenho térmico do bambu.

Ações		Descrição	Objetivo
Simulação 1		Simulação em uma zona térmica com variação dos materiais utilizados no sistema construtivo	Verificar a redução do consumo de energia no ambiente
Simulação 2		Simulação de uma edificação residencial de 1 pavimento, com variação dos materiais utilizados no sistema construtivo	Verificar o número de horas em que a temperatura interna dos ambientes atinge cada faixa de temperatura pré-definida
Medições	Medição 1	Colmos de bambu Espécie <i>Dendrocalamus asper</i>	Medição da resistência térmica Medir a resistência térmica de diferentes tipos de painéis de bambu, compostos por espécies de bambu diferentes
	Medição 2	Colmos de bambu Espécie <i>Guadua chacoensis</i>	
	Medição 3	Chapa de bambu laminado colado Espécie <i>Phyllostachys pubescens</i>	

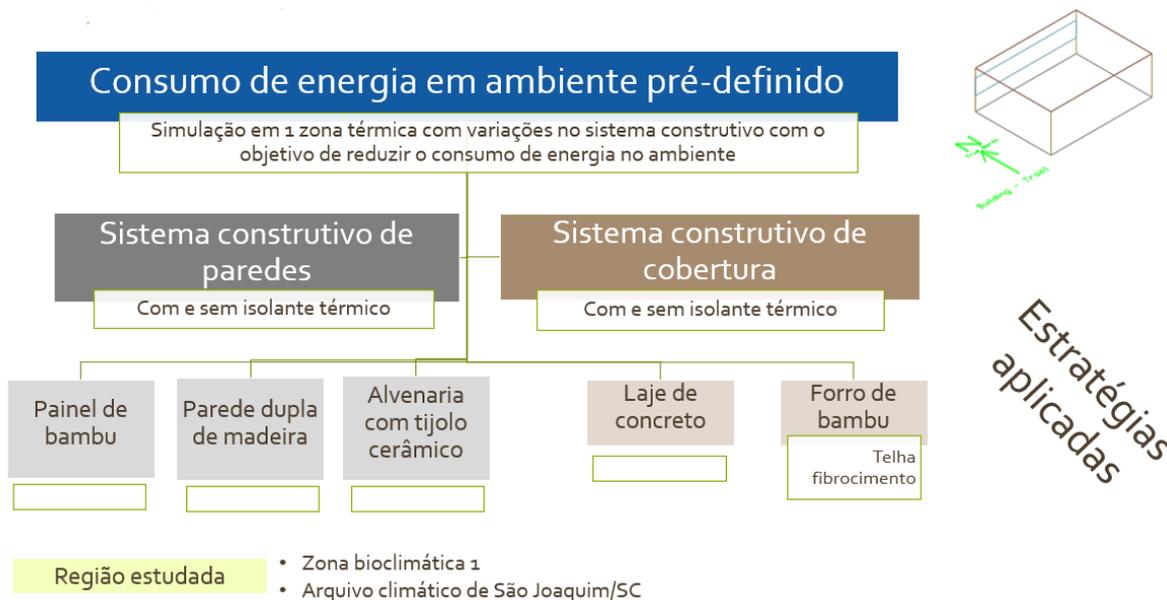
Fonte: Autora (2023).

5.2.1 Simulação 1

A primeira simulação foi feita em apenas uma zona térmica com o objetivo de verificar a capacidade de redução do consumo de energia no ambiente, de acordo com determinados materiais.

As estratégias utilizadas para simulação foram a variação de materiais nos sistemas construtivos de paredes e de cobertura. Os materiais utilizados nas paredes foram painel de bambu, parede dupla de madeira e alvenaria de tijolos cerâmicos. Estes materiais foram escolhidos, primeiramente, para teste dos painéis projetados para o sistema construtivo, e depois, para um comparativo com materiais utilizados na região de estudo, a madeira e o tijolo cerâmico. As variações no sistema de cobertura foram simuladas com laje de concreto e forro de bambu com telha de fibrocimento. Tanto nas paredes quanto na cobertura foram utilizadas as opções com e sem isolante térmico (Figura 90).

Figura 90 – Simulação 1. Objeto de estudo e estratégias aplicadas.



Fonte: Autora (2023).

As simulações foram feitas no programa EnergyPlus v.22.2.0. Os dados para inserção no programa computacional estão relacionados na Figura 91. Os dados sobre o bambu são os encontrados na literatura, e os dados sobre a madeira e o tijolo cerâmico foram extraídos da norma ABNT NBR 15220-2.

Figura 91 – Simulação 1. Dados iniciais.

Ambiente simulado (Referência) – Dados de entrada	
Não alterados na simulação	Com variações no sistema construtivo
Dimensões: 6m x 8m x 3m (48 m ²)	
40% de área de janela na fachada norte; Vidro verde 6mm	Cobertura em laje de concreto com 50 mm de isolante térmico
Superfícies externas com <u>absortância</u> 0,50	Paredes em alvenaria de bloco de concreto
Ar-condicionado tipo split com COP = 3,0	
Infiltração de ar de 0,5 trocas/h durante o período de desocupação	
Padrão de uso e ocupação: das 8h às 18h	
Cargas internas: Iluminação 12 W/m ² ; Equipamentos 16 W/m ² ; Ocupação 12 m ² /pessoa	

Dados para simulação

	Bambu	Madeira	Tijolo cer. 6 furos	Telha 8mm fibrocimento
Densidade ρ (kg/m ³)	624	800	1600	1700
Condutividade λ (W/m ² .K)	0,0975	0,29	0,9	0,65
Calor específico c (J/kg.K)	1270	1340	920	840

Câmara de ar
Cobertura Res Térm = 0,21 (m ² .k)/W

Obs: Nas simulações realizadas com o bambu, a madeira e o tijolo cerâmico, os valores para a camada de ar e para o isolante térmico foram os mesmos do ambiente simulado de referência

Bambu:
Condutividade e Calor Específico (Vega e Saldarriaga, 2005)
Densidade (González, Hellwig e Montoya, 2008)
Os dados correspondem à média dos valores máximo e mínimo indicados na fonte (Valores para Bambu Guadua)

Fonte: Autora (2023).

Com relação aos sistemas construtivos de paredes, foram utilizados para simulação dois tipos de painéis de bambu: Painel simples – composto por uma camada de colmos de bambu; Painel duplo – composto por duas camadas de colmos de bambu com uma camada de ar entre eles. Também foram simuladas paredes com madeira e alvenaria: Parede dupla de madeira; Alvenaria com bloco cerâmico (Figura 92).

Figura 92 – Simulação 1. Painéis pesquisados.

Painel de colmos de bambu

- Com e sem isolante térmico

Parede dupla de madeira

- Com e sem isolante térmico

Alvenaria com bloco cerâmico

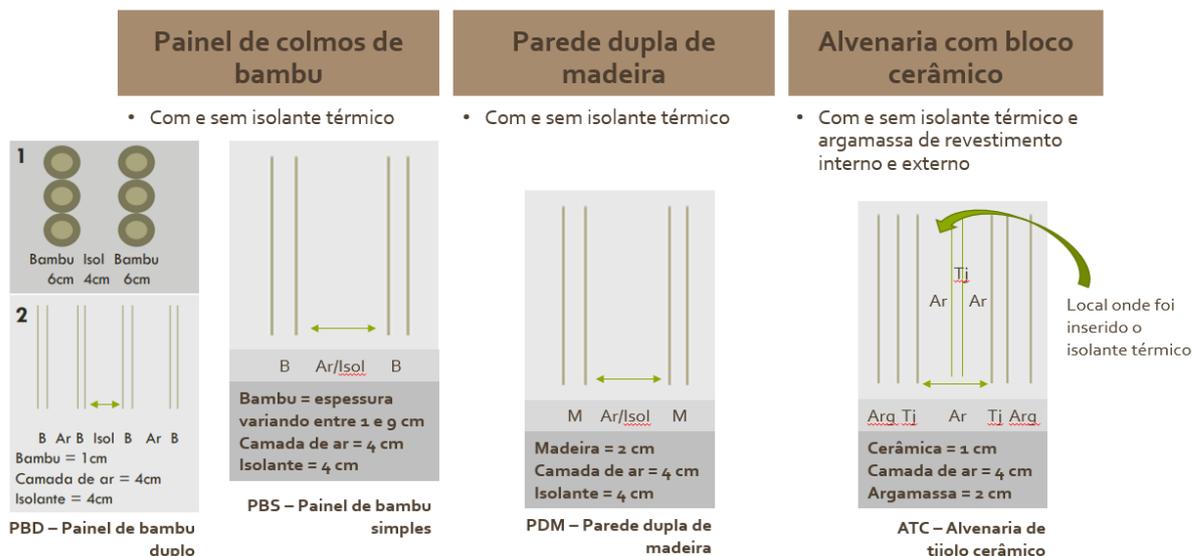
- Com e sem isolante térmico, e argamassa de revestimento interno e externo

Para simular esta situação seriam necessários 13 layers. No Programa EnergyPlus são aceitos até 10 layers. A simulação foi feita com apenas 1 tijolo e o isolante térmico foi posicionado de acordo com o desenho esquemático, apresentado no slide a seguir.

Fonte: Autora (2023).

Na Figura 93 é apresentado o modelo utilizado para inserção dos dados de cada painel de bambu, como também, da parede dupla de madeira e da alvenaria com bloco cerâmico. Neste último caso, foi considerado a alvenaria com um tijolo e com revestimento interno e externo.

Figura 93 – Descrição da inserção de dados dos painéis.

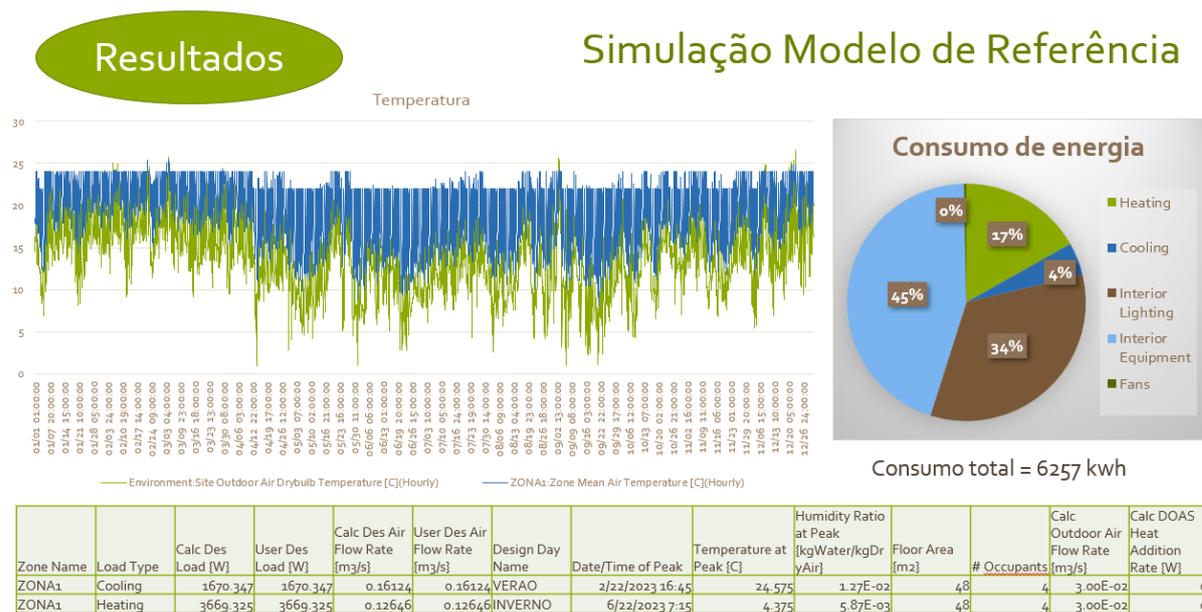


Fonte: Autora (2023).

Para verificar a porcentagem de redução do consumo de energia foi considerado, inicialmente um modelo base para referência. Este modelo foi simulado com piso e cobertura em laje de concreto, e paredes em alvenaria com bloco de concreto. Os resultados desta simulação são apresentados na Figura 94. O modelo de referência, e os modelos com painéis de bambu, madeira e alvenaria foram simulados com arquivo climático de São Joaquim/SC, com o intuito de verificar o comportamento dos materiais na região de estudo.

O modelo de referência atingiu um consumo de energia total igual a 6257 kwh/ano. Este consumo é função dos dados estabelecidos para o ambiente simulado, de 48m² e dimensões 6m x 8m x 3m, composto por apenas uma zona térmica, com temperatura controlada e padrão de uso e ocupação das 8h às 18h. Para os outros modelos simulados, quando os valores do consumo total de energia forem maiores que 6257 kwh/ano é considerado aumento de consumo. Por sua vez, para valores menores é considerado redução de consumo.

Figura 94 – Simulação do modelo de referência.



Fonte: Autora (2023).

A composição do consumo de energia gira em torno da energia necessária para aquecimento e resfriamento do ambiente, iluminação interna e consumo de energia com os equipamentos internos. No caso do modelo de referência, o percentual de consumo para cada um destes parâmetros foi o seguinte: equipamento interno – 45%, iluminação interna – 34%, aquecimento – 17%, resfriamento – 4%.

O gráfico e a tabela apresentados na Figura 94 foram produzidos a partir de dados gerados pelo programa computacional após simulação. O gráfico de temperatura representa a temperatura externa (cor verde) e temperatura interna (cor azul) durante o período de um ano, medidas de hora em hora, totalizando 8760h. Na tabela, alguns dados sobre o aquecimento e o resfriamento do ambiente.

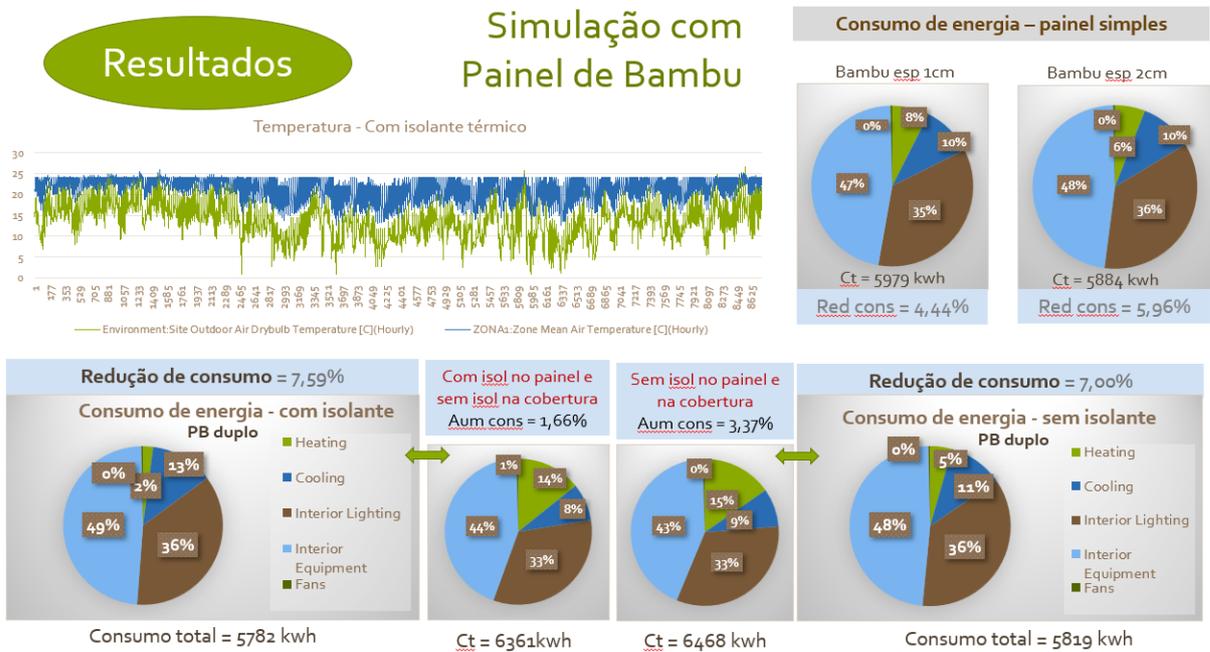
As próximas simulações foram realizadas para o mesmo ambiente, alterando-se apenas o sistema de fechamento vertical, mantendo-se o piso e a cobertura em concreto. Também foi mantida a carga interna e demais dados de entrada.

Na Figura 95 estão apresentados os resultados das simulações com os painéis de bambu, simples e duplo. Os resultados estão apresentados para os painéis da seguinte forma:

- Painéis de bambu duplo (PBD) com isolante térmico nas paredes e na cobertura;

- Painel de bambu duplo (PBD) sem isolante térmico nas paredes e com isolante térmico na cobertura;
- Painel de bambu duplo (PBD) com isolante térmico nas paredes e sem isolante térmico na cobertura;
- Painel de bambu duplo (PBD) sem isolante térmico nas paredes e na cobertura;
- Painel de bambu simples (PBS) sem isolante térmico nas paredes e com isolante térmico na cobertura, para o bambu com espessura igual a 1cm;
- Painel de bambu simples (PBS) sem isolante térmico nas paredes e com isolante térmico na cobertura, para o bambu com espessura igual a 2cm.

Figura 95 – Simulação com painel de bambu. Consumo de energia.



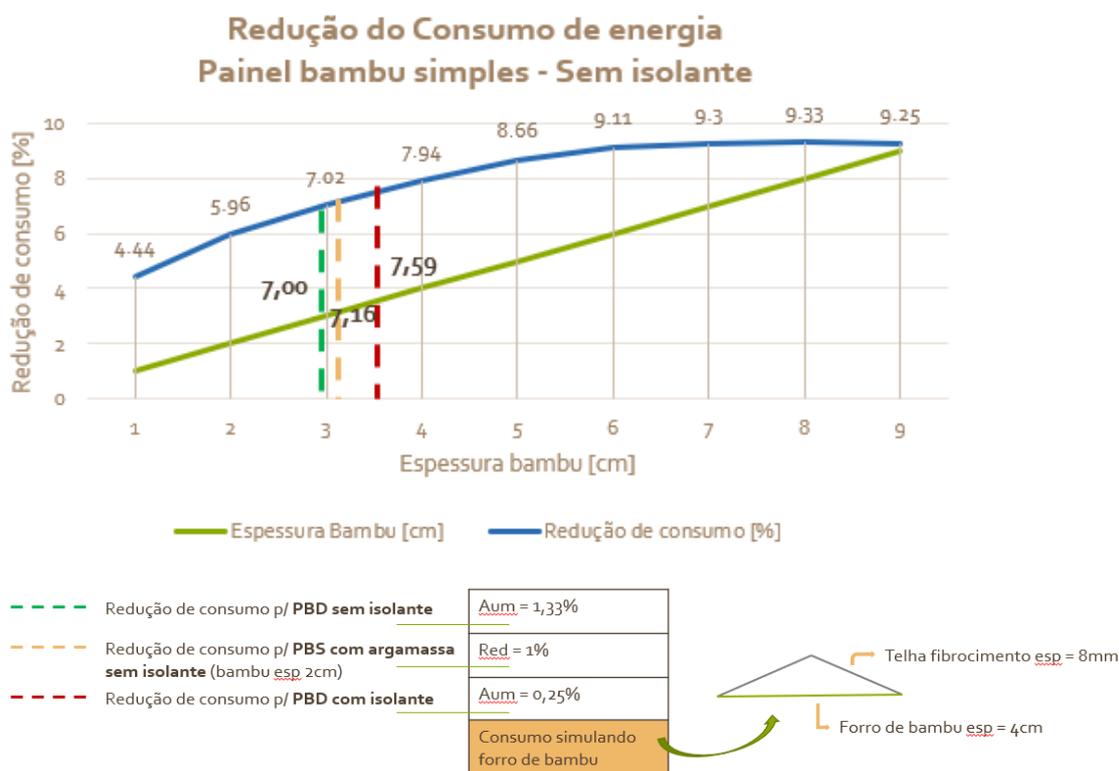
Fonte: Autora (2023).

Os resultados obtidos para o painel de bambu duplo foram de redução de consumo quando utilizado isolante térmico na cobertura, e de aumento no consumo total quando o ambiente foi simulado sem isolante térmico na cobertura de concreto. Um ponto a se observar é que, na simulação do painel de bambu duplo, houve uma redução na casa de 7,0% tanto para o painel com isolante térmico (7,59%) quanto para o painel sem o isolante (7,0%).

Os resultados para o painel de bambu simples também foram de redução de consumo. O bambu simulado com 1cm de espessura obteve uma redução de 4,44%, e com 2cm de espessura a redução foi de 5,96%.

A partir dos resultados encontrados com a simulação de painéis de bambu simples com 1cm e 2cm de espessura, prosseguiu-se com a simulação dos painéis, aumentando gradativamente a espessura do bambu. Estas simulações foram feitas considerando o painel de bambu simples (PBS) sem isolante térmico nas paredes e com isolante térmico na cobertura em concreto. No gráfico da Figura 96 estão apresentados os resultados com a redução de consumo.

Figura 96 – Gráfico para redução de consumo com várias espessuras de bambu.



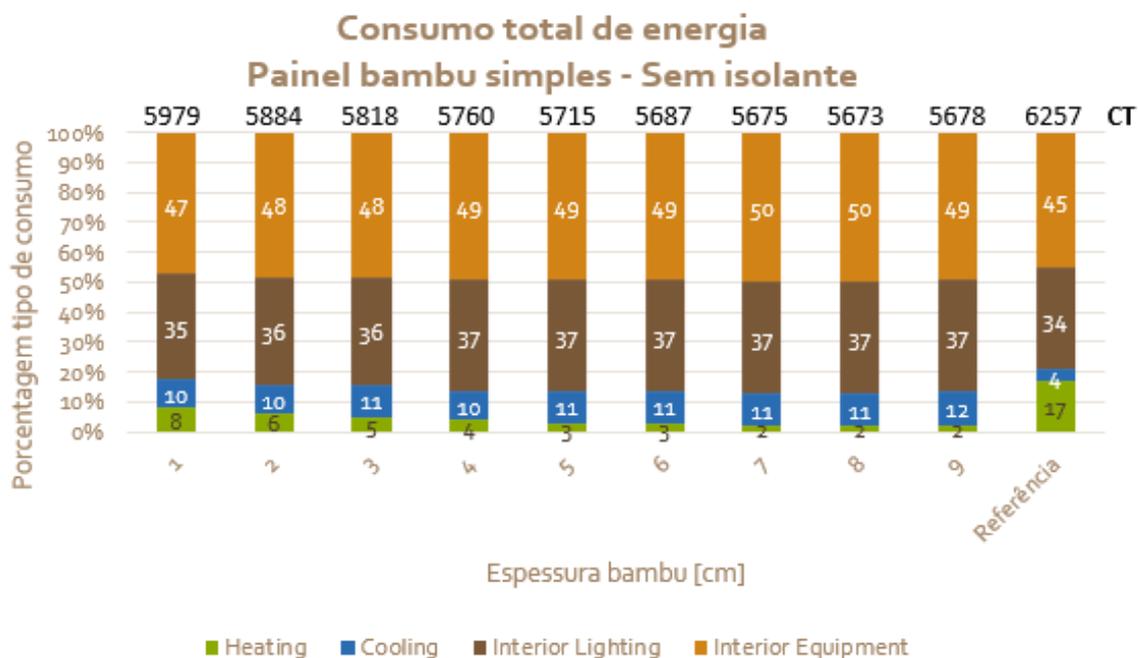
Fonte: Autora (2023).

Posteriormente, foram feitas três simulações utilizando um telhado com telha de fibrocimento com espessura igual a 8mm e forro de bambu com espessura de 4cm. A espessura de 4cm para o forro de bambu foi escolhida pelo resultado encontrado com as simulações anteriores. Para esta situação de cobertura foram simulados três tipos de painéis: 1) painéis de bambu duplo (PBD), sem isolante térmico; 2) painéis

de bambu simples (PBS) com argamassa interna e externa, sem isolante térmico e bambu com espessura igual a 2cm; 3) painéis de bambu duplo (PBD) com isolante térmico. Os resultados estão apresentados na Figura 96, correspondendo às linhas tracejadas no gráfico, nas cores verde, amarelo e vermelho. Apenas na simulação com o painel de bambu simples (PBS), foi obtido uma redução de consumo de energia de 1%. Nas outras duas simulações com o painel de bambu duplo (PBD), com e sem isolante térmico, houve um aumento no consumo total de energia.

No gráfico da Figura 97, estão apresentados os resultados para o consumo total de energia, utilizando o painel de bambu simples (PBS). O consumo de energia foi verificado simulando espessuras do bambu entre 1cm e 9cm e comparado com o modelo de referência. Cada barra, no gráfico, corresponde à simulação com uma espessura diferente, compreendendo: o consumo total (CT), e a porcentagem para cada tipo de consumo – aquecimento, resfriamento, iluminação interna e equipamentos internos.

Figura 97 – Resultados para o consumo total de energia – Painel de Bambu Simples (PBS).



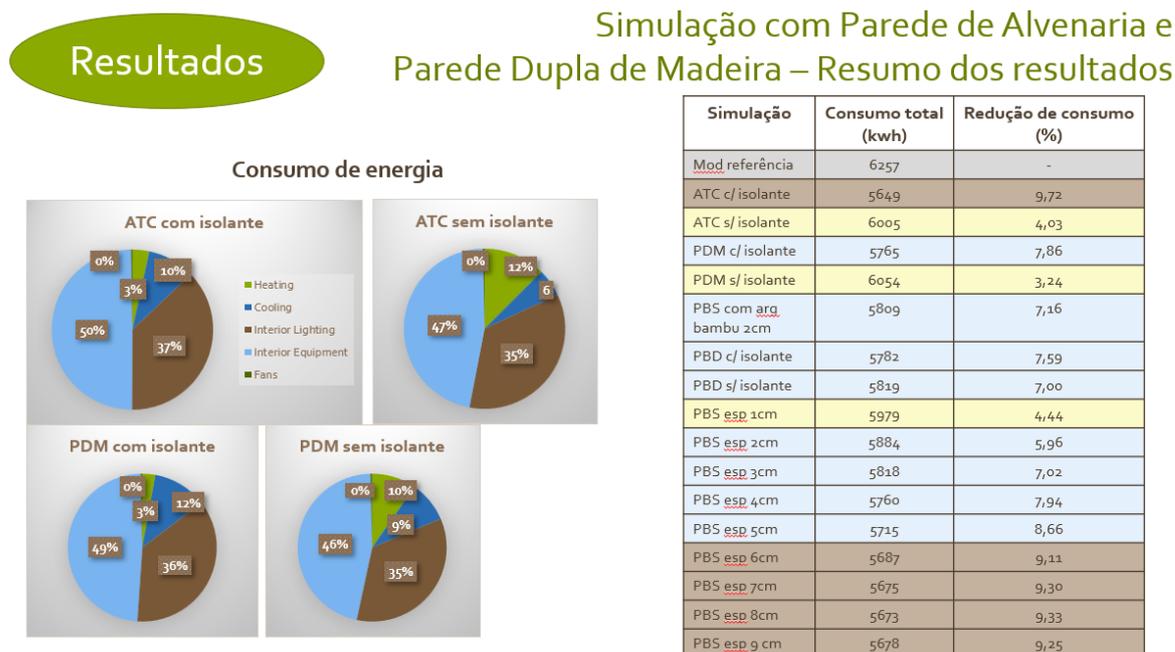
Fonte: Autora (2023).

Pode-se perceber, pelo gráfico, que os dois menores consumos totais de energia foram verificados para espessuras de bambu com 7cm e 8cm. E que a

diminuição do consumo se deu a partir da diminuição do consumo de energia para o aquecimento do ambiente, ocorrendo um pequeno aumento para o resfriamento do ambiente. Somando-se os valores das porcentagens de aquecimento e resfriamento, estas giram em torno de 18% a 14%, no sentido de 1cm a 9cm de espessura do bambu que, em todos os casos, é menor que o valor de referência que é de 21%.

Além das simulações com o bambu, também foram simulados ambientes com paredes de alvenaria com tijolos cerâmicos e paredes duplas de madeira, com e sem isolante térmico. Os resultados destas simulações estão apresentados na Figura 98, bem como um resumo de todas as simulações, com foco na redução do consumo total de energia.

Figura 98 – Simulação com parede de alvenaria e parede dupla de madeira. Consumo de energia.



Fonte: Autora (2023).

De acordo com a simulação, o ambiente com parede de alvenaria com tijolo cerâmico (ATC), com isolante térmico, obteve um consumo de aquecimento e resfriamento somados em 13% do valor total de consumo de energia. E sem o isolante térmico, um valor correspondente a 18% do valor total de energia consumido. No caso da madeira, o ambiente com parede dupla de madeira (PDM), com isolante térmico, consumiu para aquecimento e resfriamento, juntos, 15% do valor total da energia

consumida. E sem o isolante térmico, atingiu um valor correspondente a 19% do total de consumo de energia no ambiente.

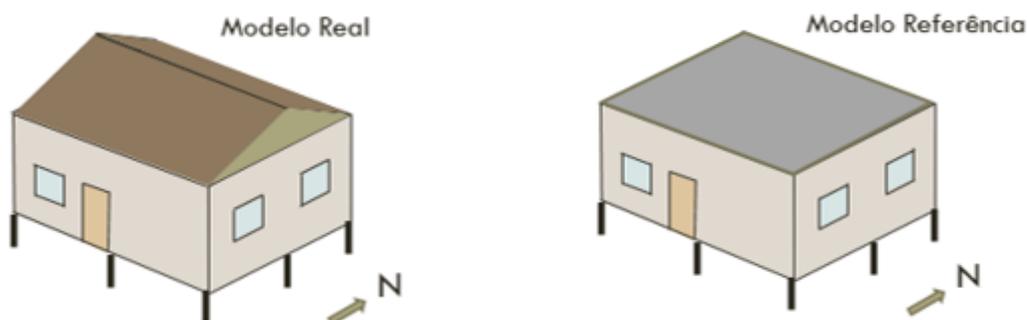
De acordo com o quadro apresentado na Figura 98, o maior percentual de redução do consumo total de energia foi verificado com a simulação das paredes de alvenaria (ATC), com utilização do isolante térmico – 9,72%. Com a utilização de paredes duplas de madeira (PDM) e isolante térmico, foi alcançada uma redução de 7,86% no consumo total de energia. Este valor está próximo dos valores alcançados para os painéis de bambu simples (PBS), sem isolante térmico, com espessuras do bambu variando entre 3cm e 5cm – 7,02% (3cm), 7,94% (4cm) e 8,66% (5cm).

5.2.2 Simulação 2

Nesta simulação foram utilizados apenas painéis de bambu. De acordo com os resultados alcançados na simulação 1 para o painel de bambu simples (PBS), os valores de redução de consumo de energia encontrados determinaram a escolha deste painel para a simulação 2. Além disso, outros fatores foram considerados: a utilização de apenas uma camada de colmos de bambu para a construção do painel; o fato de não haver a necessidade do uso de isolante térmico na composição do painel. Estes dois fatores geram uma economia no custo do painel acabado e, somado a isto, economia no consumo total de energia.

A simulação 2 envolve uma edificação residencial de 1 pavimento, com características baseadas no levantamento apresentado no capítulo 4 (Figura 99).

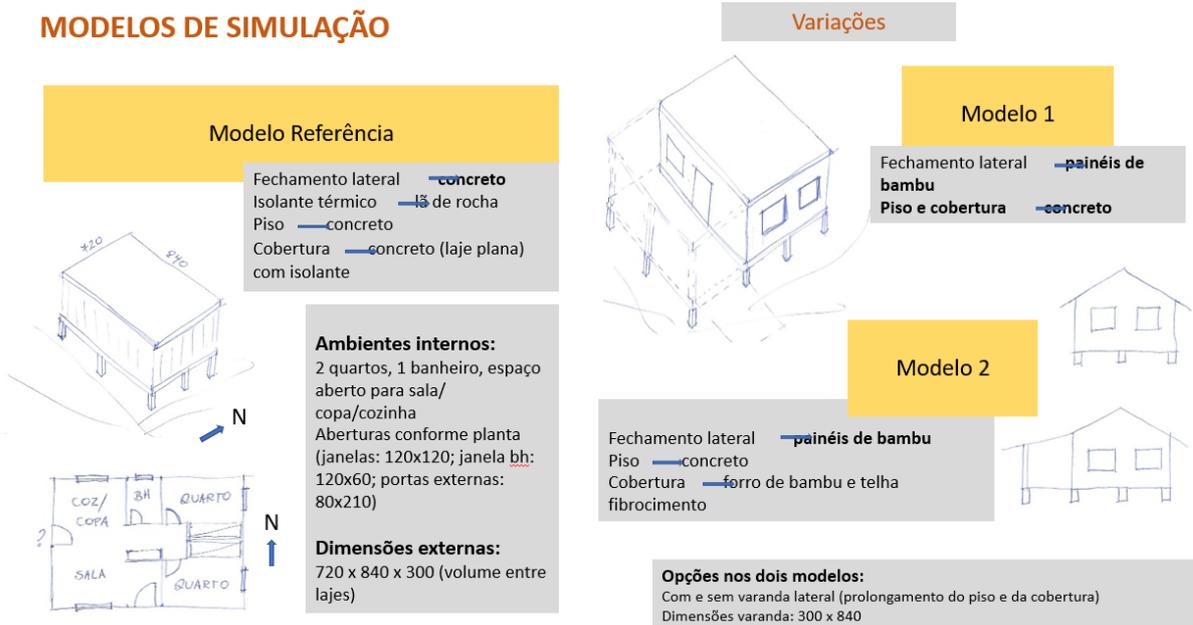
Figura 99 - Simulação 2. Edificação residencial para simulação.



Fonte: Autora (2023).

Foram simulados três modelos: Modelo referência – para alinhamento dos dados e referência de análise; Modelo 1 – variando o material das paredes; Modelo 2 – variando o material das paredes e cobertura. Os três modelos estão representados na Figura 100, com descrição dos materiais utilizados em cada um, volumetrias e espaço interno.

Figura 100 - Simulação 2. Modelos de simulação.

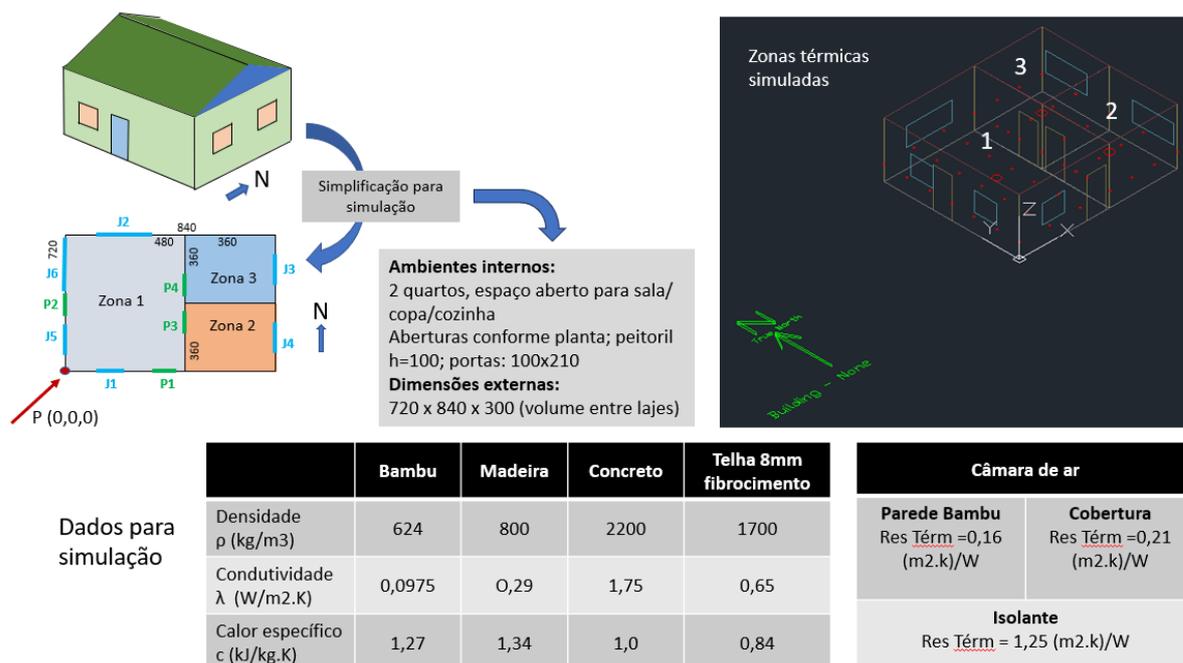


Fonte: Autora (2023).

Os ambientes internos da edificação simulada correspondem a um pequeno hall de entrada, sala e cozinha conjugadas, um banheiro, área de circulação e dois quartos. Para efeito de simulação foi feita uma simplificação dos espaços, transformando-os em três áreas, correspondendo a três zonas térmicas. Estes ambientes e os dados utilizados na simulação estão apresentados na Figura 101.

As estratégias utilizadas na simulação foram a variação de materiais no sistema de fechamento e na cobertura. Assim, no Modelo 1 foram mantidos o piso e a cobertura com laje de concreto do Modelo de Referência e utilizado painéis de bambu no fechamento das paredes internas e externas. No Modelo 2, foi mantido o piso em laje de concreto e os painéis de bambu do Modelo 1 e alterado a cobertura para um telhado com telha de fibrocimento e forro de bambu. Sendo que, na simulação 2 foi utilizada a ventilação natural em horários específicos.

Figura 101 - Simulação 2. Modelo simplificado para simulação.



Fonte: Autora (2023).

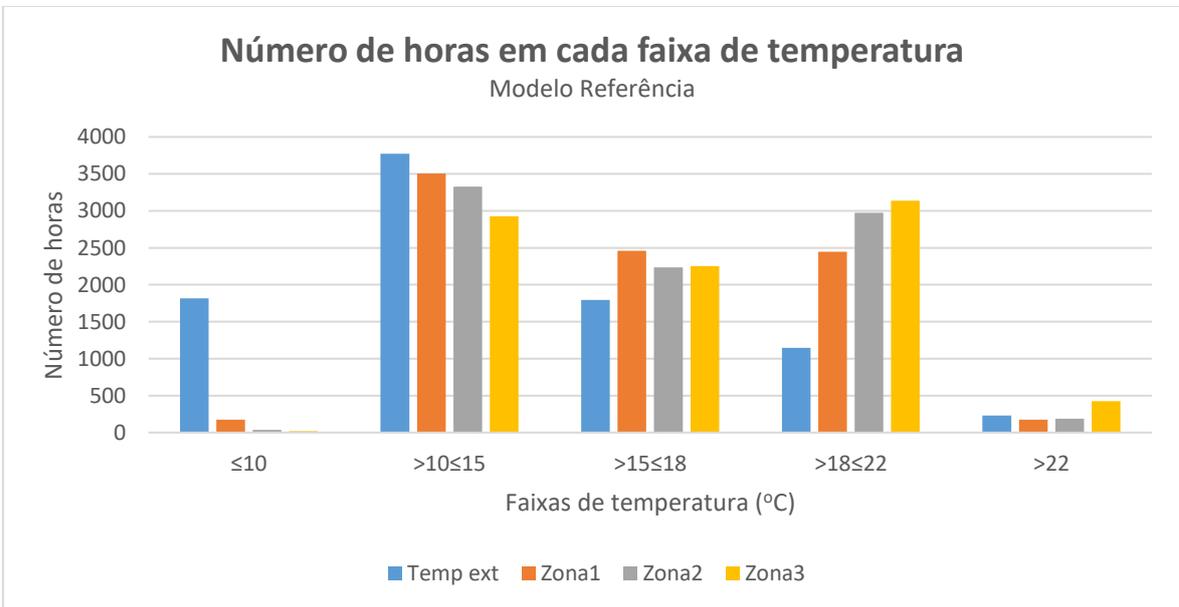
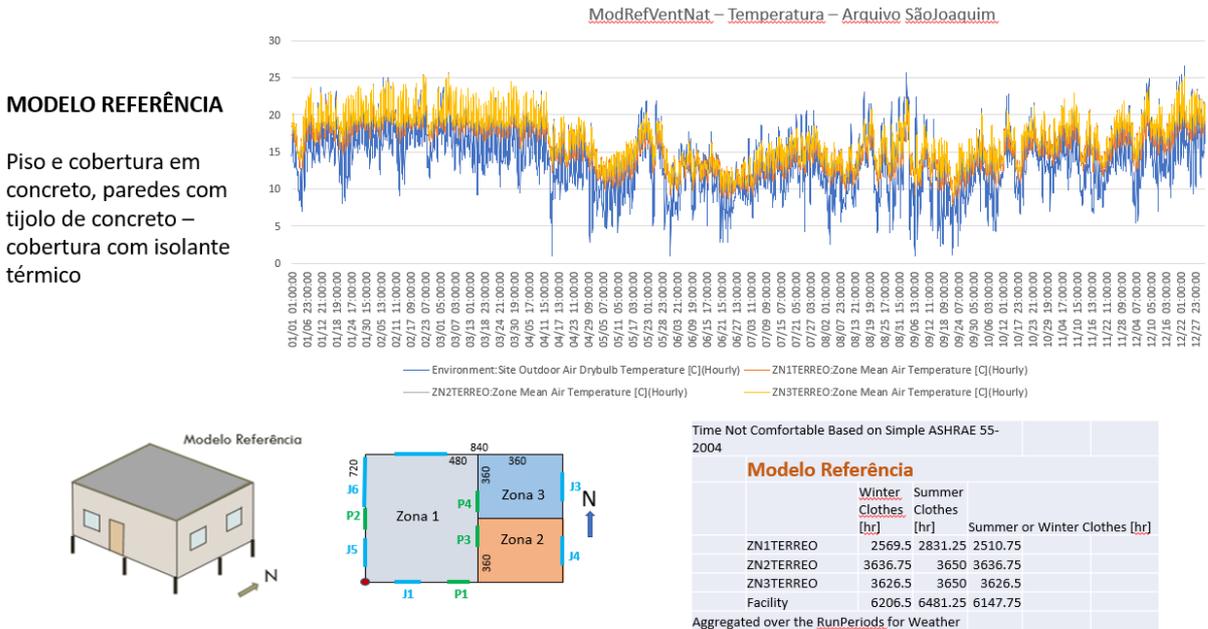
Os resultados para esta simulação são apresentados em número de horas em cada faixa de temperatura pré-estabelecida, utilizando-se o arquivo climático de São Joaquim. Isto significa quanto tempo a temperatura interna nos três ambientes permanece em cada faixa de temperatura. As faixas de temperatura estabelecidas foram: ($\leq 10^{\circ}\text{C}$); ($> 10^{\circ}\text{C} \leq 15^{\circ}\text{C}$); ($> 15^{\circ}\text{C} \leq 18^{\circ}\text{C}$); ($> 18^{\circ}\text{C} \leq 22^{\circ}\text{C}$); ($> 22^{\circ}\text{C}$).

Nas figuras a seguir, com os resultados para os três modelos, são apresentados o gráfico de temperatura, constando a temperatura do ar externo e a temperatura interna correspondente aos três ambientes, e uma planilha com a estimativa de uso de roupas de inverno e de verão, em número de horas, para as três zonas térmicas. Também é apresentado um gráfico relativo ao número de horas em cada faixa de temperatura, comparando a temperatura do ar externo com a temperatura interna nos três ambientes.

Na Figura 102 estão apresentados os resultados para a simulação do modelo de referência. Com o gráfico de número de horas/faixa de temperatura pode-se verificar que o maior número de horas, para as zonas térmicas, concentra-se em temperaturas entre 10°C e 22°C . Comparando com a temperatura do ar externo, há um ganho de calor nos ambientes internos, observando-se o número de horas, para cada zona térmica, nas diversas faixas de temperatura. Pode-se perceber ainda, o

número bem pequeno de horas, nas três zonas térmicas, na faixa de temperatura abaixo de 10°C.

Figura 102 - Resultados para o modelo de referência.



Fonte: Autora (2023).

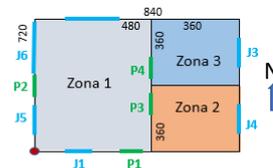
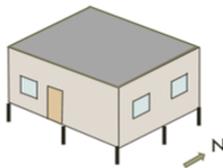
Na Figura 103 estão apresentados os resultados da simulação feita com o modelo 1. De acordo com estes resultados, não há registro de número de horas na faixa de temperatura abaixo de 10°C. O ganho de calor nos ambientes internos é ainda

maior que no registrado para o modelo de referência. O maior número de horas está concentrado em temperaturas acima de 15°C. Sendo que a faixa de temperatura entre 18°C e 22°C é a que registra o maior número de horas nas três zonas térmicas. Outros resultados também são importantes, como o número de horas registrado na faixa de temperatura entre 10°C e 15°C, que cai bastante quando comparado com os resultados obtidos para o modelo de referência.

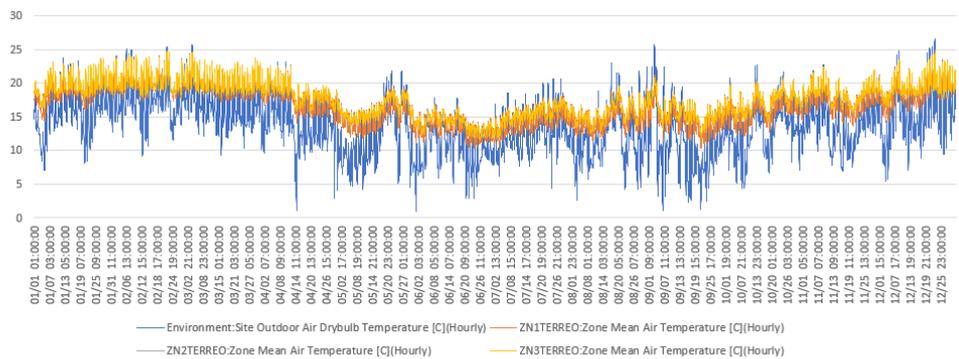
Figura 103 - Resultados para o modelo 1.

MODELO 1

Painel de Bambu Simples (PBS) nas paredes com 3cm de espessura para o bambu
 Piso e cobertura em concreto – sem varanda
 Cobertura com isolante térmico



Mod1BambuVentNat – Temperatura – Arquivo SãoJoachim

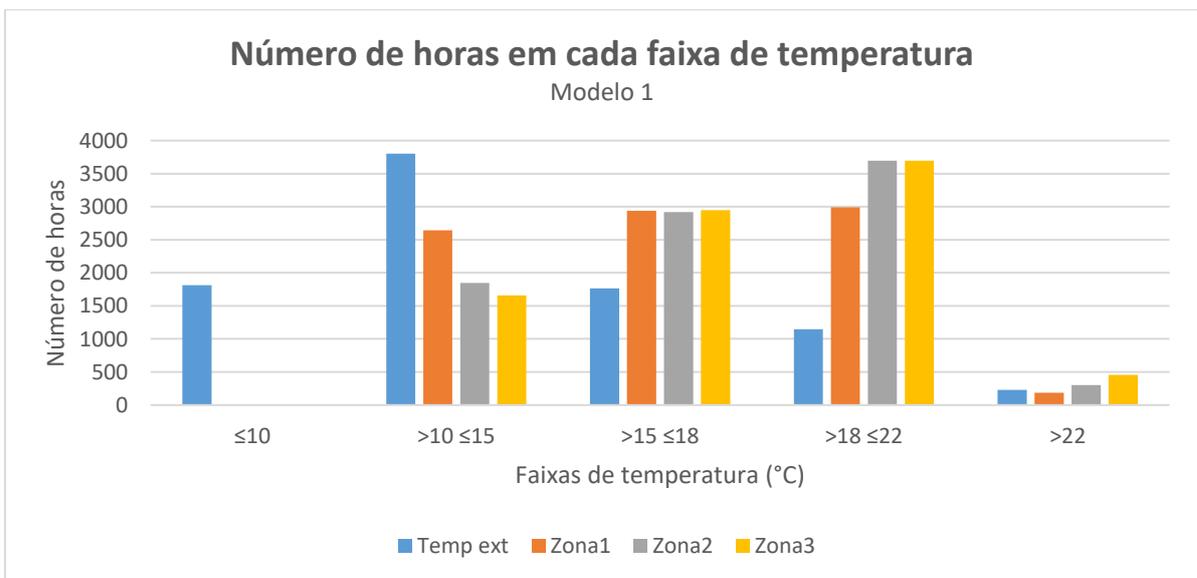


Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004

Modelo 1

	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
ZN1TERREO	2619	2917.25	2618.75
ZN2TERREO	3615.5	3650	3615.5
ZN3TERREO	3608	3650	3608
Facility	6235.5	6567.25	6235.25

Aggregated over the RunPeriods for Weather



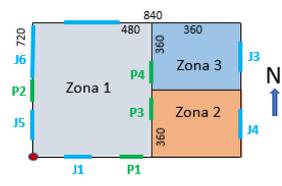
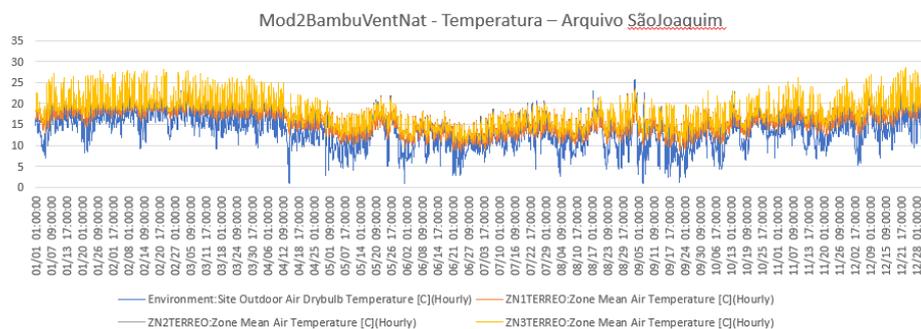
Fonte: Autora (2023).

Na Figura 104 estão apresentados os resultados obtidos com a simulação do modelo 2. É importante ressaltar que, neste modelo foi registrado o maior número de horas na faixa de temperatura acima de 22°C. Também foi registrado neste modelo um menor número de horas, nas três zonas térmicas, nas faixas de temperatura abaixo de 15°C, quando comparado com o modelo de referência.

Figura 104 - Resultados para o modelo 2.

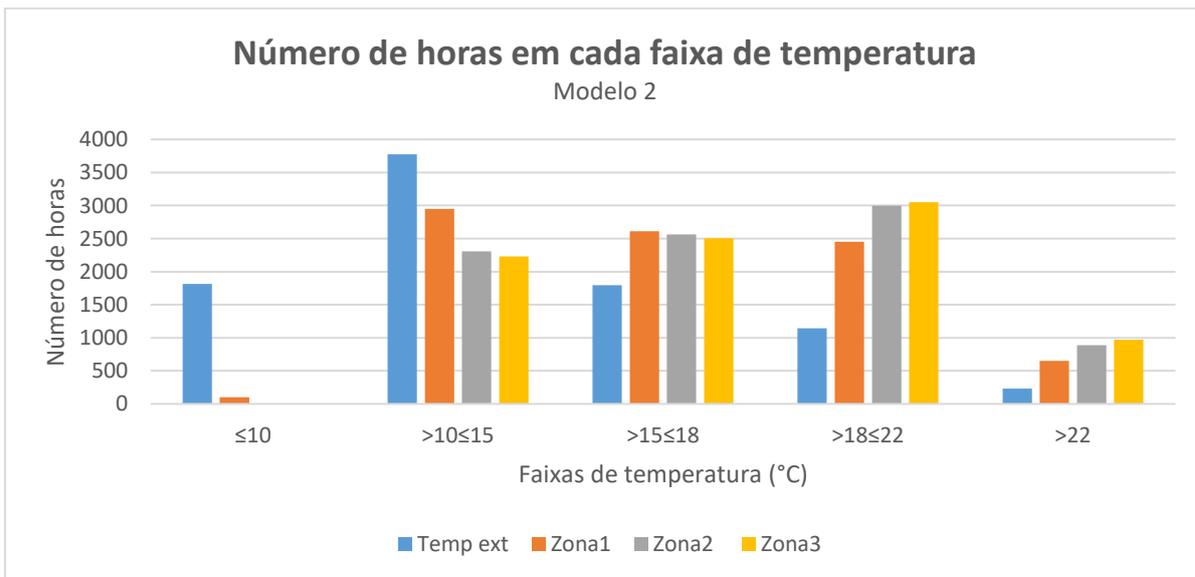
MODELO 2

Painel de Bambu Simples (PBS) nas paredes com espessura de 3cm para o bambu
 Piso em concreto
 Cobertura com forro em bambu de espessura 4cm e telha de fibrocimento – sem varanda



Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004			
Modelo 2			
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
ZN1TERREO	2537.25	2791.5	2436.5
ZN2TERREO	3637	3650	3637
ZN3TERREO	3634.5	3650	3634.5
Facility	6174.25	6441.5	6073.5

Aggregated over the RunPeriods for Weather

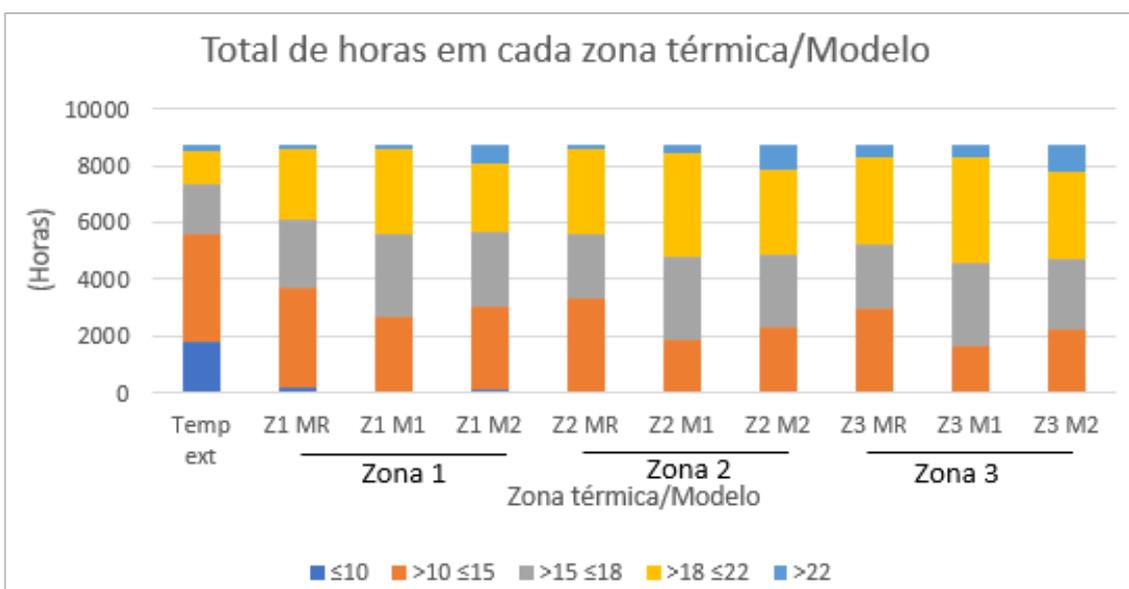


Fonte: Autora (2023).

Após a simulação dos três modelos, com utilização do arquivo climático de São Joaquim, verificou-se que a temperatura do ar externo apresenta o maior número de horas nas faixas de temperatura abaixo de 15°C. Considerando os modelos simulados o maior número de horas em: temperaturas até 15°C estão concentradas com o modelo de referência; temperaturas entre 15°C e 22°C estão concentradas com o modelo 1; temperaturas maiores que 22°C estão concentradas com o modelo 2 (Figura 105). Um registro importante são os resultados encontrados para os modelos 1 e 2, onde foram utilizados os painéis de bambu nas paredes, que apresentam maior número de horas com temperaturas acima de 18°C, se comparado com o modelo de referência. Sendo que neste caso, o modelo 1 apresentou maior número de horas, com temperaturas acima de 18°C, que o modelo 2.

Figura 105 - Resultados dos três modelos.

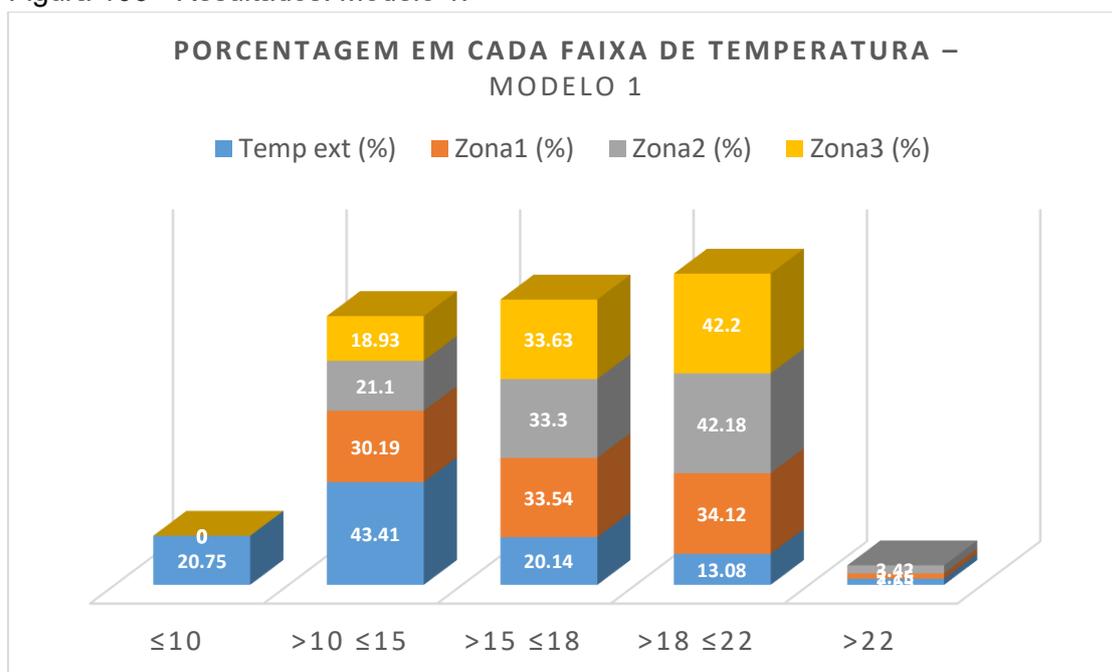
Total de horas em cada faixa de temperatura/Zona térmica										
		Zona 1			Zona 2			Zona 3		
(°C)	Temp ext	Z1 MR	Z1 M1	Z1 M2	Z2 MR	Z2 M1	Z2 M2	Z3 MR	Z3 M1	Z3 M2
≤10	1815	173	0	99	37	0	0	20	0	0
>10 ≤15	3803	3507	2645	2949	3328	1848	2309	2924	1658	2232
>15 ≤18	1764	2459	2938	2609	2237	2917	2563	2253	2946	2506
>18 ≤22	1146	2446	2989	2453	2972	3695	2998	3138	3697	3053
>22	232	175	188	650	186	300	890	425	459	969
>18 (Σ)	1378	2621	3177	3103	3158	3995	3888	3563	4156	4022



Fonte: Autora (2023).

Dessa forma, são apresentados na Figura 106 os resultados específicos para o modelo 1. Sendo que algumas considerações sobre o modelo 1 podem ser evidenciadas: a posição solar adotada na simulação, favoreceu temperaturas mais elevadas nas zonas térmicas 2 e 3; as zonas térmicas 2 e 3 obtiveram o maior número de horas com temperatura acima de 18°C, com 45,6% e 47,44%, respectivamente, do total de 8760 horas; todas as três zonas simuladas obtiveram temperaturas internas acima de 10°C, contribuindo significativamente para a economia de energia quando estes ambientes forem climatizados mecanicamente; temperaturas entre 18°C e 22°C constituem o maior percentual de horas nas zonas térmicas 2 e 3, correspondendo a 42% do total.

Figura 106 - Resultados. Modelo 1.



Modelo 1				
(°C)	Temp ext (%)	Zona1 (%)	Zona2 (%)	Zona3 (%)
≤ 10	20.72	0	0	0
$>10 \le 15$	43.41	30.19	21.1	18.93
$>15 \le 18$	20.14	33.54	33.3	33.63
$>18 \le 22$	13.08	34.12	42.18	42.2
>22	2.65	2.15	3.42	5.24

Fonte: Autora (2023).

5.2.3 Medições da resistência térmica do bambu

A resistência térmica do bambu apresenta variações de acordo com a espécie, local de plantio e período de corte.

Sendo assim, em complemento ao estudo do desempenho térmico do bambu, foram feitas três medições em laboratório, com colmos de bambu e chapa de bambu laminado colado.

As medições da resistência térmica dos colmos de bambu e da condutividade dos painéis, foram feitas no Laboratório de Ciências Térmicas – LabTermo, do Departamento de Engenharia Mecânica, CTC/UFSC, Campus Florianópolis.

5.2.3.1 Medição 1

A primeira medição foi feita com colmos de bambu, da espécie *Dendrocalamus asper*. O colmo foi retirado do acervo plantado no CTC/UFSC, Campus Florianópolis, localizado próximo ao Departamento de Arquitetura, com o plantio, manejo das touceiras, bem como o corte e o tratamento dos colmos, realizados através do Grupo de Pesquisa Virtuhab. O colmo em estudo é proveniente de uma touceira plantada em 2019, e corte do colmo realizado em 2023. O tratamento aplicado no colmo foi pela técnica de imersão com ácido bórico.

O colmo, após tratamento e secagem, foi cortado em peças de comprimento igual a 30 cm (Figura 107), para compatibilidade com o equipamento de medição da condutividade térmica do material.

Figura 107 - Colmos de bambu utilizados na medição.



Fonte: Autora (2023).

As peças do colmo de bambu possuem as dimensões, em sua seção transversal, de acordo com o apresentado na Figura 108. O diâmetro externo, com variações, é de aproximadamente 6cm e a espessura do colmo, também com pequenas variações, possui aproximadamente 1,5 cm. Dessa forma, o espaço interno ao colmo gira em torno de 3 cm. A proporção entre o espaço interno e a espessura do colmo é próxima de 2:1.

Figura 108 - Medidas da seção transversal dos colmos de bambu - *Dendrocalamus asper*.



Fonte: Autora (2023).

Para a realização das medições, foi necessário diminuir a variação dimensional do diâmetro externo. Uma solução foi o lixamento da parede externa do colmo, o que proporcionou um melhor contato entre os colmos entre si e, também, entre os colmos e o equipamento de medição (Figura 109).

Figura 109 - Peças do colmo de bambu lixadas.



Fonte: Autora (2023).

5.2.3.2 Medição 2

A medição 2 foi feita com colmos de bambu da espécie *Guadua chacoensis*, provenientes do mesmo local e condições de manejo dos colmos da medição 1 (Figura 110). Os colmos também foram lixados e cortados no comprimento de 30 cm.

Figura 110 - Colmos de bambu utilizados na confecção da amostra do painel.



Fonte: Autora (2023).

As dimensões desta espécie de bambu, *Guadua chacoensis*, são diferentes da outra espécie medida, *Dendrocalamus asper*. De acordo com a imagem da Figura 111, as dimensões do diâmetro externo são similares, porém, a espessura do bambu é maior e o diâmetro interno é menor. Nesta amostra, utilizada para a medição, foi constatado um diâmetro externo variando entre 5,5 cm e 6,5 cm. A espessura do colmo varia entre 1,5 cm e 2,0 cm. Sendo assim, a proporção entre o diâmetro interno e a espessura do colmo é próxima de 1:1.

Figura 111 - Medidas da seção transversal dos colmos de bambu - *Guadua chacoensis*.



Fonte: Autora (2023).

5.2.3.3 Medição 3

A terceira medição foi feita com chapa de bambu laminado colado com espessura de 1 cm e cortado em quatro peças de 30 cm x 30 cm (Figura 112), compondo a amostra para a medição da condutividade do material. A chapa utilizada na medição é um produto importado da China, disponível para comercialização em região próxima ao local de estudo.

Figura 112 - Amostras da chapa de bambu laminado colado.



Fonte: Autora (2023).

Esta chapa é laminada, conformada a partir de tiras retangulares de bambu, da espécie *Phyllostachys pubescens* (Nome popular: Bambu-Mossô ou Mossô), cortadas, coladas e prensadas horizontalmente, segundo encarte técnico do distribuidor do produto. Na Figura 113 são apresentados detalhes da chapa de bambu utilizada na medição da condutividade térmica, ressaltando aspectos das superfícies longitudinal e transversal.

Figura 113 - Chapa de bambu, com detalhes das superfícies.



Fonte: Autora (2023).

5.2.3.4 Equipamentos de medição

Para realizar as medições de resistência térmica dos colmos foi feito o cálculo das resistências superior e inferior do conjunto (Figura 114) e posteriormente feito o cálculo da resistência térmica do colmo de bambu.

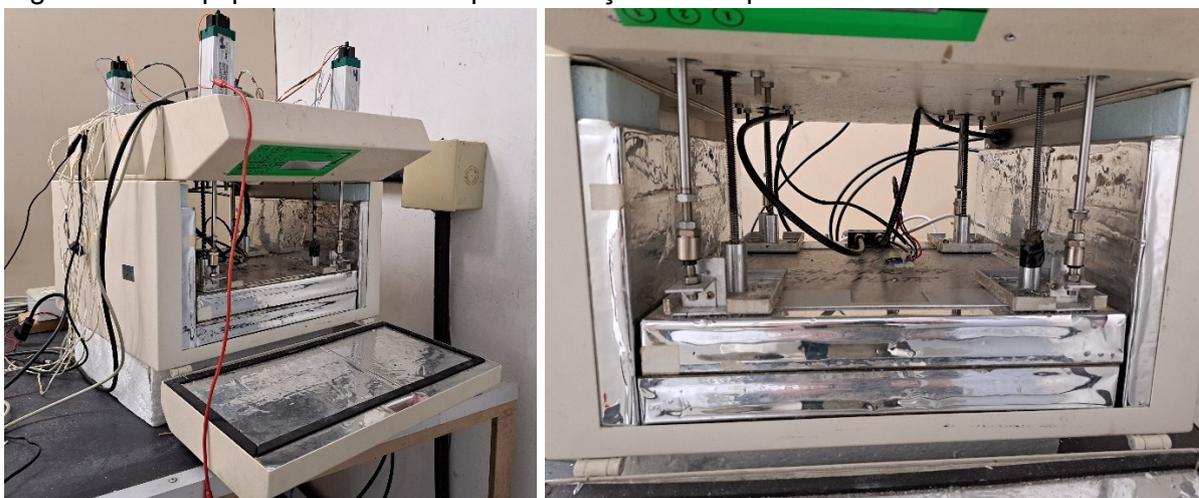
Figura 114 - Equipamento para medição da resistência térmica dos colmos de bambu.



Fonte: Autora (2023).

A medição da resistência térmica das chapas de bambu laminado colado foi feita através do equipamento Condutímetro Fox 300 (Figura 115).

Figura 115 - Equipamento utilizado para medição da chapa de bambu laminado colado.



Fonte: Autora (2023).

5.2.3.5 Síntese dos resultados

A seguir são apresentados os resultados das medições e do cálculo das resistências térmicas dos colmos de bambu (Quadro 25). Os valores encontrados para os colmos de bambu são valores próximos, sendo que as chapas de bambu laminado colado apresentaram um valor maior para a resistência térmica, já que quanto menor a condutividade de um material maior será a sua resistência térmica.

Quadro 25 - Síntese dos resultados com as medições.

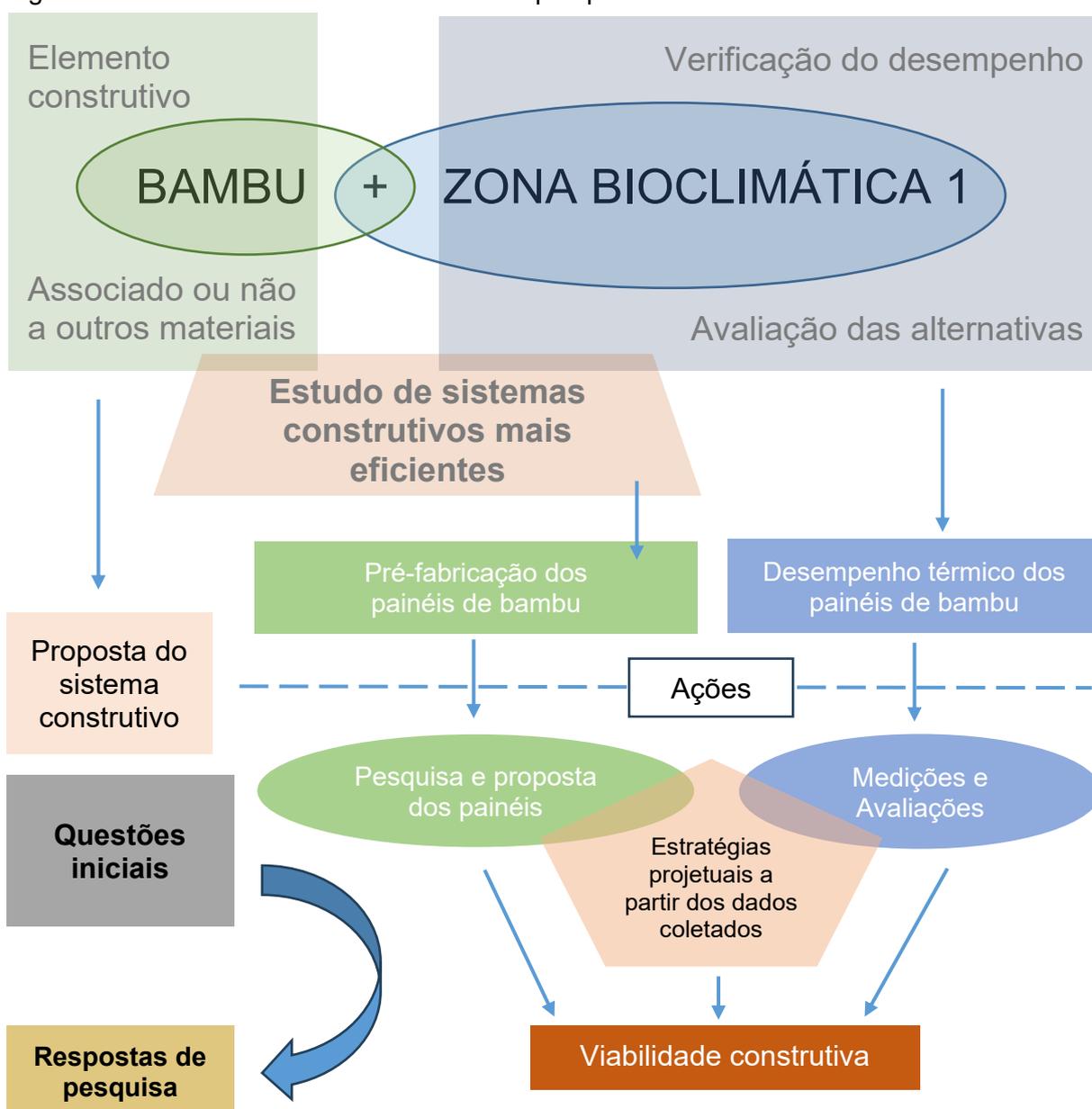
	Descrição	Foto	Resultado	Método
Medição 1	Colmos de bambu Espécie <i>Dendrocalamus asper</i>		Resistência térmica 0,234 m². K/W Condutividade 0,165 W/m.K	Equip – Cálculo das resistências
Medição 2	Colmos de bambu Espécie <i>Guadua chacoensis</i>		Resistência térmica 0,178 m². K/W Condutividade 0,180 W/m.K	Equip – Cálculo das resistências
Medição 3	Chapa de bambu laminado colado Espécie <i>Phyllostachys pubescens</i>		Condutividade 0,111 W/m.k	Equip – Condutímetro Fox 300

Fonte: Autora (2023).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta pesquisa teve como objeto de estudo o bambu como elemento construtivo, quando empregado em região de zona bioclimática 1. Retomando a abordagem apresentada no item 1.1, Figura 1, e acrescentando as ações realizadas para se alcançar os objetivos propostos, é apresentada na Figura 116 a síntese do desenvolvimento da pesquisa.

Figura 116 - Síntese do desenvolvimento da pesquisa.



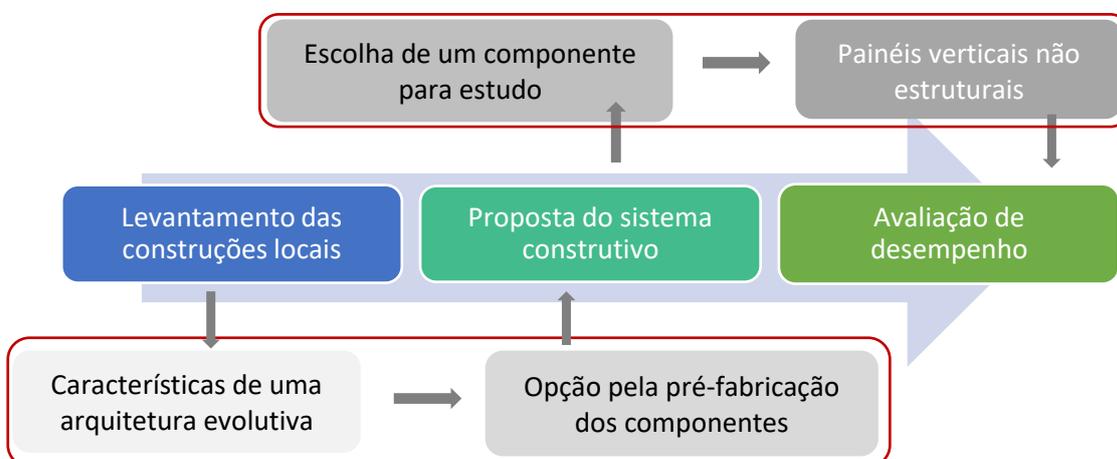
Fonte: Autora (2023).

A seguir são apresentados os resultados de pesquisa relativos aos aspectos construtivos dos painéis, à verificação do desempenho térmico dos painéis de bambu, às estratégias projetuais adotadas a partir dos dados coletados e à viabilidade construtiva com bambu na região de estudo. São tratados também, neste capítulo, os questionamentos iniciais sobre o bambu como elemento construtivo e as condições para a sua aplicação, bem como as questões respondidas com esta pesquisa.

6.1 PAINÉIS DE BAMBU

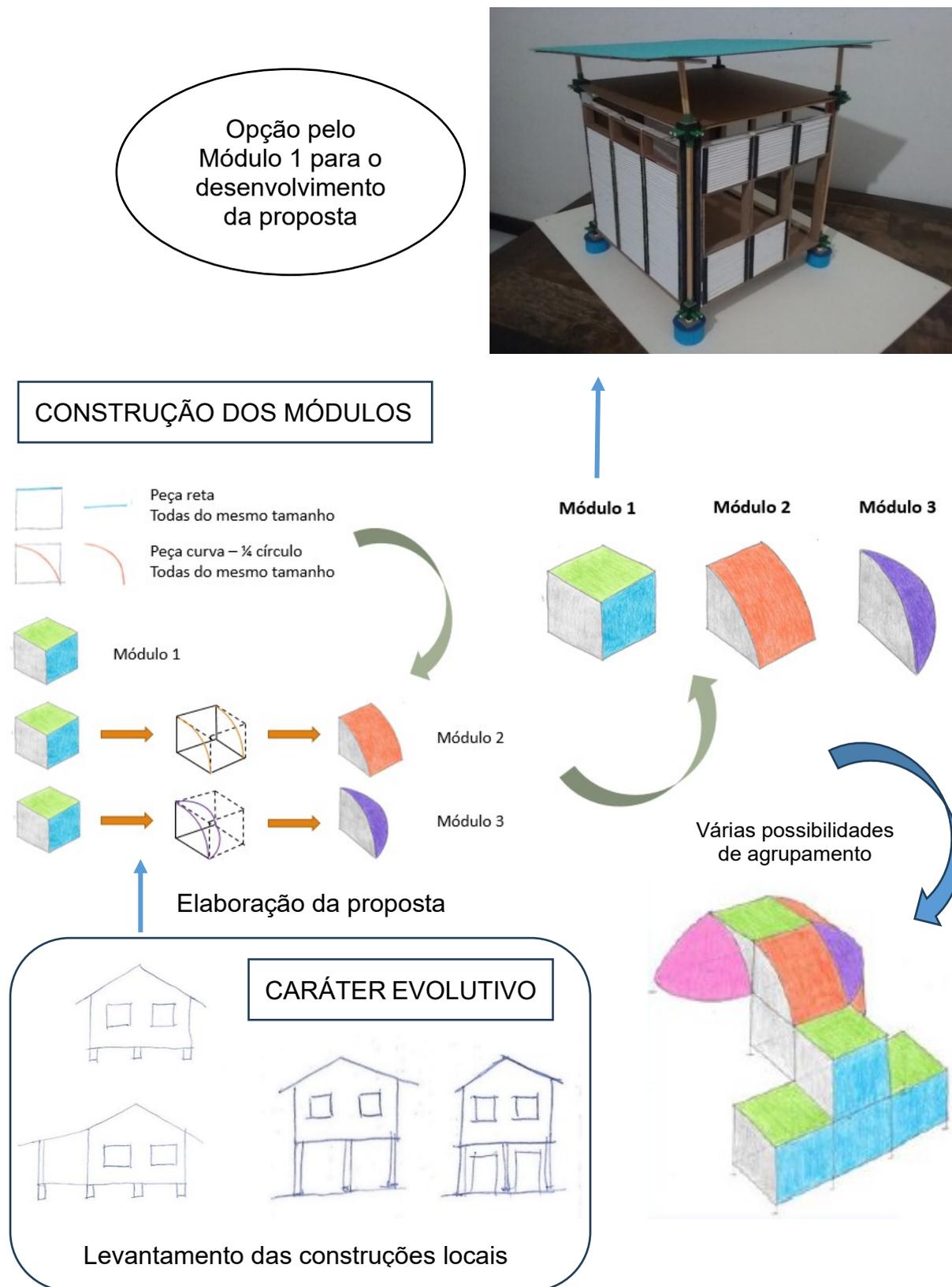
Para a elaboração dos painéis de bambu, propostos a partir do sistema construtivo adotado, foi feito inicialmente o levantamento das construções locais. Neste levantamento foi evidenciado um padrão construtivo, na maioria de suas construções, com caráter evolutivo. Este fato condicionou a escolha por um sistema construtivo modular, com a composição de elementos pré-fabricados de fácil reposição. Para efeito de estudo, foi definido um componente para avaliação: painéis verticais não-estruturais. Estes painéis foram elaborados de forma a permitir a verificação do comportamento do bambu na região de estudo, com relação ao seu desempenho térmico e à sua viabilidade construtiva com foco na disponibilidade dos produtos próximos ao local pesquisado. Na Figura 117 são apresentadas as etapas de pesquisa para a elaboração dos painéis e a tomada de decisões em função dos resultados obtidos com o levantamento. E na Figura 118, a evolução da proposta.

Figura 117 - Etapas para o desenvolvimento dos painéis.



Fonte: Autora (2023).

Figura 118 - Síntese da evolução da proposta do sistema construtivo.



Fonte: Autora (2023).

Foram propostos seis tipos de painéis, sendo cinco deles compostos por bambu e um com enquadramento e espaço livre para utilização do vidro ou outro material. Estes painéis estão descritos no Quadro 26.

Quadro 26 - Descrição da composição dos painéis.



Painel	Descrição	Componentes
1	Painel com colmos de bambu e espaço para janela	Enquadramento de madeira Colmos de bambu Janela de bambu ou madeira
2	Painel com colmos de bambu e espaço para porta	Enquadramento de madeira Colmos de bambu Janela de bambu ou madeira
3	Painel com colmos de bambu com abertura superior	Enquadramento de madeira Colmos de bambu Abertura superior livre para fechamento com vidro ou janela
4	Painel com colmos de bambu sem abertura	Enquadramento de madeira Colmos de bambu
5	Painel com bambu laminado colado	Enquadramento de madeira Chapa de bambu laminado colado
6	Painel livre para composição com vidro ou outros materiais	Enquadramento de madeira Abertura livre para fechamento com materiais diversos

Detalhe da composição dos painéis		
Painel de Bambu Simples (PSB)	Painel de Bambu Duplo (PBD)	Painel de Bambu Laminado Colado (PBLC)

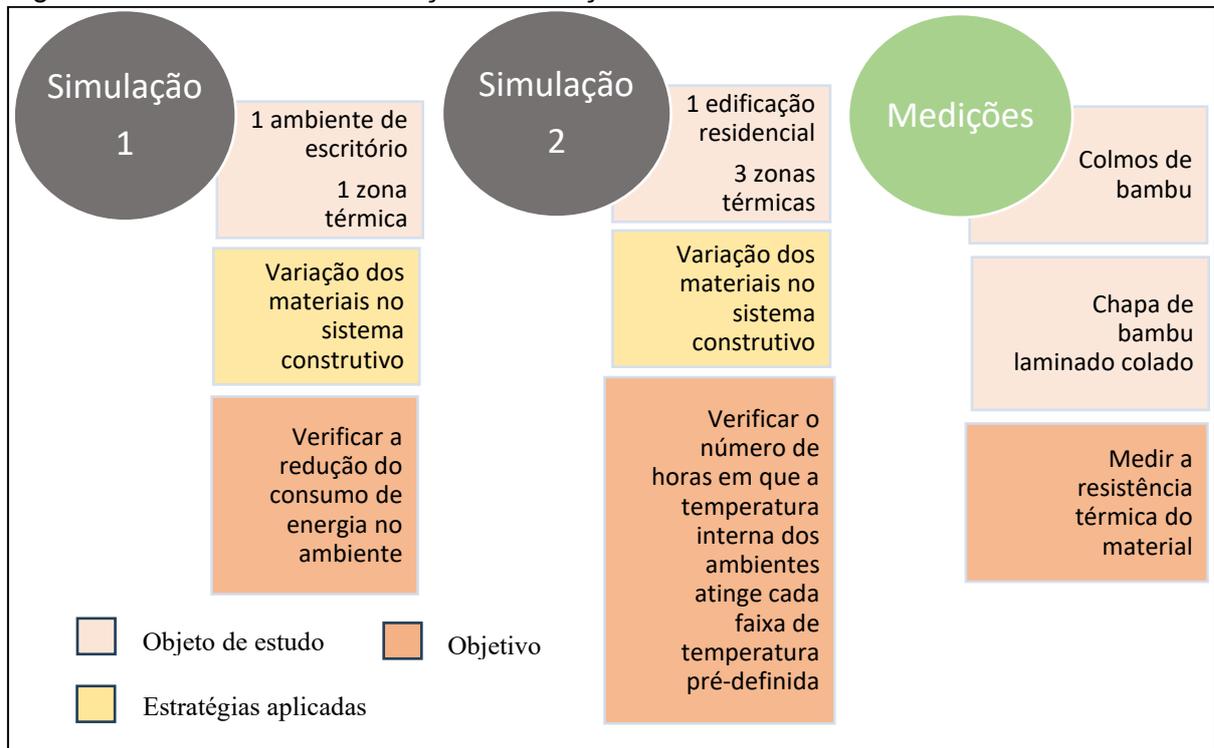
Fonte: Autora (2023).

Os painéis compostos por bambu foram pensados de três formas: a) Painel de Bambu Simples (PBS), constituído por uma camada de colmos de bambu; b) Painel de Bambu Duplo (PBD), constituído por duas camadas de colmos de bambu e uma camada de ar interna; Painel de Bambu Laminado Colado (PBLC), constituído por chapas de bambu laminado colado.

6.2 DESEMPENHO TÉRMICO DOS PAINÉIS DE BAMBU

A verificação do desempenho térmico dos painéis de bambu foi feita através de duas simulações e três medições (Figura 119). A simulação 1 envolveu um ambiente de escritório, com uma zona térmica e teve foco na redução de consumo em relação a um modelo base, através da variação dos materiais de fechamento vertical e cobertura.

Figura 119 - Síntese das simulações e medições.



Fonte: Autora (2023).

A simulação 2 envolveu uma edificação residencial de um pavimento que, de forma simplificada, foi simulada com três zonas térmicas. Também através da

variação dos materiais de fechamento vertical e cobertura, buscou-se verificar o número de horas em que a temperatura interna dos ambientes atinge determinada faixa de temperatura pré-estabelecida.

As medições foram realizadas em colmos de bambu de duas espécies diferentes e em chapas de bambu laminado colado, com o intuito de medir a resistência térmica destes materiais.

6.2.1 Simulação 1 – Redução do consumo de energia

Os resultados obtidos com esta simulação estão apresentados na Tabela 2 e englobam as simulações feitas com os painéis de bambu, com a parede dupla de madeira e a alvenaria, para uma cobertura de concreto. O modelo de referência, relacionado no primeiro item, diz respeito a um modelo base elaborado para efeito comparativo, a partir do qual são evidenciados um aumento ou uma redução do consumo de energia para as demais situações de simulação.

Tabela 2 - Síntese dos resultados das simulações com os painéis de bambu, parede dupla de madeira e alvenaria. Redução do consumo de energia.

Simulação	Consumo total (kwh)	Redução de consumo (%)
Mod referência	6257	-
ATC c/ isolante	5649	9,72
ATC s/ isolante	6005	4,03
PDM c/ isolante	5765	7,86
PDM s/ isolante	6054	3,24
PBS com arg bambu 2cm	5809	7,16
PBD c/ isolante	5782	7,59
PBD s/ isolante	5819	7,00
PBS esp 1cm	5979	4,44
PBS esp 2cm	5884	5,96
PBS esp 3cm	5818	7,02
PBS esp 4cm	5760	7,94
PBS esp 5cm	5715	8,66
PBS esp 6cm	5687	9,11
PBS esp 7cm	5675	9,30
PBS esp 8cm	5673	9,33
PBS esp 9 cm	5678	9,25

ATC – Alvenaria de Tijolos Cerâmicos

PDM – Parede Dupla de Madeira

PBS – Paineis de Bambu Simples

PBD – Paineis de Bambu Duplo

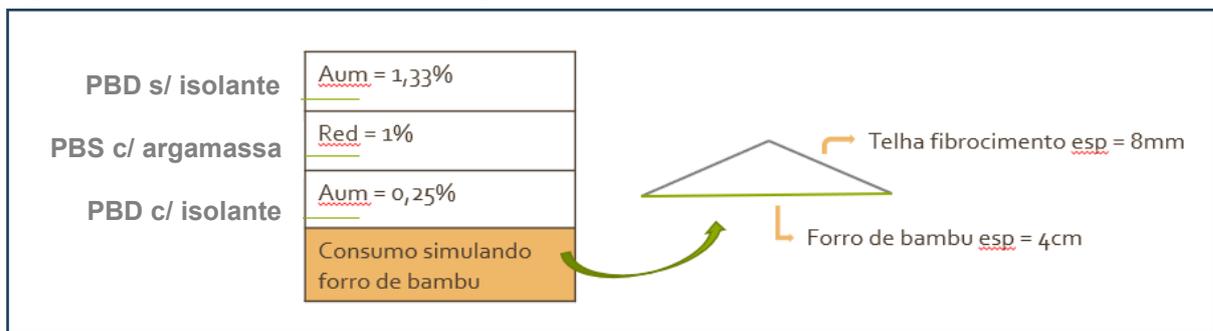
Valores de redução de consumo

	Modelo referência
	Valores acima de 9,0%
	Valores entre 5,5% e 9,0%
	Valores abaixo de 5,5%

Fonte: Autora (2023).

Com relação às simulações feitas com cobertura de telha de fibrocimento e forro de bambu, foram aplicadas nas paredes os painéis de bambu duplo, com e sem isolante térmico, e o painel de bambu simples com argamassa. Quando estes painéis foram utilizados na simulação com cobertura em laje de concreto, houve uma redução no consumo de energia do ambiente na casa dos 7%, de acordo com o apresentado na Tabela 2. No caso da simulação com telha e forro de bambu os resultados foram bem diferentes (Figura 120). O uso do painel de bambu duplo, sem isolante, resultou em um aumento do consumo de energia em 1,33%, e com isolante um aumento de 0,25%. No caso do painel de bambu simples com argamassa houve uma redução de apenas 1,0%.

Figura 120 - Resultados para simulação com telha e forro de bambu.



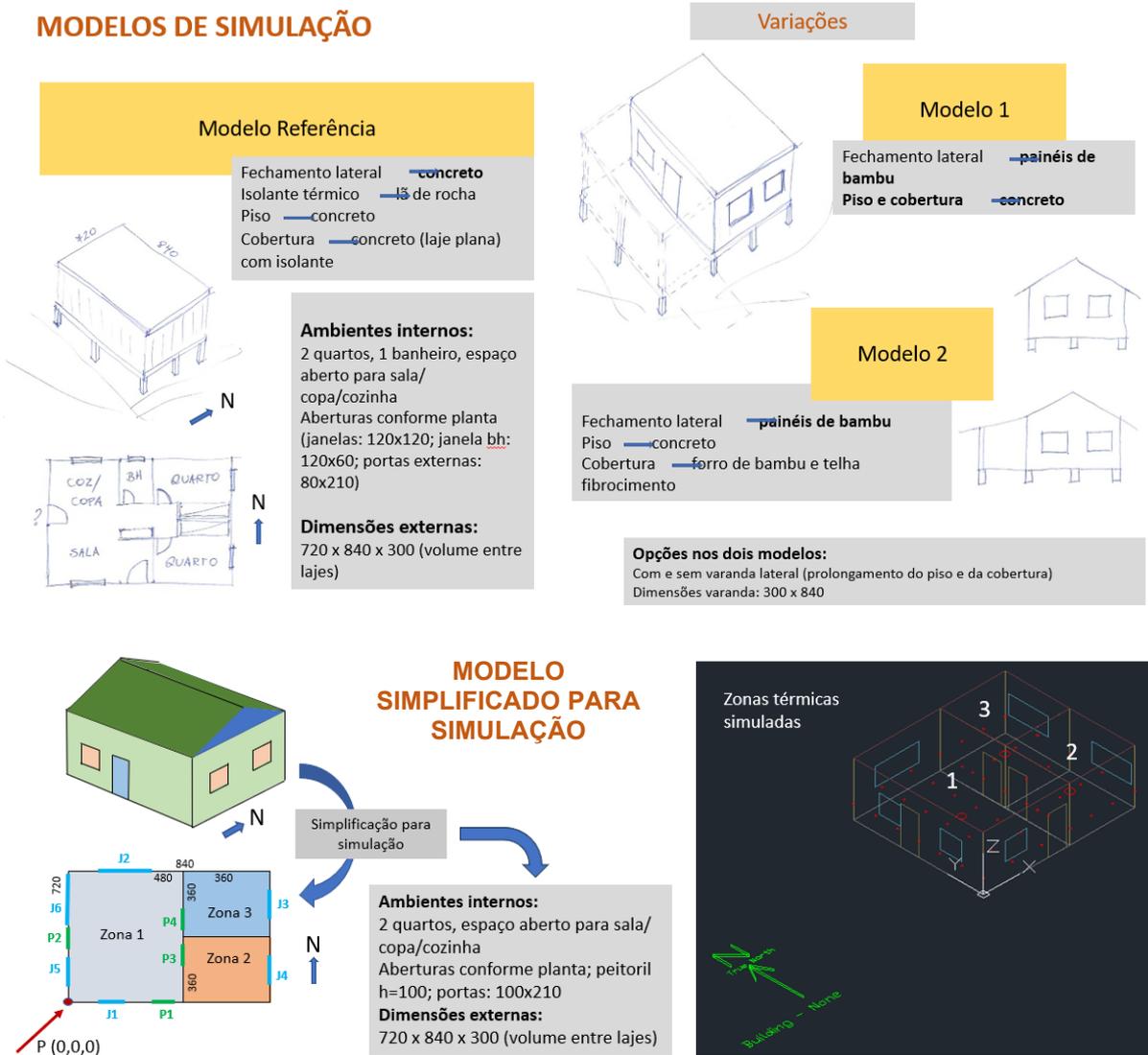
Fonte: Autora (2023).

Após a avaliação dos resultados com as simulações computacionais, algumas considerações podem ser feitas: a) O bambu, quando utilizado no sistema de fechamento de paredes, contribui para a redução do consumo de energia na edificação; b) A utilização do isolante térmico na cobertura é fundamental para o controle térmico do ambiente em zona bioclimática 1; c) O tijolo cerâmico, utilizado juntamente com o isolante térmico no sistema de fechamento de paredes, obteve através de simulação, a maior porcentagem de redução de consumo de energia; d) O painel de bambu duplo, quando utilizado nas paredes, com ou sem o isolante térmico, contribui para uma redução na casa dos 7%, em relação ao consumo total; e) O painel de bambu simples (apenas uma camada de colmos de bambu), sem a utilização do isolante térmico, também contribui para a redução do consumo total de energia. Esta redução aumenta com o aumento da espessura do bambu, até no máximo uma espessura de 8cm.

6.2.2 Simulação 2 – Total de horas em cada faixa de temperatura por zona térmica

A simulação 2 foi feita com uma edificação residencial de 1 pavimento e utilizado o painel de bambu simples, em função dos resultados obtidos na simulação 1. Este painel apresentou redução no consumo total de energia, além de necessitar de menos colmos de bambu e não ser utilizado o isolante térmico, resultando em economia na sua composição. Os modelos elaborados para a simulação 2 estão representados na Figura 121.

Figura 121 - Modelos para simulação.

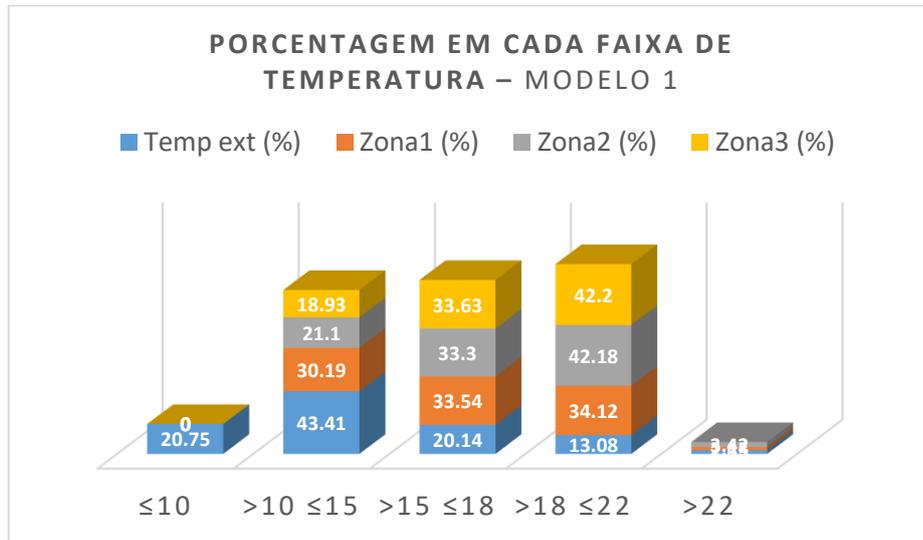


Fonte: Autora (2023).

Os resultados obtidos na simulação 2 estão apresentados na Figura 122. O Modelo 1 teve o melhor resultado em relação ao número de horas na faixa acima de 18°C. No entanto, o Modelo 2 ficou com resultados bem próximos, pelo fato deste modelo ter atingido o maior número de horas em temperaturas acima de 22°C.

Figura 122 - Resultados da simulação.

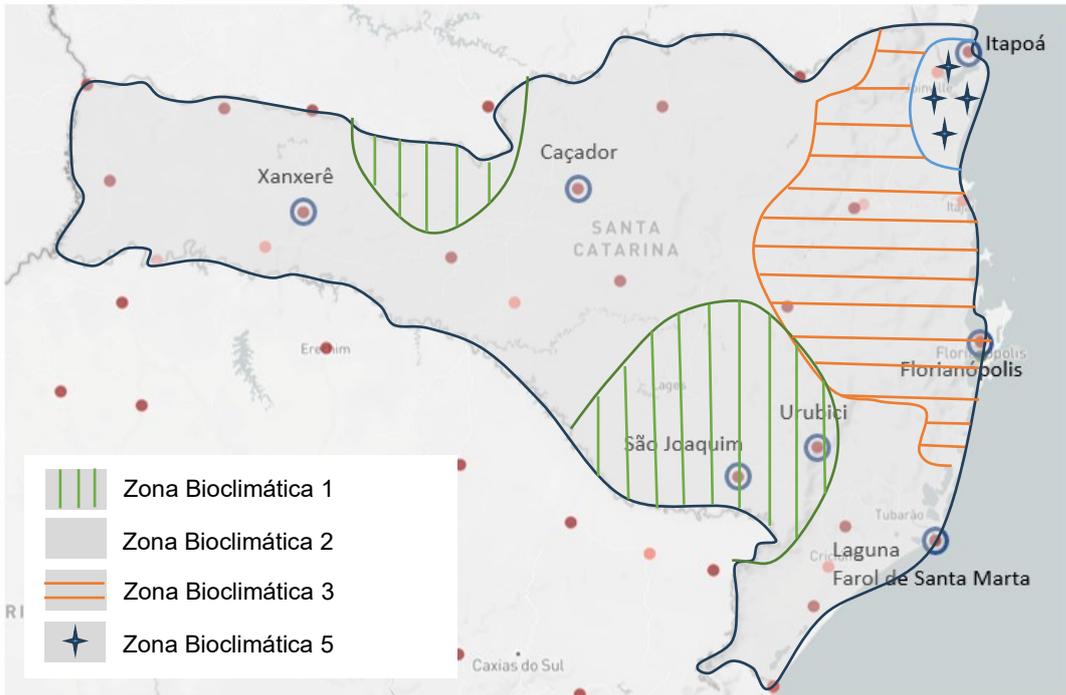
Total de horas em cada faixa de temperatura/Zona térmica										
		Zona 1			Zona 2			Zona 3		
(°C)	Temp ext	Z1 MR	Z1 M1	Z1 M2	Z2 MR	Z2 M1	Z2 M2	Z3 MR	Z3 M1	Z3 M2
≤10	1815	173	0	99	37	0	0	20	0	0
>10 ≤15	3803	3507	2645	2949	3328	1848	2309	2924	1658	2232
>15 ≤18	1764	2459	2938	2609	2237	2917	2563	2253	2946	2506
>18 ≤22	1146	2446	2989	2453	2972	3695	2998	3138	3697	3053
>22	232	175	188	650	186	300	890	425	459	969
>18 (Σ)	1378	2621	3177	3103	3158	3995	3888	3563	4156	4022



Fonte: Autora (2023).

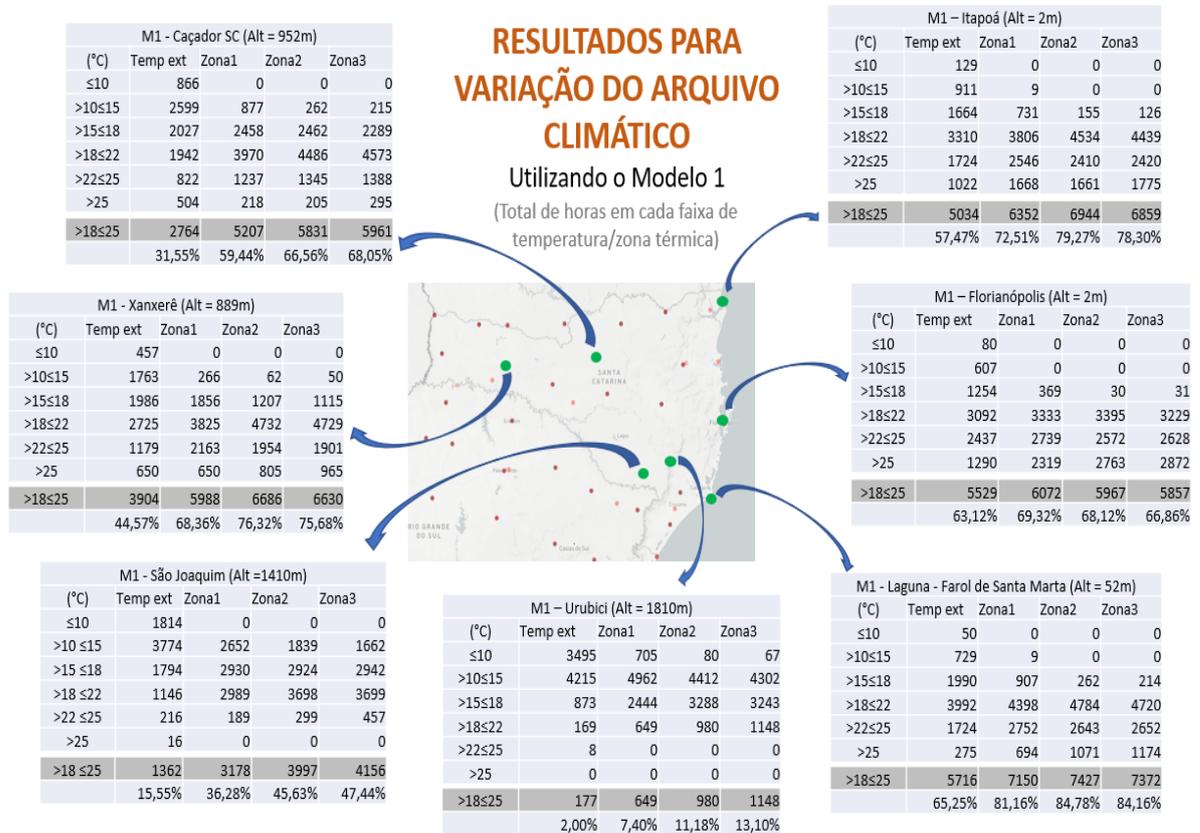
Para se obter resultados sobre o comportamento do bambu em outras localidades do Estado de Santa Catarina, foram feitas simulações com arquivos climáticos de outras cidades em regiões do litoral, serra, oeste e meio-oeste, mantendo os ambientes e materiais correspondentes ao Modelo 1. Os arquivos climáticos utilizados na simulação foram das cidades de: Itapoá, Florianópolis, Laguna, Urubici, São Joaquim, Caçador e Xanxerê (Figuras 123 e 124).

Figura 123 - Localização dos arquivos climáticos.



Fonte: Mapa: Ladybug (2023). Marcações: Autora (2023).

Figura 124 - Resultados para variação do arquivo climático.



Fonte: Autora (2023).

De acordo com as simulações realizadas com os arquivos climáticos das cidades citadas acima, segue algumas considerações:

- Em todas as cidades simuladas, com exceção de Urubici, todas as temperaturas, nas 3 zonas térmicas, ficaram acima de 10°C, favorecendo de forma considerável a economia de energia quando os ambientes forem climatizados mecanicamente;
- Mesmo para a simulação feita para a cidade de Urubici, houve uma diminuição elevada no número de horas com temperaturas abaixo de 10°C, com redução de 80% a 98%, nas zonas térmicas;
- Os resultados obtidos com os diversos arquivos climáticos ainda podem ser otimizados com pequenas mudanças no sistema construtivo (como variações na espessura do bambu, para mais e para menos, de acordo com o clima) e com algumas alterações na posição solar, de acordo com o clima;
- Apenas na cidade de Urubici haverá necessidade de um número maior de horas com climatização mecânica;
- Na cidade de São Joaquim, as temperaturas acima de 15°C, nas 3 zonas térmicas, representam de 70% a 81% do total de horas, gerando grande economia de energia na climatização dos ambientes;
- De acordo com os resultados alcançados, é possível utilizar o bambu como material construtivo em regiões de clima frio, com bons resultados quanto ao seu desempenho térmico.

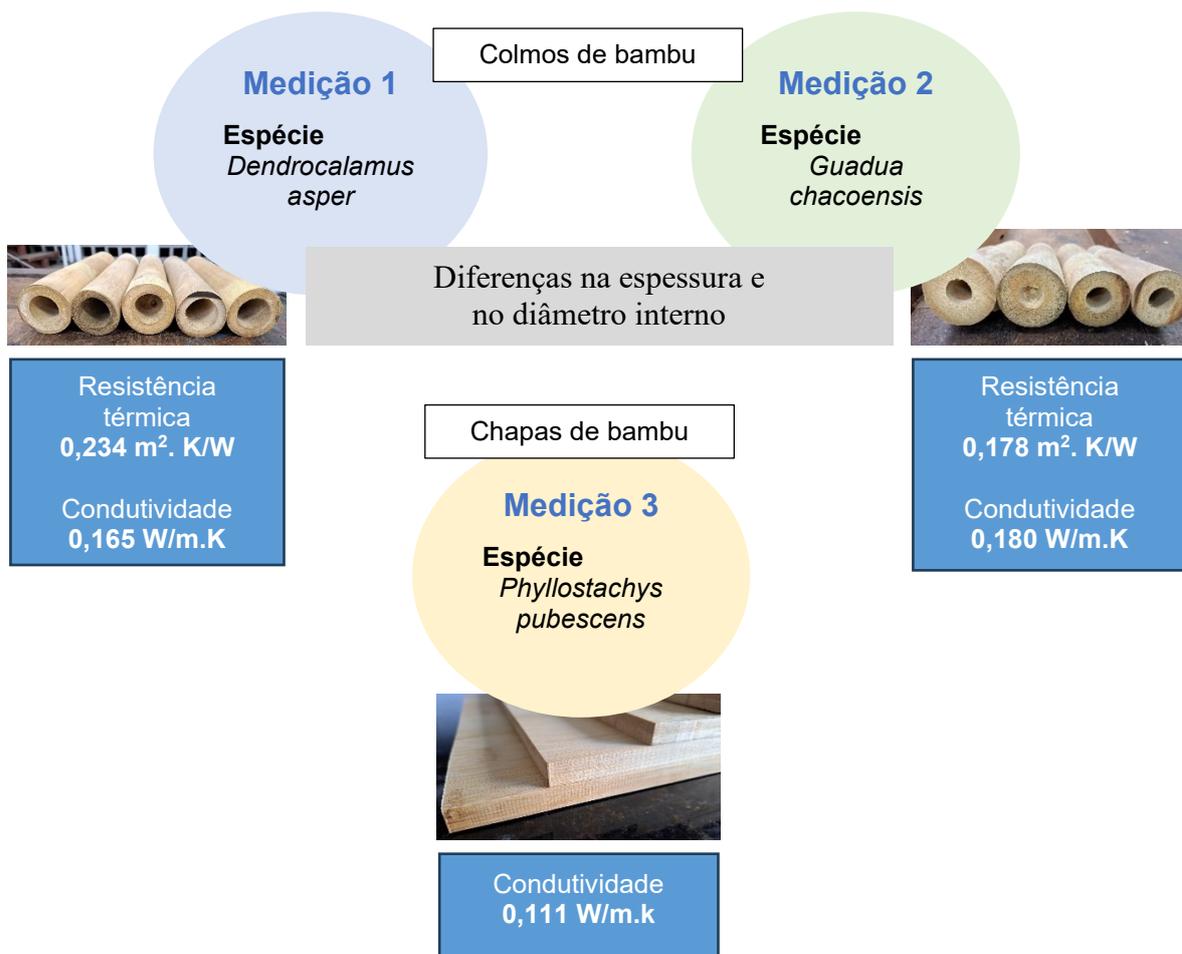
6.2.3 Medições da resistência térmica

As medições dos colmos de bambu foram feitas em duas espécies diferentes, *Dendrocalamus asper* e *Guadua chacoensis* (espécies consideradas prioritárias pela INBAR, para a América Latina) e as chapas de bambu na espécie *Phyllostachys pubescens* (material comercializado na região, importado da China).

Os resultados das medições estão apresentados na Figura 125. As amostras dos colmos de bambu possuem diâmetros externos de medida aproximada, porém, a espessura do bambu e os diâmetros internos diferem na sua proporção.

A chapa de bambu apresentou a maior resistência térmica, seguido do colmo da espécie *Dendrocalamus asper*. Sendo que a condutividade medida para as chapas de bambu apresentou um valor bem próximo do valor utilizado nas simulações 1 e 2 (0,0975 W/m.K).

Figura 125 - Resultados das medições.



Fonte: Autora (2023).

O grande desafio do uso do bambu é a sua variação dimensional, tanto no diâmetro externo quanto no diâmetro interno, quando utilizado em colmos. Esta variação influenciou nos resultados obtidos para a resistência térmica, apesar de todos os colmos, das duas espécies, possuírem medidas de diâmetro externo próximos, em torno de 6 cm. No entanto, o uso de chapas de bambu laminado colado torna-se uma boa alternativa na solução dos detalhes construtivos e na diminuição das incertezas na simulação.

6.3 ESTRATÉGIAS PROJETUAIS A PARTIR DOS DADOS COLETADOS

As estratégias projetuais adotadas ao longo da pesquisa tiveram origem nos dados coletados a partir das ações realizadas no decorrer do estudo (Figura 126).

Assim pode-se destacar:

- o levantamento das construções locais;
- a elaboração da proposta do sistema construtivo (aspectos construtivos relativos à pré-fabricação);
- as avaliações de desempenho;
- as entrevistas com moradores locais.

Figura 126 - Estratégias projetuais a partir dos dados coletados.



Fonte: Autora (2023).

Com a realização das ações e a obtenção dos dados foram ocorrendo as tomadas de decisão que influenciaram, em sequência, outras ações. Dessa forma, houve um encadeamento de ações/coleta de dados/ações durante todo o processo de desenvolvimento da pesquisa.

6.4 VIABILIDADE CONSTRUTIVA COM BAMBU NA REGIÃO DE ESTUDO

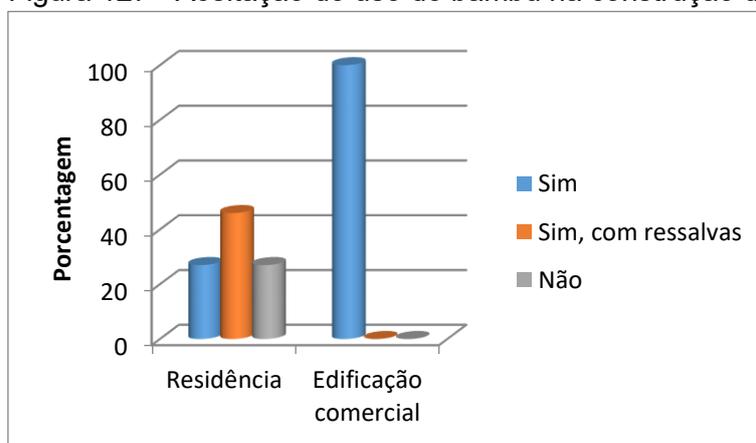
Este estudo tem como objetivo final verificar a capacidade de inserção de novas tecnologias construtivas na região, com o propósito de proporcionar alternativas construtivas e arquitetônicas atrativas, tanto do ponto de vista técnico e estético quanto econômico.

Sendo assim, procurou-se avaliar a possibilidade de inserção do bambu como elemento construtivo na região, tornando-o um material alternativo corrente em especificações nos projetos arquitetônicos, com respaldo técnico, e aceitação do material por parte dos moradores, arquitetos, engenheiros e construtores.

6.4.1 Aceitação do bambu

De acordo com as entrevistas feitas com os moradores locais, alguns pontos foram destacados. Primeiramente, os entrevistados foram questionados se morariam ou não em uma casa construída com bambu. Alguns responderam que sim, prontamente, outros responderam que sim, porém, com dúvidas e questionamentos a respeito, e outros responderam que não, demonstrando grande rejeição. Em seguida, foi perguntado se gostavam do bambu quando utilizado em ambientes comerciais. Neste caso, 100% dos entrevistados disseram que sim. Estes dados estão representados no gráfico da Figura 127, a seguir, com o eixo vertical representado em porcentagem.

Figura 127 - Aceitação do uso do bambu na construção de edificações.



Fonte: Autora (2019).

Mesmo não tendo havido uma rejeição imediata, no caso de vários entrevistados, a maioria necessitaria de mais informações sobre o sistema construtivo, principalmente com relação às questões de conforto e segurança estrutural.

Os entrevistados que disseram sim para morar em uma casa construída com bambu consideraram, em princípio, que já deveria haver uma tecnologia construtiva apropriada para o uso do bambu em edificações. Os entrevistados que tiveram dúvidas sobre morar ou não em uma residência construída com bambu, não descartaram essa ideia em definitivo. Apenas necessitam de mais informações para poderem decidir a respeito.

Dentre as colocações manifestadas pelos participantes das entrevistas estão: preocupações com o conforto térmico; resistência estrutural do bambu; adequação do material bambu à região serrana (em função do frio); dúvidas sobre os acabamentos da edificação, quando utilizado o bambu nos elementos construtivos.

As considerações feitas para *sim com ressalvas* e para *não* são similares, com foco na falta de conhecimento sobre o sistema construtivo e considerando as seguintes questões: resistência do material, durabilidade, falta de referências construtivas na região, segurança.

Com relação às edificações comerciais, 100% dos entrevistados consideraram boa a ideia de utilizar o bambu neste tipo de edificação. Para todos os entrevistados, o bambu em áreas comerciais é totalmente aceitável e até mesmo desejável. Apesar de todos se mostrarem favoráveis à utilização do bambu em edificações comerciais, alguns depoimentos foram indiferentes, quase um descaso, com relação ao material. Demonstrando que, apesar de aceitar o bambu em outras edificações, que não sejam as suas, este material está longe de ser uma opção para suas próprias construções.

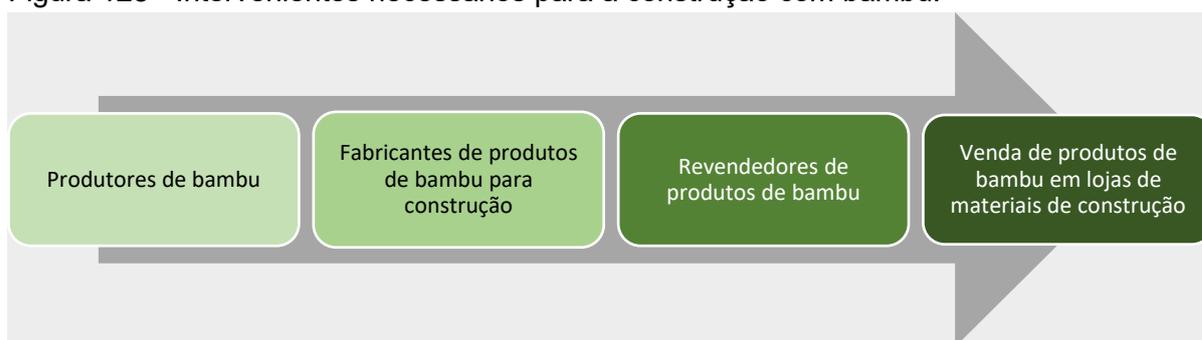
Construir com bambu ainda é um desafio, considerando a insegurança sentida pelos moradores locais com relação a este material. Porém, há uma curiosidade e, também, uma boa receptividade por parte dos moradores para com o bambu. Em todos os depoimentos, independente dos adjetivos utilizados, o bambu sempre traz uma sensação de bem-estar e de conexão com a natureza. A partir do momento que as dúvidas sobre este material forem sanadas e houver um pouco mais de obras

edificadas, com um projeto bem planejado e adequado às necessidades dos usuários, pode-se perceber pelas entrevistas que o bambu será mais utilizado tanto na construção quanto na decoração. Isso ficou mais evidente quando foram apresentadas, aos participantes das entrevistas, as fotos das construções e dos ambientes internos com o bambu na decoração e na estrutura. Todos ficaram surpresos com as possibilidades construtivas e, também, a capacidade do bambu de ser trabalhado juntamente com outros materiais.

6.4.2 Oferta e disponibilidade dos produtos

Além dos estudos sobre o bambu, é necessário que se tenha uma oferta de produtos de bambu no mercado em quantidade suficiente para atender a possível demanda das construções. Alguns intervenientes deste processo estão relacionados na Figura 128. Em primeiro lugar, é necessário o plantio de mudas de bambu em larga escala para que colmos de bambu estejam disponíveis para os fabricantes de produtos de bambu para construção. A maioria dos produtos disponíveis no mercado, hoje, são importados. Outro fator bastante importante é a comercialização dos produtos, que devem estar disponíveis através de revendedores ou lojas de materiais de construção.

Figura 128 - Intervenientes necessários para a construção com bambu.

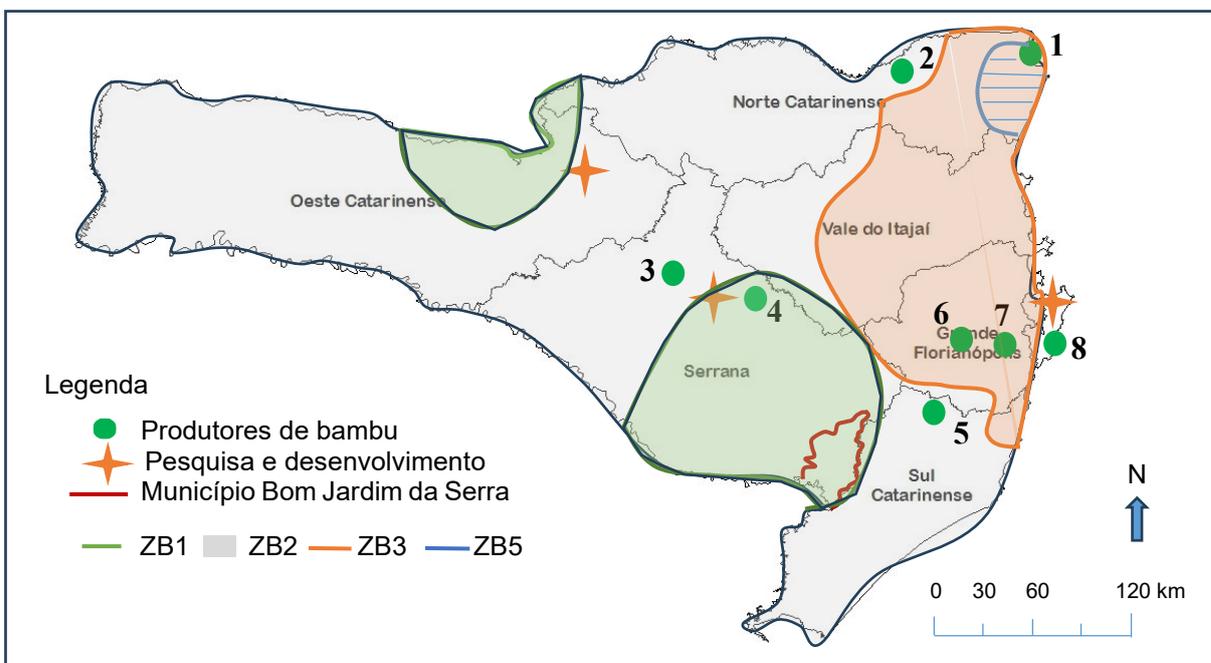


Fonte: Autora (2023).

Na Figura 129 estão relacionados alguns produtores de bambu no Estado de Santa Catarina, bem como centros de pesquisa envolvidos com o estudo do bambu. São apresentados também a localização de suas respectivas cidades e o contexto do zoneamento bioclimático brasileiro em que se encontram. A identificação dos

produtores de bambu foi feita através de informações fornecidas pelo site da Associação Catarinense do bambu – BambuSC.

Figura 129 - Localização dos produtores de bambu e Centros de Pesquisa que estudam o bambu, em Santa Catarina.



Localização		Produtores de bambu	Centros de Pesquisa	Zona Bioclimática
Mesorregião	Cidade			
Norte Catarinense	Itapoá (1)	x		ZB 5
	São Bento do Sul (2)	x		ZB 2
Oeste Catarinense	Caçador		Embrapa	ZB 2
Serrana	Curitibanos		UFSC – Campus Curitibanos Epagri	ZB 1
	Frei Rogério (3)	x		ZB 2
	São Cristóvão do Sul (4)	x		ZB 1
Sul Catarinense	Santa Rosa de Lima (5)	x		ZB 2
Grande Florianópolis	Rancho Queimado (6)	x		ZB 3
	Santo amaro da Imperatriz (7)	x		ZB 3
	Florianópolis (8)	x	UFSC – Campus Florianópolis	ZB 3
Vale do Itajaí	-	-	-	-

Fonte: Mapa: IBGE. Marcações: Autora (2022).

Havendo uma maior disponibilidade de colmos de bambu e de seus produtos derivados para a construção outros fatores são importantes:

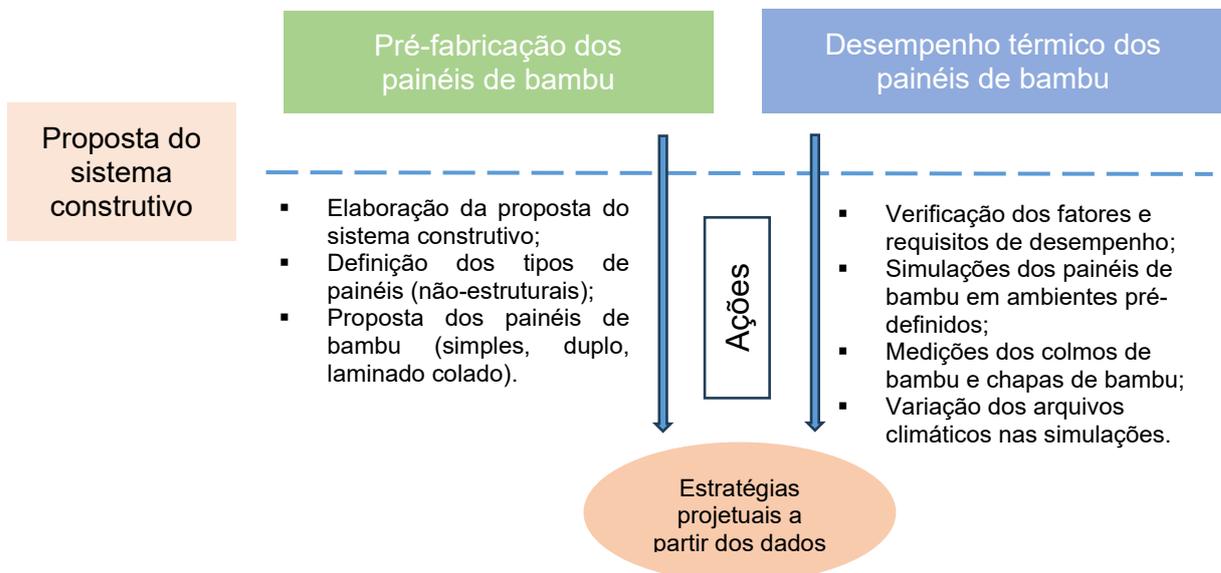
- O papel dos centros de pesquisa na elaboração de informações técnicas sobre os produtos de bambu para construção;
- Inclusão de informações técnicas sobre o bambu em normas técnicas (ABNT);
- Informações técnicas dos produtos comercializados, disponibilizadas pelos fabricantes dos produtos.

6.5 RESULTADOS ESPERADOS E RESULTADOS ALCANÇADOS

No decorrer da pesquisa várias questões foram levantadas. Algumas foram sendo respondidas através da revisão bibliográfica, outras através de entrevistas e visitas técnicas, algumas através desta pesquisa e, finalmente, várias ainda sem pesquisa relacionada.

Com o desenvolvimento da pesquisa, questões relacionadas à pré-fabricação, ao desempenho e à zona bioclimática tornaram-se o foco das ações (Figura 130).

Figura 130 - Questões de pesquisa e ações relacionadas.



Fonte: Autora (2023).

Após levantamento das questões e delimitação do foco da pesquisa, foram feitas propostas de verificação para alcance dos objetivos do estudo. No Quadro 27

estão relacionados os problemas de pesquisa, os resultados esperados e os resultados alcançados e o atendimento aos objetivos propostos.

Quadro 27 - Resultados esperados e resultados alcançados.

	Problema de pesquisa	Resultados esperados	Resultados alcançados
Pré-fabricação	Possibilidade de pré-fabricação dos elementos construtivos	Proposta de um sistema construtivo modular compatível com a região de estudo	Proposta do sistema construtivo com foco nos painéis pré-fabricados não-estruturais, passíveis de testes e verificação de seu desempenho térmico através de simulações computacionais
	Adequação dos elementos de fechamento em composição com o sistema estrutural		
	Facilidade de montagem e desmontagem dos módulos para utilização em locais variados		
	Adaptabilidade do sistema modular com relação à composição deste sistema com outros materiais utilizados na região		
	Flexibilidade do sistema modular com relação à proposta de uma arquitetura evolutiva, podendo ser objeto de acréscimos, considerando o mesmo sistema de módulos, como também, ser uma opção de acréscimo em edificações já existentes		
Objetivos – Pesquisar o bambu como material construtivo e seu potencial arquitetônico Propor sistema construtivo modular com utilização do bambu, também compatível com materiais utilizados na região			
Desempenho	Grande variedade de espécies, havendo uma diversidade nas características do material	Contribuir com informações técnicas sobre o bambu, no seu uso em edificações	Medição da resistência térmica de colmos de bambu e chapas de bambu Avaliação do desempenho térmico de painéis verticais de bambu, não-estruturais, através de simulações computacionais
	Não há dados do bambu na Norma de Desempenho – ABNT NBR 15575		
	Falta de informação técnica dos produtos comercializados		
	Confiabilidade do suprimento das peças: falta de registros no acompanhamento do plantio, corte e manejo, gerando incerteza quanto à sua procedência		
Objetivo – Avaliar o sistema construtivo, sob o ponto de vista do atendimento às condições mínimas de desempenho			
Zona bioclimática	O desempenho de sistemas construtivos compostos por bambu é pouco estudado nas diversas zonas bioclimáticas brasileiras	Estudar o uso e o comportamento do bambu, como material construtivo, em região de zona bioclimática brasileira 1	Estudo das espécies de bambu compatíveis com a região de estudo e aplicáveis à construção civil Simulação computacional do desempenho térmico de painéis de bambu com dois arquivos climáticos da região de zona bioclimática 1 e mais cinco arquivos climáticos das zonas bioclimáticas 2, 3 e 5, no Estado de Santa Catarina
	Os bambus nativos encontrados em cada região não são, necessariamente, aplicáveis à construção civil		
	São poucas as espécies de bambu que toleram baixas temperaturas		
	Adequação do material à região serrana (SC), considerando as condições climáticas, principalmente, as baixas temperaturas		
Objetivos – Verificar a viabilidade construtiva do sistema construtivo proposto na região de estudo Comparar o sistema construtivo proposto com edificações existentes na região, considerando o seu desempenho térmico			

Fonte: Autora (2023).

7 CONCLUSÕES

No desenvolvimento desta pesquisa, foi percorrido um caminho de acordo com a proposta metodológica, através de uma questão inicial e uma hipótese como possível solução. Retomando esta fase inicial, temos:

Pergunta de pesquisa: *O bambu tem desempenho térmico satisfatório para construção em regiões de zona bioclimática 1?*

Hipótese: *O desempenho térmico do bambu, em edificações localizadas em região de zona bioclimática 1, pode ser verificado através do estudo de painéis verticais em sistema construtivo específico. E a sua aplicabilidade, através de um comparativo com outros materiais utilizados na mesma região.*

Após avaliação dos fatores e requisitos de desempenho optou-se por pesquisar questões relativas à habitabilidade, através do estudo do desempenho térmico de uma edificação residencial constituída por elementos construtivos de bambu. A escolha da edificação partiu de um estudo das construções locais através de um levantamento fotográfico, com a verificação de alguns padrões construtivos de caráter evolutivo. Optou-se por uma arquitetura modular, respeitando-se as características estéticas encontradas no levantamento inicial, o que resultou em uma edificação residencial de um pavimento, com a possibilidade de pré-fabricação dos elementos construtivos.

No decorrer da elaboração da proposta do sistema construtivo modular duas situações relevantes foram constatadas: a) não há informações técnicas sobre os produtos vendidos, principalmente dos colmos de bambu, para uma especificação correta dos materiais; b) a comercialização dos colmos de bambu, produzidos no Estado de Santa Catarina, é dificultada pelo fato de não haver uma logística própria, por parte dos produtores, do transporte e entrega do material vendido, e algumas vezes até do corte dos colmos. Outros produtos, como pisos e lambris, vendidos em lojas de materiais em geral, construção e decoração, são na sua grande maioria importados.

Em seguida, na etapa de elaboração dos painéis pré-fabricados de bambu, o desafio foi a variação dimensional do bambu e a presença de nós nos colmos, dificultando o contato integral entre os colmos. Este fato gera a necessidade de uma alternativa construtiva para a vedação dos painéis. Uma opção é a utilização de chapas de bambu laminado colado, que facilita inclusive os detalhes construtivos na sua fixação no enquadramento dos painéis.

A avaliação do desempenho térmico feita através de simulações da edificação proposta e de medições da resistência térmica de colmos de bambu e de chapas de bambu, obteve um resultado satisfatório em relação a um modelo base utilizado como referência. Isto quer dizer que os painéis pesquisados na simulação 1, obtiveram como resultado uma redução no consumo de energia em comparação com o modelo de referência. Na simulação 2, onde foi verificado o número de horas em cada faixa de temperatura específica, durante todo um ano, os painéis de bambu também demonstraram eficiência. Nos ambientes internos não houve registro de temperaturas abaixo de 10°C, como também, obteve melhores resultados que o modelo de referência, para simulações com o arquivo climático de São Joaquim. Foram feitas outras simulações com arquivos climáticos de outras cidades de Santa Catarina, que também obtiveram resultados satisfatórios, no sentido de contribuir para a utilização de um menor número de horas com climatização mecânica nos ambientes, reduzindo, assim, o consumo total de energia da edificação.

Quanto às medições dos colmos e chapas de bambu, ficou evidenciado as diferenças nos valores da resistência térmica dos colmos para as duas espécies de bambu, devendo-se levar em consideração a variação dimensional dos diâmetros internos e da espessura do bambu, apesar da medida dos diâmetros externos serem próximos, em torno de 6 cm. As chapas de bambu obtiveram um resultado para o valor da resistência térmica/condutividade, mais próximo do valor utilizado nas simulações, que os colmos de bambu. Como a diferença do valor da resistência térmica entre a chapa de bambu e o valor simulado é muito pequena (condutividade: 0,111 W/m.K e 0,0975 W/m.K), os resultados simulados podem ser considerados para as chapas de bambu utilizadas na medição. Com relação aos colmos de bambu, é necessário ampliar o número de espécies de bambu para medição da resistência térmica, dentre

aquelas que são indicadas para o uso em edificações, para se obter um leque maior de possibilidades de aplicação do bambu.

Além do estudo do bambu, também foram feitas simulações com materiais utilizados na região (madeira e alvenaria de tijolos cerâmicos), e comparados os resultados de cada material com os resultados obtidos para o bambu. Dessa forma, verificou-se que o bambu obteve resultados melhores que os outros materiais, em sua utilização nas paredes da edificação, externas e internas. Apenas a alvenaria de tijolos cerâmicos com argamassa obteve um resultado melhor na simulação 1.

Respondendo à pergunta de pesquisa (*O bambu tem desempenho térmico satisfatório para construção em regiões de zona bioclimática 1?*), sob o ponto de vista do desempenho térmico, através das simulações e medições feitas nesta pesquisa, a resposta é sim. Com os resultados obtidos, o bambu contribui para a diminuição do consumo total de energia da edificação. No caso desta pesquisa, uma edificação residencial de um pavimento, com as características descritas nos capítulos anteriores.

As questões envolvendo pré-fabricação, desempenho e a zona bioclimática pesquisada estão diretamente relacionadas ao alcance dos objetivos específicos propostos. Sendo assim, as ações voltadas para a pré-fabricação têm foco na elaboração da proposta do sistema construtivo com ênfase no desenvolvimento dos painéis verticais não-estruturais. Com isso buscou-se alcançar os objetivos relativos à *pesquisa do bambu como material construtivo e seu potencial arquitetônico* e à *proposta do sistema construtivo modular com utilização do bambu, também compatível com materiais utilizados na região*. Os materiais com maior utilização, dentro do recorte pesquisado, foram a madeira e a pedra. A madeira foi incorporada na composição dos painéis propostos, em seu enquadramento, e a pedra podendo compor a base da edificação e o revestimento de pisos. Cabe ressaltar que esta etapa cumpriu os objetivos propostos, permitindo a elaboração de testes e a verificação do desempenho térmico das paredes de bambu da edificação proposta, através das simulações computacionais.

O objetivo de *avaliar o sistema construtivo sob o ponto de vista do atendimento às condições mínimas de desempenho* teve foco no desempenho térmico dos painéis de bambu. Diante da falta de informações técnicas a respeito dos colmos

de bambu e das chapas de bambu, a realização das simulações computacionais e das medições das resistências térmicas dos materiais contribuiu para um maior conhecimento do comportamento do bambu na região pesquisada. Com a variação dos arquivos climáticos em mais três zonas bioclimáticas, além da zona bioclimática 1, no Estado de Santa Catarina, foi possível ir um pouco além, projetando o comportamento do bambu em várias regiões do Estado.

Com o objetivo de *comparar o sistema construtivo proposto com edificações existentes na região, considerando o seu desempenho térmico* foi possível verificar o comportamento de outros materiais como a madeira e o tijolo cerâmico, nas condições da região pesquisada – zona bioclimática 1. Os resultados encontrados com as simulações destes materiais, deixaram o bambu em condição favorável para o seu uso em edificações na região de estudo, tendo em vista que os resultados encontrados para o bambu contribuem, em uma porcentagem maior que os demais materiais, para a redução do consumo total de energia na edificação.

A viabilidade construtiva com bambu passou pela aceitação do bambu como material construtivo, por parte dos moradores locais, e pela disponibilidade e oferta de colmos de bambu e produtos de bambu para construção, na região de estudo. A construção com bambu ainda enfrenta muitas barreiras. Uma delas é a comercialização do produto, que possui poucas informações técnicas para uma especificação correta nos projetos. Outra é a oferta dos colmos de bambu, que precisam estar disponíveis em um volume maior, com opções de tratamento preservativo, para atender a uma possível demanda de construção.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 PUBLICAÇÕES RELACIONADAS

Com o desenvolvimento da pesquisa foram elaborados alguns artigos, relacionados ao tema, já publicados (Quadro 28).

Quadro 28 - Publicações relacionadas à pesquisa.

Publicações - Artigos		
Situação	Título	Referência
Publicado	A arquitetura em bambu como alternativa construtiva em regiões de zona bioclimática brasileira 1	NUIĆ, Laila; LIBRELOTTO, Lisiane I. (2021). A arquitetura em bambu como alternativa construtiva em regiões de zona bioclimática brasileira 1 . IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto. v.9, n.1, p.637-649, Florianópolis. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223250 .
Publicado	Sistema construtivo modular a partir da flexibilização na geração de alternativas	NUIĆ, Laila; LIBRELOTTO, Lisiane I. 2021). Sistema construtivo modular a partir da flexibilização na geração de alternativas . IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto. v.9, n.4, p.149-161, Florianópolis. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223254 .

Fonte: Autora (2021).

8.2 SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS

No decorrer deste estudo, algumas questões tornaram-se importantes e devem ser pesquisadas. Outros fatores de habitabilidade, constantes na norma de desempenho, como estanqueidade e desempenho acústico podem ser avaliados. Quanto à estanqueidade, um estudo de materiais para compor a vedação das paredes, em sua aderência ao bambu. Quanto ao desempenho acústico, o isolamento acústico entre paredes internas e possíveis materiais para compor estas paredes.

REFERÊNCIAS

ADISS, Bill. **Edificação: 3000 anos de projeto, engenharia e construção**. Trad. Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2009. 640p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 30p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013. 60p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16828-1: Estruturas de bambu. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro. 2020. 31p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16828-2: Estruturas de bambu. Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro. 2020. 17p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Catálogo. 2021. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 07/01/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Catálogo. 2023. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 04/08/2023.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DO BAMBU – BAMBUSC. **Espécies**. Disponível em: <http://bambusc.org.br/wp-content/uploads/2009/04/tabelaespeciesbambu.jpg>. Acesso em: 11/10/2016.

BARRA, Bruna Neri; RENOFIO, Adilson; ALVES, Vanessa Cintra. O aproveitamento da serragem cromada associada à fibra de bambu para a produção de pisos e divisórias. XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Foz do Iguaçu, 09-11/out. 2007.

BENAVIDES, Andrea Salomé Jaramillo. **Manifestações patológicas e decisões projetuais que incidem na durabilidade do bambu em edificações no sul do Brasil**. 2019. 282p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

BORGES NETO, Camilo. **Desenvolvimento de compósitos de resina epóxi e fibras de taquara-lixia (*merostachys skvortzovii* sendulsky), para aplicações estruturais**. 2014. 219f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BRUNA, Paulo J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. 2ed. São Paulo: Perspectiva, 2002. 307p.

BUNYAVIPAKUL, Monchai; KRAIRIKSH, Chalie; CHIMVILAISUP, Aamaal Phakdeetham. **Natural architecture project: bamboo modular coordinated with systematic structure**. In: RSU International Research Conference, Thailand. 2018.

CAPES. Catálogo de teses e dissertações. 2021. Disponível em: <https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>. Acesso em: 07/01/2021.

CAMPOS, Daniel Malaguti. **Aplicação e ensino de tecnologias apropriadas para a construção coletiva de estruturas de cobertura feitas de bambus amarrados e terra crua**. 2013. 145f. Tese (Doutorado em Design) – Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Economia do bambu no Brasil: tecnologia e inovação na cadeia produtiva – perspectivas e desafios**. Relatório técnico. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2018. 115p.

CHING, Francis D. K. **Arquitetura: forma, espaço e ordem**. Trad. Alexandre Salvaterra. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 435p.

CORREIA, Viviane da Costa. **Produção de celulose nanofibrilada a partir de polpa organossolve de bambu para nanoreforço de compósitos cimentícios**. 2015. 166f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

COSTA, Milene Muniz Eloy da. **Physical and mechanical behavior of composites made of green polyethylene matrix reinforced by long bamboo fibers: influence of the physical and chemical treatments of the fibers on the fibers and on the composites**. 2019. 164f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

DESIGNBOOM. **Eleena jamil architect proposes sustainable bamboo structures for malaysian housing**. Disponível em: <https://www.designboom.com/architecture/ej-architect-bamboo-terrace-homes-malaysia-06-24-2019/>. Acesso em: 14/07/2019.

DOCZI, György. **O poder dos limites: harmonias e proporções na natureza, arte e arquitetura**. Trad. Maria Helena de Oliveira Tricca e Júlia Bárány Bartolomei. São Paulo: Mercúrio, 1990.149p.

ENGENHARIA CIVIL. **Um sistema construtivo modular em bambu que não usa prego ou parafuso**. Disponível em: <https://www.engenhariacivil.com/sistema-construtivo-modular-bambu>. Acesso em 03/06/2019.

FEDERAÇÃO CATARINENSE DAS ASSOCIAÇÕES DE MUNICÍPIOS. **Índice de Desenvolvimento Municipal Sustentável**. 2021. Disponível em: <https://indicadores.fecam.org.br/indice/estadual/ano/2021#B>. Acesso em: 24/02/2021.

GAUZIN-MULLER, Dominique. **Arquitetura ecológica**. Colaboração Nicolas Favet e Pascale Maes. Trad. Celina Olga de Souza e Caroline Fretin de Freitas. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2011. 304p.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; DUARTE, Denise Helena Silva. Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, v.6, n.4, p. 51-81 out./dez. 2006.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus. Organizadores. **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2015. 591p. Vários autores.

HIDALGO – LÓPEZ, Oscar. **The gift of the gods**. Bogotá: D'vinni, 2003. 553p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 26/07/2023.

INTERNATIONAL BAMBOO AND RATTAN ORGANIZATION – INBAR. 2023a. Disponível em: <https://www.inbar.int/>. Acesso em: 04/08/2023.

INTERNATIONAL BAMBOO AND RATTAN ORGANIZATION – INBAR. 2023b. Disponível em: <https://speciestool.inbar.int/bamboo>. Acesso em: 04/08/2023.

INTERNATIONAL BAMBOO AND RATTAN ORGANIZATION – INBAR. 2023c. Disponível em: <https://www.inbar.int/wp-content/uploads/2023/02/global-priority-species-of-economically-important-bamboo-final-version.pdf>. Acesso em: 04/08/2023.

JOHN, V.M. **Avaliação da durabilidade de materiais, componentes e edificações – emprego do índice de degradação**. 1987. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Trad. Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2010. 362p.

KRAUSE, João Queiroz. **Micro e macromecânica de lâminas de bambu *Dendrocalamus giganteus* para aplicações estruturais**. 2016. 201f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

LADYBUG. 2023. Disponível em: <https://www.ladybug.tools/epwmap>. Acesso em: 04/04/2023.

LAWSON, R.M. **Modular construction using light steel framing: an architect's guide**. (SCI – P272). The Steel Construction Institute, 1999.

LEVITT, T. **A imaginação de marketing**. São Paulo: Atlas, 1990.

LIBRELOTTO, L. I., Ostapiv, F., Vitor, A. O., Jaramillo, A. B., Ferroli, P. C. M., Beraldo, A. L., ... & Barata, T. Q. F. (2019). *Bambu: Caminhos para o Desenvolvimento*

Sustentável. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197060>. Acesso em: 07/01/2021.

LLANOS, Jaiber Humberto Rodrigues. **Desenvolvimento e caracterização de bionanocompósitos pelo método de extrusão**. 2018. 193f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. Trad. Astrid de Carvalho. 1.ed. 3.reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011. 368p.

MARY, Wellington; KENMOCHI, Cláudio S.; COMETTI, Nilton N.; LEAL, Paulo M.. Avaliação de estrutura de bambu como elemento construtivo para casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p. 100-109, jan./abr. 2007.

MELO, João Vitor Azevedo de Menezes Correia de. **Processo de obtenção de formas baseadas em superfícies mínimas e formações naturais**. 2017. 125f. Tese (Doutorado em Design) – Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MINKE, Gernot. **Manual de construcción com bambú**. Cali: Merlín, 2010. 155p.

MOGNON, Francelo. **Avaliação comportamental do crescimento, biomassa e estoque de carbono em espécies de bambu**. 2015. 80f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MOIZÉS, Fábio Alexandre. **Desenvolvimento de painéis com partículas orientadas (OSB) de bambu**. 2019. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.

MORAIS, Vinicius Souza. **Projeto e construção de charpy utilizando a modelagem numérica da plataforma Ansys no estudo comparativo entre ensaios numéricos e práticos a partir de diferentes propriedades mecânicas de materiais compósitos**. 2016. 177f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

MÜLFARTH, Roberta C. Kronka. **Arquitetura de baixo impacto humano e ambiental**. 2002. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

NAÇÕES UNIDAS – BRASIL. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 04/08/2023.

NAKANISHI, Erika Yukari. **Estudo de biofilmes funcionais como revestimento em painéis multicamada para uso em instalação agroindustrial**. 2018. 186f. Tese

(Doutorado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

NOGUEIRA, Cláudia de Lima. **Ciência do material bambu e tecnologia de sua aplicação em vigas laminadas coladas de seção transversal composta**. 2013. 166f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

NUIĆ, Laila; LIBRELOTTO, Lisiane I. (2021a). **A arquitetura em bambu como alternativa construtiva em regiões de zona bioclimática brasileira 1**. IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto. v.9, n.1, p.637-649, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223250>. Acesso em: 11/08/2021.

NUIĆ, Laila; LIBRELOTTO, Lisiane I. (2021b). **Sistema construtivo modular a partir da flexibilização na geração de alternativas**. IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto. v.9, n.4, p.149-161, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223254>. Acesso em: 11/08/2021.

OSTAPIV, Fabiano. **Resistência mecânica do material compósito: madeira de eucalipto-lâmina de bambu**. 2011. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

PADGURSCHI, Maíra de Campos Gorgulho. **Padrão espacial de taquaras (poaceae: bambusoideae) em uma floresta neotropical do sudeste do Brasil**. 2014. 134f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

PADOVAN, Roberval Bráz. **O bambu na Arquitetura: design de conexões estruturais**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2010.

PEREIRA, Marco Antônio dos Reis. **Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterizações e aplicações**. 2012. 210f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.

PEREIRA, Marco A. R.; BERALDO, Antônio L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6, 2016. 352p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BOM JARDIM DA SERRA. 2018. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Prefeitura+Municipal+Bom+Jardim+Serra/>. Acesso em: 07/12/2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BOM JARDIM DA SERRA. 2019a. Disponível em: <https://www.bomjardimdaserra.sc.gov.br>. Acesso em: 19/09/2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BOM JARDIM DA SERRA. 2019b. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Prefeitura+Municipal+Bom+Jardim+Serra/>. Acesso em: 20/09/2019.

QUIVY, R.; CAMPENHOUDT, L. V. Manuel de recherche en sciences sociales. Paris: Dunod, 1995.

RADAIK, Carlos Eduardo. **Cadeia produtiva do bambu como material construtivo e sua aplicação: estudo de caso no Estado de São Paulo**. 2018. 186p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

ROTHER, Débora Cristina. **Dispersão de sementes e processos de limitação demográfica de plantas em ambientes com e sem bambus na floresta pluvial atlântica**. 2010. 131f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

SÁ, Ricardo. **Edros**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1982. 127p.

SANTA CATARINA. Lei Estadual 10.949. 1998.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL (SDS). **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos de Santa Catarina**. 2017. Disponível em: http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_b/PERH_S_C_Cenario_atual_CERTI-CEV_2017_final-2.pdf. Acesso em: 29/10/2018.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL (SDS). **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina**, 2018. Disponível em: http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/Documento%20Sintese/documento_sintese_do_plano_2018-03-15.pdf. Acesso em: 29/10/2018.

SILVA, Fernando José da. **Design e análises de mastros de bambu para aplicações estruturais**. 2014. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SILVA, Maria Angélica Covelo; SOUZA, Roberto de. **Gestão do processo de projeto de edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003. 181p.

SMITS, Mônica Azevedo. **Caracterização do bambu laminado colado para uso estrutural**. 2018. 147f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SULINFOCO. Disponível em: <https://sulinfoco.com.br/primavera-inicia-com-geada-na-serra-catarinense>. Acesso em: 26/07/2023.

SUSTENTARQ. **Casa de bambu eficiente inspirada nos conceitos de Feng Shui**. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/casa-de-bambu-eficiente-feng-shui/>. Acesso em: 14/07/2019.

TEDESCHI, Samara Pereira. **Desenvolvimento de modelo de gestão para empreendimento de economia solidária baseado na agricultura familiar para promover o desenvolvimento territorial sustentável na confecção de produtos de bambu**. 2017. 309f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) – Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

TEIXEIRA, Anelizabeth Alves. **Desempenho de painéis de bambus argamassados para habitações econômicas: aplicação na arquitetura e ensaios de durabilidade**. 2013. 223f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

THOMAZ, Ercio. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Pini, 2001. 449p.

VEGA, Oscar Alfonso; SALDARRIAGA, Carlos Andrés. Determinación de algunas propiedades térmicas de la Guadua Angustifolia Kunth: el calor específico y conductividad térmica radial. Medellín: Agrodocs, 2005.

YAMADA, Thaís Regina Ueno. **Estruturas *flat foldable* em bambu laminado colado baseadas em técnicas de dobra e corte do *origami* e do *kirigami***. 2016. 222f. Tese (Doutorado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

APÊNDICE A – Foco das pesquisas com bambu, em teses, no Brasil

Continua

Tese	Foco da pesquisa
Desenvolvimento sustentável	
Desenvolvimento de modelo de gestão para empreendimento de economia solidária baseado na agricultura familiar para promover o desenvolvimento territorial sustentável na confecção de produtos de bambu (TEDESCHI, 2017)	Estuda o desenvolvimento social e econômico de uma região através do uso do bambu como elemento gerador de renda, com base na agricultura familiar, através de um modelo de gestão de um empreendimento.
Espécies de bambu	
Dispersão de sementes e processos de limitação demográfica de plantas em ambientes com e sem bambus na floresta pluvial atlântica (ROTHER, 2010)	Estuda a influência dos bambus na dinâmica da vegetação em uma área de floresta atlântica.
Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterizações e aplicações (PEREIRA, 2012)	Estuda parte da cadeia produtiva do bambu com acompanhamento do desenvolvimento das espécies, manejo, colheita, produção de mudas, tratamento, secagem, processamento, caracterização e aplicações.
Padrão espacial de taquaras (poaceae: bambusoideae) em uma floresta neotropical do sudeste do Brasil (PADGURSCHI, 2014)	Avalia a distribuição espacial local de espécies nativas de bambu e propõe um modelo para a dinâmica do grupo neotropical.
Avaliação comportamental do crescimento, biomassa e estoque de carbono em espécies de bambu (MOGNON, 2015)	Estuda o desempenho de seis espécies de bambu, comparando, entre essas espécies, o seu crescimento, produção de biomassa e a capacidade de fixar carbono.
Projeto	
Processo de obtenção de formas baseadas em superfícies mínimas e formações naturais (MELO, 2017)	Estudo de arquiteturas leves baseado nas superfícies mínimas, através da observação dos processos de crescimento contínuo das formações naturais. A geometria dos modelos é obtida segundo um processo de interação entre procedimentos artesanais e computacionais. O bambu é utilizado na estrutura do modelo.
Estruturas	
Ciência do material bambu e tecnologia de sua aplicação em vigas laminadas coladas de seção transversal composta (NOGUEIRA, 2013)	Estuda as propriedades mecânicas de vigas laminadas coladas, industrializadas em laboratório, com seção transversal simples, composta e composta na forma de I.
Design e análises de mastros de bambu para aplicações estruturais (SILVA, 2014)	Estuda o comportamento estrutural do bambu em mastros do tipo híbrido, composto e de feixe.
Estruturas <i>flat foldable</i> em bambu laminado colado baseadas em técnicas de dobra e corte do <i>origami</i> e do <i>kirigami</i> (YAMADA, 2016)	Estuda a aplicação do bambu laminado colado em estruturas <i>flat foldable</i> – estruturas articuladas capazes de se achatarem totalmente durante o movimento de abertura ou fechamento – através das técnicas de dobra e corte do origami e kirigami.
Caracterização do bambu laminado colado para uso estrutural. (SMITS, 2018)	Estuda a resistência ao cisalhamento da ligação bambu-bambu em função da pressão de colagem e da rugosidade da superfície de colagem e as propriedades físicas e mecânicas do bambu laminado colado

Fonte: Autora (2021).

Conclusão

Tese	Foco da pesquisa
Painéis	
<p>Desempenho de painéis de bambus argamassados para habitações econômicas: aplicação na arquitetura e ensaios de durabilidade (TEIXEIRA, 2013)</p> <p>Estudo de biofilmes funcionais como revestimento em painéis multicamada para uso em instalação agroindustrial (NAKANISHI, 2018)</p> <p>Desenvolvimento de painéis com partículas orientadas (OSB) de bambu (MOIZÉS, 2019)</p>	<p>Estuda o uso do bambu como material construtivo através de painéis pré-fabricados, mineralizados e revestidos com argamassa nas faces interna e externa. Foram avaliados o desempenho, a durabilidade e a vida útil dos painéis.</p> <p>Estuda filmes poliméricos sobre painéis multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar reforçados com partículas de bambu, para utilização como material isolante térmico.</p> <p>Estuda o uso de painéis OSB não estruturais, com partículas de bambu, para uso interno em condições secas.</p>
Compósitos	
<p>Resistência mecânica do material compósito: madeira de eucalipto-lâmina de bambu (OSTAPIV, 2011)</p> <p>Desenvolvimento de compósitos de resina epóxi e fibras de taquara-lixá (<i>merostachys skvortzovii sendulsky</i>), para aplicações estruturais (BORGES NETO, 2014)</p> <p>Produção de celulose nanofibrilada a partir de polpa organossolve de bambu para nanoreforço de compósitos cimentícios (CORREIA, 2015)</p> <p>Micro e macromecânica de lâminas de bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> para aplicações estruturais (KRAUSE, 2015)</p> <p>Projeto e construção de charpy utilizando a modelagem numérica da plataforma Ansys no estudo comparativo entre ensaios numéricos e práticos a partir de diferentes propriedades mecânicas de materiais compósitos (MORAIS, 2016)</p> <p>Desenvolvimento e caracterização de bionanocompósitos pelo método de extrusão (LLANOS, 2018)</p> <p>Physical and mechanical behavior of composites made of green polyethylene matrix reinforced by long bamboo fibers: influence of the physical and chemical treatments of the fibers on the fibers and on the composites (COSTA, 2019)</p>	<p>Estuda os esforços de cisalhamento e tração normal na madeira de eucalipto com e sem o revestimento de lâminas de bambu.</p> <p>Estuda a caracterização de fibras tratadas e não tratadas de bambu, com corpos de prova de compósitos formados por fibras longas e fibras curtas, para fins estruturais.</p> <p>Estuda a produção de celulose nanofibrilada a partir de polpa organossolve de bambu para utilização como reforço em compósitos híbridos (nano e microescalas), em comparação com compósitos reforçados apenas com microfibras (polpa).</p> <p>Estuda compósitos laminados de bambu, utilizando material proveniente de diferentes trechos da parede do colmo, para desenvolvimento de formas complexas.</p> <p>Estuda materiais compósitos de fibras naturais, incluindo as do bambu, em ensaios mecânicos de tração e de impacto destrutivo.</p> <p>Estuda o desenvolvimento de materiais biodegradáveis, envolvendo nanofibras de bambu (NFBs), para utilização em embalagens.</p> <p>Estuda um compósito totalmente produzido por fontes renováveis, constituído por fibras de bambu e matriz polimérica de cana-de-açúcar. São avaliadas as propriedades morfológicas, físico-químicas e mecânicas dos materiais e do compósito.</p>
Durabilidade	
<p>Manifestações patológicas e decisões projetuais que incidem na durabilidade do bambu em edificações no sul do Brasil (BENAVIDES, 2019)</p>	<p>Estuda as manifestações patológicas e os processos de degradação do bambu nas edificações, identificados como resultado de decisões projetuais, e que afetam a durabilidade dos elementos construtivos de bambu.</p>
Bambu e outros materiais	
<p>Aplicação e ensino de tecnologias apropriadas para a construção coletiva de estruturas de cobertura feitas de bambus amarrados e terra crua (CAMPOS, 2013)</p>	<p>Estuda a aplicação de alguns modelos de estrutura de cobertura em escala e contexto real para uso comunitário.</p>

Fonte: Autora (2021).

APÊNDICE B – Síntese da revisão sistemática de temas relacionados à pesquisa, em teses, no Brasil

Tema	Assuntos tratados nas pesquisas
Arquitetura evolutiva	Padrões de ampliação espontânea Projetos em situação de constante evolução
Arquitetura modular	Simetria modular Sistema pré-fabricado modular volumétrico
Cadeia produtiva	Cadeia produtiva de materiais naturais renováveis
Desenvolvimento sustentável	Economia social Princípios de sustentabilidade Diretrizes sustentáveis para municípios de pequeno porte Sustentabilidade na indústria da construção Edificações sustentáveis Edificações insustentáveis Impacto ambiental Logística reversa Selo verde
Design	Dimensão social de produtos sustentáveis Design para a sociobiodiversidade Design de interação Design colaborativo Processo de projeto
Gerenciamento	Modelo integrado de gestão na construção Sistemas de inspeção e conservação predial Prazo e custo em empreendimentos Gestão da cadeia de suprimentos Gerenciamento de projetos Tipologia padronizada
Materiais	Madeira (painéis, conexões) Pedra (pesquisa histórica) Materiais sustentáveis
Pré-fabricação	Estruturas pré-fabricadas Desconstrução de estruturas pré-fabricadas Modularidade de projeto e produção Linha de montagem para habitações Ligações entre painéis estruturais Painéis (pré-fabricação, desempenho, compósitos) Manufatura aditiva Processo de produção ADF aplicada à engenharia (qualidade e desempenho)
Processo de projeto	Arquitetura alternativa; Arquitetura interativa Arquitetura paramétrica generativa Espaços temporários Otimização de forma estrutural e aerodinâmica Geração geométrica e otimização estrutural Algoritmos de otimização Padrões de crescimento – estruturas biomiméticas Composições arquitetônicas Fator de consumo de materiais Flexibilização de projetos padronizados Arquitetura vernacular x processo contemporâneo de produção Abordagens ecoinovadoras para novos produtos Gestão do processo de projeto O usuário e o processo de projeto Impactos ambientais e o processo de projeto Métrica, proporção e luz Desempenho; Integração de multidesempenhos; NBR 15575 Modelo multicritério de decisão Projeto e forças produtivas do momento Geometria fractal como sistema generativo Diretrizes metodológicas – parametrização Avaliação do consumo de energia em etapas iniciais de projeto Telhado verde Passive house – estratégias Percepção cognitiva Habitações rurais – materiais Avaliação da qualidade da habitação Estrutura na concepção da arquitetura Projeto e: incertezas; desempenho do material; sustentabilidade; BIM

Fonte: Autora (2021).

APÊNDICE C – Síntese da revisão sistemática para artigos nacionais e internacionais, base de dados Scielo

Continua

Base de dados – SCIELO					
Filtros de pesquisa					
Tipo	Artigos				
Data de publicação	2010 a 2021				
Áreas temáticas	Arquitetura, Engenharia Civil, Tecnologia de construção e Edificações, Engenharia de Produção, Gerenciamento				
Palavras-chave	Número de artigos relacionados à palavra-chave	Total de artigos que têm relação com os temas pesquisados neste trabalho (sem repetição)			
Arquitetura evolutiva	4	87			
Arquitetura modular	6				
Construção modular	26				
Coordenação modular	12				
Pré-fabricação	60				
Processo de projeto	205				
Bambu	286	23			
Obs: Para o bambu foram considerados todos os anos					
Tema	Periódico ISSN (origem)	QUALIS Periódicos (2013-2016)	Número de artigos	País de origem da pesquisa	Assunto (ano de publicação)
Bambu	Ambiente Construído 1678-8621 (on line) (Porto Alegre/Brasil)	A2 Arq, Urb, Des B1 Engenharias I B2 Engenharias II	4	Brasil Brasil Brasil Brasil	Painéis (2010) Bambu laminado colado (2014) Bambu laminado colado (2015) Piso bambu x piso eucalipto (2015)
	Maderas. Ciencia y Tecnología 0717-3644 0718-221X (on line)	B1 Engenharias I B2 Engenharias II	3	Brasil Colômbia	Características do material (2007) Bambu laminado colado (2009)
	Floresta e Ambiente 1415-0980 2179-8087 (online)	B1 Ciências Ambientais Ciências Agrárias I B2 Biodiversidade B3 Engenharias I	2	Brasil Brasil	Características do material (2015) Tratamento preservativo (2015)
	Universidad y Sociedad Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos 2218-3620	Não cadastrado	2	Equador Equador	Cadeia produtiva (2018) Características do material (2019)
	Polímeros 0104-1428 1678-5169 (on line)	A2 Engenharias II B1 Engenharias I	1	Brasil	Compósitos (2013)
	Ingeniería e Investigación 0120-5609	B2 Engenharias I, II, III, IV Interdisciplinar B3 Materiais	1	Colômbia	Painéis (2012)
	Ingeniería e Investigación 0120-5609	B2 Engenharias IV Ciências Agrárias I Educação	1	Colômbia	Bambu laminado colado (2009)
	Facultad de Ciencias Agropecuarias	Não cadastrado	1	Colômbia	Bambu laminado colado (2009)

Fonte: Autora (2021).

Conclusão

Tema	Periódico ISSN (origem)	QUALIS Periódicos (2013-2016)	Número de artigos	País de origem da pesquisa	Assunto (ano de publicação)
Bambu	Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 0255-6952 2244-7113 (on line) (Caracas, Venezuela)	B1 Materiais B2 Ciências Agrárias I Engenharias II B4 Biotecnologia	1	Brasil	Compósitos (2013)
	Cuadernos de Investigación 1659-4266 (Costa Rica)	B4 Interdisciplinar	1	Costa Rica	Estudo de materiais utilizados em albergues, incluindo o bambu (2015)
	Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia 0120-6230 2422-2844 (on line) (Medelin, Colômbia)	B2 Ciências Ambientais Interdisciplinar B3 Engenharias I, II, III, IV B4 Materiais	1	Brasil	Estudo térmico de telhas em coberturas, incluindo telhas de bambu (2017)
	Ingeniería Investigación y Tecnología 2594-0732	Não cadastrado	1	Cuba/ México	Preservação e durabilidade (2018)
	Revista de Arquitectura 1657-0308 2357-626X (on line) (Bogotá/Colômbia)	B2 Arq, Urb, Des	1	Colômbia	Painéis (2018)
	Revista Politécnica	Não cadastrado	1	Equador	Compósitos (2018)
	Não identificado OBRAS Y PROYECTOS		1	Peru	Projeto e construção (2010)
	Não identificado ESTRUCTURAS TENSILES		1	Brasil	Projeto e construção (2012)
	Não identificado OBRAS Y PROYECTOS		1	Inglaterra	Projeto e construção (2014)
Obs: última busca realizada em jan/2021 Qualis Periódicos – Classificação/Área de avaliação					

Fonte: Autora (2021).

APÊNDICE D – Síntese da revisão sistemática para artigos nacionais e internacionais, base de dados Scopus

Continua

Base de dados - SCOPUS					
Filtros de pesquisa					
Tipo de recurso	Artigos				
Data de publicação	2010 a 2021				
Nível superior	Periódicos revisados por pares				
Tópicos para <i>bamboo modular system</i>	Sustainability, construction, architecture, engineering, construction, ecology				
Tópicos para <i>bamboo modular construction</i>	Ecology, sustainable development, sustainability, construction, architecture, engineering				
Tópicos para <i>bamboo modular architecture</i>	Ecology, sustainable development, construction, architecture, engineering, bamboo				
Tópicos para <i>bamboo modular structure</i>	Construction, bamboo, architecture, engineering, ecology				
Palavras-chave	Número de artigos relacionados à palavra-chave	Total de artigos que tratam do bambu (sem repetição)			
Bamboo modular system	139	14			
Bamboo modular construction	83				
Bamboo modular architecture	76				
Bamboo modular structure	135				
TOTAL DE ARTIGOS QUE TRATAM DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO MODULAR COM BAMBU = 1					
Tema	Periódico ISSN	QUALIS Periódicos (2013-2016)	Número de artigos	País de origem da pesquisa	Assunto (ano de publicação)
Bambu	Construction & Building Materials 0950-0618	A1 – Arq, Urb, Des Engenharias I, II e III Ciências Agrárias I Ciências Ambientais Materiais A2 – Interdisciplinar	1		Conexões para estruturas leves de ripas de bambu (2015) (Resumo)
	Society & natural resources 0894-1920	A2 – Ciências Ambientais B1 – Interdisciplinar Biotecnologia Biodiversidade	1		Certificação do bambu (2015)
	Materials 1996-1944 (on line)	A1 – Engenharias I, II Materiais Ciências Agrárias I A2 – Engenharia III Interdisciplinar B1 – Ciências Biológicas I, II Engenharias IV C – Arq, Urb, Des	1		Soluções estruturais para edificações de bambu de baixo custo em um pavimento – testes experimentais e avaliações construtivas (2016)
	Journal of composite materials 0021-9983 1530-793X (on line)	A2 – Engenharias I, II e III B1 – Interdisciplinar Materiais Ciências Ambientais B2 – Biotecnologia	1		Compósitos de base biológica de resíduos agrícolas: ácido polilático e bambu <i>Guadua angustifolia</i> (2016)
	PLoS ONE 1932-6203	A1 – Interdisciplinar Biodiversidade Biotecnologia Ciências Agrárias I Ciências Ambientais Engenharias III A2 – Materiais B1 – Engenharias II e IV B2 – Arq, Urb, Des Engenharias I	1		Coevolução de bambus cianogênicos e lêmures de bambu em Madagascar (2016)

Fonte: Autora (2021).

Conclusão

Tema	Periódico ISSN	QUALIS Periódicos (2013-2016)	Número de artigos	País de origem da pesquisa	Assunto (ano de publicação)
Bambu	Journal of Tropical Forest Science 0128-1283 2521-9847 (on line)	B1 – Ciências Agrárias I B2 – Biodiversidade Engenharias I B3 – Materiais	1		Avaliação das propriedades elásticas/dinâmicas de uma espécie de bambu em três estágios de seu ciclo de vida (2017)
	International journal of architectural computing 1478-0771 2048-3988 (on line)	B1 – Arq, Urb, Des	1		Codificação da natureza do bambu para uso em um projeto de estrutura de forma livre através de um modelo paramétrico otimizado e sistematizado (2017)
	Materials and Structures 1359-5997 1871-6873 (on line)	A1 – Arq, Urb, Des Engenharias I e III Ciências Agrárias I A2 – Engenharias II Materiais Interdisciplinar	1		Concreto reforçado com bambu (2018)
	PeerJ 2167-8359	A1 – Ciências Agrárias I Engenharias III A2 – Interdisciplinar B1 – Biotecnologia Engenharias II e IV B2 – Biodiversidade Materiais	1		Características do solo de uma floresta de bambu em situações adversas (2018)
	Journal of Tropical Ecology 0266-4674 1469-7831 (on line)	B1 – Biodiversidade B2 – Ciências Agrárias I	1		Características do bambu (2018)
	Architectural engineering and design management 1745-2007 1752-7589 (on line)	B2 – Engenharias I	1		Conceitos de design para a integração do bambu na arquitetura vernacular contemporânea (2019)
	International journal of sustainable engineering 1939-7038 1939-7046 (on line)	Não cadastrado	1		Aplicações industriais de compósitos de polímero reforçado com fibra natural, incluindo o bambu (2019)
	Energies 1996-1073	A1 – Engenharias II A2 – Ciências Ambientais Interdisciplinar B1 – Biotecnologia Ciências Agrárias I Engenharias III e IV B2 – Biodiversidade	1		Coprodução de furfural (composto orgânico), lignina fenolada e açúcares fermentáveis de bambu (2020)
	RSU International Research Conference 04/maio/2018				Tailândia

Obs: última busca realizada em jan/2021
Qualis Periódicos – Classificação/Área de avaliação

Fonte: Autora (2021).

APÊNDICE E – Entrevistas com moradores locais

ROTEIRO DE ENTREVISTA

Para a verificação da aceitação popular de construções com bambu serão realizadas entrevistas com usuários (população em geral) na região do Planalto Sul Catarinense, no município de Bom Jardim da Serra. Este município foi escolhido por possuir as características necessárias ao desenvolvimento da pesquisa, tais como, umidade alta e altitude elevada. E também, por ser um município em que a madeira, tanto nativa quanto de reflorestamento, já foi largamente utilizada. Nesse contexto, espera-se verificar a possibilidade de inserção de novo material construtivo como opção para os moradores.

As entrevistas serão realizadas com o auxílio de perguntas abertas que serão utilizadas como apoio ao entrevistador, possibilitando o surgimento de novas perguntas, de acordo com as respostas obtidas. As perguntas norteadoras da entrevista são:

1. Quais são os materiais que foram utilizados na construção da edificação onde você mora? Você gosta dos materiais que estão na sua casa? Por quê?
2. Você conhece alguém que mora em uma residência, seja uma casa ou um edifício, em que o bambu foi utilizado na construção ou na decoração da casa?
3. De que forma o bambu foi utilizado? Você gostou? Por quê?
4. Você moraria em uma residência, seja casa ou edifício, construída com bambu? Por quê?
5. Você gosta quando o bambu é utilizado em uma construção comercial, por exemplo, um bar, um restaurante, uma loja, um edifício? Por quê?
6. Dentre as imagens apresentadas aqui, com quais delas você se identifica mais? Por quê?
7. Se fosse para escolher uma casa para morar (dentre as fotos apresentadas), em qual delas você moraria? Por quê?

As imagens selecionadas para serem apresentadas aos entrevistados foram escolhidas a partir das possibilidades de aplicação do bambu em moradias, tanto no aspecto construtivo quanto aplicado na decoração. As fotos estão relacionadas no Quadro 1 e serão apresentadas aos entrevistados com a mesma numeração apresentada neste projeto.

As fotos 1 e 2 apresentam uma residência com elementos construtivos de bambu, sendo utilizado como estrutura os colmos de bambu. Este modelo construtivo, com colmos na estrutura e amarrações nas ligações, é muito utilizado, sendo a forma mais antiga de utilização.

As fotos 3 e 4 apresentam duas situações em que o bambu foi utilizado como elemento decorativo em dois ambientes distintos: sala de estar e quarto.

Nas fotos 5 e 6 pode ser vista uma arquitetura mais contemporânea com parte da edificação recebendo o bambu como elemento construtivo.

As 6 fotos apresentam possibilidades construtivas e de decoração em que os usuários podem se identificar, ou não, ressaltando as suas expectativas sobre o bambu na arquitetura, a fim de atender aos objetivos desta pesquisa.

Quadro 1 – Relação de fotos a serem apresentadas aos entrevistados

RELAÇÃO DE FOTOS PARA APRESENTAÇÃO AOS ENTREVISTADOS DE ACORDO COM AS PERGUNTAS 6 E 7	
	
<p>Foto 1: Disponível em: http://blog.usenatureza.com/2015/08/lindas-obras-da-arquitetura-sustentavel-feitas-de-bambu/ Acesso em: 22/09/2018</p>	<p>Foto 2: Disponível em: http://www.topindonesiaholidays.com/blog/?p=208 Acesso em: 22/09/2018</p>
	
<p>Foto 3: Disponível em: http://designforum.com.br/blog/?p=11649. Acesso em: 22/09/2018</p>	<p>Foto 4: Disponível em: http://janelaurbana.com.br/porta/category/arquitetura-e-interiores/page/6/ Acesso em: 22/09/2018</p>
	
<p>Foto 5: Disponível em: https://minhacasacontainer.com/2014/04/04/inspiracao-ododia-uma-casa-flutuante-de-madeira-e-bambu/ Acesso em: 22/09/2018</p>	<p>Foto 6: Disponível em: https://minhacasacontainer.com/2014/04/04/inspiracao-ododia-uma-casa-flutuante-de-madeira-e-bambu/ Acesso em: 22/09/2018</p>
<p>Não há identificação dos autores das fotos</p>	

Fonte: Autora (2018).

Todas as fotos selecionadas para a pesquisa estavam disponibilizadas na internet e foram dados os créditos da autoria da foto. Caso haja a necessidade de autorização para o uso das mesmas, nesta pesquisa, foi elaborado um *Termo de Consentimento para Uso de Foto em Pesquisa Científica*, apresentado no Projeto Detalhado, Anexo 1.

A definição para a escolha dos entrevistados não é aleatória. O perfil dos usuários foi definido da seguinte forma:

- a) Sexo: 08 do sexo feminino e 07 do sexo masculino, divididos de forma a não haver a predominância de um ou de outro;
- b) Faixa etária: os usuários foram divididos em três grupos – 18 a 30 anos, 31 a 50 anos e mais de 50 anos. Por representarem estágios de vida diferentes, busca-se verificar de que forma os usuários percebem o bambu como um novo material construtivo para a região. Serão entrevistados 05 usuários em cada grupo;
- c) Escolaridade: busca-se neste item, verificar a contribuição do estudo formal na percepção do usuário. Os usuários foram distribuídos em três grupos – até o Ensino Fundamental, Ensino Médio completo e curso superior completo;
- d) Profissão: não serão entrevistados arquitetos e engenheiros atuantes na profissão;
- e) Local de residência: todos com moradia na região serrana de Santa Catarina, especificamente no município de Bom Jardim da Serra. Este município está localizado na zona bioclimática 1 e atende aos requisitos de pesquisa. Os usuários foram divididos em dois grupos – residentes no município e proprietários rurais com moradia no local, porém, residentes em outra cidade. Estes grupos foram assim divididos por ser esta a realidade econômica no município.
- f) Todos com residência própria. Este critério foi utilizado para definir o envolvimento do usuário com a região.

Serão entrevistadas 15 pessoas no total e escolhidas de acordo com a economia local, ou seja, agricultores, prestadores de serviços e comerciantes, e proprietários rurais. Serão abordados pessoalmente ou por telefone e entrevistados de acordo com a disponibilidade de cada um.

Todas as perguntas acima, feitas aos entrevistados, terão suas respostas utilizadas para a análise de conteúdo. As demais perguntas que forem realizadas no decorrer da entrevista serão utilizadas na verificação do contexto geral sobre o bambu na arquitetura, sob a ótica dos usuários, pois serão conduzidas de acordo com o perfil do entrevistado.

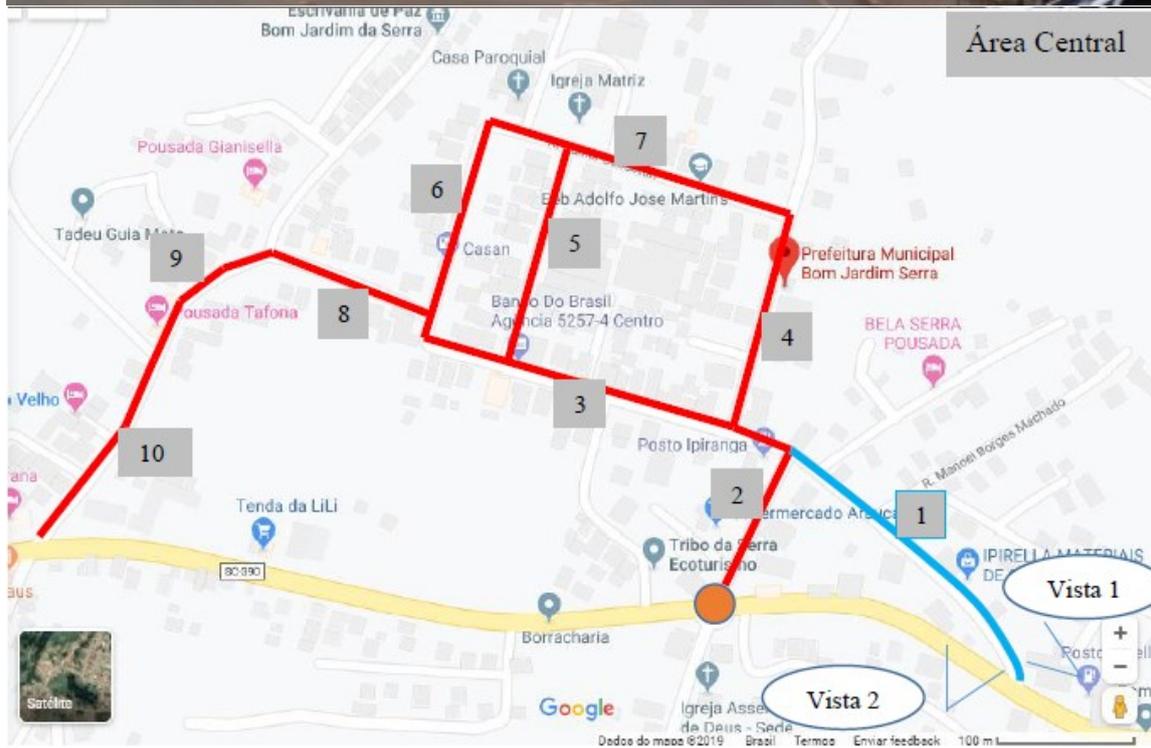
As respostas serão registradas com o auxílio de gravador e posteriormente serão transcritas, de modo a permitir a análise de conteúdo das mesmas. A análise de conteúdo será feita segundo Bardin, em três etapas: pré-análise, tratamento dos dados e interpretação dos resultados.

APÊNDICE F – Levantamento Fotográfico

ÁREA CENTRAL → Trecho 1

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



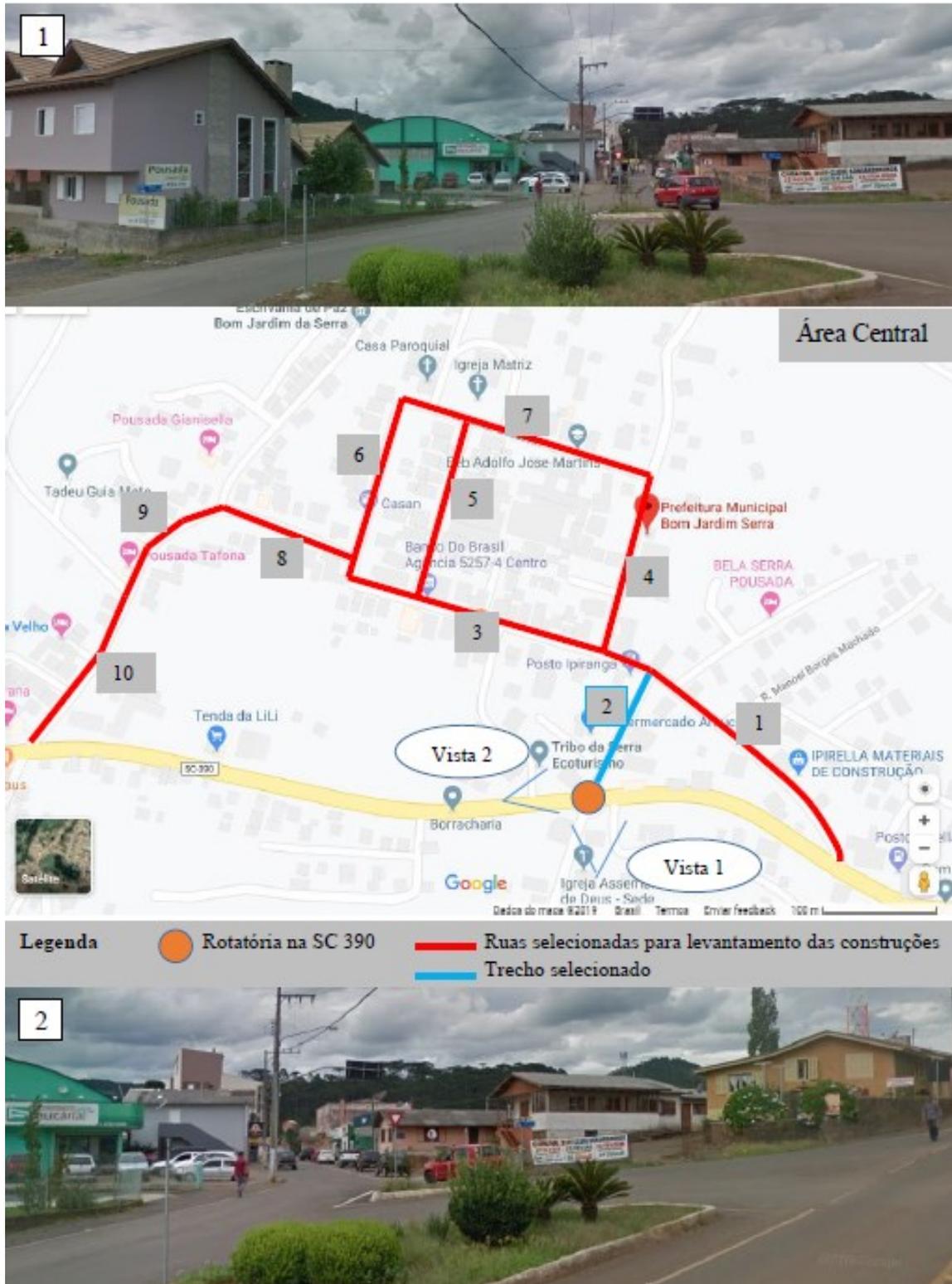
- Legenda**
- Rotatória na SC 390
 - Ruas selecionadas para levantamento das construções
 - Trecho selecionado



ÁREA CENTRAL → Trecho 2

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

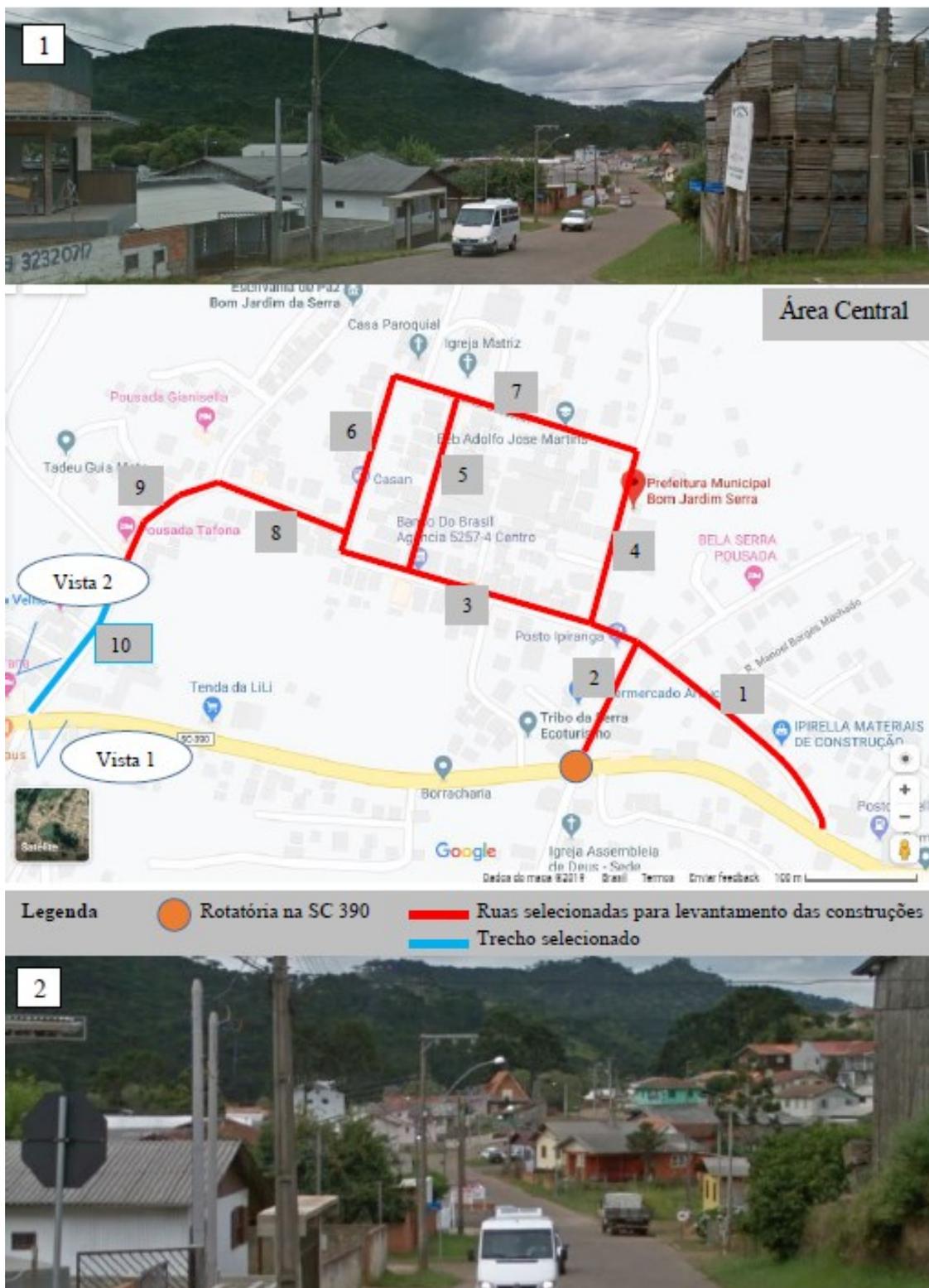
Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA CENTRAL → Trecho 10

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

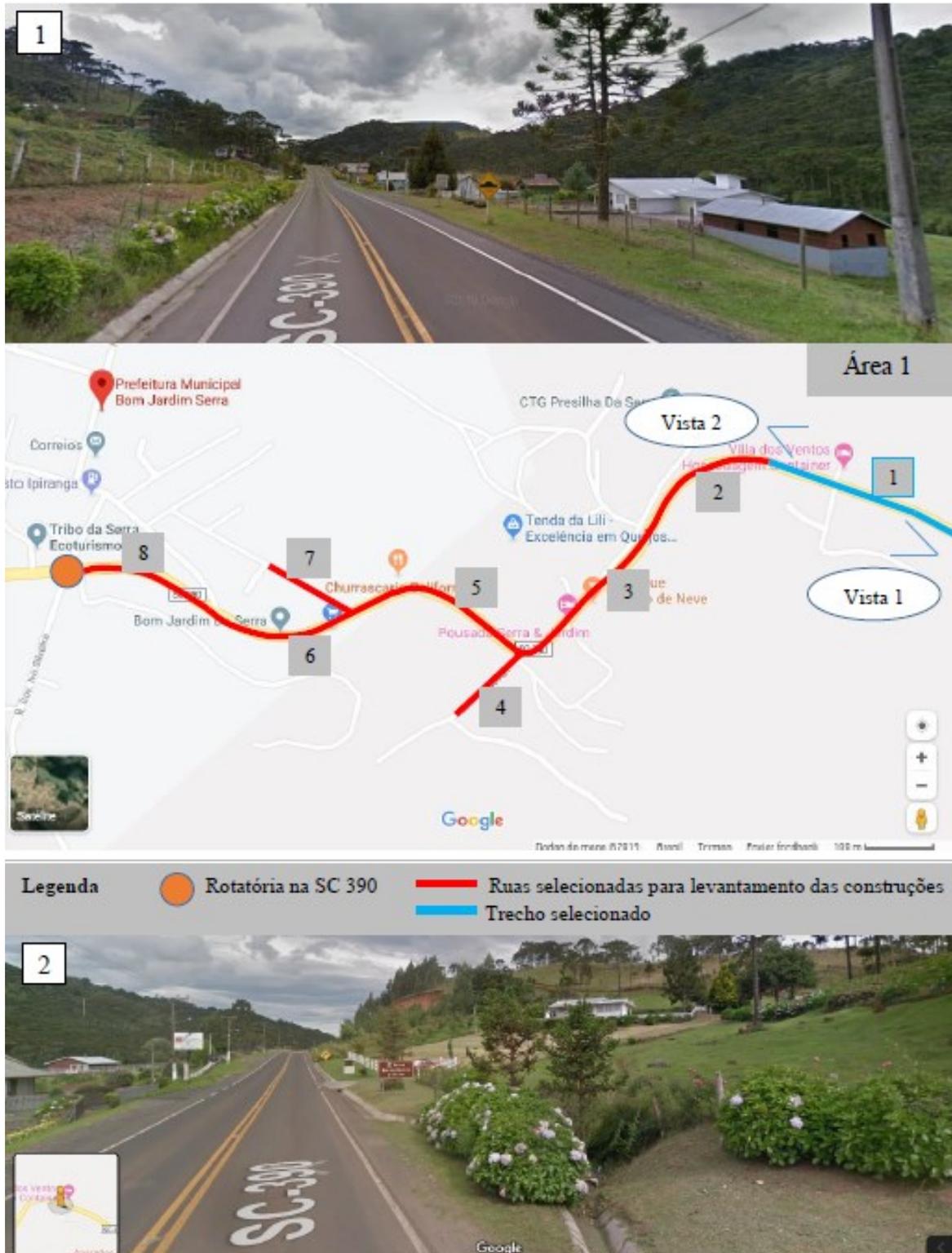
Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 1

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 1

FOTOS DAS EDIFICAÇÕES NO TRECHO

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 2

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

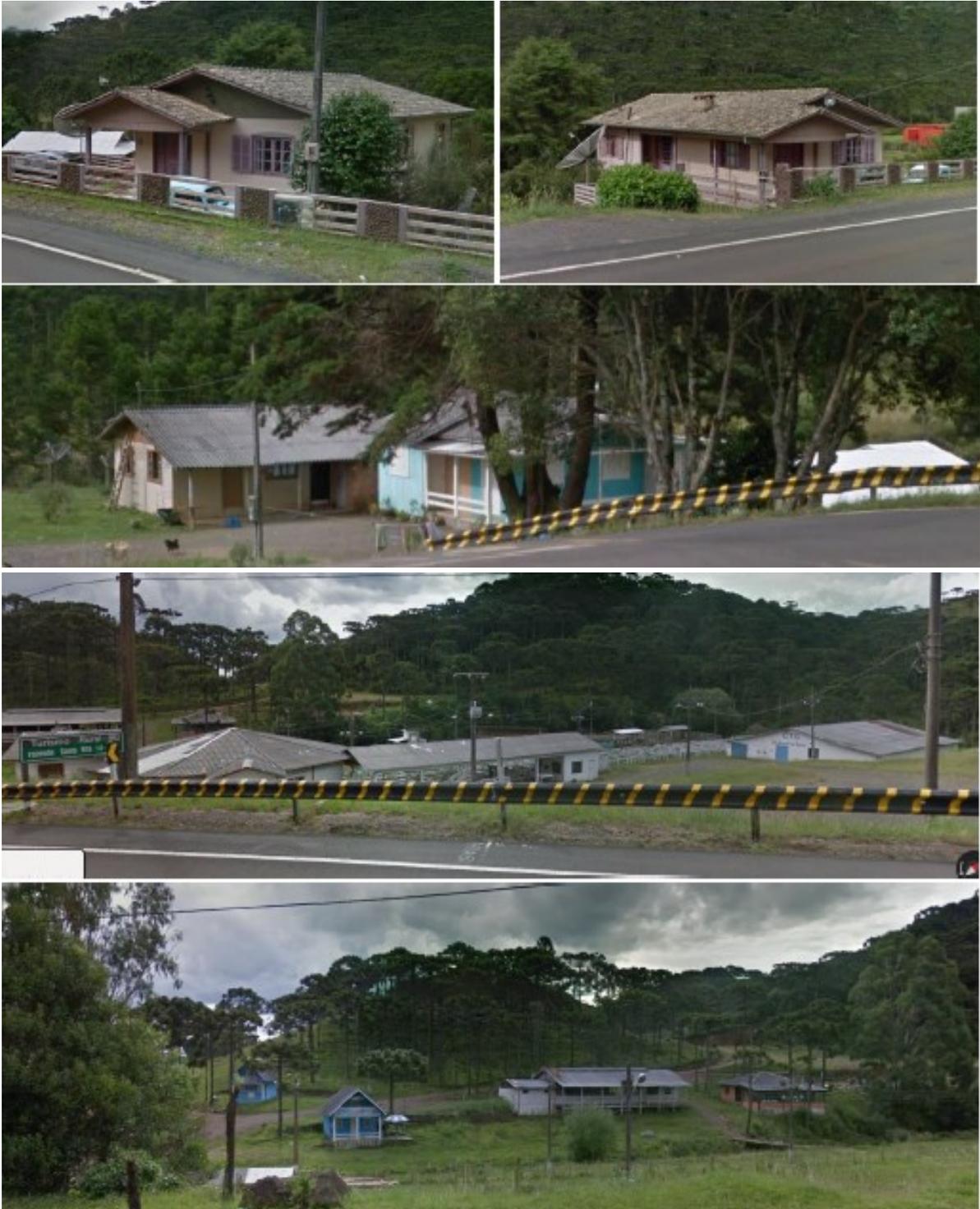
Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 2

FOTOS DAS EDIFICAÇÕES NO TRECHO

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 3

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 3

FOTOS DAS EDIFICAÇÕES NO TRECHO

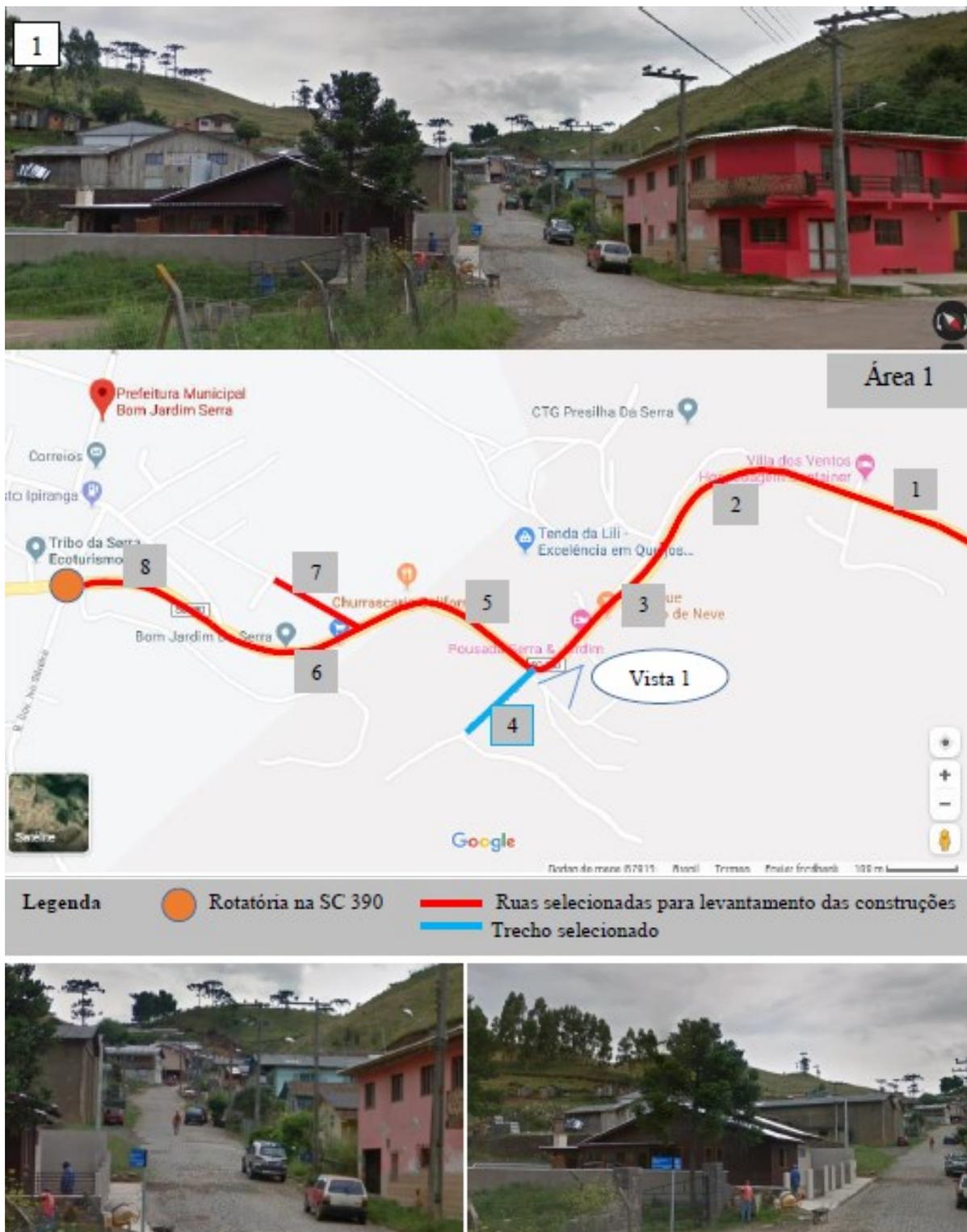
Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 4

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 5

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 5

FOTOS DAS EDIFICAÇÕES NO TRECHO

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.

continua



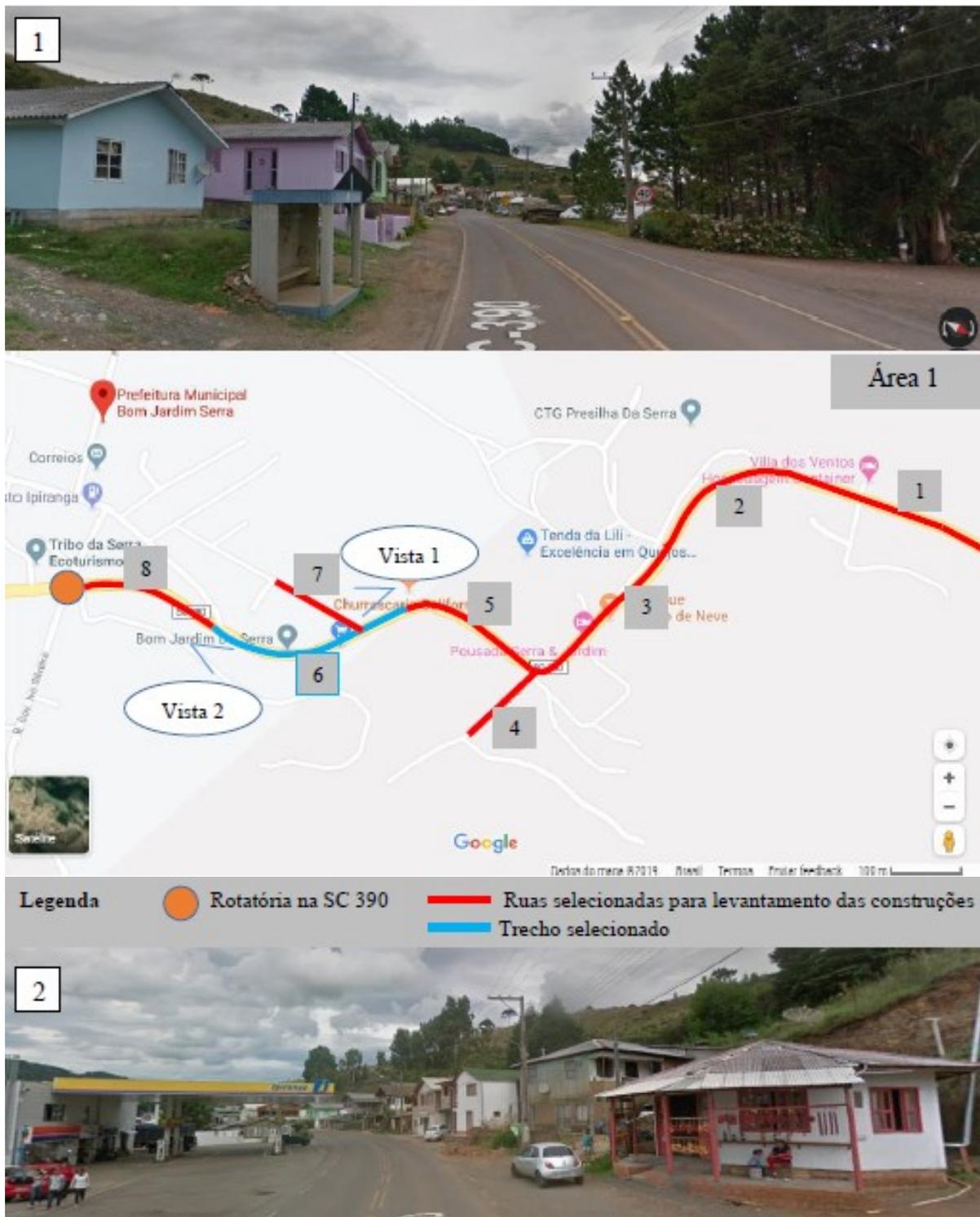
conclusão



ÁREA 1 → Trecho 6

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019

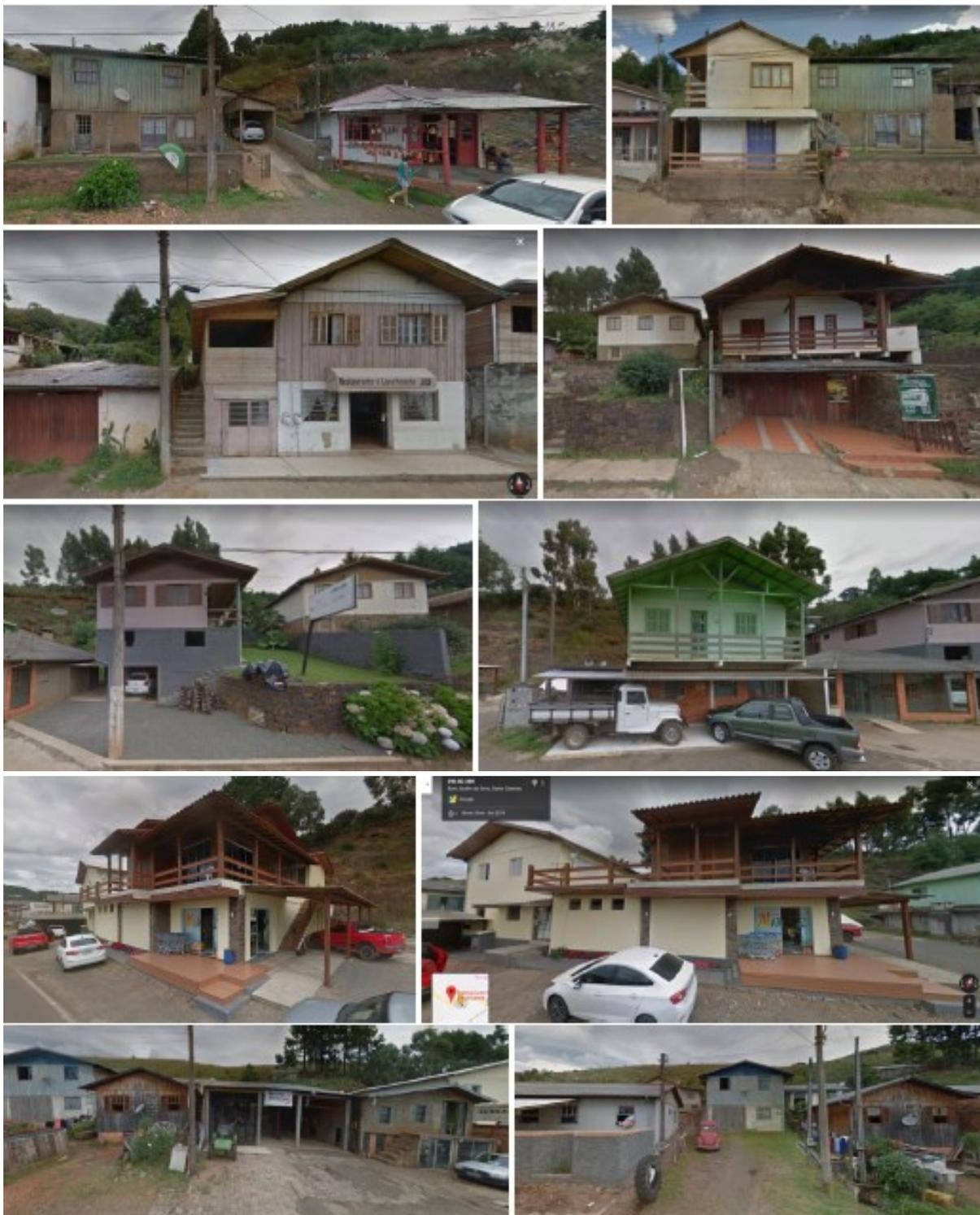


ÁREA 1 → Trecho 6

FOTOS DAS EDIFICAÇÕES NO TRECHO

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.

continua



conclusão



ÁREA 1 → Trecho 7

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 8

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 1 → Trecho 8

FOTOS DAS EDIFICAÇÕES NO TRECHO

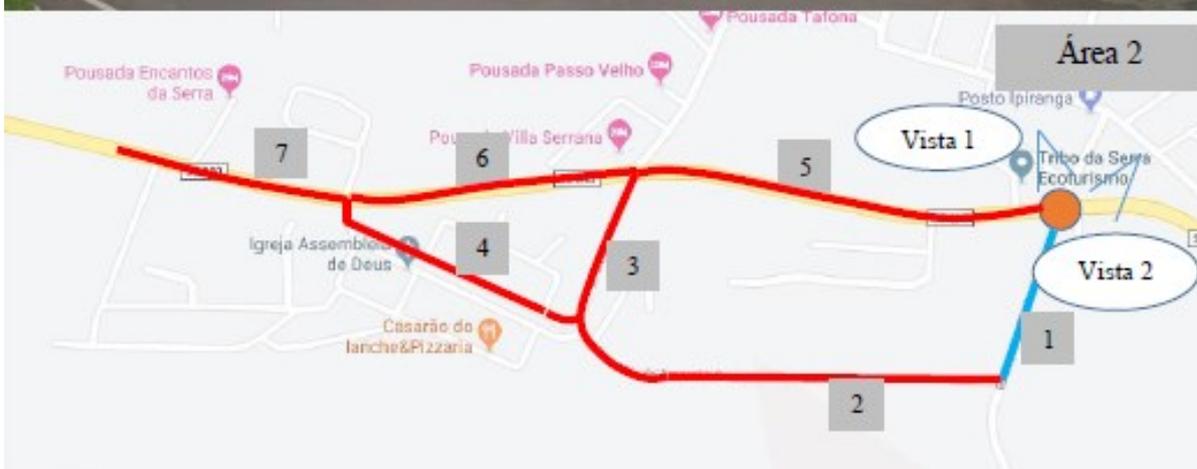
Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 2 → Trecho 1

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



Legenda

- Rotatória na SC 390
- Ruas selecionadas para levantamento das construções
- Trecho selecionado



ÁREA 2 → Trecho 3

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

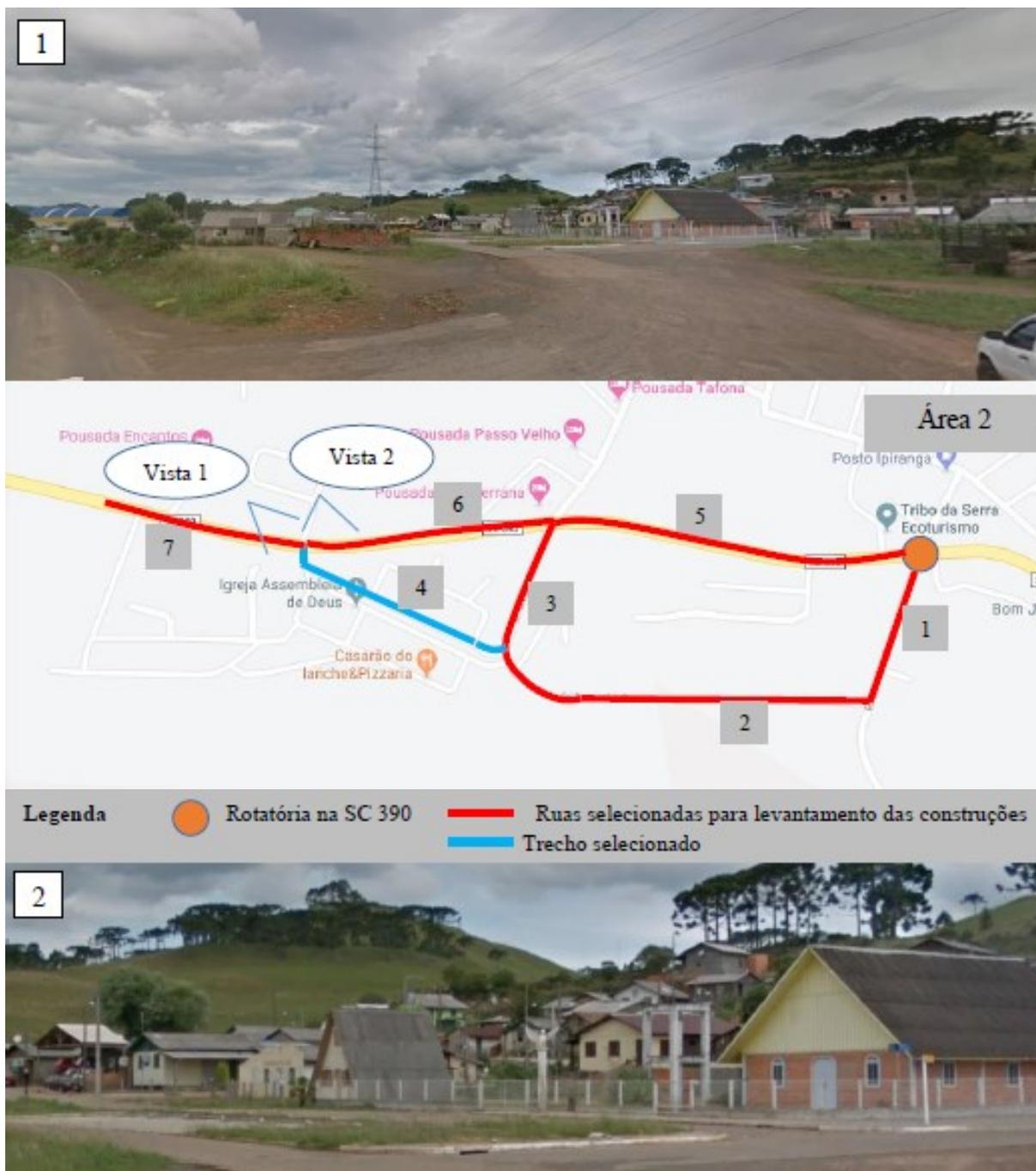
Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 2 → Trecho 4

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

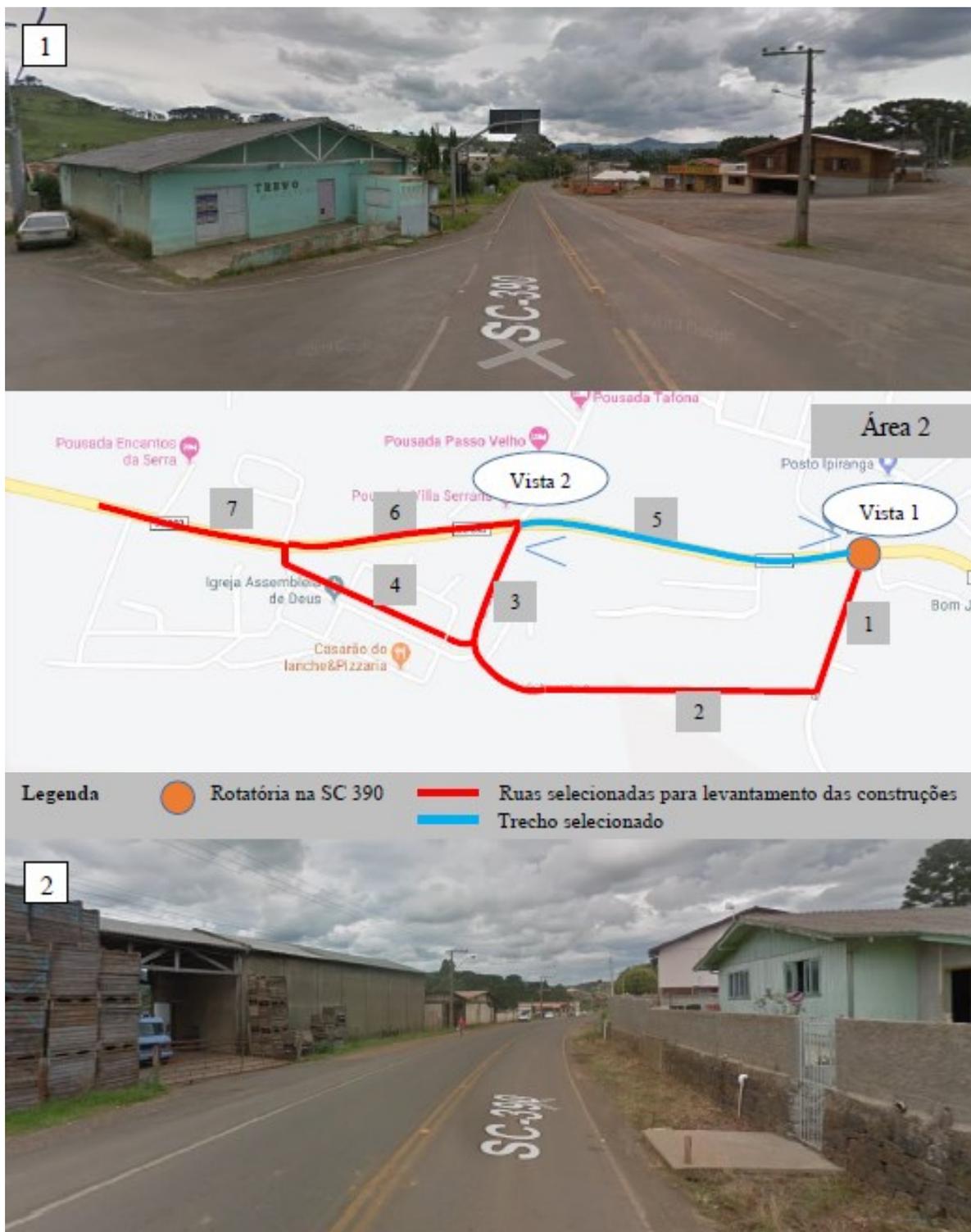
Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 2 → Trecho 5

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.

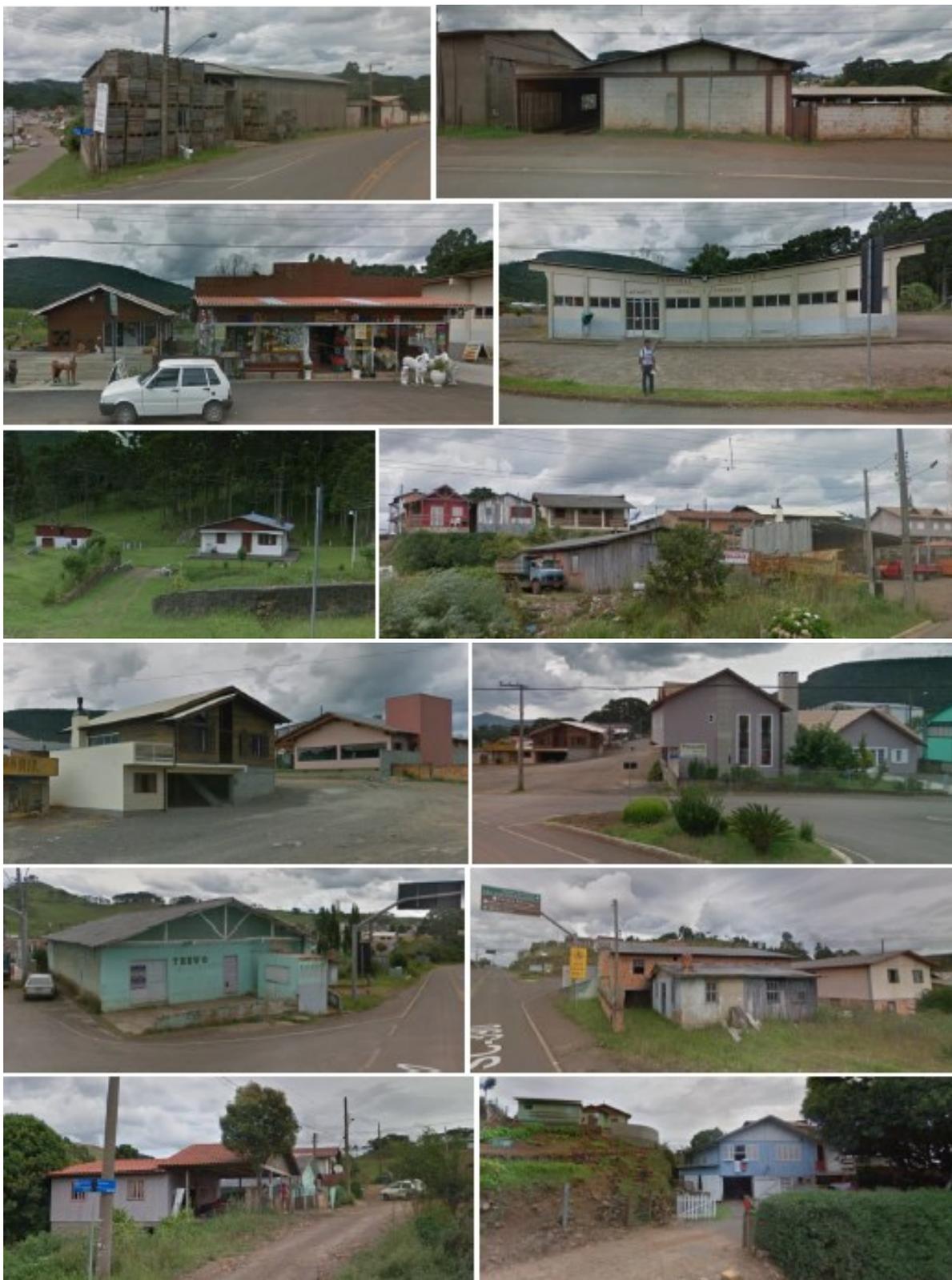


ÁREA 2 → Trecho 5

FOTOS DAS EDIFICAÇÕES NO TRECHO

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.

continua



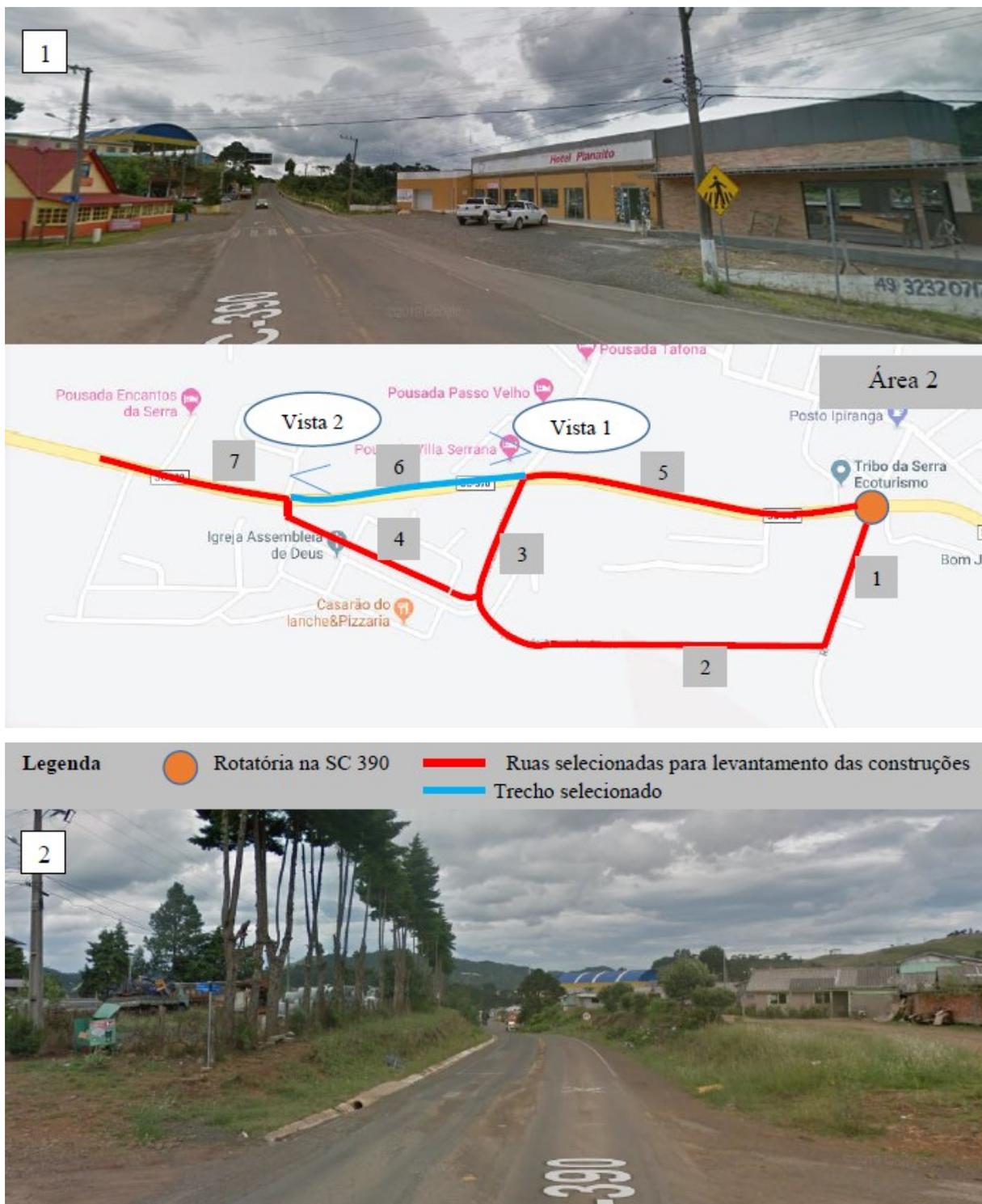
conclusão



ÁREA 2 → Trecho 6

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 2 → Trecho 7

FOTOS COM PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 2 → Trecho 7

FOTOS DAS EDIFICAÇÕES NO TRECHO

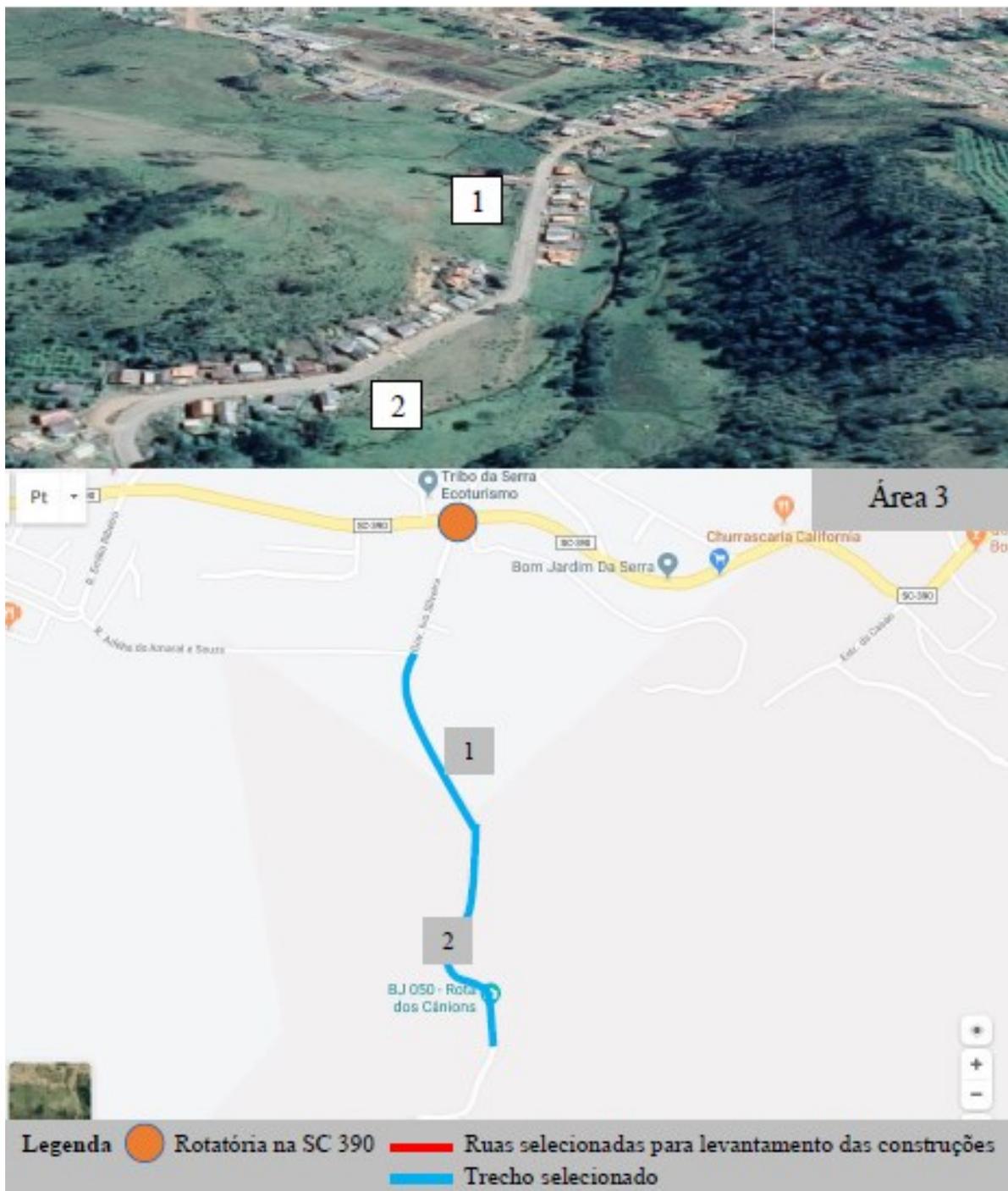
Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



ÁREA 3 → Trechos 1 e 2

PANORAMA GERAL DO TRECHO E IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO NO MAPA

Fonte: google.com/maps/. Captura da imagem: fev/2019.



APÊNDICE G – Quantitativos do Levantamento Fotográfico

LEVANTAMENTO DAS CONSTRUÇÕES LOCAIS												
Área Central												
Total edif	Trechos	Telhado		No. pav.		Tipologia construtiva					Materiais	
		2 águas	Outros	1	2	S1	S2	S3	S4	Outros	Madeira	Alvenaria
14	1 (5)	4	1	4	1	1	2	-	1	1	3	2
	2 (5)	5	-	3	2	-	3	-	1	1	3	2
	10 (4)	4	-	4	-	3	1	-	-	-	4	-
Subtotais		13	1	11	3	4	6	0	2	2	10	4
Área 1												
Total edif	Trechos	Telhado		No. pav.		Tipologia construtiva					Materiais	
		2 águas	Outros	1	2	S1	S2	S3	S4	Outros	Madeira	Alvenaria
110	1 (8)	8	-	6	2	-	6	-	2	-	5	3
	2 (6)	6	-	4	2	-	3	-	-	3	6	-
	3 (14)	12	2	13	1	3	3	-	-	8	8	6
	4 (8)	7	1	5	3	-	3	1	1	3	6	2
	5 (27)	25	2	17	10	4	5	1	6	11	19	8
	6 (25)	18	7	12	13	3	2	-	12	8	17	8
	7 (7)	7	-	7	-	2	5	-	-	-	7	-
	8 (15)	13	2	13	2	1	5	1	-	8	7	8
Subtotais		96	14	77	33	13	32	3	21	41	75	35
Área 2												
Total edif	Trechos	Telhado		No. pav.		Tipologia construtiva					Materiais	
		2 águas	Outros	1	2	S1	S2	S3	S4	Outros	Madeira	Alvenaria
97	1 (9)	8	1	7	2	-	6	-	-	3	6	3
	3 (3)	3	-	2	1	-	1	-	1	1	2	1
	4 (4)	4	-	3	1	1	1	-	-	2	3	1
	5 (33)	30	3	21	12	1	9	1	8	14	22	11
	6 (18)	13	5	15	3	3	10	-	-	5	10	8
	7 (30)	25	5	27	3	21	2	2	-	5	27	3
Subtotais		83	14	75	22	26	29	3	9	30	70	27
Soma das Áreas (Central + 1 + 2)												
Total de edificações		Telhado		No. pav.		Tipologia construtiva					Materiais	
		2 águas	Outros	1	2	S1	S2	S3	S4	Outros	Madeira	Alvenaria
221		192	29	163	58	43	67	6	32	73	155	66

Fonte: A Autora.

APÊNDICE H – Foco das pesquisas com bambu em teses

continua

Tese	Foco da pesquisa
Desenvolvimento sustentável/Cadeia produtiva	
Desenvolvimento de modelo de gestão para empreendimento de economia solidária baseado na agricultura familiar para promover o desenvolvimento territorial sustentável na confecção de produtos de bambu (TEDESCHI, 2017)	Estuda o desenvolvimento social e econômico de uma região através do uso do bambu como elemento gerador de renda, com base na agricultura familiar, através de um modelo de gestão de um empreendimento.
Bambus nativos do Brasil: panorama das iniciativas para uma cadeia produtiva integrada à conservação (LIMA, 2019)	
Espécies de bambu	
Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterizações e aplicações (PEREIRA, 2012)	Estuda parte da cadeia produtiva do bambu com acompanhamento do desenvolvimento das espécies, manejo, colheita, produção de mudas, tratamento, secagem, processamento, caracterização e aplicações.
Projeto/Práticas construtivas	
Processo de obtenção de formas baseadas em superfícies mínimas e formações naturais (MELO, 2017)	Estudo de arquiteturas leves baseado nas superfícies mínimas, através da observação dos processos de crescimento contínuo das formações naturais. A geometria dos modelos é obtida segundo um processo de interação entre procedimentos artesanais e computacionais. O bambu é utilizado na estrutura do modelo.
Soluções construtivas leves para arquiteturas de clima tropical úmido (TEIXEIRA FILHO, 2013)	
Cor: natureza e artificialidade no bambu – princípios e práticas construtivas (RABIN, 2015)	
Materiais de construção utilizados nas habitações rurais: estudo de caso no assentamento Itamarati, estado de Mato Grosso do Sul (ESTRELLA, 2019)	
Estruturas	
Ciência do material bambu e tecnologia de sua aplicação em vigas laminadas coladas de seção transversal composta (NOGUEIRA, 2013)	Estuda as propriedades mecânicas de vigas laminadas coladas, industrializadas em laboratório, com seção transversal simples, composta e composta na forma de I.
Design e análises de mastros de bambu para aplicações estruturais (SILVA, 2014)	Estuda o comportamento estrutural do bambu em mastros do tipo híbrido, composto e de feixe.
Estruturas <i>flat foldable</i> em bambu laminado colado baseadas em técnicas de dobra e corte do <i>origami</i> e do <i>kirigami</i> (YAMADA, 2016)	Estuda a aplicação do bambu laminado colado em estruturas <i>flat foldable</i> – estruturas articuladas capazes de se achatarem totalmente durante o movimento de abertura ou fechamento – através das técnicas de dobra e corte do <i>origami</i> e <i>kirigami</i> .
Caracterização do bambu laminado colado para uso estrutural. (GUIMARÃES, 2018)	Estuda a resistência ao cisalhamento da ligação bambu-bambu em função da pressão de colagem e da rugosidade da superfície de colagem e as propriedades físicas e mecânicas do bambu laminado colado
Sociedade, natureza e técnica: design de estruturas adaptáveis de bambu (RIPPER, 2015)	
Durabilidade	
Manifestações patológicas e decisões projetuais que incidem na durabilidade do bambu em edificações no sul do Brasil (BENAVIDES, 2019)	Estuda as manifestações patológicas e os processos de degradação do bambu nas edificações, identificados como resultado de decisões projetuais, e que afetam a durabilidade dos elementos construtivos de bambu.

Fonte: Autora (2021).

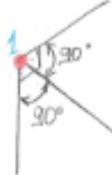
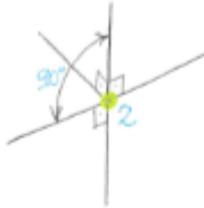
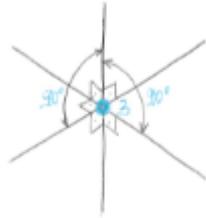
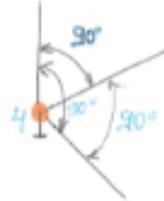
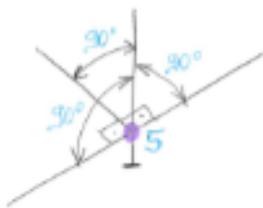
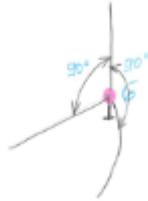
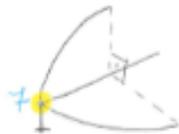
conclusão

Painéis	
Desempenho de painéis de bambus argamassados para habitações econômicas: aplicação na arquitetura e ensaios de durabilidade (TEIXEIRA, 2013)	Estuda o uso do bambu como material construtivo através de painéis pré-fabricados, mineralizados e revestidos com argamassa nas faces interna e externa. Foram avaliados o desempenho, a durabilidade e a vida útil dos painéis.
Estudo de biofilmes funcionais como revestimento em painéis multicamada para uso em instalação agroindustrial (NAKANISHI, 2018)	Estuda filmes poliméricos sobre painéis multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar reforçados com partículas de bambu, para utilização como material isolante térmico.
Desenvolvimento de painéis com partículas orientadas (OSB) de bambu (MOIZÉS, 2019)	Estuda o uso de painéis OSB não estruturais, com partículas de bambu, para uso interno em condições secas.
Compósitos	
Resistência mecânica do material compósito: madeira de eucalipto-lâmina de bambu (OSTAPIV, 2011)	Estuda os esforços de cisalhamento e tração normal na madeira de eucalipto com e sem o revestimento de lâminas de bambu.
Desenvolvimento de compósitos de resina epóxi e fibras de taquara-lixia (<i>merostachys skvortzovii sendulsky</i>), para aplicações estruturais (BORGES NETO, 2014)	Estuda a caracterização de fibras tratadas e não tratadas de bambu, com corpos de prova de compósitos formados por fibras longas e fibras curtas, para fins estruturais.
Produção de celulose nanofibrilada a partir de polpa organossolve de bambu para nanoreforço de compósitos cimentícios (CORREIA, 2015)	Estuda a produção de celulose nanofibrilada a partir de polpa organossolve de bambu para utilização como reforço em compósitos híbridos (nano e micro escalas), em comparação com compósitos reforçados apenas com microfibras (polpa).
Micro e macromecânica de lâminas de bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> para aplicações estruturais (KRAUSE, 2015)	Estuda compósitos laminados de bambu, utilizando material proveniente de diferentes trechos da parede do colmo, para desenvolvimento de formas complexas.
Projeto e construção de charpy utilizando a modelagem numérica da plataforma Ansys no estudo comparativo entre ensaios numéricos e práticos a partir de diferentes propriedades mecânicas de materiais compósitos (MORAIS, 2016)	Estuda materiais compósitos de fibras naturais, incluindo as do bambu, em ensaios mecânicos de tração e de impacto destrutivo.
Desenvolvimento e caracterização de bionanocompósitos pelo método de extrusão (LLANOS, 2018)	Estuda o desenvolvimento de materiais biodegradáveis, envolvendo nanofibras de bambu (NFBs), para utilização em embalagens.
Physical and mechanical behavior of composites made of green polyethylene matrix reinforced by long bamboo fibers: influence of the physical and chemical treatments of the fibers on the fibers and on the composites (COSTA, 2019)	Estuda um compósito totalmente produzido por fontes renováveis, constituído por fibras de bambu e matriz polimérica de cana-de-açúcar. São avaliadas as propriedades morfológicas, físico-químicas e mecânicas dos materiais e do compósito.
Compósitos laminados artesanais derivados de "Fibrobarro" aplicados como revestimentos e vedações em estruturas adaptáveis de bambu e em sistemas de coberturas residenciais (RAMILO, 2019)	
Bambu e outros materiais	
Aplicação e ensino de tecnologias apropriadas para a construção coletiva de estruturas de cobertura feitas de bambus amarrados e terra crua (CAMPOS, 2013)	Estuda a aplicação de alguns modelos de estrutura de cobertura em escala e contexto real para uso comunitário.
Propriedades do material	
Efeito da impregnação com polímeros sobre as propriedades mecânicas do bambu <i>Bambusa Vugaris</i> (ORTIZ, 2017)	
Heat influence on physical and mechanical properties of <i>Dendrocalamus Giganteus</i> bamboo (AZADEH, 2018)	
Metodologia para avaliação de fadiga em torção de materiais compósitos de resina epóxi com fibras de bambu (SCHERER, 2021)	

Fonte: Autora (2021).

APÊNDICE I – Tipos de ligações geradas com o agrupamento dos módulos

continua

Ligação/Numeração	Nº de peças conectadas	Tipos de peças conectadas	Desenho esquemático
Ligação 1 – L1	3	Peças retas	
Ligação 2 – L2	5	Peças retas	
Ligação 3 – L3	6	Peças retas	
Ligação 4 – L4	3	Peças retas (conectadas fundação) à	
Ligação 5 – L5	4	Peças retas (conectadas fundação) à	
Ligação 6 – L6	3	2 Peças retas 1 Peça curva (conectadas fundação) à	
Ligação 7 – L7	3	1 Peça reta 2 Peças curvas (conectadas fundação) à	

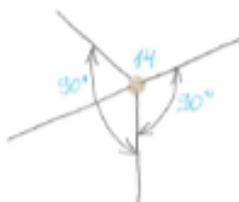
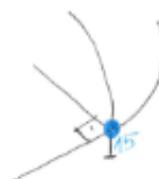
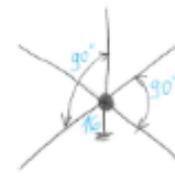
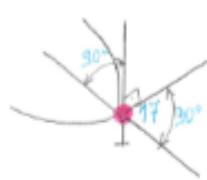
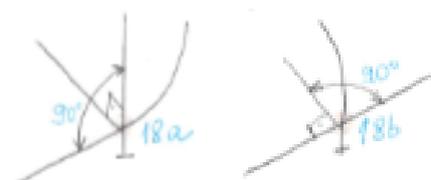
Fonte: Autora (2018).

continuação

Ligação/Numeração	Nº de peças conectadas	Tipos de peças conectadas	Desenho esquemático
Ligação 8 – L8	7	6 Peças retas 1 Peça curva	
Ligação 9 – L9	4	3 Peças retas 1 Peça curva	
Ligação 10 – L10	5	3 Peças retas 2 Peças curvas	
Ligação 11 – L11	6	4 Peças retas 2 Peças curvas	
Ligação 12 – L12	5	4 Peças retas 1 Peça curva	
Ligação 13 – L13	7	5 Peças retas 2 Peças curvas	

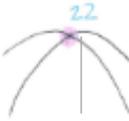
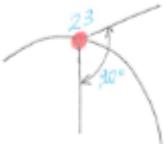
Fonte: Autora (2018).

continuação

Ligação/Numeração	Nº de peças conectadas	Tipos de peças conectadas	Desenho esquemático
Ligação 14 – L14	4	Peças retas	
Ligação 15 – L15	4	2 Peças retas 2 Peças curvas (conectadas à fundação)	
Ligação 16 – L16	5	Peças retas (conectadas à fundação)	
Ligação 17 – L17	6	4 Peças retas 2 Peças curvas (conectadas à fundação)	
Ligação 18 – L18	4	3 Peças retas 1 Peça curva (conectadas à fundação)	
Ligação 19 – L19	3	2 Peças retas 1 Peça curva	
Ligação 20 – L20	3	1 Peça reta 2 Peças curvas	

Fonte: Autora (2018).

conclusão

Ligação/Numeração	Nº de peças conectadas	Tipos de peças conectadas	Desenho esquemático
Ligação 21 – L21	4	1 Peça reta 3 Peças curvas (conectadas à fundação)	
Ligação 22 – L22	5	4 Peças curvas 1 peça reta	
Ligação 23 – L23	4	2 Peças retas 2 Peças curvas	

Fonte: Autora (2018).