

Andrea Salomé Jaramillo Benavides

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DECISÕES  
PROJETUAIS QUE INCIDEM NA DURABILIDADE DO BAMBU  
EM EDIFICAÇÕES NO SUL DO BRASIL**

Tese submetida ao Programa de Pós  
graduação em Arquitetura e Urbanismo  
da Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de  
Doutora em Arquitetura e Urbanismo.  
Orientadora: Profa. Dra. Lisiane Ilha  
Librelotto.  
Coorientadora: Profa. Dra. Ângela do  
Valle.

Florianópolis  
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Jaramillo Benavides, Andrea Salomé

Manifestações patológicas e decisões projetuais que incidem na durabilidade do bambu em edificações no Sul do Brasil / Andrea Salomé Jaramillo Benavides ; orientador, Lisiane Librelotto, coorientador, Ângela do Valle, 2019.

282 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

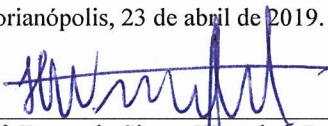
1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Projeto com bambu. 3. Manifestações patológicas. 4. Durabilidade. 5. Inspeção de edificações. I. Librelotto, Lisiane. II. do Valle, Ângela. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Andrea Salomé Jaramillo Benavides

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DECISÕES  
PROJETUAIS QUE INCIDEM NA DURABILIDADE DO BAMBU  
EM EDIFICAÇÕES NO SUL DO BRASIL**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutora e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ).


Florianópolis, 23 de abril de 2019.



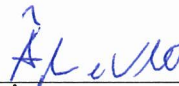
---

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.  
Coordenador do Curso

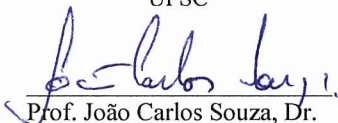
**Banca Examinadora:**



Prof.<sup>a</sup> Lisiane Librelotto, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora  
UFSC



Prof.<sup>a</sup> Ângela do Valle, Dr.<sup>a</sup>  
Coorientadora  
UFSC



Prof. João Carlos Souza, Dr.  
UFSC



Prof. Antonio Ludovico Beraldo  
UNICAMP



Prof. Tomas Queiroz Ferreira Barata Dr.  
UNESP - Bauru  
(Videoconferência)





Aos meus pais: Marcelo e Yolanda e  
às minhas avós no céu: Fanny, Carmen  
e Laura.



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que sempre estão do meu lado, acreditando em mim, apoiando e orientando as minhas escolhas, embora isto tenha significado a minha ausência em muitos momentos.

Às minhas irmãs Vanessa e Melissa, companheiras de caminhada mesmo que nossos rumos sejam distintos.

À professora Lisiane Librelotto, por ter orientado este trabalho e por ter aberto as portas do LabRestauro e do grupo Virtuhab para a realização de várias atividades de pesquisa e extensão.

À professora Ângela do Valle, pela coorientação desta pesquisa, por suas contribuições e por me permitir fazer parte do Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira (GIEM) e utilizar as instalações para a realização da pesquisa.

Aos professores Normando Perazzo Barbosa, Antonio Ludovico Beraldo, Fernando Barth e Ricardo Soccas Wiese pelas contribuições apresentadas com o parecer externo e durante a banca de qualificação.

Aos projetistas e construtores com bambu, que com generosidade compartilham os saberes e aprendizados da sua trajetória. Em especial a André Chaluppe, Luciana da Rosa Espíndola, Nivaldo Feliciano, Nailton de Lima, Tomaz Lotufo, Lúcio Ventania e Gabriel Konzen, que colaboraram com esta pesquisa, compartilhando além dos dados, suas experiências e visões do mundo.

Aos usuários e proprietários das edificações que foram analisados no decorrer deste trabalho, por terem permitido a realização das inspeções e por sua colaboração nas entrevistas.

À Cláudia Capeletti e à Fátima Vogt, pela hospitalidade durante as inspeções no Paraná e Rio Grande do Sul, respectivamente.

Aos meus amigos e colegas Erick Cruz, Claudia Vasconcelos, Luana Carbonari, Rodrigo de Mattos Vieira e Sumara Lisbôa, que me ajudaram durante as inspeções das edificações de bambu.

Aos membros da BambuSC, principalmente ao Hans Kleine, Marcos Marques, Marcelo Venturi e Thiago Ornellas, pela disponibilidade em fornecerem as informações que eu solicitei em vários momentos da pesquisa e pelo apoio imprescindível desta instituição não só à minha pesquisa, mas às atividades de fortalecimento da cadeia produtiva do bambu no Estado de Santa Catarina.

À professora Michele Fossati, por ter dado a oportunidade de divulgar o uso do bambu em estruturas para os estudantes que passaram pela disciplina de Tecnologias da Edificação II desde 2016 até o momento, por meio das palestras e atividades práticas em cada um dos

semestres. Sendo que, a inserção de pesquisa e prática com o manuseio de bambu nos currículos dos cursos de graduação e pós-graduação, tornou-se fundamental para expandir as possibilidades de construções aos futuros profissionais quanto ao uso de materiais naturais.

À professora Zuleica Patrício Karnopp, que compartilhou seu conhecimento sobre métodos qualitativos de pesquisa, mostrando-nos como sermos profissionais e éticos, mas principalmente saber ser humanos na vida acadêmica.

Aos membros do grupo de pesquisa Virtuhab nestes anos, em especial à Letícia Mattana, Sara Dotta, Luana Carbonari, Roberta Menezes, Sumara Lisbôa e Cecília Prompt, obrigada pelos apoio, confiança, compreensão e sobretudo pela força, pelos abraços e as parcerias durante este tempo.

Aos profissionais que atuam com bambu em várias áreas e que têm dedicado tempo a pesquisar e relatar sobre o tema, aos que me motivaram e ensinaram sobre este material, aos que me forneceram informações para esta pesquisa, aos que me ajudaram com a revisão textual e as traduções.

Aos membros avaliadores da banca de defesa, professores Antonio Ludovico Beraldo, Tomaz Queiroz Ferreira Barata e João Carlos Souza por aceitarem fazer parte da banca e por suas contribuições.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e à *Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación* – SENESCYT, instituições do Brasil e do Equador, respectivamente, que possibilitaram a realização desta pesquisa por meio das bolsas de estudo.

Ao PósARQ – UFSC, por oferecer ensino gratuito e de qualidade, aos professores, secretárias, demais funcionários e aos colegas.

A meus amigos e amigas, Nádia, Paola, Renato, Iliana, Vivian, Ângela, Andrea, Érika, Mariela, Sônia e Nicolás; obrigada pelos conselhos, carinho e apoio, sejam daqueles que estiveram de forma presente ou virtual ao longo deste tempo, pois foi essencial para mim.

A todos aqueles que fazem ou fizeram parte da minha vida, que são parte da construção de quem sou, agradeço porque sinto e sei que nunca fiz nada só. Cada passo tem sido a somatória de todas as palavras e vivências com aqueles que acompanharam em algum momento meu caminhar e me ajudaram a ser melhor. Sou grata a todos meus mestres, aos professores, aos meus amigos, a todos os membros da minha família, aos colegas de trabalho e de sonhos.

Gratidão!

O bambu é cheio de “nós” e não de “eus”, cheio de “entre-nós”, e por isso a sua grande resistência. Essa é a grande mensagem que o bambu nos transmite: trabalhar mais por “Nós” e “Entre-nós” e menos pelo “Eu”.

(Julio Carlos Bittencourt  
Veiga Silva - CPRA, 2011)



## RESUMO

O bambu é um material orgânico, que ao ser empregado na construção, tem sua durabilidade dependente das interações com o ambiente. Essa durabilidade é definida, em grande parte, pela forma em que este material foi utilizado na edificação. Assim sendo, o objetivo desta pesquisa é identificar as decisões feitas na fase do projeto, que afetam a durabilidade dos elementos de bambu, por meio da análise das manifestações patológicas e dos processos de degradação desse material nas edificações. Foram analisadas estruturas de bambu construídas entre 2009 e 2016 na região Sul do Brasil - duas em Santa Catarina, duas no Rio Grande do Sul e três no Paraná, perfazendo um total de sete casos de estudo. O levantamento dos dados foi feito por meio de entrevistas com os projetistas e construtores, além de vistorias realizadas nas edificações. Em todos os casos, foi necessário realizar um levantamento planimétrico da edificação antes de iniciar os procedimentos de inspeção. Durante as vistorias foi utilizada uma adaptação da técnica de inspeção visual para identificar e registrar as manifestações patológicas nos elementos de bambu. Também foram entrevistados os usuários e proprietários das edificações para obter informações da fase de uso e de manutenção. Registraram-se as características de cada edificação, incluindo as especificações relacionadas com a espécie de bambu utilizada, o tratamento e a técnica construtiva empregados. Para o diagnóstico da condição dos elementos de bambu, foram descritas as características das manifestações patológicas, explicados os mecanismos de ocorrência e indicadas as causas prováveis e a origem. Foram empregadas oito espécies distintas de bambus, nos estudos de caso, sendo a *Phyllostachys pubescens* a espécie mais utilizada. As edificações analisadas estão localizadas em regiões muito úmidas e foram projetadas por profissionais que tinham experiência com o material. Logo, o bambu foi utilizado como elemento estrutural e em espaços abertos; os colmos estão protegidos do contato direto com o solo e, na maioria dos casos, do contato com as chuvas. Somente dois casos contaram com projetos formais completos antes da construção; em quatro casos a execução esteve baseada em maquetes físicas ou modelos virtuais em 3D e um deles unicamente nas orientações do projetista. As rachaduras foram o tipo de manifestação patológica que apareceu em maior quantidade nos colmos das estruturas e sua origem ocorre principalmente nas fases de projeto e construção; a segunda ocorrência mais frequente foram as manchas e mudanças de cor dos colmos, aparecendo predominantemente nas etapas de projeto e uso da edificação; por fim, as perfurações identificadas nos colmos foram

originadas nas fases de projeto, construção e uso. Na maioria dos casos, as manifestações patológicas tiveram origem na construção e no projeto, foram ocasionadas pela deficiência na execução dos detalhes construtivos e decisões relacionadas ao tratamento e à localização dos colmos em áreas mais expostas às intempéries. Isto está relacionado por um lado com a falta de projeto formal que oriente a execução e, por outro, com a falta de mão de obra especializada no trabalho com o bambu. Várias ocorrências tiveram origem ou se agravaram durante a fase de uso e de manutenção dos edifícios; em alguns casos os usuários desconheciam como realizar as atividades de manutenção. Para finalizar, com base na análise das ocorrências, foram sugeridas práticas que podem auxiliar os projetistas na tomada de decisões no projeto e execução de edificações com bambu visando uma maior durabilidade do material, dentre elas a elaboração de um manual de usuário.

**Palavras-chave:** Bambu. Projeto. Durabilidade. Manifestações patológicas. Inspeção visual.



## ABSTRACT

Bamboo is an organic material that has its durability dependent on environmental interactions when used in construction. Durability is largely defined by the way in which the material was used in a building. Therefore, the aim of this research is to identify the decisions made during the design phase, which affect the durability of bamboo elements; through the analysis of the pathological manifestations and the decay processes that affect this material in buildings. Seven bamboo structures, constructed between 2009 and 2016 in southern Brazil, were analyzed – two in Santa Catarina, two in Rio Grande do Sul and three in Paraná. Data were collected through interviews with the designers and builders, as well as surveys of buildings. In all cases, it was necessary to carry out a planimetric survey of the buildings before beginning the inspection procedures. For the surveys, an adaptation of the technique of visual inspection was used to identify and register the pathological manifestations in bamboo elements. Users and owners of the buildings were also interviewed to obtain information about the use and maintenance phase. The characteristics of each building were registered, including the specifications related to the species of bamboo used, the treatment and the constructive technique. In the diagnosis of the condition of the bamboo elements, the characteristics of the pathological manifestations, the mechanisms of occurrence and the probable causes and origin were explained. Eight different bamboo species were used in the case studies, *Phyllostachys pubescens* were the most widely used. The analyzed buildings are located in very humid regions and were designed by professionals who had experience with the material. Bamboo was used as a structural element in open spaces; the culms are protected from direct contact with the soil and, in most cases, from contact with the rains. Only two cases had complete formal projects prior to construction, in four cases the execution was based in physical or virtual 3D models and one of them only in the designer's guidelines. The cracks were the type of pathological manifestation that appeared in a greater quantity of culms in the structures, its origin occurs mainly in the phases of design and construction; the second most frequent occurrence was the stains and changes of color of the culms, appearing predominantly in the stages of design and use of the building. Finally, the perforations identified in the culms were originated in the design, construction and use phases. In most cases, the pathological manifestations originated in the construction and in the planning phases, were caused by the deficiency in the execution of the constructive details or by decisions related to the treatment or location

of the culms in outdoor areas. This is related, on the one hand, to the lack of a formal project to guide implementation and, on the other hand, to the lack of skilled labor in bamboo work. Several occurrences had their origin or worsened during the phase of use and maintenance of the buildings, in some cases the users did not know how to carry out the maintenance activities. Finally, based on the analysis of the occurrences, practical suggestions were made to assist the designers in making decisions in the design and execution of buildings with bamboo aiming at greater durability of the material, among them the elaboration of a user manual.

**Keywords:** Bamboo. Project. Durability. Pathological manifestations. Visual Inspection.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Usúários em espaço de bambu na Ananda House – <i>Green Village</i> .	26
Figura 2 - Síntese do processo metodológico .....	32
Figura 3 - Desempenho ao longo do tempo. ....	36
Figura 4 - Metodologia para previsão da vida útil de componentes e edifícios.	38
Figura 5 - Etapas do método proposto por Lichtenstein. ....	42
Figura 6 - Partes do bambu. ....	44
Figura 7 - Seção transversal do colmo que mostra as fibras na região do nó e do diafragma. ....	45
Figura 8 - Seção transversal da parede do colmo de bambu. ....	45
Figura 9 - Seção transversal das fibras (a) no 1º ano, (b) no 6º ano do colmo. ....	47
Figura 10 - Agentes de degradação do bambu. ....	50
Figura 11 - Efeitos das intempéries em cerca de bambu. ....	51
Figura 12 - Aparência de cobertura de esteira de bambu exposta ao sol. ....	51
Figura 13 - Fungos em talisca de bambu. ....	53
Figura 14 - Classificação dos fungos que atacam ao bambu. ....	53
Figura 15 - Fungos emboloradores (a) e manchadores do bambu (b). ....	54
Figura 16 - Ataque do inseto <i>Chlorophorus annularis</i> no bambu. ....	55
Figura 17 - Ruptura dos colmos de bambu por compressão paralela (a) e por compressão perpendicular às fibras (b). ....	56
Figura 18 - Degradação do bambu de colunas por xilófagos (a) e ruptura por esmagamento de viga de bambu roliço (b). ....	57
Figura 19 - Ruptura dos colmos de bambu por tração perpendicular às fibras (a) e cisalhamento paralelo às fibras (b). ....	57
Figura 20 - Controle da idade em touceira de <i>Bambusa tuldoides</i> na fazenda da UFSC. ....	58
Figura 21 - Fases do ciclo de vida do bambu aplicado na construção. ....	59
Figura 22 - Teste de raios-X. ....	75
Figura 23 - Termografia. ....	76
Figura 24 - Etapas da pesquisa .....	80
Figura 25 - Localização dos estudos de caso. ....	93
Figura 26 – Implantação das estruturas de bambu no estudo de caso 1. ....	94
Figura 27 - Fotografias das estruturas de bambu no estudo de caso 1. ....	94
Figura 28 - Planta e fachadas da estrutura A do estudo de caso 1. ....	95
Figura 29 - Implantação e fotografia da estrutura A do estudo de caso 1. ....	96
Figura 30 - Detalhe de ancoragem do vidro da cobertura aos caibros de bambu. ....	96
Figura 31 - Planta, fachada e cortes da estrutura B do Estudo de caso 1. ....	97
Figura 32 - Fotografias e implantação da estrutura B do Estudo de caso 1. ....	98
Figura 33 - Detalhe de ancoragem da estrutura de bambu às estruturas de concreto. ....	99
Figura 34 - Detalhe de ancoragem das coberturas aos caibros de bambu. ....	99
Figura 35 - Planta e cortes da estrutura C do Estudo de caso 1. ....	100
Figura 36 - Fotografia e implantação da estrutura C do Estudo de caso 1. ....	101

Figura 37 - Detalhe de ancoragem dos pilares de bambu às fundações de concreto. ....	102
Figura 38 - Detalhes de ancoragem dos pilares de bambu às fundações de concreto. ....	102
Figura 39 - Ampliação da estrutura C do estudo de caso 1. ....	104
Figura 40 - Rachaduras nos extremos dos colmos preenchidos com concreto. ....	108
Figura 41 - Rachadura na parte central dos colmos. ....	109
Figura 42 - Rachadura pela ação de corpo externo. ....	110
Figura 43 - Rachaduras durante a secagem. ....	110
Figura 44 - Manchas verde azuladas em estruturas do Estudo de Caso 1. ....	112
Figura 45 - Manchas de tinta nos colmos de bambu. ....	112
Figura 46 - Deterioração do verniz nos colmos no Estudo de Caso 1. ....	113
Figura 47 - Fungos verdes em colmo de bambu. ....	114
Figura 48 - Fungos pretos em colmo de bambu. ....	114
Figura 49 - Perfurações durante a fase de uso no Estudo de Caso 1. ....	116
Figura 50 - Perfurações pelo ataque do <i>D. minutus</i> no Estudo de Caso 1. ....	117
Figura 51 - Perfuração pelo ataque do <i>C. annularis</i> . ....	117
Figura 52 - Perfurações no estudo de caso 1. ....	118
Figura 53 - Esmagamento dos colmos nas estruturas do Estudo de Caso 1. ....	119
Figura 54 - Estrutura de bambu no Estudo de caso 2. ....	121
Figura 55 - Estrutura de bambu no estudo de caso 2. ....	122
Figura 56 - Rachaduras por penetração de corpo externo no estudo de caso 2. ....	125
Figura 57 - Rachaduras por esmagamento no estudo de caso 2. ....	126
Figura 58 - Rachadura no extremo concretado de colmo. ....	126
Figura 59 - Deterioração do verniz em colmo no Estudo de Caso 2. ....	127
Figura 60 - Fungos verdes e líquens em colmos no Estudo de caso 2. ....	128
Figura 61 - Fungos pretos em colmos no Estudo de caso 2. ....	128
Figura 62 - Perfurações pelo <i>C. annularis</i> no Estudo de Caso 2. ....	129
Figura 63 - Estruturas de bambu do Estudo de caso 3. ....	131
Figura 64 - Plantas e fachadas das estruturas de bambu do Estudo de Caso 3. ....	132
Figura 65 - Elemento metálico de conexão dos colmos de bambu na estrutura A. ....	132
Figura 66 - Conexões utilizadas para os elementos de bambu na estrutura B do Estudo de Caso 3. ....	133
Figura 67 - Espuma de poliuretano cobrindo os elementos de bambu das paredes ao interior da estrutura C. ....	134
Figura 68 - Rachadura por penetração de corpo externo. ....	137
Figura 69 - Rachadura nos extremos dos colmos. ....	138
Figura 70 - Manchas de óleo. ....	139
Figura 71 - Descoloração do colmo. ....	140
Figura 72 - Fungos verdes e brancos. ....	141
Figura 73 - Fungos pretos nos colmos. ....	141
Figura 74 - Perfurações por <i>D. minutus</i> . ....	143
Figura 75 - Perfurações durante a construção. ....	143

Figura 76 - Estrutura de bambu do Estudo de Caso 4.....	145
Figura 77 - Planta e fachadas do estudo de caso 4.....	146
Figura 78 - Detalhe da fixação dos pilares às fundações.....	147
Figura 79 - Detalhe de conexão entre colmos.....	147
Figura 80 - Amarrações decorativas.....	148
Figura 81 - Detalhe de ligação de vários colmos sobre um dos pilares.....	148
Figura 82 - Rachaduras nos extremos dos colmos preenchidos com concreto.....	151
Figura 83 - Lascas nos extremos dos colmos.....	152
Figura 84 - Rachaduras na parte central dos pilares.....	152
Figura 85 - Rachaduras por penetração de corpo externo.....	153
Figura 86 - Rachaduras por apoio incorreto.....	154
Figura 87 - Deterioração do verniz nos colmos.....	155
Figura 88 - Fungos verdes e brancos nos colmos.....	155
Figura 89 - Fungos pretos nos colmos.....	156
Figura 90 - Perfurações deixadas durante a construção e na fase de uso.....	157
Figura 91 - Perfurações pelo <i>C. annularis</i> no Estudo de Caso 2.....	158
Figura 92 - Perfurações por <i>D. minutus</i> .....	159
Figura 93 - Extremo de colmo atacado por roedores.....	159
Figura 94 - Peça colapsada no Estudo de Caso 4.....	160
Figura 95 - Estrutura do Estudo de Caso 5.....	162
Figura 96 - Planta e fachadas do Estudo de Caso 5.....	163
Figura 97 - Fotografia e detalhe de fundação.....	164
Figura 98 - Fotografia e detalhe de fundação.....	164
Figura 99 - Fotografia e detalhe de fundação.....	165
Figura 100 - Fotografia e detalhe de fundação.....	165
Figura 101 - Uso de cordão de poliamida nas ligações.....	166
Figura 102 - Uso de cavilhas de bambu nas ligações.....	166
Figura 103 - Rachaduras por penetração de corpo externo.....	169
Figura 104 - Rachaduras nos extremos dos colmos preenchidos com concreto.....	169
Figura 105 - Rachadura por esmagamento.....	170
Figura 106 - Rachadura por apoio incorreto.....	170
Figura 107 - Fungos pretos em colmos.....	171
Figura 108 - Fungos verdes e líquens nos colmos.....	172
Figura 109 - Descoloração de colmo.....	172
Figura 110 - Perfurações deixadas durante a construção e na fase de uso.....	173
Figura 111 - Perfurações pelo <i>D. minutus</i> .....	174
Figura 112 - Colmo colapsado por esmagamento.....	175
Figura 113 - Estrutura de bambu do Estudo de Caso 6.....	176
Figura 114 - Planta, fachada e corte do Estudo de Caso 6.....	177
Figura 115 - Detalhe da estrutura.....	178
Figura 116 - Pré-fabricação dos componentes estruturais.....	179
Figura 117 - Estrutura montada.....	179
Figura 118 - Rachaduras por esmagamento nos colmos.....	182
Figura 119 - Rachaduras por penetração.....	183

Figura 120 - Rachaduras na parte central dos colmos. ....	184
Figura 121 - Rachadura na parte central do colmo inferior das vigas.....	184
Figura 122 - Deterioração do verniz nos colmos. ....	186
Figura 123 – Presença de fungos verdes nos colmos.....	186
Figura 124 - Fungos pretos nos colmos. ....	187
Figura 125 - Perfurações durante a construção e fase de uso. ....	188
Figura 126 - Colmo colapsado.....	188
Figura 127 - Edificação de bambu do estudo de caso 7.....	190
Figura 128 - Planta e fachadas da edificação do estudo de caso 7.....	191
Figura 129 - Detalhe das fundações no Estudo de Caso 7.....	192
Figura 130 - Extremos dos colmos protegidos. ....	192
Figura 131 - Detalhe da cobertura. ....	193
Figura 132 – Rachaduras nos extremos dos colmos preenchidos com concreto. .....	196
Figura 133 - Rachadura por penetração de corpo externo. ....	196
Figura 134 - Rachaduras por variações de temperatura. ....	197
Figura 135 - Lascas nos extremos dos colmos.....	197
Figura 136 – Manchas de asfalto nos colmos. ....	199
Figura 137 - Deterioração do verniz nos colmos. ....	199
Figura 138 - Fungos pretos nos colmos. ....	200
Figura 139 - Fungos verdes nos colmos. ....	200
Figura 140 - Perfurações pelo <i>C.annularis</i> .....	202
Figura 141 - Perfurações pelo <i>D. minutus</i> . ....	202
Figura 142 - Percentagem de colmos de bambu com cada manifestação patológica em cada um dos estudos de caso. ....	208
Figura 143 – Síntese da origem das manifestações patológicas nos estudos de caso.....	215
Figura 144 - Rachaduras nos entrenós concretados. ....	217
Figura 145 - Conexão estrutural em obra projetada por Simón Vélez em 1988. .....	218
Figura 146 – Corte de colmos com serra. ....	220
Figura 147 - Manchas de umidade nas bases dos pilares.....	221
Figura 148 - Proteção das bases dos pilares contra a umidade. ....	221
Figura 149 – Colmos expostos nas fachadas do Estudo de caso 7.....	222
Figura 150 - Pilares com mais ocorrências de manchas verdes e pretas.....	222
Figura 151 - Esmagamento de ripa de bambu. ....	224
Figura 152 - Reforço interior dos colmos com concreto (a) ou com o embuchamento de outro colmo (b). ....	224
Figura 153 – Composição com bambu nas estruturas dos Estudos de caso 1 e 6. .....	225

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das exigências do usuário .....	35
Quadro 2 - Classificação das exigências do usuário .....	37
Quadro 3 - Natureza dos agentes de degradação. ....	40
Quadro 4 - origem das manifestações patológicas e causas relacionadas com o projeto.....	41
Quadro 5 - Preservativos hidrossolúveis lixiviáveis mais empregados no tratamento do bambu. ....	65
Quadro 6 - Métodos sem pressão para aplicar produtos químicos no bambu. ....	66
Quadro 7 - Recomendações das normas para proteção do bambu no projeto. ....	70
Quadro 8. - Aplicabilidade dos ensaios para o bambu.....	77
Quadro 9 - Relação dos objetivos específicos com as atividades de pesquisa. ....	79
Quadro 10 - Principais referências utilizadas na revisão bibliográfica. ....	81
Quadro 11 - Temas abordados no questionário 1.....	84
Quadro 12 - Síntese dos dados levantados durante as inspeções. ....	85
Quadro 13 - Categorias de análise dos estudos de caso. ....	88
Quadro 14 - Características dos colmos das espécies de bambu utilizadas no estudo de caso 1.....	103
Quadro 15 - Peças com rachaduras da estrutura A do estudo de caso 1.....	105
Quadro 16 - Peças com rachaduras da estrutura B do estudo de caso 1.....	106
Quadro 17 - Peças com rachaduras da estrutura C do estudo de caso 1.....	107
Quadro 18 - Localização das manchas nas estruturas do estudo de caso 1.....	111
Quadro 19 - Localização das peças com perfurações nas estruturas do estudo de caso 1.....	115
Quadro 20 - Localização das peças com perfurações nas estruturas do estudo de caso 1.....	119
Quadro 21 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas .....	120
Quadro 22 - Peças com rachaduras na estrutura do estudo de caso 2. ....	124
Quadro 23 - Localização das manchas na estrutura do estudo de caso 2. ....	127
Quadro 24 - Peça com perfuração na estrutura do estudo de caso 2. ....	129
Quadro 25 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas .....	130
Quadro 26 - Peças com rachaduras na estrutura A do estudo de caso 3.....	135
Quadro 27 - Peças com rachaduras na estrutura B do estudo de caso 3.....	136
Quadro 28 - Localização das manchas nas estruturas do estudo de caso 3.....	139
Quadro 29 - Peças com perfurações nas estruturas do estudo de caso 3.....	142
Quadro 30 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas .....	144
Quadro 31 - Peças com rachaduras na estrutura do estudo de caso 4. ....	150
Quadro 32 - Localização das manchas na estrutura. ....	154
Quadro 33 - Peças com perfurações nas estruturas do estudo de caso 3.....	157
Quadro 34 - Localização da peça colapsada no estudo de caso 4. ....	160

Quadro 35 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas .....	161
Quadro 36 - Peças com rachaduras na estrutura do estudo de caso 5. ....	168
Quadro 37 - Peças com perfurações nas estruturas do estudo de caso 5. ....	173
Quadro 38 - Localização da peça colapsada. ....	174
Quadro 39 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas .....	176
Quadro 40 – Localização das rachaduras na estrutura do estudo de caso. ....	181
Quadro 41 - Localização das manchas na estrutura. ....	185
Quadro 42 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas .....	189
Quadro 43 - Detalhe da cobertura. ....	195
Quadro 44 - Localização das manchas na estrutura. ....	198
Quadro 45 - Peças com perfurações. ....	201
Quadro 46 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas .....	203
Quadro 47 - Quantidade de colmos com ocorrências em cada estudo de caso	207
Quadro 48 - Espécies de bambu utilizadas nos estudos de caso .....	209
Quadro 49 - Tratamentos aplicados no bambu nos estudos de caso. ....	210
Quadro 50 - Dados climáticos dos locais onde estão localizados os estudos de caso .....	212
Quadro 51 – Manifestações patológicas identificadas nos estudos de caso e sua origem. ....	214
Quadro 52 - Disposição de conteúdo do manual de uso, operação e manutenção. ....	229
Quadro 53 - Sugestões de aspectos sobre o bambu para o manual de uso e manutenção. ....	230



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACV – Avaliação do Ciclo de Vida  
AGABAMBU – Associação Gaúcha do Bambu  
AIS - *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica*  
BPG – *Bamboo Phyllogeny Group*  
BAMBUSC – Associação Catarinense do Bambu  
BIS – *Bureau of Indian Standards*  
CAAE – Certificado de Apresentação de Apreciação Ética  
CCA – Arseniato de Cobre Cromatado  
CCB – Borato de Cobre Cromatado  
CEP – Comitê de Ética em Pesquisa  
CIB – *Conseil International du Bâtiment*  
EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural  
END – Ensaio não Destrutivo  
FAO – *Food and Agriculture Organization*  
INEC – *Instituto Ecuatoriano de Normalización*  
IS – *Indian Standards*  
ISO – *International Organization for Standardization*  
SENCICO – *Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción*  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
MVCS – *Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (Peru)*  
TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina  
UV – Ultravioleta  
VUP – Vida Útil de Projeto



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	27
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	31
1.3 HIPÓTESE .....	31
1.4 OBJETIVOS .....	31
<b>1.4.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>31</b>
<b>1.4.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>31</b>
1.5 SÍNTESE METODOLÓGICA .....	32
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	33
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	34
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>35</b>
2.1 A DURABILIDADE E SUA RELAÇÃO COM O DESEMPENHO E VIDA ÚTIL DA EDIFICAÇÃO .....	35
2.2 PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO.....	39
<b>2.2.1 Causas e origem das manifestações patológicas .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.2 Análise das manifestações patológicas .....</b>	<b>41</b>
2.3 FATORES INTERVENIENTES NA DURABILIDADE DO BAMBU EM EDIFICAÇÕES .....	43
<b>2.3.1 Propriedades do Bambu.....</b>	<b>43</b>
2.3.1.1 Anatomia dos colmos	43
<i>Parênquima .....</i>	<i>45</i>
<i>Fibras .....</i>	<i>46</i>
<i>Feixes vasculares.....</i>	<i>46</i>
2.3.1.2 Composição química dos colmos	47
<i>Celulose.....</i>	<i>48</i>
<i>Hemicelulose .....</i>	<i>48</i>
<i>Lignina.....</i>	<i>48</i>
<b>2.3.2 Agentes de degradação do bambu e suas manifestações.....</b>	<b>49</b>
2.3.2.1 Agentes de degradação físico-química	50
<i>Umidade .....</i>	<i>50</i>
<i>Raios ultravioletas (UV).....</i>	<i>51</i>
<i>Fogo.....</i>	<i>51</i>
<i>Variações de temperatura.....</i>	<i>52</i>

2.3.2.2 Agentes bióticos de degradação	52
<i>Micro-organismos</i> .....	52
<i>Insetos</i> .....	55
2.3.2.3 Manifestações patológicas de origem mecânica	55
2.3.2.4 Manifestações patológicas com origem no uso e na manutenção	58
<b>2.3.3 Tratamentos preservativos do bambu e sua efetividade</b> .....	<b>58</b>
2.3.3.1 Tratamentos tradicionais	60
<i>Cura dos colmos na mata</i> .....	60
<i>Imersão dos colmos em água</i> .....	60
<i>Fervura do bambu</i> .....	61
<i>Tratamento com fogo ou calor</i> .....	61
<i>Tratamento com fumaça</i> .....	61
<i>Lavagem com cal</i> .....	62
<i>Proteção com reboco</i> .....	62
<i>Proteção obtida por meio de processos projetuais e construtivos</i> .....	63
<i>Outros métodos tradicionais de preservação do bambu</i> .....	63
2.3.3.2 Tratamentos químicos	64
<i>Preservativos oleossolúveis</i> .....	64
<i>Preservativos hidrossolúveis</i> .....	65
<b>2.3.4 Métodos de aplicação de preservativos no bambu</b> .....	<b>66</b>
2.4 INFLUÊNCIA DO PROJETO NA DURABILIDADE DO BAMBU.....	68
2.5 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO .....	71
<b>2.5.1 Ensaios não destrutivos de Inspeção</b> .....	<b>72</b>
2.5.1.1 Inspeção visual	73
2.5.1.2 Medição de umidade	74
2.5.1.3 Teste de puncionamento ou escarificação	74
2.5.1.4 Teste de percussão	74
2.5.1.5 Raios-X	74
2.5.1.6 Ultrassom ou propagação de ondas	75
2.5.1.7 Termografia	76
2.5.1.8 Provas de carga	76
<b>2.5.2 Aplicabilidade das técnicas não destrutivas para o bambu</b> .....	<b>77</b>
<b>3 MÉTODO, FERRAMENTAS E TÉCNICAS</b> .....	<b>79</b>
3.1 ETAPA PRELIMINAR.....	80
<b>3.1.1 Critérios para a seleção da amostra</b> .....	<b>81</b>
<b>3.1.2 Seleção dos métodos de inspeção</b> .....	<b>82</b>
3.2 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS .....	83
<b>3.2.1 Levantamento de informações de projeto e construção</b> .....	<b>83</b>
<b>3.2.2 Vistorias ao local</b> .....	<b>84</b>

3.2.2.1 Visita exploratória	84
3.2.2.2 Inspeção visual	85
<b>3.2.3 Entrevistas</b> .....	<b>86</b>
3.2.3.1 Entrevista com projetistas	87
3.2.3.2 Entrevista com proprietários ou usuários	87
3.3 DIAGNÓSTICO DA CONDIÇÃO DO BAMBU NOS ESTUDOS DE CASO	
.....	87
<b>3.3.1 Caracterização do projeto</b> .....	<b>88</b>
<b>3.3.2 Uso, manutenção e reformas das edificações</b> .....	<b>88</b>
<b>3.3.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu</b> .....	<b>88</b>
3.3.3.1 Localização das manifestações patológicas na estrutura	89
3.3.3.2 Diagnóstico	90
3.4 CRUZAMENTO DOS DADOS: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	90
<b>3.4.1 Origem das manifestações patológicas</b> .....	<b>91</b>
<b>3.4.2 Sugestões para os projetistas</b> .....	<b>91</b>
<b>4 ESTUDOS DE CASO</b> .....	<b>93</b>
4.1 ESTUDO DE CASO 1 - FLORIANÓPOLIS .....	93
<b>4.1.1 Caracterização do projeto</b> .....	<b>95</b>
4.1.1.1 Características do bambu utilizado	103
<b>4.1.2 Uso, manutenção e reformas dos elementos de bambu</b> .....	<b>103</b>
4.1.2.1 Reformas e ampliações	104
<b>4.1.3 Manifestações patológicas e diagnóstico da condição do bambu</b> .....	<b>104</b>
4.1.3.1 Rachaduras e lascas	105
<i>Rachaduras nos extremos dos colmos concretados</i> .....	<i>108</i>
<i>Rachaduras na parte central dos colmos</i> .....	<i>108</i>
<i>Rachaduras por penetração</i> .....	<i>109</i>
<i>Rachaduras durante a secagem</i> .....	<i>110</i>
4.1.3.2 Manchas ou mudanças de cor	111
<i>Manchas pelo tratamento</i> .....	<i>112</i>
<i>Manchas de tinta</i> .....	<i>112</i>
<i>Verniz deteriorado</i> .....	<i>113</i>
<i>Fungos verdes e brancos</i> .....	<i>114</i>
<i>Fungos pretos</i> .....	<i>114</i>
4.1.3.3 Perfurações e perdas de massa	115
<i>Perfurações durante a fase de uso</i> .....	<i>116</i>
<i>Perfurações por Dinoderus minutus (caruncho)</i> .....	<i>116</i>
<i>Perfurações por inseto coleóptero Chlorophorus annularis</i> .....	<i>117</i>

<i>Perfurações durante a construção e reformas</i> .....	118
4.1.3.4 Colapso do colmo	118
4.1.3.5 Resumo de colmos com ocorrências no estudo de caso	120
4.2 ESTUDO DE CASO 2 – GAROPABA.....	121
<b>4.2.1 Caracterização do projeto</b> .....	<b>121</b>
4.1.1.1 Características do bambu utilizado	123
<b>4.2.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu</b> .....	<b>123</b>
<b>4.2.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu</b> .....	<b>123</b>
4.2.3.1 Rachaduras e lascas	124
<i>Rachaduras por penetração</i> .....	125
<i>Rachaduras por esmagamento</i> .....	125
<i>Rachaduras nos extremos concretados dos colmos</i> .....	126
4.2.3.2 Manchas ou mudanças de cor	126
<i>Verniz deteriorado</i> .....	127
<i>Fungos verdes e brancos</i> .....	128
<i>Fungos pretos</i> .....	128
4.2.3.3 Perfurações e perdas de massa	129
<i>Perfurações por inseto coleóptero C. annularis</i> .....	129
4.2.3.4 Resumo de colmos com ocorrências no Estudo de Caso 2	130
4.3 ESTUDO DE CASO 3 – PORTO ALEGRE.....	130
<b>4.3.1 Caracterização do projeto</b> .....	<b>131</b>
4.3.1.1 Características do bambu utilizado	134
<b>4.3.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu</b> .....	<b>134</b>
<b>4.3.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu</b> .....	<b>135</b>
4.3.3.1 Rachaduras e lascas	135
<i>Rachaduras por penetração</i> .....	137
<i>Rachaduras nos extremos dos colmos</i> .....	138
4.3.3.2 Manchas ou mudanças de cor	138
<i>Manchas pelo tratamento - óleo</i> .....	139
<i>Descoloração do colmo</i> .....	140
<i>Fungos verdes e brancos</i> .....	140
<i>Fungos pretos</i> .....	141
4.3.3.3 Perfurações e perdas de massa	141
<i>Perfurações por D. minutus</i> .....	142
<i>Perfurações durante a construção</i> .....	143
4.3.3.4 Resumo de colmos com ocorrências no estudo de caso	144
4.4 ESTUDO DE CASO 4 – RIO PARDO .....	144

<b>4.4.1 Caracterização do projeto</b> .....	<b>145</b>
4.4.1.1 Características do bambu utilizado	148
<b>4.4.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu</b> .....	<b>149</b>
<b>4.4.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu</b> .....	<b>149</b>
4.4.3.1 Rachaduras e lascas	150
<i>Rachaduras nos extremos dos colmos concretados</i> .....	<i>151</i>
<i>Lascas nos extremos dos colmos</i> .....	<i>152</i>
<i>Rachaduras na parte central dos colmos</i> .....	<i>152</i>
<i>Rachaduras por penetração</i> .....	<i>153</i>
<i>Rachaduras por apoio incorreto</i> .....	<i>153</i>
4.4.3.2 Manchas e mudanças de cor	154
<i>Verniz deteriorado</i> .....	<i>155</i>
<i>Fungos verdes e brancos</i> .....	<i>155</i>
<i>Fungos pretos</i> .....	<i>156</i>
4.4.3.3 Perfurações e perdas de massa	156
<i>Perfurações durante a construção e a fase de uso</i> .....	<i>157</i>
<i>Perfurações por inseto coleóptero C. annularis</i> .....	<i>158</i>
<i>Perfurações por D. minutus (caruncho)</i> .....	<i>158</i>
<i>Perfurações por ação de roedores</i> .....	<i>159</i>
4.4.3.4 Colapso do colmo	159
<i>Colapso do colmo causado por ataque de insetos</i> .....	<i>160</i>
4.4.3.5 Resumo de colmos com ocorrências no estudo de caso	161
4.5 ESTUDO DE CASO 5 – PINHAIS .....	161
<b>4.5.1 Caracterização do projeto</b> .....	<b>162</b>
4.5.1.1 Características do bambu utilizado	166
<b>4.5.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu</b> .....	<b>167</b>
<b>4.5.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu</b> .....	<b>167</b>
4.5.3.1 Rachaduras e lascas	168
<i>Rachaduras por penetração</i> .....	<i>169</i>
<i>Rachaduras na base dos colmos dos pilares</i> .....	<i>169</i>
<i>Rachadura por esmagamento</i> .....	<i>170</i>
<i>Rachadura por apoio incorreto</i> .....	<i>170</i>
4.5.3.2 Manchas ou mudanças de cor	171
<i>Fungos pretos</i> .....	<i>171</i>
<i>Fungos verdes e brancos</i> .....	<i>171</i>
<i>Descoloração do colmo</i> .....	<i>172</i>
4.5.3.3 Perfurações e perdas de massa	173
<i>Perfurações durante a construção e a fase de uso</i> .....	<i>173</i>

<i>Perfurações pelo inseto D. minutus</i> .....	174
4.5.3.4 Colapso do colmo	174
<i>Colapso do colmo por esmagamento</i> .....	175
4.5.3.5 Resumo de colmos com ocorrências no estudo de caso	175
4.6 ESTUDO DE CASO 6 – MORRETES .....	176
<b>4.6.1 Caracterização do projeto</b> .....	<b>177</b>
4.6.1.1 Características do bambu utilizado	180
<b>4.6.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu</b> .....	<b>180</b>
<b>4.6.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu</b> .....	<b>181</b>
4.6.3.1 Rachaduras e lascas	181
<i>Rachaduras por esmagamento</i> .....	182
<i>Rachaduras por penetração</i> .....	183
<i>Rachaduras na parte central dos colmos</i> .....	184
<i>Rachaduras na parte central do colmo inferior das vigas</i> .....	184
4.6.3.2 Manchas ou mudanças de cor	185
<i>Descoloração do colmo</i> .....	185
<i>Fungos verdes e brancos</i> .....	186
<i>Fungos pretos</i> .....	186
4.6.3.3 Perfurações e perdas de massa	187
<i>Perfurações durante a construção e a fase de uso</i> .....	187
4.6.3.4 Colapso do colmo	188
4.6.3.5 Resumo de colmos com ocorrências no Estudo de Caso 6	189
4.7 ESTUDO DE CASO 7 – COLOMBO /PR.....	189
<b>4.7.1 Caracterização do projeto</b> .....	<b>190</b>
4.7.1.1 Características do bambu utilizado	193
<b>4.7.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu</b> .....	<b>194</b>
<b>4.7.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu</b> .....	<b>194</b>
4.7.3.1 Rachaduras e lascas	194
<i>Rachaduras nos extremos concretados dos colmos</i> .....	196
<i>Rachaduras por penetração</i> .....	196
<i>Rachaduras por variações de temperatura</i> .....	197
<i>Lascas nos extremos dos colmos</i> .....	197
4.7.3.2 Manchas ou mudanças de cor	198
<i>Manchas de tratamento - asfalto</i> .....	199
<i>Verniz deteriorado</i> .....	199
<i>Fungos pretos</i> .....	200
<i>Fungos verdes e brancos</i> .....	200
4.7.3.3 Perfurações e perdas de massa	201



<i>Perfurações por inseto coleóptero C. annularis</i> .....	201
<i>Perfurações por D. minutus (caruncho)</i> .....	202
4.7.3.4 Resumo de colmos com ocorrências no Estudo de Caso 7 .....	202
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>205</b>
5.1 ASPECTOS GERAIS DOS ESTUDOS DE CASO .....	205
<b>5.1.1 Manifestações patológicas e a espécie de bambu</b> .....	<b>208</b>
<b>5.1.2 Manifestações patológicas e o tratamento do bambu</b> .....	<b>210</b>
<b>5.1.3 Manifestações patológicas e o clima</b> .....	<b>211</b>
5.2 A ORIGEM DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....	213
<b>5.2.1 Manifestações patológicas com origem no projeto e construção</b> .....	<b>216</b>
5.2.1.1 Rachaduras nos entrenós concretados .....	217
5.2.1.2 Rachaduras por penetração .....	218
5.2.1.3 Rachaduras por variações de temperatura .....	219
5.2.1.4 Rachaduras nos extremos dos colmos (conexões) .....	219
5.2.1.5 Lascas causadas pelo corte do bambu .....	219
5.2.1.6 Manchas deixadas pelo tratamento .....	220
5.2.1.7 Fungos verdes e pretos .....	220
5.2.1.8 Descoloração do colmo .....	223
5.2.1.9 Perfurações por elementos externos .....	223
5.2.1.10 Problemas com a distribuição das cargas .....	223
5.2.1.11 Outras observações gerais sobre os casos estudados .....	225
<b>5.2.2 Manifestações patológicas com origem na fase de uso e manutenção das edificações</b> .....	<b>226</b>
5.2.2.1 Sugestões para prevenir, atenuar e resolver as manifestações patológicas com origem na fase de uso e manutenção .....	226
5.2.2.2 Sugestão de instruções sobre o bambu a incluir-se no manual de uso e manutenção .....	229
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>233</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	233
<b>6.1.1 Sobre os conceitos relacionados com a durabilidade do bambu em edificações</b> .....	<b>233</b>
<b>6.1.2 Em relação ao método para a inspeção da condição do bambu</b> .....	<b>234</b>
<b>6.1.3 Quanto às características projetuais e construtivas das edificações com bambu na região Sul do Brasil</b> .....	<b>235</b>
<b>6.1.4 Acerca da relação entre as manifestações patológicas com o projeto (e os fatores intervenientes)</b> .....	<b>237</b>

<b>6.1.5 Com respeito às sugestões para os projetistas .....</b>	<b>238</b>
<b>6.2 CONTRIBUIÇÕES DESTA PESQUISA.....</b>	<b>238</b>
<b>6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>239</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>241</b>
<b>APÊNDICE A – Edificações com bambu da região Sul catalogadas .....</b>	<b>251</b>
<b>APÊNDICE B – Questionário 1: para projetistas / construtores ..</b>	<b>255</b>
<b>APÊNDICE C – Roteiro de Inspeção.....</b>	<b>256</b>
<b>APÊNDICE D – TCLE.....</b>	<b>257</b>
<b>APÊNDICE E – Formulário 1. Roteiro de entrevista semiestruturada com projetistas / construtores .....</b>	<b>260</b>
<b>APÊNDICE F – Formulário 1. Roteiro de entrevista semiestruturada com proprietários / usuários .....</b>	<b>261</b>
<b>APÊNDICE G – Codificação dos mecanismos de ocorrência .....</b>	<b>262</b>
<b>ANEXO A – Extrato do manual de Hidalgo-López (1981) .....</b>	<b>267</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta tese foi desenvolvida na área de concentração Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, dentro da linha de pesquisa “Métodos e Técnicas Aplicados ao projeto de Arquitetura e Urbanismo”, que propõe o desenvolvimento e a análise do desempenho de materiais e sistemas construtivos, aprofundando, nesse contexto, o tema da durabilidade do bambu.

A durabilidade dos materiais e componentes construtivos é fundamental para os projetistas que visam satisfazer a exigência dos usuários em prolongar a vida útil das edificações.

Atualmente, a busca de uma arquitetura sustentável implica pensar nos fatores ambientais, econômicos e sociais envolvidos.

No que se refere aos aspectos ambientais, geralmente são trazidos à cena alguns assuntos importantes como a avaliação do ciclo de vida (ACV) dos materiais, componentes e sistemas construtivos nos edifícios; a reciclagem e a busca por materiais alternativos; a redução do consumo energético e pela auto geração da energia. Tudo isto incrementou a demanda pelo conhecimento dos fatores e processos de degradação, bem como da vida útil (SJOSTRÖM, 1996).

Nessa conjuntura, um dos materiais mais atrativos é o bambu, que tem sido empregado há milênios em construções ao redor do mundo. Seu uso persiste através dos séculos em função de sua abundância, rápido crescimento, fácil manuseio, versatilidade, resistência mecânica e flexibilidade.

No âmbito social, a população mundial está familiarizada com o bambu e hoje em dia seu emprego na construção combina saberes populares com técnicas contemporâneas, resultando em edificações que respondem às mais diversas necessidades.

Contudo, a importância desse material vai além da construção de edifícios. Segundo a *Food and Agriculture Organization* – FAO (2005), milhões de pessoas no mundo moram em habitações construídas com bambu e muitas outras dependem desse recurso para sua subsistência.

As edificações com bambu possuem o potencial de oferecer novas possibilidades de relação e interação dos usuários com os espaços, permitindo-lhes experimentar novas sensações e percepções em função de suas características plásticas e estéticas particulares, como ilustrado na Figura 1. Os profissionais que trabalham com esse material apontam que muitas pessoas se interessam pelos projetos de bambu, pois estão à procura de uma aproximação com a natureza e querem habitar espaços mais saudáveis em construções que tenham um menor impacto ambiental

(JARAMILLO; PATRÍCIO-KARNOPP e LIBRELOTTO, 2019, no prelo).

Figura 1 – Usuários em espaço de bambu na Ananda House – *Green Village*.



Fonte: Ibuku (2019).

Na arquitetura, várias espécies de bambu são utilizadas em diversos componentes construtivos e sua durabilidade limitada é um ponto que preocupa os usuários, produtores, fornecedores, projetistas e pesquisadores. Corriqueiramente, as pessoas desistem de encomendar um projeto com esse material pelo temor em perder o investimento com uma edificação que não irá satisfazer suas expectativas relacionadas com a sua vida útil.

A resistência do bambu à decomposição depende de vários fatores como a espécie, as condições climáticas de cultivo e plantio, o modo de aplicação, as condições de utilização, a idade dos colmos, os tratamentos preservativos, entre outros. É uma característica que está fortemente associada com suas propriedades físico-químicas. Para atingir a efetividade no uso do bambu na construção é preciso conhecer esses parâmetros, tornando essencial o tema da durabilidade (KAUR et al., 2016).

Este é um assunto inquietante na hora de trabalhar com produtos florestais e no caso das edificações de bambu, a durabilidade dependerá também do seu correto emprego e das escolhas realizadas durante a elaboração do projeto.

Neste cenário, esta pesquisa teve como objetivo analisar as manifestações patológicas, os processos de degradação e as decisões projetuais que incidem na durabilidade dos elementos construtivos do bambu em edificações da região sul do Brasil.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O bambu é uma planta de rápido crescimento: um colmo pode estar pronto para beneficiamento depois de cinco anos da brotação. Após a colheita, a planta não necessita replantio. Seu corte e manipulação podem ser feitos inclusive com ferramentas e equipamentos mais rudimentares. Todas estas características aliadas à sua abundância na natureza têm permitido a familiaridade da população com várias aplicações para o material.

No mundo têm sido registrados 111 gêneros e mais de 1500 espécies de bambu (OHRNBERGER, 1999; BAMBOO PHYLOGENY GROUP - BPG, 2012), das quais mais de 340 são endêmicas da América do Sul (BYSTRIAKOVA; KAPOS; LYSENKO, 2002), sem contar com as espécies de bambus exóticos introduzidos no continente ao longo do tempo com variados propósitos. Nem todos esses bambus foram estudados com profundidade e somente alguns possuem qualidades apropriadas para a construção. Nesse sentido este é um campo aberto para o desenvolvimento de novas pesquisas em várias disciplinas.

Todos os materiais de construção possuem características específicas e passam por ações que podem afetar sua durabilidade. O bambu por sua origem vegetal é um material renovável e rapidamente biodegradável; essa última característica nem sempre é desejada na hora de aplicá-lo na construção, onde dependendo da função, existem requisitos mínimos de vida útil, seja para cada componente ou para a edificação na íntegra.

Jaramillo (2012), durante a pesquisa de mestrado sobre melhorias tecnológicas para um sistema construtivo de habitação de interesse social com bambu, identificou brevemente alguns agentes de deterioração do material que incidem na durabilidade (como umidade, raios ultravioletas - UV e organismos xilófagos), indicando a necessidade de prever a proteção do bambu nas fases de projeto e de execução para diminuir o impacto da sua ação no material.

A durabilidade natural do bambu exposto às intempéries é variável, podendo atingir aproximadamente três anos (LIESE, 1992; JANSSEN, 2000; GETACHEW, MELAKU, 2012; BUREAU OF INDIAN STANDARDS /BIS - IS 5912, 2010) dependendo da espécie e das condições climáticas do entorno. Salam e Deka (2007) indicam que mais de 40% dos colmos não preservados são destruídos por danos causados por agentes biológicos durante a estocagem e uso. Frente a isto, as normas de construção com bambu no mundo como *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS* (2010), IS 5912 (2012), *Ministerio de Vivienda*

*Construcción y Saneamiento - MVCS (2012) Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEC (2016)*, salientam que o material sempre deve ser tratado antes da aplicação.

Em relação à durabilidade do bambu tratado, existem disparidades entre as informações existentes. Janssen (2000) indica que o material pode durar até 15 anos, enquanto que para Getachew e Melaku (2012) entre 10 e 40 anos, já Liese e Hong Tang (2015) apontam para um tempo ainda mais longo.

Estas diferenças indicadas pelos autores podem ser motivo de confusão para os leigos, mas depois de uma análise de pesquisas que estudam a durabilidade de outros materiais de construção – como aço, madeira e concreto - e seus mecanismos de degradação, é possível perceber que a variação nesses dados se deve ao fato de que a durabilidade não é apenas uma característica própria de um material, mas sim, é algo que depende da sinergia entre vários fatores:

A durabilidade não é uma propriedade do material, mas o resultado da interação entre o material e o ambiente, incluindo aspectos do microclima (JOHN; SATO, 2006, p. 24).

No caso do bambu, as interações com o ambiente iniciam-se com o cultivo, o crescimento e a colheita, passando pelo processo de transporte, secagem, e tratamento, concluindo com o projeto do edifício, a forma de aplicação, uso e manutenção. Durante todo esse processo o bambu está exposto a vários agentes que podem ocasionar sua degradação e precisam ser estudados. John e Sato (2006, p.30) afirmam que “a compreensão dos mecanismos de degradação é a base científica da durabilidade”.

Nesse sentido, é possível identificar e mensurar as características dos materiais e componentes construtivos que evidenciam a degradação (alterações na aparência, perda de massa, diminuição das propriedades mecânicas, entre outros) e obter dados que posteriormente serão usados pelos projetistas para a estimativa da vida útil de um determinado material. Esses dados podem ser adquiridos a partir de vários tipos de ensaios, entre eles destacam-se os ensaios não destrutivos (END), que têm vantagens como a conservação da integridade das peças e que permitem acompanhar a evolução da degradação ao longo do tempo.

Por meio do aprofundamento no estudo da degradação do bambu em edificações em uso e sua relação com as condições de exposição, é possível contribuir com a melhoria no desempenho do bambu em relação

à durabilidade, tornando-o mais competitivo em relação a outros materiais de construção.

Na atualidade essa pesquisa é viável, diferentemente de épocas anteriores, pois já existem diversas construções com bambu na região Sul do Brasil que possuem registros do projeto e construção e que apresentam vários anos em serviço. O apêndice A deste documento apresenta uma lista delas, que foi elaborada durante esta pesquisa.

Em termos de durabilidade, existe produção bibliográfica focada na avaliação de materiais como o concreto armado, aço, madeiras, tintas, vernizes e outros acabamentos. Por outro lado, a informação relacionada com a análise da condição do bambu em edificações é escassa. Isto foi visível no início do trabalho, quando foi desenvolvida uma busca exploratória (em 17/03/2017), utilizando o protocolo de internet (IP) da UFSC com o descritor *bamboo AND patholog? AND (building? OR construction?) AND durability* nas bases de dados multidisciplinares *Scopus*, *Scielo* e *Web of Science* (ISI). Os termos estão presentes no título, resumo e palavras-chave dos trabalhos, não sendo estabelecido um limite de datas. A busca gerou zero resultados, o que inicialmente sugere ineditismo do tópico.

Na procura de uma forma de abordagem do tema se encontrou que para a avaliação da durabilidade de materiais e componentes construtivos existem três métodos: a) os ensaios de envelhecimento natural, b) os ensaios de envelhecimento acelerado e c) os estudos de campo (JOHN; SATO, 2006).

Os ensaios de envelhecimento natural consistem na exposição de corpos de prova em diferentes ambientes que se pretende estudar. A limitação desse tipo de ensaios é que não consideram a incidência dos fatores de uso. Nos ensaios de envelhecimento acelerado os corpos de prova são expostos a determinados fatores de degradação – como umidade, calor, raios UV – em ciclos intensos no laboratório. Nesses casos existem duas limitantes: não existem ensaios universais e encontra-se dificuldade para relacionar os resultados com os de envelhecimento natural.

Finalmente John e Sato (2006) descrevem os estudos de campo – ou envelhecimento em uso – como o monitoramento de materiais e componentes de edificações em condições reais de uso. Dependendo da representatividade da amostra são os ensaios que representam resultados mais confiáveis porque todos os fatores de degradação estão atuando simultaneamente sob condições reais e, portanto, esse tipo de avaliação permite detectar problemas relacionados com o uso do edifício. Existem dificuldades nesse tipo de ensaios para medir a intensidade dos fatores de

degradação. Pode-se acrescentar a isto a dificuldade de estabelecer a relação causa-efeito, útil na retroalimentação dos registros de edificações. Entretanto podem ser identificados os fatores intervenientes na incidência da manifestação patológica.

Desta forma, percebeu-se que esta pesquisa tem maior compatibilidade – e viabilidade de execução – com o terceiro tipo de método de avaliação da durabilidade que corresponde aos estudos de campo.

Na procura de possíveis métodos para avaliar a condição do bambu em edificações foi desenvolvida uma segunda busca exploratória nas mesmas bases de dados (em 04/04/2017), onde foram utilizados os descritores (*evaluation OR assessment OR mensuration OR analysis OR appraisal*) AND (*durability OR duration OR longevity OR endurance OR “timeless quality”*) AND *bamboo* AND (*“in service” OR “in use”*) AND (*structure? OR building? OR construction?*) e também não se obteve resultados, indicando que também seria um desafio para este trabalho a definição de um método que facilite a análise do bambu em construções em uso.

No Brasil, Ballesté (2017) realizou uma pesquisa de mestrado para estudar o desempenho de colmos de bambu em estruturas de cobertura, onde, por meio de dois estudos de caso em São Paulo, fez uma avaliação do comportamento estrutural do bambu e de suas conexões, aproximando-se também ao tema da durabilidade, analisando as características projetuais das obras, fazendo uma inspeção visual e concluindo com algumas recomendações de projeto. Entre as sugestões para futuras pesquisas, o autor indicou a necessidade de padronizar uma metodologia de avaliação de estruturas de bambu e de analisar a vida útil do material em diferentes situações ambientais.

Desta forma presume-se a necessidade de adaptação de um método para avaliar a condição do bambu ou a proposição de um método inovador.

O conhecimento da condição do bambu em edifícios pode possibilitar a obtenção de dados científicos sobre a durabilidade e o estado do material em edificações em determinadas condições de uso na região Sul do Brasil. Assim explora-se um tema que não tem sido aprofundado em outras pesquisas.

Deste modo, os resultados podem ser comparados e complementados com outros, oriundos de métodos de avaliação da degradação do bambu por meio de ensaios de curta duração em futuras pesquisas, ampliando o panorama no tema e aportando à construção do



conhecimento sobre um material abundante, que poderia ser mais competitivo e melhor aproveitado na Arquitetura.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O bambu é um material orgânico que, quando aplicado na construção, sofre influência de vários fatores de degradação que podem ocasionar a perda do seu desempenho ao longo do tempo. Esses fatores atuam simultaneamente durante a fase de uso das edificações e, embora seja precisamente nessa etapa que os efeitos desses agentes precisam ser estudados, as pesquisas são ainda incipientes nessa área.

A interação desses fatores de degradação com o material ocasiona o surgimento de manifestações patológicas. Também é preciso considerar que as decisões projetuais influenciam na forma em que o bambu é aplicado, condicionando estas interações.

## 1.3 HIPÓTESE

Por meio da análise das manifestações patológicas incidentes nos elementos construtivos de bambu em edificações da Região Sul do Brasil é possível identificar os processos de degradação e sua relação com as decisões projetuais que influenciam na durabilidade do material.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Analisar as manifestações patológicas, os processos de degradação e as decisões projetuais que incidem na durabilidade dos elementos construtivos de bambu em edificações da região Sul do Brasil.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar os principais conceitos relacionados com a durabilidade do bambu em edificações.
- b) Definir um método para a inspeção da condição do bambu nas edificações.
- c) Identificar as características projetuais e construtivas de edificações com bambu na região Sul do Brasil.

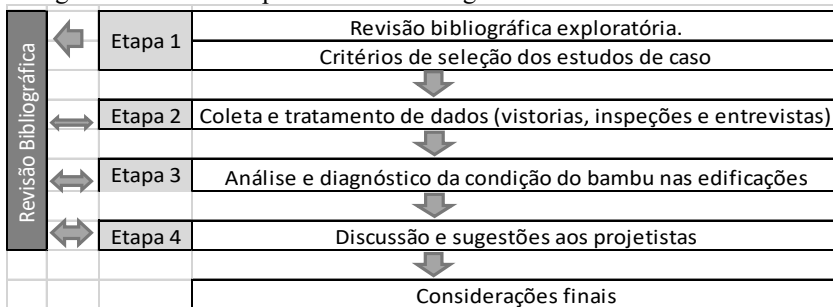
- d) Relacionar as manifestações patológicas encontradas nas edificações analisadas nos estudos de caso, com o projeto e os fatores intervenientes.
- e) Fazer sugestões que possam auxiliar os projetistas e as atividades de manutenção, visando a aumentar a durabilidade do bambu nas edificações.

## 1.5 SÍNTESE METODOLÓGICA

Esta é uma pesquisa quali-quantitativa, realizada por meio de estudos de caso, que foi estruturada em quatro etapas principais: revisão bibliográfica; coleta e tratamento de dados; análise e diagnóstico; discussão.

No Capítulo 3 deste documento é detalhada a metodologia completa, que inclui o desenvolvimento de cada uma dessas etapas. Nesta seção é apresentada uma síntese do processo (Figura 2).

Figura 2 - Síntese do processo metodológico



Fonte: autora

No início, para delimitar a lacuna do conhecimento, apresentar os fundamentos da pesquisa e estabelecer um marco teórico, foi realizada uma revisão bibliográfica exploratória sobre os temas de durabilidade, desempenho, vida útil, patologia da construção, propriedades do bambu, agentes de degradação do bambu, tratamentos preservativos, projeto e detalhes construtivos com bambu e métodos de inspeção.

A elaboração da revisão bibliográfica se manteve ao longo do desenvolvimento da pesquisa, alimentando e atualizando continuamente o marco teórico com a maior quantidade possível de estudos relacionados.

Nesta etapa, também foram definidos os critérios de seleção dos estudos de caso.

Na segunda fase, foi realizada a coleta e tratamento de dados, por meio de vistorias aos locais onde estão localizados os sete estudos de caso. Sendo realizadas inspeções visuais e entrevistas com projetistas e usuários. Para tanto, foram estabelecidos vários instrumentos que auxiliaram o levantamento das informações.

A terceira fase correspondeu à análise e diagnóstico da condição do bambu em cada uma das edificações dos estudos de caso. Para isto foram estabelecidas três categorias principais: 1) caracterização do projeto, 2) uso e manutenção dos elementos de bambu e 3) manifestações patológicas e diagnóstico.

No final da terceira fase, o diagnóstico do bambu foi relacionado com as características projetuais de cada edificação.

A quarta fase dispõe uma discussão sobre a relação do projeto e as manifestações patológicas, apresentando algumas sugestões para apoiar os projetistas em suas decisões, com foco na durabilidade das edificações de bambu. Finalmente, foram elaboradas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

## 1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O foco do presente trabalho é analisar as manifestações patológicas, os processos de degradação e as decisões projetuais que incidem na durabilidade dos elementos construtivos de bambu em edificações da Região Sul do Brasil, por meio de observações *in situ* da sua condição atual. Por este motivo não se pretende-se acompanhar a deterioração do bambu ao longo do tempo nos estudos de caso e sequer realizar análises estruturais das edificações.

Os locais de coleta de dados dependem essencialmente da região de implementação do projeto. Sendo assim, foi necessário iniciar um cadastro de obras construídas com bambu na região Sul do Brasil, de modo a viabilizar os deslocamentos fundamentais para a realização das visitas de inspeção às edificações dos estudos de caso.

Para a inspeção dos elementos de bambu nas edificações foi utilizada e adaptada a técnica da inspeção visual, na procura de intervir o menos possível nos componentes construtivos e evitar constranger os proprietários e usuários das edificações.

Considerando o número de edificações no cadastro de obras realizado (20 obras no total, mas apenas 7 selecionadas para os estudos de caso), esta pesquisa não foi limitada a uma tipologia específica (residencial, comercial, educativa, entre outras). Da mesma maneira não foi determinado um limite relacionado com a espécie de bambu utilizada.

Uma vez concluído o levantamento de dados, não foram indicadas medidas de intervenção ou terapia para as edificações estudadas. Os dados obtidos foram utilizados apenas para relacionar as manifestações patológicas com as características do projeto.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 corresponde à introdução e inicia-se esclarecendo a importância de conhecer os processos de degradação e a durabilidade dos materiais dentro da procura de construções sustentáveis. Na sequência, apresenta-se o potencial do bambu como material de construção e identifica-se a durabilidade como tema de especial interesse para usuários, construtores e pesquisadores. O capítulo apresenta também a justificativa, a relevância da pesquisa e a delimitação do trabalho.

O Capítulo 2 contém o referencial teórico com os principais conceitos relacionados à pesquisa: durabilidade, desempenho e degradação; aprofundamento nas características físicas e químicas do bambu e aborda o tema dos agentes de degradação e sua efetividade. Por fim apresenta-se uma análise do método de inspeção visual para aplicá-lo em edificações de bambu.

O Capítulo 3 apresenta o método, com os passos que foram seguidos para o desenvolvimento da pesquisa, partindo da fase preliminar de revisão de literatura e seleção da amostra, detalhando os procedimentos para a coleta de dados que incluem entrevistas e inspeções às edificações. Para finalizar com a forma segundo a qual foram analisados e diagnosticados os elementos de bambu nos estudos de caso.

O Capítulo 4 apresenta os resultados dos sete estudos de caso, fazendo uma descrição detalhada de todos os dados obtidos, partindo de uma descrição das edificações até chegar nas características das manifestações patológicas de cada elemento de bambu, finalizando com o diagnóstico que indica as causas prováveis e mecanismos de ocorrência.

No Capítulo 5, é apresentada a discussão sobre os resultados a respeito dos estudos de caso realizados, focando na forma em que o projeto incide na durabilidade do bambu nas edificações. Este capítulo conclui com uma série de recomendações para os projetistas contendo assuntos que deveriam ser incluídos no manual de uso e manutenção para cuidar dos colmos de bambu neste tipo de edificações.

Por fim, no Capítulo 6 conclui-se o trabalho, sintetizando os principais resultados da pesquisa, com respeito à hipótese e aos objetivos, sendo ao final do texto indicadas algumas recomendações para investigações futuras.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, foram abordados os principais tópicos para um melhor entendimento da degradação do bambu em edificações, proporcionando os insumos para a definição do método de pesquisa. Apresentam-se os conceitos de durabilidade, manifestações patológicas em edificações, características, propriedades e processos de degradação do bambu, as principais medidas preventivas e inspeção visual.

### 2.1 A DURABILIDADE E SUA RELAÇÃO COM O DESEMPENHO E VIDA ÚTIL DA EDIFICAÇÃO

A NBR 15575 (2013) define desempenho como o comportamento da edificação e de seus sistemas durante o uso, restringindo este conceito ao resultado final alcançado na etapa de utilização, excluindo o desempenho ao longo do processo construtivo. A norma traduz as exigências do usuário em requisitos e critérios: os requisitos expressam qualitativamente os atributos que a edificação e os sistemas possuem e os critérios são especificações quantitativas desses requisitos.

As exigências do usuário dividem-se em três grandes grupos: de segurança, de habitabilidade e de sustentabilidade (Quadro 1). Dentro desse último grupo aparece a durabilidade, que está diretamente relacionada com a sustentabilidade das edificações.

Quadro 1 - Classificação das exigências do usuário.

Exigências do usuário	
Segurança	Estrutural
	Contra o fogo
	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: NBR 15575 (2013).

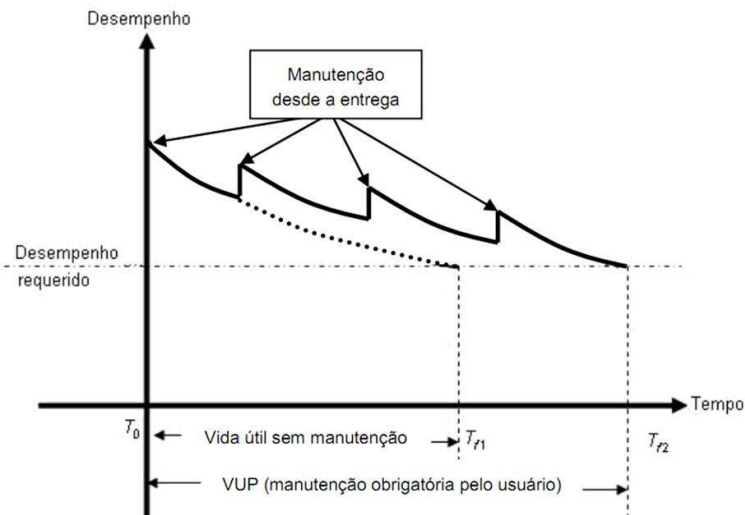
A durabilidade é a capacidade de um edifício ou de suas partes para desempenhar suas funções ao longo do tempo, em condições especificadas de uso e manutenção. Já a vida útil é a quantificação, em medida de tempo, da durabilidade de uma edificação ou de seus componentes em determinadas condições (NBR 15575, 2013).

A vida útil de uma edificação está condicionada pela vida útil de seus componentes, que deve ser especificada no projeto considerando a facilidade de manutenção, os custos, o grau de importância dentro do sistema construtivo, os fatores de degradação e a complexidade de suas interações (CONSOLI, 2006). A verificação da durabilidade de elementos e componentes construtivos se realiza por meio da determinação de sua vida útil.

A NBR 15575 (2013, anexo C) indica que a vida útil de projeto (VUP) “é basicamente uma expressão de caráter econômico de uma exigência do usuário”, determinada assim pelo projetista e pelo proprietário a partir de pesquisa de opinião entre técnicos, usuários e agentes envolvidos com o processo de construção.

As ações de manutenção podem prolongar a vida útil de uma edificação (Figura 3); por isso é importante que o usuário as execute conforme o programado, já que em alguns casos, “as patologias podem ter origem no uso inadequado e não numa construção falha” (Idem).

Figura 3 - Desempenho ao longo do tempo.



Fonte: NBR 15575 (2013).

Com relação ao usuário, muitas vezes suas escolhas por determinado material ou por um elemento construtivo são baseadas principalmente no fator econômico, mas existem outros fatores que precisam ser considerados, tais como a parte ambiental e social. Considerando então o aproveitamento de recursos, a NBR 15575 (2013) propõe uma  $VUP_{\text{mínima}}$  da edificação - de 50 anos – e de cada sistema que a compõe e também propõe uma vida útil superior, cujos valores podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação das exigências do usuário.

Sistema	VUP (anos)	
	Mínimo	Superior
Estrutura	$\geq 50$	$\geq 75$
Pisos internos	$\geq 13$	$\geq 20$
Vedação vertical externa	$\geq 40$	$\geq 60$
Vedação vertical interna	$\geq 20$	$\geq 30$
Cobertura	$\geq 20$	$\geq 30$
Hidrossanitário	$\geq 20$	$\geq 30$

Fonte: NBR 15575 (2013).

Nesses valores de  $VUP_{\text{mínima}}$  se considera que os sistemas passaram por todas as manutenções indicadas no projeto e o período de  $VUP$  mínimo de 50 anos para a estrutura equivale ao período de  $VUP$  mínimo da edificação inteira. O estabelecimento de uma  $VUP_{\text{mínima}}$  está justificado na norma da seguinte forma:

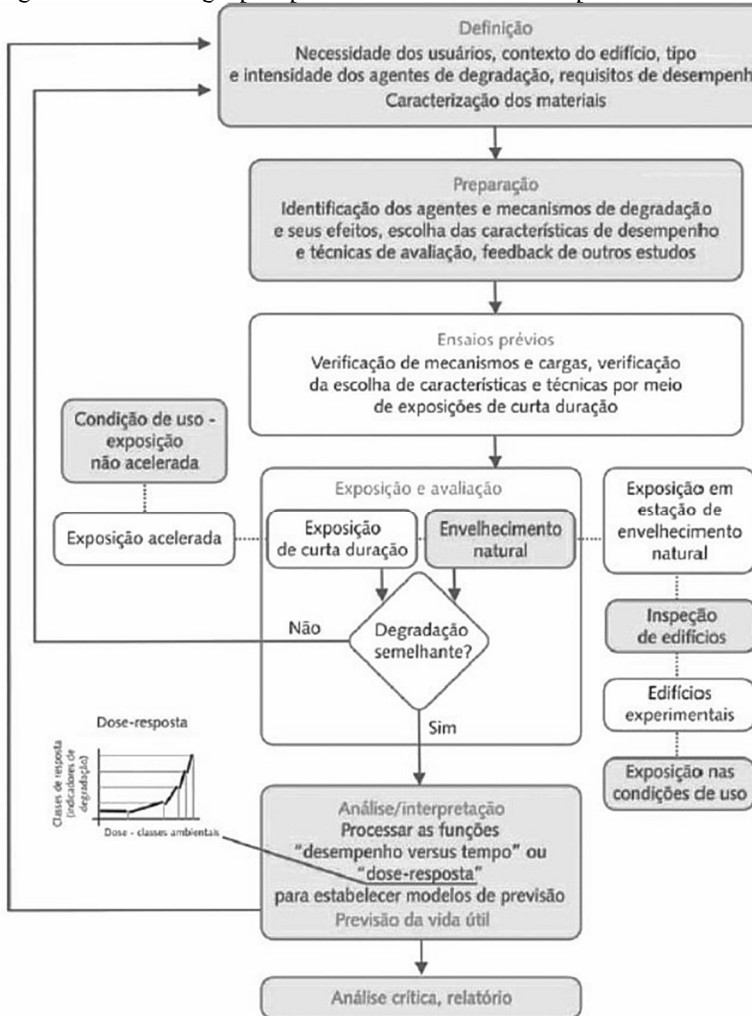
“O usuário (...) pode optar por uma menor  $VUP$  em troca de um menor investimento inicial, mas esta escolha tem um limite inferior, abaixo do qual não é aceitável do ponto de vista social, pois esta situação impõe custos exagerados de reposição no futuro para toda a sociedade” (NBR 15575)

Desta forma os valores assinalados para a  $VUP_{\text{mínima}}$  estão fundamentados, além das necessidades do usuário, na limitação de recursos que a sociedade investe em infraestrutura cada vez que a vida útil de uma edificação termina. Neste ponto convém pensar nas possibilidades que oferece o uso de materiais renováveis - como é o caso do bambu - se no projeto arquitetônico, além da correta aplicação e proteção do material, fossem mais exploradas opções de substituição de

elementos aproveitando as características de leveza e facilidade de manuseio.

Para fazer a previsão de vida útil de uma edificação, a norma ISO 15686 (2011) apresenta uma metodologia resumida na Figura 4. As partes destacadas em cinza correspondem àquelas que são abordadas pela presente pesquisa.

Figura 4 - Metodologia para previsão da vida útil de componentes e edifícios.



Fonte: ISO 15686 (2001), versão em português em John e Sato (2006).



Segundo John e Sato (2006, p.24), “a durabilidade não é uma propriedade inerente a um material ou componente”, mas é o resultado da interação daquele material com as condições do meio, ou seja, ela depende da influência de vários fatores externos. Considera-se que a durabilidade de um produto ou de uma edificação termina quando este deixa de cumprir suas funções, seja por obsolescência funcional ou por degradação.

A degradação, segundo as normas ISO 15686 (2012) e NBR 15575 (2013), é o processo pelo qual uma ação sobre um item causa deterioração em pelo menos uma das suas propriedades, reduzindo seu desempenho. Essas ações são ocasionadas por agentes de degradação que estão em contínuo contato com a edificação durante sua vida útil. Sua origem é diversa: ambiente, cargas da construção, incompatibilidade dos materiais, consequências do uso e manutenção, organismos vivos, entre outros.

## 2.2 PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO

O relatório da comissão W086 do *Conseil International du Bâtiment* – CIB (1993) indica que a patologia da construção é um ramo da ciência que deve ser tratado de forma sistêmica para verificar os defeitos dos edifícios, suas causas, suas consequências e suas possíveis reparações.

### 2.2.1 Causas e origem das manifestações patológicas

Ao longo da vida útil da edificação os materiais e elementos construtivos interagem com vários agentes, ocasionando fenômenos físicos, químicos e biológicos que podem causar problemas patológicos, denominados sintomas por Lichtenstein (1986) ou anomalias pelo CIB/W086 (1993), provocando conseqüentemente quedas no desempenho.

Segundo a norma ISO 15686 (2001), estes agentes podem ser de natureza mecânica, eletromagnética, térmica, química ou biológica (Quadro 3).

Broto (2006) considera esses agentes de degradação como causas diretas das anomalias nas edificações e assinala que existem também causas indiretas, relacionadas com erros humanos: erros de projeto, de material, de execução ou de manutenção.

Quadro 3 - Natureza dos agentes de degradação.

Natureza	Classe
Agentes mecânicos	Gravidade Esforços e deformações impostas ou restringidas Energia Cinética
Agentes eletromagnéticos	Vibrações e ruídos Radiação Eletricidade Magnetismo
Agentes térmicos	Níveis extremos ou variações muito rápidas de temperatura
Agentes químicos	Água e solventes Agentes oxidantes Agentes redutores Ácidos Bases Sais Quimicamente neutros
Agentes biológicos	Vegetais e micro-organismos Animais

Fonte: ISO 15686-2 (2001)

Por outro lado, autores como Helene (1993), Rodriguez *et al.* (2004) e Assis Vieira (2016) indicam somente que a origem das manifestações patológicas pode acontecer durante as fases de projeto, da construção ou da utilização de um edifício, sem salientar as causas que estão relacionadas com ações humanas.

As decisões e ações durante o projeto, construção e utilização de um edifício podem estimular, atenuar ou inibir a aparição de anomalias. Isto é fundamental ao considerar que os problemas patológicos se originam e propagam em qualquer momento ao longo da vida útil de uma edificação. Tais problemas se intensificam com o passar do tempo e inclusive podem acarretar novas anomalias.

O Quadro 4 apresenta a origem das manifestações patológicas numa edificação e indica algumas causas apontadas por Helene (1993), Rodriguez *et al.* (2004), Broto (2006) e Assis Vieira (2016), e que estão relacionadas com escolhas realizadas durante a concepção, execução e uso de um edifício.

Quadro 4 - Origem das manifestações patológicas e causas relacionadas com o projeto.

<b>Origem</b>	<b>Causas relacionadas com decisões de projeto</b>
<b>No projeto</b> concepção	Erros na técnica, disposição inadequada dos elementos construtivos, deficiência ou ausência de detalhamento e seleção do material com as características inapropriadas.
<b>Na construção</b> execução	Descumprimento das especificações técnicas, alterações introduzidas em obra e mal executadas, ausência de fiscalização e mão de obra inexperiente.
<b>Na utilização</b> uso e manutenção	Uso inadequado do edifício ou elementos construtivos, falta de manutenção periódica ou apropriada, mudança de função da edificação e agentes externos imprevistos (acidentes).

Fonte: autora (2019)

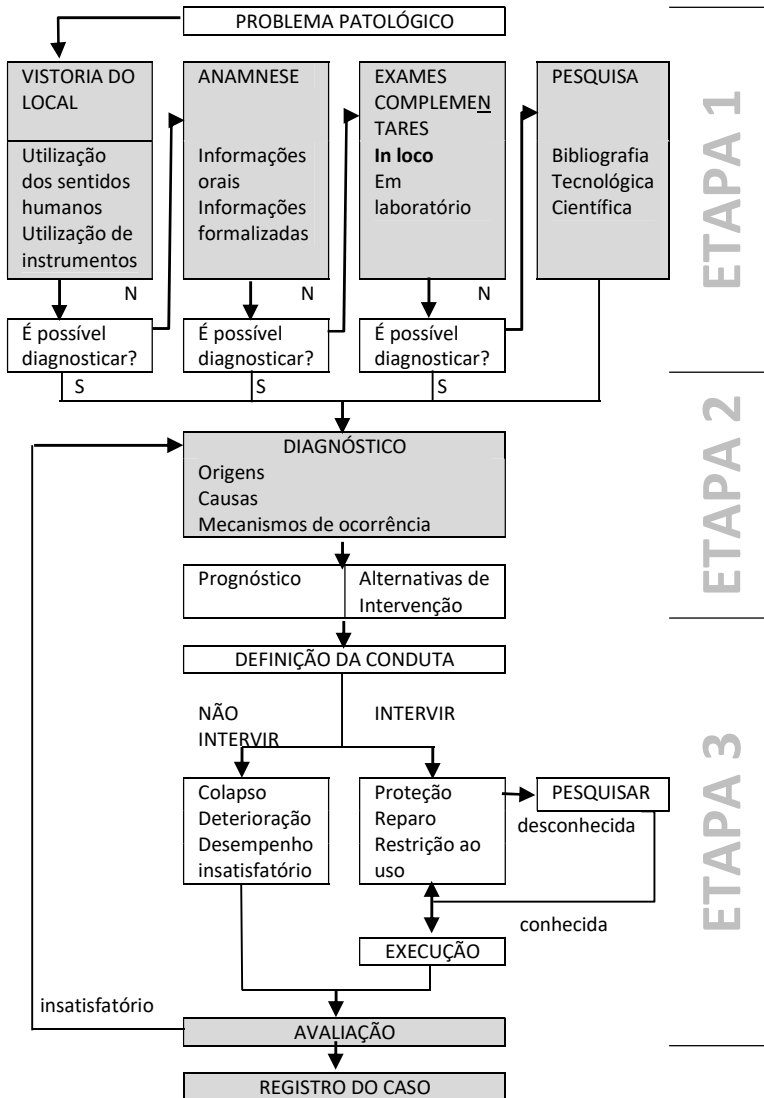
Entende-se a origem como a etapa do processo onde se iniciou o fenômeno que desencadeou o problema patológico, já as causas são os fenômenos que influenciam no surgimento das anomalias (HELENE, 1993).

### **2.2.2 Análise das manifestações patológicas**

A inspeção dos materiais em edificações em uso é uma forma de acompanhar os processos de degradação em condições reais. Entretanto, as manifestações patológicas são o produto da interação simultânea de vários agentes de degradação sobre o material. Isto dificulta a interpretação dos resultados e muitas vezes não é possível medir a intensidade dos agentes de degradação (JOHN; SATO, 2006).

Diante destas dificuldades é necessário ter um método que possibilite a análise e resolução dos problemas patológicos que os materiais apresentam nas edificações. Neste contexto, Lichtenstein (1986) propôs a estrutura genérica de um método com três etapas: 1) levantamento de subsídios, 2) diagnóstico da situação e 3) definição da conduta. Esse método é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Etapas do método proposto por Lichtenstein.



Fonte: Lichtenstein (1986).

A etapa de levantamento de subsídios procura coletar todas as informações necessárias que permitam compreender os fenômenos por meio de: vistorias ao local para procurar manifestações patológicas,

características e gravidade do problema patológico, levantamento da história da edificação – ou anamnese, exames no local (ensaios) e pesquisa complementar (bibliográfica, tecnológica e/ou científica).

Na etapa de diagnóstico se determinam as relações causa – efeito que caracterizam o problema patológico; para isto é necessário gerar hipóteses que relacionem as causas e mecanismos de ocorrências e que ocasionam a queda do desempenho dos elementos construtivos.

Finalmente, na etapa de definição da conduta se decide se há necessidade de intervir ou não para resolver o problema, estabelecendo hipóteses sobre sua evolução e definindo o tipo de intervenção necessária para sua resolução. O processo culmina com o registro do caso e a retroalimentação.

A presente pesquisa se situa nas etapas um e dois da proposta metodológica de Lichtenstein (1986), visando levantar subsídios por meio da observação das manifestações patológicas presentes em edificações de bambu no Sul do Brasil. Assim, busca-se uma melhor compreensão de suas causas para o aprimoramento de sua aplicação na procura de maior durabilidade para as construções de bambu.

## 2.3 FATORES INTERVENIENTES NA DURABILIDADE DO BAMBU EM EDIFICAÇÕES

### 2.3.1 Propriedades do Bambu

O conhecimento das propriedades do bambu é relevante para determinar suas possibilidades de uso e aplicações. Elas dependem da espécie, das características do entorno em que cresceu e outros fatores, como é detalhado nas seguintes seções.

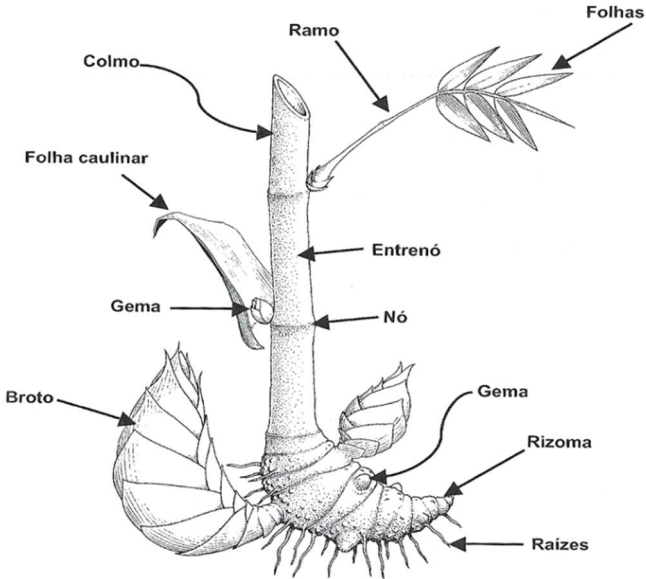
#### 2.3.1.1 Anatomia dos colmos

A estrutura anatômica do bambu é a base para entender suas propriedades físicas, mecânicas e o comportamento estrutural. O colmo está dividido por nós numa série de segmentos ou entrenós, cujo comprimento pode variar dependendo da espécie, posição ao longo do colmo, entre outros (Figura 6).

Os bambus estão compostos por uma parte aérea – denominada colmo – e uma subterrânea – rizomas e raízes. O colmo tem forma cilíndrica, com uma pequena percentagem de conicidade que varia dependendo da espécie. Todo colmo de bambu já nasce com o diâmetro que terá ao longo da sua vida, que diminui da base ao topo à medida que

a planta vai crescendo. Geralmente o interior dos colmos é oco, mas existem espécies com o interior sólido como algumas espécies do gênero *Chusquea* (GRECO; CROMBERG, 2011) ou o *Dendrocalamus strictus*.

Figura 6 - Partes do bambu.



Fonte: Greco e Cromberg (2011).

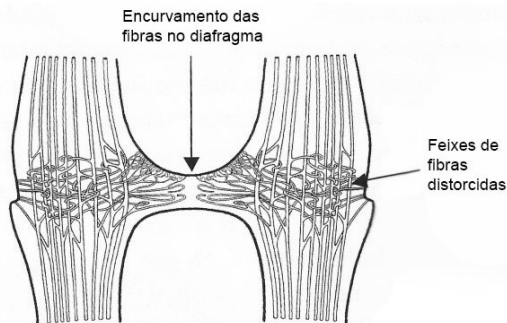
A distância entre os nós é determinante quando o bambu roliço será usado como elemento estrutural porque as uniões devem ser feitas próximas a essa parte do colmo. As espécies com entrenós mais longos geralmente são usadas para elaborar móveis, laminados, esteiras e tecidos.

A maioria das fibras que compõem as paredes dos colmos estão dispostas na direção axial (longitudinal) e apenas no interior dos nós, na parte conhecida como diafragma, aparecem fibras na seção transversal que são curvas, espessas e distorcidas como indicado na Figura 7 (LIESE, 1992; GRECO; CROMBERG, 2011).

A seção transversal da parede do entrenó tem a seguinte estrutura anatômica: a camada exterior ou córtex, a área fibrovascular e a camada interna da parede do colmo. O córtex possui uma camada impermeável que evita a perda de umidade do colmo quando está no bambuzal e que pode dificultar a perda de umidade durante o processo de secagem dos colmos uma vez cortados e também o ingresso do tratamento nos métodos

de imersão. Por outro lado, pode impedir a entrada da umidade ao interior após sua aplicação nas edificações, preservando-os da biodeterioração.

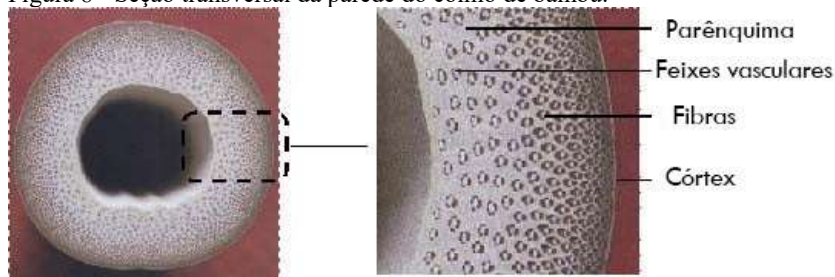
Figura 7 - Seção transversal do colmo que mostra as fibras na região do nó e do diafragma.



Fonte: Greco e Cromberg (2011).

A composição do colmo é de aproximadamente: 50% de células de parênquima, 40% de fibras e 10% de feixes vasculares ou vasos (PEREIRA; BERALDO, 2008), conforme pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 - Seção transversal da parede do colmo de bambu.



Fonte: López e Correal (2009).

### *Parênquima*

As células do parênquima conformam o tecido base e nela estão localizados os feixes vasculares, sendo que os dois contribuem à estabilidade e flexibilidade do colmo. Na parte mais externa do colmo as células são pequenas e contém sílica, mas conforme se aproxima do interior vão ficando maiores e mais longas (LIESE; TANG, 2015). A sua

função é estocar água e nutrientes, mas à medida em que o colmo envelhece a umidade contida nessas células vai diminuindo (PEREIRA; BERALDO, 2008).

O bambu tem um elevado teor de umidade que sofre influência da época da colheita, das características do entorno, da idade e da espécie. Os colmos com teor mais elevado de amido devem receber um tratamento protetor para diminuir sua vulnerabilidade à biodeterioração.

### *Fibras*

As fibras têm a função de dar resistência mecânica ao colmo de bambu, encontram-se ao redor dos feixes vasculares como bainhas e como feixes isolados. Segundo Pereira e Beraldo (2008), representam entre 40 - 50% do tecido do colmo e 60 - 70% da massa. O comprimento das fibras tem uma variação considerável dependendo da espécie do bambu, variando entre 1,65 a 3,43 mm.

O comprimento das fibras influencia diretamente na resistência mecânica e também está diretamente relacionado com a espessura das paredes celulares, o módulo de elasticidade e a resistência à compressão. Visto que a parte externa do colmo possui maior densidade de fibras do interior (LIESE; TANG, 2015). Hidalgo-López (2003) afirma que nas proximidades dos nós existe menor quantidade de fibras, as quais também são mais curtas e por esse motivo o comportamento mecânico nessa parte do colmo é limitado. É por isto que os colmos submetidos a esforços de tração podem apresentar ruptura nessa região.

### *Feixes vasculares*

Os feixes vasculares constituem o tecido condutor que é composto pelos vasos, o floema, elementos crivados com células companheiras e os cordões de esclerênquima formando os feixes fibrovasculares (LIESE, 1998). Os dois grandes vasos nos feixes vasculares individuais transportam água dentro do colmo. Seu papel é importante para a sobrevivência das folhas do bambu, assim como para os posteriores processos de tratamento, principalmente com os métodos de substituição de seiva ou por imersão vertical.

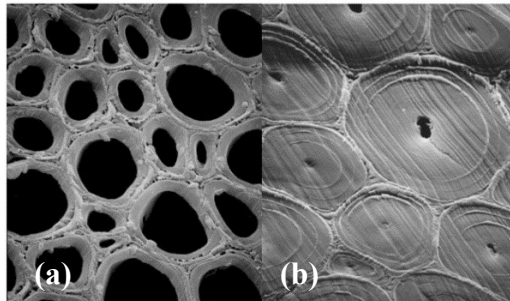
A espessura da parede do colmo varia com a espécie e diminui com a altura, inversamente do que ocorre com a densidade que vai aumentando. Liese e Tang (2015) apontam que essa diminuição de espessura e aumento de densidade se deve ao fato de que o número de feixes vasculares se mantém, mas a porção de parênquima da parede



diminui. Essa diminuição de parênquima na parte superior dos colmos, com a conseqüente diminuição do teor de amido, faz com que na maioria das espécies essa seja a parte do colmo que apresenta maior durabilidade frente à degradação causada por fatores bióticos (HIDALGO-LÓPEZ, 2003). Por esse motivo Pereira e Beraldo (2008) indicam que é um desperdício a prática comum de não aproveitar a parte superior dos colmos.

Os colmos de bambu, como outros seres vivos, passam por mudanças anatômicas ao longo das suas fases de crescimento. Seu período de maturidade ocorre entre os 3-4 anos. Segundo Liese e Tang (2015), nesse momento as células que compõem as fibras e o parênquima tem um engrossamento de suas paredes e lignificação mostrada na Figura 9, resultando num aumento na densidade e na resistência mecânica do colmo, o que influencia a sua posterior aplicação. É por esse motivo que os colmos dessa idade são mais aptos para serem aplicados na construção.

Figura 9 - Seção transversal das fibras (a) no 1º ano, (b) no 6º ano do colmo.



Fonte: Liese (2012).

Os mesmos autores indicam que os colmos mais jovens ainda não estão lignificados e por este motivo possuem menor resistência mecânica, enquanto que a fragilidade dos colmos mais velhos é causada por ineficiências funcionais.

### 2.3.1.2 Composição química dos colmos

Os constituintes fundamentais dos colmos de bambu, semelhante aos das madeiras, são celulose, hemicelulose e lignina. Os outros constituintes são proteínas, resinas, taninos, ceras e minerais. As proporções desses componentes dentro do colmo dependem da espécie, da idade, da parte do colmo e das condições do entorno em que o bambu

cresceu (GRECO; CROMBERG, 2011; LIESE; TANG, 2015; KAUR *et al.*, 2016a).

Depois que o colmo de bambu atinge a maturidade, o teor desses componentes se estabiliza e portanto é nessa fase que os colmos devem ser aproveitados para seu corte e aplicação na construção. Esse é um dado fundamental a ser considerado pelos produtores e fornecedores do material.

Liese e Tang (2015) afirmam que os nós contêm mais celulose do que os entrenós e também menor quantidade de substâncias hidrossolúveis. Essas últimas estão presentes no colmo em maior teor na estação seca do ano, em comparação com a úmida. Observa-se que o teor de amido é mais elevado nas temporadas secas nos bambus entouceirantes.

### *Celulose*

A celulose é um dos principais componentes nas paredes celulares das plantas e o constituinte mais abundante dos colmos do bambu. É um homopolímero composto de glicose que pode conformar estruturas cristalinas que dão resistência mecânica às madeiras, como efeito da polimerização. (MORREL, 2014). A presença de celulose no colmo de bambu varia entre 40 e 53% (LIESE; TANG, 2015).

### *Hemicelulose*

A hemicelulose é um polissacarídeo ramificado que não possui a cristalinidade da celulose mas a acompanha na parede celular do bambu tendo degradação mais rápida do que a da celulose (MORREL, 2014).

### *Lignina*

A lignina, o segundo maior constituinte dos colmos, é uma macromolécula dos vegetais e contribui para a rigidez e resistência mecânica das madeiras. Liese e Tang (2015, p. 248) indicam que “a lignina do bambu é qualitativamente mas não quantitativamente similar à das madeiras duras”. Os mesmos autores apontam que o processo de lignificação do colmo acontece da base ao topo e do interior ao exterior do colmo. Uma alta concentração de lignina nas paredes celulares é útil para o bambu ser empregado na construção e nas indústrias de painéis de fibras, embora torne-se desvantagem para as indústrias de polpa e papel, devido à maior quantidade de solventes necessários.

Segundo Greco e Cromberg (2011, p.79) “a principal característica química dos colmos é a presença de amido nos tecidos do parênquima”. O teor do amido pode variar dependendo da idade do colmo e da espécie. Pereira e Beraldo (2008) afirmam que esse teor é influenciado pela época do ano: os colmos têm mais amido na estação seca, pois é hidrossolúvel e isto implica em que o bambu seja mais vulnerável ao ataque de insetos quando colhido nessa época.

### **2.3.2 Agentes de degradação do bambu e suas manifestações**

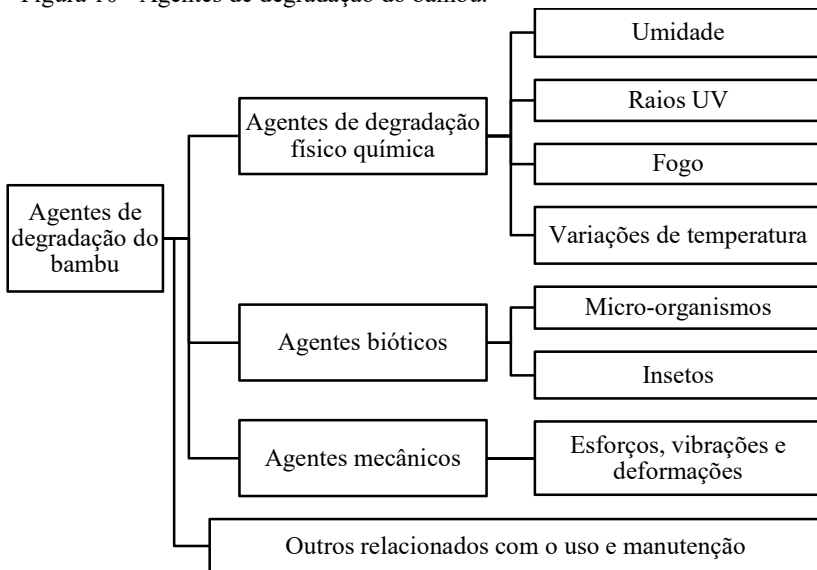
Um dos principais motivos que restringem a disseminação do uso do bambu na construção é sua vulnerabilidade à degradação ocasionada por agentes externos: os colmos sem tratamento, expostos à intempérie e em contato direto com o solo, tendo a durabilidade média de um ano. No caso de estarem protegidos por uma cobertura podem resistir até 7 anos. Nesse sentido, o fator de uso é relevante para manter as condições necessárias que garantam a proteção do bambu contra os agentes agressores depois da colheita, durante o tratamento e secagem, transporte, aplicação na construção, manutenção da edificação e forma de uso.

Quando o bambu está no bambuzal pode apresentar algumas anomalias como furos produzidos por insetos ou aves, deformações excessivas em relação ao eixo de crescimento, fissuras com comprimento maior que 20% do comprimento do colmo ou podridão, deformações do colmo e conicidade superior a 1% (NSR 100, 2010). Antes da aplicação dos colmos em estruturas é necessário fazer-se uma classificação visual que permita identificar esses defeitos e, segundo recomendado pelas normas NSR 10 (2010), E 100 Bambu (2012) e NEC –SE –Guadua (2016), esses colmos devem ser descartados ou utilizados para outros fins.

Depois do corte, a deterioração do bambu pode ser ocasionada por vários tipos de agentes, os quais, no presente trabalho, foram classificados segundo mostra a Figura 10. Os colmos roliços possuem maior resistência natural pela proteção do córtex, sendo que as taliscas, esteiras e laminados sem tratamento são mais vulneráveis à degradação.

Os erros de projeto e de construção de edificações com bambu podem expor o material ao ataque tanto de agentes bióticos quanto abióticos, similar ao que ocorre com as estruturas de madeira. Nesse sentido, Cruz (2011) e Brito (2014) indicam que a má gestão nas práticas de construção, o projeto e execução de obras por pessoas que não sejam especialistas na área e a ausência de mão de obra qualificada podem contribuir ao incremento do risco de deterioração dos elementos construtivos.

Figura 10 - Agentes de degradação do bambu.



Fonte: autora

### 2.3.2.1 Agentes de degradação físico-química

Nas edificações em serviço o bambu está exposto a diferentes combinações de fatores ambientais que favorecem sua degradação. Nesta seção, tais fatores são descritos separadamente para uma melhor compreensão de sua ação individual.

#### *Umidade*

O bambu é um material higroscópico, portanto a umidade do ambiente e a água incidente no colmo afetam suas dimensões e resistência mecânica, o que pode interferir na sua aplicação. Além disso, junto com a temperatura adequada podem gerar o ambiente propício para a proliferação de fungos.

A Figura 11 mostra uma cerca de bambu roliço, em que o material está exposto às chuvas e em contato direto com o solo, sofrendo as consequências dessa interação.

Após o corte, a exposição direta e prolongada aos raios UV (ação do sol) antes ou durante a aplicação em edificações ocasiona fotodegradação nos colmos.

Figura 11 - Efeitos das intempéries em cerca de bambu.



Fonte: autora

### *Raios ultravioletas (UV)*

Wang e Ren (2008) indicam que a fotodegradação é a alteração da coloração na superfície do bambu ou das madeiras ocasionada por mudanças químicas em alguns componentes durante o processo de irradiação UV, resultando na formação de carbonilo que exibe uma coloração diferente. Essa mudança de cor também está relacionada à degradação da lignina. O bambu degradado por raios UV apresenta uma cor esbranquiçada, como pode ser observado na Figura 12, na qual uma esteira de bambu é utilizada como cobertura.

Figura 12 - Aparência de cobertura de esteira de bambu exposta ao sol.



Fonte: autora

### *Fogo*

O bambu é um material inflamável e os colmos expostos ao fogo explodem por causa da acumulação do calor na cavidade interna dos entrenós. O fogo é um fator que deve considerar-se na fase do projeto de edificações com o material visando à segurança do usuário.

### *Variações de temperatura*

As rápidas variações de temperatura em combinação com a umidade ocasionam que as partes do bambu expostas tenham um comportamento diferente das demais. Os colmos se expandem ou se contraem dependendo do ganho ou perda da temperatura e de umidade, podendo ocasionar mudanças da coloração, deformações e rachaduras que facilitam o ingresso posterior de umidade ou de insetos ao interior dos colmos.

Um exemplo disso, é quando a umidade do colmo diminui e a temperatura aumenta, com isso a temperatura do ar no interior do entrenó também aumenta a pressão interna e ocasiona trincas no bambu.

#### 2.3.2.2 Agentes bióticos de degradação

O bambu é mais suscetível do que as madeiras ao ataque dos fatores bióticos – fungos e insetos - por causa do seu alto teor de amido. Segundo Matsuoka e Beraldo (2014), os agentes bióticos são os que mais degradam o bambu. Seu ataque pode acontecer nas plantações de bambu, durante o empilhamento, transporte e também quando já aplicado na construção. A vida útil das estruturas de bambu está sujeita à percentagem de degradação biológica sofrida pelos componentes.

#### *Micro-organismos*

Os micro-organismos atacam ao bambu principalmente quando está em contato com o solo (BERALDO; FERREIRA; VIEIRA, 2006). Os fungos xilófagos são o principal agente biótico de degradação do bambu e se alimentam de diferentes partes do colmo - dependendo da espécie - representando uma grande ameaça por sua rápida reprodução. Os esporos estão presentes em todo tipo de ambientes e podem germinar assim que encontrarem as condições adequadas (KLEINE, 2010), tais como:

- a) contato direto com o tecido lenhoso;
- b) presença de oxigênio (com raras exceções);
- c) umidade do bambu superior a 20%;
- d) temperatura ambiente entre 10 -30 °C;
- e) pH entre 2-7,5 (preferencialmente entre 4,5 e 5,5) e
- f) ausência de produtos tóxicos.

O bambu dificilmente é atacado por uma única espécie de fungo e isto foi evidenciado por Da Silva *et al.* (2009), que identificaram fungos de 4 gêneros diferentes em amostras de *Dendrocalamus giganteus* expostas a condições ambientais e em contato com o solo. A Figura 13 apresenta a aparência dos esporos dos fungos - pontos pretos - numa das amostras.

Figura 13 - Fungos em talisca de bambu.



Fonte: Da Silva *et al.*, (2009).

Kleine (2010) explica que os fungos que se alimentam de tecidos lenhosos, como é o caso de madeiras e bambus, são conhecidos como fungos xilófagos e expõem uma classificação que está resumida na Figura 14. Conforme apresenta Moreschi (2013), esta classificação também tem sido utilizada para os fungos que agridem as madeiras.

Figura 14 - Classificação dos fungos que atacam ao bambu.



Fonte: elaborado pela autora com base em Kleine (2010).

Tanto Kleine (2010) quanto Matsuoka e Beraldo (2014) indicam que os fungos emboloradores e manchadores inicialmente não ocasionam danos nas propriedades mecânicas do bambu e sua ação afeta principalmente a parte estética - mas posteriormente podem afetar

também a resistência mecânica; já os fungos apodrecedores representam um grande risco para a integridade dos elementos construtivos.

Os fungos emboloradores (*surface molds*) crescem na superfície e nos extremos dos colmos e, embora sua aparência seja visualmente impactante, podem ser extraídos com facilidade com a raspagem ou lixamento da superfície. Hidalgo-López (2003) indica que estes fungos podem se propagar rapidamente e sua presença é indicativa de umidade - condição que pode favorecer a degradação, conforme Figura 15a.

A Figura 15b mostra fungos manchadores (*stain fungi*), que podem penetrar em bambus roliços pelos extremos (onde a parte interna está exposta) e também pelos locais que foram removidos os ramos. A presença desses fungos se manifesta por manchas com coloração acinzentada na superfície do colmo. Tais manchas não são retiradas por lixamento.

Figura 15 - Fungos emboloradores (a) e manchadores do bambu (b).



Fonte: Guadua Bamboo (2019).

Os fungos apodrecedores (*decay fungi*) causam o dano mais grave nos colmos, dado que crescem dentro do lúmen das células e, posteriormente, provocam mudanças nas propriedades químicas dos componentes do bambu (HIDALGO- LÓPEZ, 2003).

As enzimas podem decompor a celulose e a hemicelulose, deixando apenas a lignina e originando a podridão marrom. No caso de decompor a lignina geram a podridão branca, que é mais comum (KLEINE, 2010).

Os danos iniciais desses fungos podem ser favorecidos pela umidade do bambu. A resistência mecânica do bambu é diminuída mesmo antes das manifestações, como mudança de cor ou com a diminuição do peso. Nos estágios avançados da deterioração, o colmo é macio ao contato, podendo ser reduzido a um pó ou a uma massa fibrosa.



## *Insetos*

Os insetos xilófagos são os que causam os ataques mais destrutivos ao bambu, ocorrendo geralmente no bambu seco. As brocas e os cupins são os mais comuns; no entanto existem várias outras espécies de insetos que degradam o bambu. Esses insetos passam por metamorfoses ao longo da sua vida, passando de larva a pupa e finalmente a inseto adulto, podendo ser xilófagos apenas numa fase ou em todas elas, dependendo da espécie considerada.

Os ataques de brocas manifestam-se por galerias e túneis no interior dos colmos, que é a parte mais macia; já no córtex quase não se apresentam danos maiores, embora possam ser percebidos alguns sinais como: os pequenos furos que servem de acesso para os insetos, também a presença de pó branco ou de pequenas bolinhas brancas ou ainda marrons nas proximidades dessas aberturas.

Kaminski *et al.* (2016) descrevem que os ataques de insetos se manifestam externamente por pequenos furos ovalados ou redondos com um diâmetro entre 1-6 mm.

Kleine (2010) indica que no Brasil há poucas pesquisas sobre as espécies de insetos xilófagos que atacam ao bambu, mas que algumas ocorrências para *Dinoderus minutus*, *Chlorophorus annularis* (Figura 16), *Lictus brunneus*, *Cryptotermes dudleyi* e *Odontotermes feae* já foram registradas.

Figura 16 - Ataque do inseto *Chlorophorus annularis* no bambu.



Fonte: esq. Tijn Adriaen (2017); dir. José Ene - Agrobambu (2017).

### 2.3.2.3 Manifestações patológicas de origem mecânica

Ballesté (2017) afirma que quase sempre os colmos de bambu apresentam fendas e rachaduras na direção longitudinal do colmo, como

manifestação da incorreta transmissão de cargas ou de deficiências nas ligações.

Os colmos de bambu podem estar submetidos a esforços de compressão, tração, flexão e cisalhamento, podendo ocasionar deformações e rupturas características.

Anteriormente à elaboração da norma colombiana NSR 10 (2010); Takeuchi (2004) desenvolveu uma pesquisa partindo do fato de que o bambu é um material heterogêneo e tem um comportamento anisotrópico para realizar os ensaios de caracterização mecânica.

Esses ensaios possibilitaram explicar e ilustrar os comportamentos dos colmos da espécie *Guadua angustifolia* aos esforços de compressão paralela e compressão perpendicular às fibras, conforme mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Ruptura dos colmos de bambu por compressão paralela (a) e por compressão perpendicular às fibras (b).



Fonte: Takeuchi (2004).

Beraldo (2016) exhibe uma avaliação de componentes de construção de uma casa depois de 17 anos de exposição no Brasil. Nos resultados, apresenta que as colunas de bambu da espécie *Dendrocalamus asper* - cujas bases tinham sido enterradas no concreto das fundações - demonstram o pior desempenho e sofreram ataques de organismos xilófagos (Figura 18a).

Assim os colmos da mesma espécie de bambu utilizados na estrutura da cobertura tiveram ruptura por esmagamento, inclusive aqueles cujo entrenó foi preenchido com concreto (Figura 18 b).

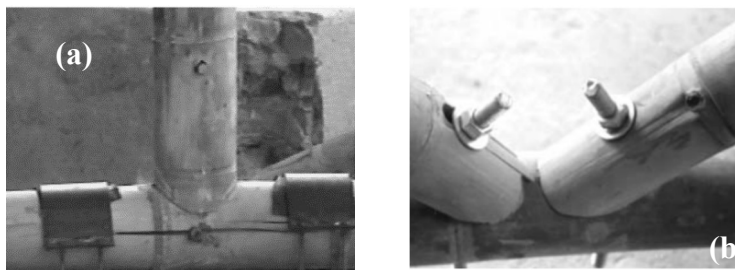
Figura 18 - Degradação do bambu de colunas por xilófagos (a) e ruptura por esmagamento de viga de bambu roliço (b).



Fonte: Beraldo (2016)

Takeuchi (2004) também indica as falhas decorrentes dos dois principais pontos fracos dos colmos de bambu roliço que foram identificadas nas uniões entre elementos desse material: a baixa resistência à tração perpendicular às fibras (Figura 19a) e ao cisalhamento paralelo às fibras (Figura 19b).

Figura 19 - Ruptura dos colmos de bambu por tração perpendicular às fibras (a) e cisalhamento paralelo às fibras (b).



Fonte: Takeuchi (2004)

Nesse contexto, as normas de construção com bambu na América do Sul: NSR 10 (2010) na Colômbia, Norma Técnica E 100 (2012) no Peru e NEC-SE-Guadua (2016) no Equador já preveem o reforço dos colmos de bambu nessas situações e a proteção dos elementos contra a umidade, mesmo aquela que seja proveniente do concreto.

Por conseguinte, essas normas indicam que as colunas de bambu não devem ficar embutidas dentro do concreto das fundações; recomendam desta forma outros detalhes de projeto e o uso de tratamentos preservativos.

#### 2.3.2.4 Manifestações patológicas com origem no uso e na manutenção

Existem manifestações que são decorrentes da ação dos usuários da edificação: por exemplo, aquelas que aparecem por falta de manutenção ou pelo uso inadequado.

A aparência do bambu nesses casos dependerá da ação, sendo portanto difícil ter uma descrição específica, mas para poder identificá-las e posteriormente fazer um diagnóstico é necessário fazer uma boa análise da história de uso e uma observação das interações rotineiras entre o usuário e a edificação.

#### 2.3.3 Tratamentos preservativos do bambu e sua efetividade

A qualidade do bambu empregado na construção de edificações é influenciada por vários fatores durante todo seu ciclo de vida que se inicia desde o plantio. As condições do clima, as características do solo e a umidade intervêm no crescimento das touceiras e definem as características dos colmos.

Pereira e Beraldo (2008, p.64) indicam que “o bambu se desenvolve facilmente quando as condições lhe são favoráveis”. Nesse sentido são importantes as condições de cultivo e o manejo do bambuzal para favorecer o desenvolvimento pleno dos colmos. Durante a fase de crescimento do bambu é fundamental manter as touceiras saudáveis, protegendo-as de possíveis pragas de insetos ou roedores, realizando adubação, irrigação ou calagem do solo se necessário. Adicionalmente é necessário fazer um controle da idade dos colmos na touceira por meio de sua marcação (Figura 20).

Figura 20 - Controle da idade em touceira de *Bambusa tuldoides* na fazenda da UFSC.

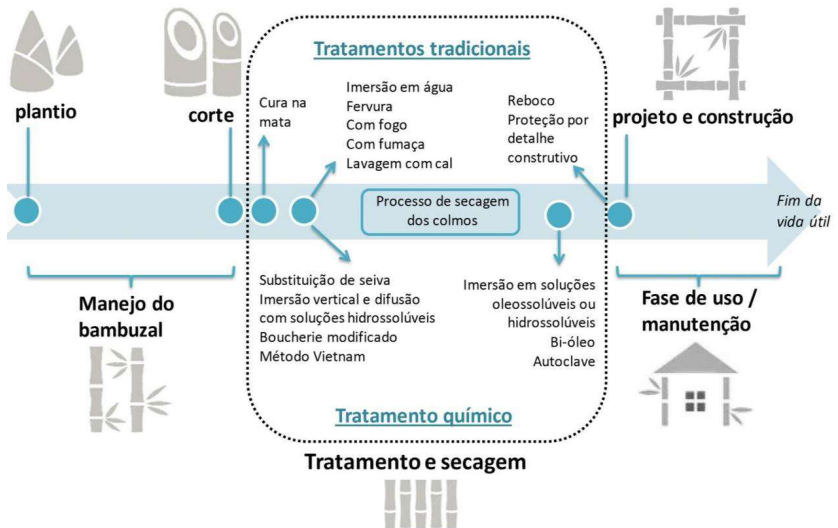


Fonte: autora

Em relação à colheita, Kleine (2010) assinala que a durabilidade dos colmos é mais elevada quando a colheita é realizada nos meses de outono e inverno (período menos chuvoso), pois a quantidade de carboidratos nos colmos maduros é mais baixa. Não sendo recomendável que a colheita seja feita durante a brotação para não comprometer os brotos.

Entre a colheita dos colmos e a aplicação do bambu na construção, eles devem passar pelos processos de tratamento e secagem, cuja sequência varia dependendo do método escolhido. A Figura 21 mostra as fases do ciclo de vida do bambu que serão explicadas a seguir.

Figura 21 - Fases do ciclo de vida do bambu aplicado na construção.



Fonte: autora (2019).

Antes da aplicação na construção, o bambu precisa passar pelo processo de **secagem**. Ghavami (2008) indica que há uma forte relação entre o teor de umidade e de amido dos colmos com os ataques de insetos e que, nos colmos com umidade inferior a 15% há menos probabilidades de ter presença de fungos. As propriedades físicas e mecânicas dos colmos melhoram quando estão secos. Segundo Vetter *et al.* (2015), a presença de substâncias higroscópicas no parênquima ocasiona que o bambu demore mais tempo para secar, se comparado com as madeiras que possuem uma densidade similar. Em relação a esse processo, Kleine (2010, p.29) afirma:

A secagem é certamente o fator isolado de maior influência na durabilidade do bambu, por estar relacionada tanto com a estabilidade dimensional, rachaduras e deformações, quanto com o ataque dos fungos.

### 2.3.3.1 Tratamentos tradicionais

Os métodos tradicionais utilizados para o tratamento do bambu provêm do conhecimento desenvolvido durante séculos por várias culturas no mundo, e neles são empregados produtos naturais, procedimentos econômicos e relativamente fáceis de realizar ou de reproduzir até mesmo por leigos. Pesquisas como a de Morán (2002), na América Latina, e Kaur *et al.* (2016b), na Índia, descrevem vários desses métodos. Na sequência estão detalhados aqueles que se encontram com maior frequência na literatura e cuja aplicação é mais usual.

#### *Cura dos colmos na mata*

A cura dos colmos na mata (ou avinagrado) se desenvolve logo após o corte do colmo e consiste em deixá-lo sem tirar ainda os galhos e apoiado na mesma base da qual foi tirado, durante 2-3 semanas (MORÁN, 2002). Liese e Tang (2015b) indicam que com esse método a respiração dos tecidos do colmo continua acontecendo. O teor de amido e de açúcares no colmo diminui, o que posteriormente reduz o ataque de brocas, mas não atenua o ataque de fungos nem de cupins.

#### *Imersão dos colmos em água*

A imersão dos colmos em água é um método muito utilizado na Ásia, consistindo em submergir os colmos frescos em água - seja corrente ou estagnada - durante 1-3 meses com o objetivo de lixiviar (ou degradar) os carboidratos. Segundo alguns autores, o efeito do tratamento é similar ao do procedimento anterior: redução do ataque de brocas, mas não de cupins ou fungos. Porém, estudos mais recentes desenvolvidos na Índia mostram maior eficácia desse tratamento especificamente com a espécie *Dendrocalamus strictus* (KAUR *et al.*, 2013). Liese e Tang (2015b) indicam que a redução dos carboidratos nesse método ocorre devido à ação bacteriana e, conseqüentemente, os colmos poderiam apresentar mau odor após o procedimento.

Morán (2002) afirma que esse método era empregado antigamente na América Latina, aproveitando que os colmos precisavam ser transportados das regiões montanhosas para o litoral pelos rios e, dessa forma. Logo, o bambu era tratado durante esse tempo, somando de 3 à 4 semanas.

### *Fervura do bambu*

O método de fervura do bambu em água (roliço ou em taliscas), entre 30 e 60 minutos, melhora sua resistência aos ataques de brocas e contra alguns fungos. No entanto, é preciso atentar para o tempo durante o qual o bambu fica fervendo, já que o procedimento pode afetar a coloração do material (LIESE; TANG, 2015).

### *Tratamento com fogo ou calor*

No tratamento com fogo ou calor, o bambu é submetido a temperaturas superiores a 150 °C, o que modifica a estrutura da matéria orgânica e fornece ao material uma melhor resistência aos ataques de fungos e insetos. Esse tratamento reduz a posterior capacidade de absorver água pelos colmos. Todavia Leithhoff e Peek (2001) indicam que depois que o bambu passa por esse tratamento ocorre uma redução de suas propriedades mecânicas.

Morán (2002) aponta que esse método era utilizado tradicionalmente na Colômbia e no Brasil. Atualmente esse tratamento é muito utilizado para tratar colmos que serão empregados em movelaria, sendo o fogo aplicado com o auxílio de um maçarico. Depois do tratamento com fogo, os colmos de bambu mudam sua cor de verde para ocre. Este tratamento é utilizado geralmente em bambus do gênero *Phyllostachys*.

### *Tratamento com fumaça*

O tratamento com fumaça se realiza no bambu fresco; os colmos podem ser tratados individualmente ou em grupos empilhados dentro de fornos ou câmaras, onde são queimados combustíveis orgânicos durante vários dias até que o teor de umidade dos colmos seja igual ou inferior a 12%. Este processo reduz a degradação biológica.

Durante o processo, ocorrem mudanças internas nos carboidratos, já externamente os resíduos da fumaça são depositados na superfície dos colmos, oferecendo proteção contra fungos e insetos. Esse tratamento

reduz também a possibilidade de ocorrerem rachaduras. Depois da sua aplicação, a cor do bambu muda e também os colmos adquirem um odor ácido que pode influenciar nos usos posteriores do material (LIESE; TANG, 2015).

Pesquisadores de tratamentos tradicionais indicam que esse método também foi utilizado pelos camponeses de um modo mais artesanal na América Latina para tratar o bambu (MORÁN, 2002) e na Índia para tratar madeiras (KAUR *et al.*, 2016c).

Kaur *et al.* (2016c) mostram em uma experiência com bambus da espécie *Dendrocalamus strictus*, que os colmos tratados com fumaça manifestam maior resistência à degradação causada por fungos, insetos ou calor. Os autores explicam que o calor gerado durante a pirólise deve alterar as células do parênquima, resultando na modificação estrutural do amido e incrementando o da lignina, melhorando assim as propriedades mecânicas dos colmos. Os autores recomendam combinar esse tratamento com outros para maior efetividade.

#### *Lavagem com cal*

A lavagem com cal é um tratamento onde o bambu é pintado com cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), que posteriormente se transforma em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), ao reagir com o  $\text{CO}_2$  da atmosfera, minimizando então a absorção da água.

A superfície tratada se torna alcalina evitando os ataques de fungos. Com esse tratamento o bambu é “pintado” com uma cor branca, que poderia até servir como acabamento; por causa dessa cor final esse modo de preservação é conhecido na América como “branqueamento com leite de cal”.

Este tratamento funciona para as esteiras, já para colmos o efeito não é tão protetor, pela falta de aderência com o córtex.

#### *Proteção com reboco*

O revestimento do bambu é outro método de proteção, podendo ser feito com vários materiais, dentre eles podem ser citados o barro, a areia, o cimento e o estrume bovino. Esses materiais isolam o bambu do entorno protegendo-o do ataque de fungos e insetos. Um exemplo conhecido desse tipo de proteção é o método construtivo do *pau-a-pique* – conhecido como *bahareque* ou *quincha* na Região Andina.

Em Florianópolis, Conceição (2012) salienta que na época da colonização portuguesa se utilizava esta técnica construtiva nas paredes



internas das casas, tal como o bambu servia para elaborar as tramas para fixar o revestimento.

### *Proteção obtida por meio de processos projetuais e construtivos*

Esse tipo de proteção permite reduzir danos relacionados com a umidade (fungos), com a influência dos raios UV e até prevenir ataques de insetos (cupim de solo).

Para isto, é importante isolar os elementos construtivos de bambu do contato direto com o solo, ter uma boa ventilação, cuidar para que os cortes dos colmos sejam efetuados próximos aos nós para um melhor encaixe e uma maior estabilidade estrutural; tanto quanto projetar telhados com beirais amplos para proteção da chuva e da incidência direta do sol no material, etc.

### *Outros métodos tradicionais de preservação do bambu*

Existem métodos tradicionais empregados ao redor do mundo para o tratamento do bambu e alguns deles ainda são pouco conhecidos, sendo um campo pouco explorado nas pesquisas que poderiam mostrar caminhos mais sustentáveis para preservação do bambu, a ser empregado na construção.

Morán (2002) cita dois métodos adicionais de preservação do bambu utilizados tradicionalmente na América Latina: o caso do Equador, com aguardente (que provém da fermentação do extrato da cana-de-açúcar) para “curar” os instrumentos musicais andinos de bambu e o caso das selvas da região de Mato Grosso no Brasil, onde que os índios tratavam o bambu com **tanino**, proveniente da casca da árvore conhecida como urunday ou urunday no Paraguai e que no Brasil têm vários nomes populares como *gonçalo-alves*, *gibatão*, *aroeirão*, *aderno*, entre outros.

Hoje em dia desde o ponto de vista ambiental até o da saúde humana, os métodos tradicionais de preservação do bambu são valorizados como uma resposta aos impactos causados pelos tratamentos químicos. É por isso que nos últimos anos pesquisadores como Chung *et al.* (2009), Sun *et al.* (2012), Xu *et al.* (2013), Bremer *et al.* (2013), Sharma *et al.* (2013), Matsuoka e Beraldo (2014) e Kaur *et al.* (2016b.c), desenvolveram pesquisas que procuram métodos de preservação do bambu naturais e, portanto, menos agressivos. Essas pesquisas abordam vários temas, entre eles: o uso de preservativos provenientes de plantas e de árvores como o caso do tanino, a modificação térmica dos colmos, os efeitos que esses tratamentos exercem na anatomia e na composição

química dos colmos, a procura por métodos naturais que permitam manter a coloração do bambu mesmo depois da secagem, a proteção ao fogo, entre outros. Observa-se, no entanto, que nesta área as pesquisas ainda são incipientes.

### 2.3.3.2 Tratamentos químicos

A origem do tratamento químico do bambu se baseou na réplica dos tratamentos usados para as madeiras, as diferenças anatômicas entre ambos os materiais fazem com que o bambu seja mais resistente à penetração de líquidos.

Os colmos de bambu são ocos, seu córtex é duro e impermeável, impedindo a penetração dos produtos preservativos por essa região do colmo, pois não existem feixes radiais nos colmos de bambu, somente longitudinais e os únicos pontos em que eles se entrelaçam transversalmente são os entrenós, o que poderia impedir a passagem de líquidos internamente de um entrenó para outro. A penetração dos produtos ocorre principalmente na direção longitudinal dos colmos.

Kleine (2010) destaca o desafio que implica introduzir os produtos preservativos nos colmos de bambu e conseguir sua impregnação no tecido lenhoso. Indica também que para facilitar o processo são utilizados solventes. Segundo o tipo de solvente empregado, os produtos químicos para preservação podem ser oleossolúveis ou hidrossolúveis.

#### *Preservativos oleossolúveis*

Esse tipo de preservativos são substâncias que repelem a água e são utilizados em colmos secos. A aplicação desses preservativos pode deixar os colmos com uma tonalidade marrom escura. Entre os produtos mais conhecidos estão os creosotos de origem mineral ou vegetal, obtidos durante a fabricação de carvão. Kleine (2010) e Liese e Tang (2015) sinalizam que em muitos países sua venda e uso estão limitados porque apresentam propriedades cancerígenas.

Os solventes mais usados são: querosene, óleo diesel, óleo queimado e aguarrás. O produto oleossolúvel mais comum é o pentaclorofenol, excelente fungicida e bom inseticida, que é dissolvido num teor de 5%, porém cuja aplicação é proibida (PEREIRA; BERALDO, 2008).

Adicionalmente, Kleine (2010) menciona a possibilidade de aplicação de óleo de palma (ou dendê) e óleo diesel no bambu, que

embora não tenham ação inseticida nem fungicida, são empregados para vedar o bambu e impedir o ingresso da umidade.

### *Preservativos hidrossolúveis*

Os preservativos hidrossolúveis são sais orgânicos e inorgânicos dissolvidos em água, que penetram nos tecidos do bambu por difusão e, uma vez que a água se evapora, eles ficam no colmo para protegê-lo. Esses produtos poderiam ser aplicados por imersão em colmos secos e substituição de seiva em colmos frescos (PEREIRA; BERALDO, 2008).

Liese e Tang (2015) subdividem esses preservativos em: lixiviáveis e fixos. Os produtos **lixiviáveis** penetram nos tecidos dos colmos de bambu por difusão e podem ser aplicados por meio de métodos com e sem pressão. O Quadro 5 mostra os produtos mais utilizados para o tratamento do bambu, conforme suas vantagens e desvantagens de uso.

Quadro 5 - Preservativos hidrossolúveis lixiviáveis mais empregados no tratamento do bambu. (início)

	<b>Vantagens de uso</b>	<b>Desvantagens de uso</b>
Compostos que contém boro – como o tetraborato de sódio ou o octaborato de sódio	Alta solubilidade em água. Efetivos contra muitos fungos, brocas e cupins. Os sais de boro em altas concentrações podem retardar a ação do fogo. Baixa toxicidade para humanos.	Não efetivo contra certos tipos de fungos ( <i>soft rot</i> ).
Cloreto de zinco e sulfato de cobre	Podem retardar o fogo. O cloreto de zinco não é tóxico para humanos. O sulfato de cobre tem baixa toxicidade para humanos.	Sais muito ácidos que poderiam corroer elementos de união metálicos.
Pentaclorofenato de sódio	Fungicida efetivo.	Uso restrito em vários países / ele traz riscos para a saúde humana.
TCMBT thiocyanatomethylthio benthiazole	Protege os colmos frescos de fungos e manchas.	Toxicidade para humanos em fase de estudo.

(fim)

Ácido pirolenhoso – conhecido como vinagre da madeira	Produto natural. Apresenta efetividade como fungicida e inseticida.	Apresenta um cheiro forte de fumaça. Necessita de mais pesquisas.
Glicóis – etilenoglicol e propilenoglicol	Compostos orgânicos, altamente solúveis. Alta ação fungicida e de rápida penetração no bambu. Não apresentam toxicidade para seres humanos.	Devem ser usados conjuntamente com algum inseticida. Seu uso é praticamente desconhecido em alguns países como Brasil.

Fonte: elaborado pela autora com base em Kleine (2010) e Liese e Tang (2015)

Os preservativos hidrossolúveis **fixos** reagem com a lignina do colmo de bambu, formando compostos insolúveis tóxicos para os xilófagos e oferecendo uma proteção mais efetiva frente às condições climáticas. Esses preservativos são compostos de cromo e o cobre. O primeiro é responsável pela fixação no material e o segundo atua contra alguns fungos, que misturados com boro, constituindo o borato de cobre cromatado (CCB), o qual protege os colmos de ataques de insetos.

### 2.3.4 Métodos de aplicação de preservativos no bambu

Os preservativos naturais e químicos utilizados para o tratamento do bambu podem ser aplicados quando o colmo se encontra verde ou seco. Para isto adotam-se dois tipos de métodos: sem pressão ou com pressão. Os métodos sem pressão estão resumidos no Quadro 6:

Quadro 6 - Métodos sem pressão para aplicar produtos químicos no bambu.

(início)

Método de aplicação (sem pressão)	Colmos tratados	Duração	Descrição
	Recém cortados, ainda com ramos.	8-14 dias	Os colmos são colocados em posição vertical, com as bases dentro de um recipiente com o líquido preservativo hidrossolúvel; a base do colmo (até 25 cm) permanece dentro do recipiente.

(fim)

<b>Método</b>	<b>Colmos</b>	<b>Duração</b>	<b>Descrição</b>
Imersão ou difusão	Colmos frescos, sem ramos.	7-10 dias para tiras, 14-20 dias roliço.	O bambu é submerso em uma solução hidrossolúvel. Os diafragmas dos colmos precisam ser perfurados antes para o líquido ingressar ao interior de cada entrenó.
Método Vietnam (ou por gravidade)	Colmos frescos, sem ramos.	Variável. O tratamento finaliza quando da base do colmo sai o líquido da mesma cor com a qual é colocado na parte superior.	Os colmos são colocados em posição vertical, o entrenó mais alto é usado como reservatório do líquido preservativo hidrossolúvel. É tirada uma camada de aproximadamente 2 mm da parede interna desse entrenó antes de aplicar o produto químico, que depois irá descendo por gravidade pelo interior das paredes do colmo. A solução é colocada diariamente para manter o entrenó cheio.
Imersão vertical e difusão	Colmos frescos, sem ramos.	Aprox. 2 semanas	Os colmos são colocados em posição vertical com todos os diafragmas internos perfurados exceto o último (na base) que é usado como reservatório do líquido preservativo hidrossolúvel. A solução é colocada diariamente para manter o colmo cheio.
Tratamento de frio e calor (bióleo)	Colmos secos.	1-2 dias	É realizado com creosoto. O líquido é colocado em um tanque com os colmos (perfurando os diafragmas) a uma temperatura constante de 90 °C por 3 h, depois se deixa o líquido esfriar. Depois os colmos são colocados em posição vertical para tirar os excessos.
Injeção nos entrenós			Perfura-se cada entrenó para introduzir uma seringa de injeção com solução preservativa. Os orifícios não devem estar alinhados entre si. Depois os furos devem ser fechados e a solução espalhada em toda a superfície interna.

Fonte: elaborado pela autora com base em Kleine (2010), Gnanaharan (2010), Liese e Tang (2015)

Os métodos de aplicação **com pressão** que são empregados para acelerar os processos de impregnação dos preservativos no bambu, são o Boucherie modificado e a autoclave.

O método do Boucherie modificado utiliza o princípio de substituição de seiva e deve ser aplicado aos colmos recém-cortados (máximo 24 h após do corte) ou em colmos saturados. Durante esse procedimento é aplicado o líquido preservativo hidrossolúvel na base de cada colmo por meio de um compressor. Os bambus são deitados com uma pequena inclinação do ápice para permitir a saída e captação do resíduo do tratamento em um recipiente e sua posterior reutilização. O procedimento pode levar 3 horas ou mais, dependendo da espécie de bambu e do comprimento do colmo.

Espelho e Beraldo (2008) expõem a possibilidade de utilizar este método também por gravidade, da mesma forma em que é aplicado para madeiras. Desta forma, esta solução é uma ótima opção para o tratamento dos colmos de bambu em áreas rurais mais isoladas.

O método da autoclave é o mesmo procedimento utilizado para as madeiras e se destina ao tratamento do bambu seco, no caso dos colmos de bambu, antes da aplicação deste método é preciso perfurar internamente os diafragmas. Apesar disso, os colmos de bambu das espécies que têm paredes mais finas podem rachar durante o procedimento.

Segundo indicado por Gnanaharan (2010) e Liese e Tang (2015) a autoclave é um método que precisa de equipamento de grandes dimensões e instalações adequadas. Kleine (2010) afirma que no Brasil o tratamento do bambu por autoclave é caro e o preservativo utilizado (Arseniato de Cobre Cromatado - CCA) é altamente tóxico por causa do arsênio.

## 2.4 INFLUÊNCIA DO PROJETO NA DURABILIDADE DO BAMBU

Ao longo do tempo os conhecimentos sobre a aplicação do bambu na construção evoluíram na *praxis* e por isso nos saberes populares podem ser encontradas orientações para um uso mais eficiente desse material nas edificações; por exemplo, é muito conhecida a frase que lembra do uso de “botas e chapéu” em um edifício, fazendo referência à necessidade do isolamento do bambu do solo e sua proteção da chuva e do sol por meio do uso de grandes beirais.

Na procura por sistematizar esses conhecimentos, pesquisas desenvolvidas por Hidalgo-López (1981; 2003) registram um grande número de aplicações do bambu ao redor do mundo e o processo que o material deve seguir desde o corte até a construção.

Essas pesquisas descrevem e ilustram as possibilidades de tratamento e de beneficiamento, a execução de uniões e as aplicações do material em vários elementos construtivos: pisos, estrutura, painéis, coberturas, entre outros.

Com o objetivo de difundir o uso adequado do bambu em edificações nos últimos anos têm sido publicados vários relatórios técnicos e manuais de construção, tais como, Hidalgo-López (1981), GTZ (1999), Janssen (2000), Morán (2005), Minke (2010) e *Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción* - SENCICO (2014). Essas publicações apresentam guias ilustrados para a aplicação do bambu nas edificações, iniciando com a escolha dos colmos no bambuzal e acabando na construção e manutenção. Todos eles fazem ênfase na durabilidade do material e apontam orientações gerais para o projeto e opções de detalhes construtivos. O Anexo A apresenta um extrato do manual de Hidalgo-López (1981), que contém recomendações e imagens sobre as características do bambu que deve ser usado em construção e destaca alguns cuidados na execução de detalhes construtivos.

Atualmente, as normas de construção com bambu existentes (ISO 22156, 2001; NSR-10, 2010; Norma técnica E-100, 2012; IS, 2012; NEC-SE-Guadua, 2016) destacam a necessidade de atender o tema da durabilidade do material. Esses documentos, além de expor temas relacionados com o tratamento, transporte e secagem do material, apresentam várias recomendações gerais sobre sua proteção no projeto e construção, dentre eles:

- a) observar as condições do entorno em que estará localizada a edificação (desníveis, orientação, escoamentos, entre outros);
- b) estabelecer a VUP que orientará o tipo de aplicação e proteção que o bambu terá no edifício;
- c) considerar a função que terá cada espaço da edificação e a exposição que terá cada elemento de bambu às diferentes atividades dos usuários;
- d) realizar a classificação visual por defeitos do bambu antes de sua aplicação na construção. Não utilizar nas estruturas colmos que apresentem grandes rachaduras, deformações, furos ou sinais de infestação de micro-organismos ou insetos;
- e) estocar o bambu em locais ventilados, protegidos do sol e isolados do contato direto com o solo;
- f) a limpeza dos colmos de bambu não deve comprometer o córtex.
- g) contratar mão de obra especializada para a construção;

- h) os elementos metálicos utilizados para as uniões ou que estejam em contato direto com o bambu devem ser protegidos com produtos anticorrosivos;
- i) nenhum tipo de instalação deve atravessar os elementos estruturais de bambu e
- j) orientar as manutenções para os elementos de bambu durante o uso.

As normas também têm algumas recomendações relacionadas especificamente à proteção dos agentes de degradação que poderiam afetar ao bambu durante o uso. O Quadro 7 apresenta uma síntese.

Quadro 7 - Recomendações das normas para proteção do bambu no projeto.

Agente de degradação	Recomendações	
Umidade	Para proteger da umidade por capilaridade e	Não deixar o bambu em contato direto com o solo. Os pilares de bambu devem colocar-se sobre bases (de concreto, pedra, etc.) que os afastem do nível do chão. Não colocar as bases dos pilares dentro da concretagem das fundações. Deve existir um tipo de isolamento (metálico ou de neoprene) entre os pilares de bambu e as bases que os separam do solo.
	Para proteger da umidade proveniente de chuvas	Usar grandes beirais. Usar canais para coleta de água de chuva nas coberturas. Em caso de bambus expostos às intempéries, usar produtos impermeabilizantes de proteção.
	Para proteger da umidade por condensação	Dar ventilação aos espaços onde possa existir condensação (como cozinhas e banheiros). Proteção dos elementos de bambu com produtos impermeáveis.
Agentes bióticos	Secagem e tratamento preservativo do bambu. Vedar aberturas entre elementos construtivos para evitar o ingresso de roedores ou insetos.	
Uso e exposição ao longo do tempo	Inspeção e ajuste das estruturas. Aplicar tratamento dos elementos de bambu que apresentem sinais de ataque de xilófagos. Substituir as peças que comprometam o adequado funcionamento dos componentes construtivos e a edificação.	

Fonte: elaborado pela autora com base nas normas ISO 22156, 2001; NSR-10, 2010; Norma técnica E-100, 2012; BIS, 2012 e NEC-SE-Guadua, 2016.



Em relação à periodicidade das manutenções relacionadas com a aplicação de produtos de proteção no bambu, a norma técnica E-100 (2012) indica que para elementos expostos às intempéries, essa operação deve ser efetuada a cada seis meses, para elementos em áreas externas cobertas cada ano e, no caso de bambu em espaços interiores, a cada dois anos.

No caso do Brasil, a partir de 2016, a Comissão de Estudo de Estruturas de Bambu CE -002:126.012 está trabalhando na elaboração de duas normas técnicas: a primeira trata sobre projeto de estruturas de bambu e a outra sobre ensaios de caracterização físico mecânica do material. No primeiro documento é tratado o tema da durabilidade desde duas abordagens: origem e qualidade do bambu, bem como os fatores que devem ser considerados no projeto. No entanto, as recomendações são as mesmas expostas pelas outras normas internacionais.

## 2.5 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

A NBR 5674 (1999) indica que os métodos de inspeção servem para auxiliar no diagnóstico do estado de uma edificação ou de suas partes. Para o desenvolvimento da fase de campo deste estudo foi necessário avaliar as condições do bambu empregado nas edificações. Como indicado no capítulo 1, não foram encontradas técnicas de inspeção de elementos de edificações em uso e que sejam específicas para o bambu. Em função disso, optou-se por analisar as que são utilizadas para edificações de madeira, por ser o material com características mais próximas àquelas do bambu.

Para realizar os procedimentos de inspeção é primordial ter um conhecimento profundo dos materiais que serão avaliados. Os especialistas que executam as inspeções devem compreender os efeitos que os fatores bióticos e abióticos têm na madeira, por exemplo, e associá-los com os processos de deterioração ao longo do tempo (BRITO, 2014) e para isto devem seguir uma metodologia sistemática e rigorosa.

Os métodos de inspeção auxiliam na obtenção e no registro de dados de avaliações das condições de durabilidade e desempenho dos elementos de madeira e de bambu para determinar as características do material em serviço. Sousa, Branco e Lourenço (2014) indicam que na inspeção e diagnóstico de elementos de madeira é preciso dar especial atenção aos processos de degradação e à existência de defeitos que podem influenciar nas propriedades dos elementos.

Cruz (2011) determina que as dificuldades existentes para executar esse tipo de inspeções no caso de edifícios de madeira se traduzem em

uma baixa eficiência das intervenções, levando à demolição de estruturas que poderiam ser mantidas em serviço. Nas inspeções se examina o estado dos elementos de madeira, sendo preciso ter um método de avaliação definido, que permita diminuir a subjetividade que poderia existir entre medições de um mesmo elemento realizadas em várias ocasiões (SOUSA; BRANCO; LOURENÇO, 2014).

Brito (2014) apresenta uma varredura, descrição e análise da classificação das técnicas de inspeção de madeiras empregadas em vários países, expondo seis pesquisas e posteriormente resume as principais técnicas em uma tabela (Anexo B), onde as classifica segundo o nível de inspeção em: preliminar (ou geral) e detalhada (por elemento).

A inspeção preliminar é principalmente externa, envolvendo os métodos de inspeção visual e ensaios mecânicos nos principais elementos, enquanto na inspeção detalhada por elemento estão: a inspeção visual detalhada, ensaios mecânicos, testes físicos, testes químicos e testes biológicos.

Araújo (2015) também faz uma revisão sobre as técnicas de inspeção e diagnóstico de estruturas de madeira em serviço, focando sobretudo nas técnicas não destrutivas e descrevendo amplamente a inspeção visual.

No caso desta pesquisa, é necessário considerar que as edificações que foram avaliadas estão em serviço, portanto, as técnicas escolhidas para as inspeções dos elementos de bambu devem ter o menor impacto possível no material. Por esse motivo, dentro das técnicas de inspeção apresentadas Valle, Terezo e Teles (2004) e por Brito (2014) se selecionaram os ensaios não destrutivos (END) que potencialmente poderiam ser usados para o bambu, e que são explicados a seguir. Ao final se realiza uma síntese sobre as vantagens e limitações de uso de cada um para esta pesquisa.

### **2.5.1 Ensaios não destrutivos de Inspeção**

Depois de ter claro o objetivo da inspeção, o processo inicia-se com uma investigação da edificação: registros de projeto e construção, o histórico de uso, inspeções, reformas e manutenções. Isto permite conhecer os eventos que levam ao desempenho e estado de conservação do elemento analisado, facilitando o planejamento dos procedimentos de inspeção por meio da identificação dos pontos que devem ser observados e analisados. Posteriormente, fornece informações que depois são organizadas em uma ficha que orienta o processo de inspeção.

Antes de executar as inspeções é preciso determinar as condições de trabalho próximas aos elementos que serão estudados: acessibilidade, iluminação, segurança e limpeza. Isto permitirá prever a necessidade de uso de materiais ou equipamentos como lanternas, escovas, espelhos ou escadas.

#### 2.5.1.1 Inspeção visual

Trata-se de um método tradicional de abordagem da edificação, empregado para fazer um levantamento do estado de conservação e das características dos elementos em serviço. Ele serve para ter uma perspectiva global do edifício, em que são observadas as características gerais dos elementos estudados. Sousa, Branco e Lourenço (2014) exibem vários fatores que podem ser identificados durante esse levantamento de dados:

- a) medição geométrica dos elementos – caracterização das dimensões;
- b) determinação da espécie da madeira;
- c) teor de umidade;
- d) identificação de defeitos naturais como os nós e rachaduras de secagem;
- e) identificação de danos induzidos: deformações, rachaduras ou rupturas de carregamento;
- f) identificação de possível degradação biológica – características e extensão;
- g) identificação de pontos e seções críticas da estrutura e
- h) estado de uniões e apoios.

Os mesmos autores recomendam que o resultado final dessas inspeções pode ser representado em mapas de danos, que indiquem a localização das ocorrências e mostrem as zonas críticas que precisam ser estudadas com maior profundidade. Nessa fase o registro fotográfico é fundamental, porque complementa as anotações sobre o observado na estrutura, oferecendo possibilidades de comparação entre as imagens de cada inspeção no caso de pesquisas focadas no estudo da evolução das patologias ao longo do tempo.

A inspeção visual deve ser desenvolvida a curta distância e ao longo de todo o elemento analisado, por isso se recomenda o uso de ferramentas simples. Alguns dos instrumentos usados para este procedimento são: fita métrica, paquímetro, pincel ou escova, luvas, nível, formão, espelho, lupa, martelo de borracha e câmera de fotos.

### 2.5.1.2 Medição de umidade

Este é outro método tradicional que serve para determinar o teor de umidade da madeira em serviço. Existem dois tipos de higrômetros: resistivo e indutivo. Os higrômetros resistivos possuem duas ou mais agulhas, que devem ser inseridas na peça avaliada e seu funcionamento está baseado na variação da condutibilidade elétrica, dependendo do teor de umidade contido na madeira.

Os higrômetros indutivos (ou de contato) só precisam ser encostados nas peças em estudo e trabalham medindo a variação de campos magnéticos, dependendo da umidade e da densidade da madeira (VALLE; TEREZO; TELES, 2004). Para o uso desse instrumento na avaliação do bambu em edificações, seria necessário analisar a viabilidade de sua calibração de acordo com as características do material.

### 2.5.1.3 Teste de funcionamento ou escarificação

É um teste tradicional que consiste em realizar uma punção com uma ferramenta – como um furador de gelo. É fundamental prestar atenção nesse tipo de teste para saber diferenciar a brandura da madeira por causa dos micro-organismos ou pelo excesso de umidade.

### 2.5.1.4 Teste de percussão

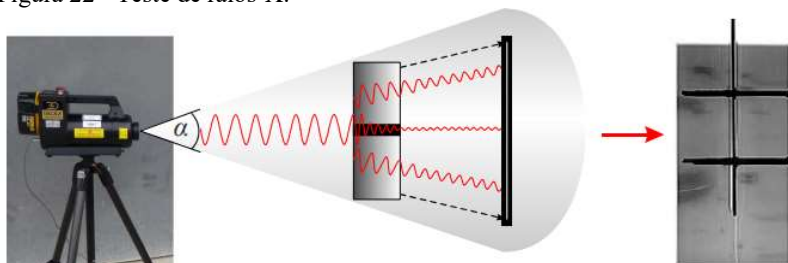
Consiste em bater com um martelo - que pode ser de borracha ou de silicone para evitar danificar o material - na superfície dos elementos de madeira, interpretando as diferenças entre os tipos de sons emitidos nas regiões sólidas ou ocas. Valle, Terezo e Teles (2004) comentam que podem existir erros de interpretação por causa da variação do som ocasionada pela presença de umidade nas peças ou nas proximidades das ligações, bem como a dificuldade existente para determinar a extensão das deteriorações.

### 2.5.1.5 Raios-X

É uma técnica que permite inspecionar os elementos quase sem contato por meio de um equipamento que pode ser portátil (FRANKE; FRANKE; SCHARMACHER, 2013). Os raios-X possuem a capacidade de passar através de materiais e a intensidade com que os atravessam depende da densidade do material.

Deste modo, no caso das peças em madeira as regiões sãs oferecem maior resistência à passagem dos raios em comparação às regiões degradadas. (VALLE; TEREZO; TELES, 2004). A Figura 22 mostra o funcionamento desse tipo de ensaios.

Figura 22 - Teste de raios-X.



Fonte: Franke, Franke e Scharmacher (2013).

A peça que será analisada deve estar entre o emissor dos raios-X e a placa de filme. Assim sendo, os raios passarão através do objeto com diferentes intensidades dependendo de suas características até chegar à placa de filme, que possui uma absorção específica desses raios e gera um radiograma que é transferido a uma imagem em escala de cinzas.

Uma indicação de Feio e Lourenço (2005) para a aplicação deste método é que se o ataque biológico estiver em andamento é possível chegar a identificar o agente que o ocasiona. Entre as limitantes, estão que nem sempre é possível ter acessibilidade e facilidade de manobra ao redor das peças analisadas. Da mesma maneira, Franke, Franke e Scharmacher (2013) apontam que, a intensidade dos raios, as distâncias entre o transmissor, o objeto e as características da placa de filme podem restringir os resultados, a resolução e precisão do método.

No entanto, existem limites de exposição de seres vivos a fortes doses - ou repetidamente - desse tipo de radiação, pelos efeitos nocivos que pode trazer à saúde (LIMA; AFONSO; PIMENTEL, 2009).

#### 2.5.1.6 Ultrassom ou propagação de ondas

Valle, Terezo e Teles (2004) exibem que esse método é frequentemente empregado para determinar as propriedades da madeira por meio da velocidade de propagação do som, sendo que é utilizado também nas inspeções de estruturas de madeira em edificações históricas.

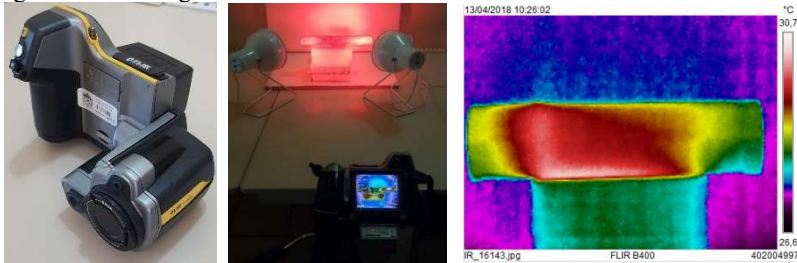
No Brasil, este método não destrutivo tem sido empregado várias vezes para avaliar a heterogeneidade do bambu (PEREIRA; BERALDO,

2008; ESPELHO; BERALDO, 2008), a degradação de colmos e as taliscas de bambu (BERALDO; FERREIRA; VIEIRA; 2006, DA SILVA *et al.*, 2009, MATSUOKA; BERALDO, 2014). Nessas pesquisas os procedimentos foram complementados com outros métodos para obter os resultados desejados.

### 2.5.1.7 Termografia

É um ensaio baseado nas radiações térmicas que cada material emite quando é exposto a uma fonte de calor. Um aparelho termográfico detecta esse calor e permite identificar diferenças no material. Valle, Terezo e Teles (2004) juntamente com López, Basterra e Ramón-Cueto (2014), indicam que nos locais das peças de madeira com maior quantidade de vazios próximos à superfície, a temperatura será díspar e isto será visível através da luz infravermelha que o objeto reflete (Figura 23).

Figura 23 - Termografia.



Fonte: autora

Por suas características é um método que também permite identificar a presença de umidade nos elementos construtivos. *Gupta et al.* (2015) comentam que esse método tem sido aplicado com sucesso na caracterização de estruturas poliméricas, para avaliar a degradação e a durabilidade da madeira em corpos de prova ou em edificações em uso.

### 2.5.1.8 Provas de carga

As provas de carga *in loco* permitem determinar o módulo de elasticidade nos pavimentos de edificações e, com variações na execução, podem ser feitas provas de descarregamento, utilizando-se transdutores de deslocamentos ou medidores de deformação que servem para avaliar deslocamentos localizados ou de ligações (BRITO, 2014).

## 2.5.2 Aplicabilidade das técnicas não destrutivas para o bambu

O Quadro 8 mostra a análise das vantagens e limitações que cada ensaio possui para sua aplicação na análise de colmos de bambu em edificações para aplicá-los nos estudos de caso, com base nos instrumentos disponíveis, no cronograma da pesquisa e na menor intervenção possível nas edificações. Destacam-se na cor cinza as técnicas não destrutivas que foram consideradas as mais viáveis para este estudo de caso: a inspeção visual, os testes de percussão e a Termografia. Esta última como um complemento, que permitiria analisar de forma mais detalhada o estado dos colmos de bambu em edificações.

Quadro 8 - Aplicabilidade dos ensaios para o bambu.

(início)

Ensaio	Vantagens	Limitações
<b>Inspeção visual</b>	É uma técnica relativamente fácil de se aplicar desde que o pesquisador esteja familiarizado com as manifestações patológicas do material.	Precisa ser complementado por outros ensaios para maior precisão.
<b>Medição de umidade</b>	Permitiria determinar o teor de umidade dos colmos de bambu e relaciona-lo com as manifestações patológicas e outros fatores.	Os higrômetros resistivos (disponível na universidade) possuem duas ou mais agulhas que devem inserir-se na peça avaliada, deixando pequenos furos no colmo. O higrômetro precisa ser calibrado para cada espécie de bambu (ensaios prévios no laboratório)
<b>Teste de funcionamento ou escarificação</b>	Permite identificar zonas brandas nos colmos.	No caso dos colmos de bambu, as zonas brandas estariam localizadas na parede interna sob o córtex.
<b>Teste de percussão</b>	Não precisa de maiores equipamentos para sua aplicação.	Os colmos de bambu ociosos poderiam dificultar a interpretação do som durante os testes. Precisa ser complementado com outra técnica para maior precisão.

(fim)

<b>Ensaio</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
<b>Raios - X</b>	Inspeção dos elementos quase sem contato	Dificuldade de acessibilidade aos colmos das edificações para situar os equipamentos. Equipamentos não disponíveis na universidade.
<b>Propagação de ondas ou ultrassom</b>	Serve para identificar deteriorações internas nas peças. Poderia ser usado para avaliar ou caracterizar taliscas de bambu ou laminados.	Precisa de equipamento específico e também deve ser complementado com outros ensaios para maior precisão. A pouca espessura da parede do colmo (comparada com a madeira) e sua variação de densidade dificultariam o levantamento dos dados.
<b>Termografia</b>	Inspeção remota dos elementos que permite detectar o estado interno. Os equipamentos (câmara termográfica) estão disponíveis na universidade.	Precisa do equipamento específico e uma fonte de calor. É necessário fazer testes para verificar sua viabilidade para a inspeção dos colmos de bambu.
<b>Provas de carga</b>	Permitem avaliar a capacidade resistente e a segurança de estruturas	Quantidade de equipamentos necessários para a execução e seu deslocamento até as edificações Este tipo de avaliação não se enquadra no escopo específico desta pesquisa

Fonte: autora

As três técnicas selecionadas foram testadas antes de fazer o levantamento dos dados dos estudos de caso; no entanto, no decorrer destes testes, a termografia não resultou efetiva, como será apontado no seguinte capítulo.



### 3 MÉTODO, FERRAMENTAS E TÉCNICAS

Esta pesquisa tem abordagem quali-quantitativa, em que o principal procedimento adotado é a realização de estudos de caso. A abordagem quantitativa foi utilizada unicamente na análise das manifestações patológicas em cada caso, para visibilizar o número de peças afetadas com cada ocorrência em cada edificação.

Para atingir o objetivo geral desta pesquisa, foram propostas várias atividades que partem dos objetivos específicos, como mostrado no Quadro 9.

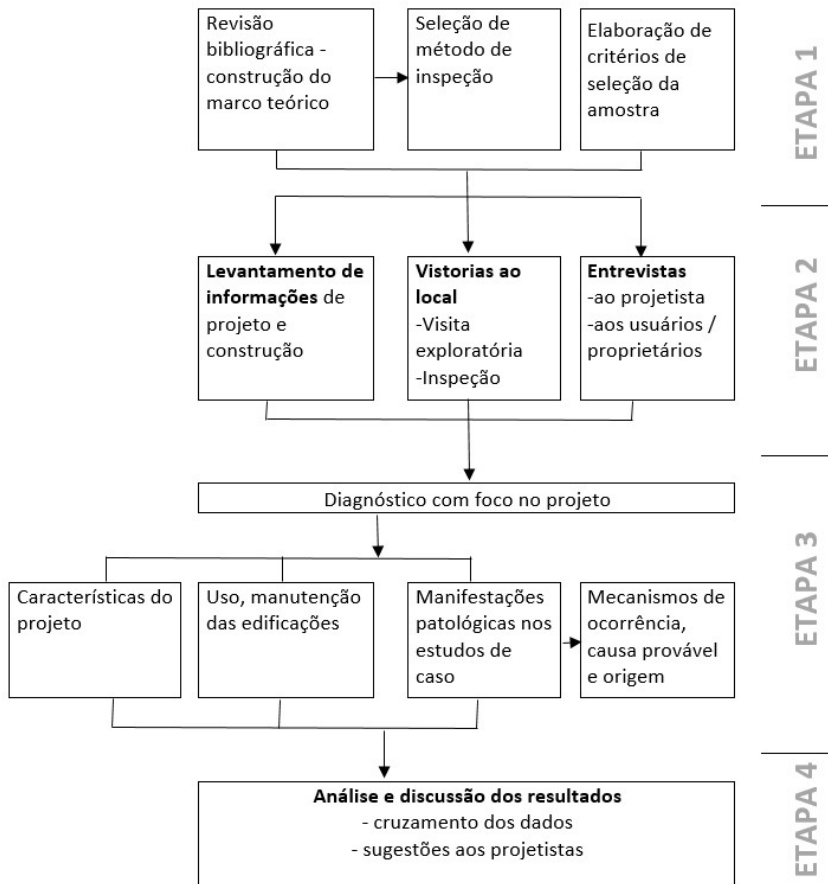
Quadro 9 - Relação dos objetivos específicos com as atividades de pesquisa.

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Atividades da pesquisa</b>
Apresentar os principais conceitos relacionados com a durabilidade do bambu em edificações.	<b>Revisão bibliográfica</b> sobre temas relacionados com a durabilidade do bambu em edificações. Estes conceitos foram atualizados no decorrer da pesquisa.
Definir um método para a inspeção da condição do bambu nas edificações.	<b>Análise da viabilidade de aplicação das técnicas de inspeção</b> com base em sua aplicação ao bambu e aos recursos disponíveis.
Identificar as características projetuais e construtivas de edificações com bambu na região Sul do Brasil.	Cadastro e seleção edificações com bambu na região Sul do Brasil. <b>Levantamento de dados</b> das edificações com os projetistas, os usuários e por meio de visitas. <b>Identificação das particularidades do uso do bambu</b> em cada edificação: tratamento, origem do material, elementos construtivos utilizados, uniões, detalhes construtivos, etc.
Relacionar as manifestações patológicas encontradas nas edificações analisadas nos estudos de caso, com o projeto e os fatores intervenientes.	<b>Diagnóstico da condição do bambu</b> nos estudos de caso para identificar quais <b>manifestações patológicas</b> podem estar <b>relacionadas com os processos de projeto e construção</b> .
Fazer sugestões que possam auxiliar aos projetistas, visando a aumentar a durabilidade do bambu nas edificações.	<b>Identificação das escolhas</b> de projeto recorrentes nas edificações que propiciam a degradação do bambu nas edificações na região e <b>apontando sugestões</b> para aumentar a durabilidade do bambu.

Fonte: autora

Todas estas atividades foram organizadas dentro de quatro fases: etapa preliminar; coleta e tratamento de dados; diagnóstico da condição do bambu e cruzamento dos dados (Figura 24).

Figura 24 - Etapas da pesquisa



Fonte: autora

### 3.1 ETAPA PRELIMINAR

Antes de iniciar os estudos de campo, fez-se necessário realizar uma revisão bibliográfica, apresentada no capítulo anterior, sobre vários temas: conceitos principais relacionados com a durabilidade, patologia da construção, propriedades do bambu, agentes agressores e tratamentos

preservativos, métodos não destrutivos de diagnóstico de patologias e que podem ser empregados na inspeção do bambu em edificações em uso. Esta revisão bibliográfica estendeu-se ao longo da pesquisa. O Quadro 10 mostra as principais referências utilizadas para cada tema nessa revisão.

Quadro 10 - Principais referências utilizadas na revisão bibliográfica.

<b>Tema desenvolvido</b>	<b>Principais referências utilizadas</b>
Durabilidade e sua relação com o desempenho e vida útil da edificação	John e Sato (2006), ISO 15686 (2012), NBR 15575 (2013).
Patologia da construção	Lichtenstein (1986), CIB/W86 (1993), Helene (1993), Rodriguez et al. (2004), John e Sato (2006), Broto (2006), Assis Vieira (2016).
Propriedades do bambu	Hidalgo-López (2003), Pereira e Beraldo (2008), Greco e Cromberg (2011), ISO 15686 (2012), Liese e Tang (2015).
Fatores intervenientes na durabilidade do bambu em edificações	Takeuchi (2004), Kleine (2010), Liese e Tang (2015), Morán (2002), Pereira e Beraldo (2008), Liese e Tang (2015), Kaur <i>et al.</i> (2016).
Influência do projeto na durabilidade do bambu	Hidalgo-López (1981), ISO 22156 (2001), Hidalgo-López (2003), NSR 10 (2010), Norma técnica E 100 (2012), NEC-SE-Guadua, (2016).
Técnicas de inspeção não destrutivas, métodos aplicáveis ao bambu	Cruz (2011), Brito (2014), Souza <i>et al.</i> (2014), Araújo (2015).

Fonte: autora

### 3.1.1 Critérios para a seleção da amostra

Para avaliar a condição do bambu em edificações que se encontram em serviço na região Sul do Brasil, o primeiro passo foi identificar essas edificações. Realizando-se o contato inicial com a Associação Catarinense do Bambu – BambuSC, com o objetivo de saber se possuíam registros de construções e/ou construtores que trabalhassem com bambu no Estado de Santa Catarina. Em sequência houve contato com a Associação Gaúcha do Bambu – Agabambu para o caso do Rio Grande do Sul. E por fim o Estado do Paraná, onde foram contatados

pesquisadores do material, já que não foi encontrado um grupo organizado específico da área nesse Estado. Foram realizadas também outras consultas a projetistas e permacultores, de forma a cadastrar edificações construídas com esse material na Região Sul.

Uma vez identificados, os construtores e/ou usuários, eles foram contatados e informados da pesquisa, bem como questionados sobre sua disponibilidade para participação na etapa de coleta dos dados. Adicionalmente, perguntou-se a cada um deles se possuíam conhecimento de mais construtores e/ou usuários, repetindo o procedimento. Dessa maneira, foi possível obter uma lista com edificações que poderiam fazer parte da pesquisa e de onde se escolheram os estudos de caso dependendo dos critérios de seleção.

Descartaram-se desta pesquisa, estruturas provisórias (como estandes, quiosques, etc.) e os projetos onde o bambu foi utilizado com caráter unicamente decorativo (como cercas, jardins verticais, corrimãos, forros, entre outros). Assim, foram catalogadas 20 edificações construídas com bambu na região Sul do Brasil (apêndice A): 7 no Estado do Paraná; 6 em Santa Catarina e 7 no Rio Grande do Sul.

Considerando as características da pesquisa, dessa lista, foram selecionadas sete edificações, que atendem os seguintes critérios de seleção:

- a) acessibilidade à informação de projeto e construção do edifício sejam projetos, imagens ou relatos orais;
- b) disponibilidade dos usuários e proprietários para permitir as inspeções e participar das entrevistas e questionários;
- c) ter sido construído em 2016, ou antes;
- d) estar em uso depois da construção até o momento da pesquisa e
- e) que os elementos de bambu estejam visíveis e sejam acessíveis.

Para não limitar ainda mais ainda o número de estudos de caso, não foram aplicados critérios relacionados com a espécie do bambu nem com tipologias construtivas ou sua funcionalidade.

As sete edificações selecionadas para os estudos de caso estão localizadas em: Florianópolis (SC), Garopaba (SC), Porto Alegre (RS), Rio Pardo (RS), Pinhais (PR), Morretes (PR) e Colombo (PR).

### **3.1.2 Seleção dos métodos de inspeção**

Ao finalizar o capítulo de revisão bibliográfica foram indicados três possíveis métodos que poderiam ser utilizados para a avaliação da condição do bambu nos estudos de caso desta pesquisa. Antes de iniciar

com a coleta e o tratamento dos dados, estes métodos foram testados para verificar sua viabilidade de aplicação.

A inspeção visual e o método de percussão foram aplicados nos dois casos da cidade de Florianópolis, comprovando-se a factibilidade em adaptar os procedimentos da inspeção visual para este tipo de edificações. Enquanto que, o teste de percussão com martelo de borracha não se mostrou efetivo para auxiliar na identificação das possíveis perdas de massa internas nas paredes dos colmos de bambu, servindo apenas para detectar os entrenós que foram concretados internamente nas estruturas. O detalhamento de todos os procedimentos que foram seguidos se encontra em Jaramillo, Valle e Librelotto (2018).

Por outro lado, foram testadas no laboratório a eficácia e a viabilidade da técnica da termografia para a detecção de defeitos internos, que foram causados por insetos xilófagos nos colmos de bambu, visando sua posterior aplicação na inspeção de edificações. Entretanto os resultados obtidos mostram limitações de aplicação desta técnica em colmos de bambu para este fim (considerando o método adotado) e destacam a necessidade de estudos específicos nesta área (JARAMILLO; VALLE; LIBRELOTTO, 2019, no prelo). Desta forma, considerando o tempo, foco e recursos desta pesquisa de doutorado, esta técnica foi descartada.

### 3.2 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Para esta etapa foram propostos os seguintes procedimentos: a) levantamento de dados de projeto e construção; b) vistorias ao local; c) entrevistas.

#### 3.2.1 Levantamento de informações de projeto e construção

Nesta fase, foram contatados projetistas e construtores, com o objetivo de recolher registros da história de vida das edificações e de outros dados relevantes relacionados ao bambu utilizado. Para isto, utilizou-se o questionário 1 (Apêndice B) que direciona e auxilia o levantamento de dados e aborda quatro tópicos: dados gerais da edificação, projeto e construção, características do bambu utilizado e fase de uso e manutenção. O Quadro 11 indica o detalhe dos pontos tratados.

Em cada um dos casos, depois do consentimento do projetista para participar da pesquisa, foi enviado este questionário por e-mail, solicitando também os documentos de projeto (projetos, memorial

descritivo, detalhes, entre outros) e se estabeleceu ainda uma data para a realização da primeira vistoria à edificação.

Quadro 11 - Temas abordados no questionário 1.

<b>Temas do questionário</b>	<b>Pontos abordados</b>
Dados gerais da edificação	Localização, área, ano de construção e função.
Dados sobre o projeto e construção	Existem documentos de projeto? Tempo que durou a construção. Fotografias do processo de construção. Expectativa de vida útil.
Características do bambu utilizado	Espécie do bambu. Procedência do bambu. Tratamento e secagem. Características solicitadas.
Fase de uso e manutenção	Foram realizadas vistorias de inspeção? Foram realizadas manutenções relacionadas com o material?

Fonte: autora

Conhecendo a localização do edifício a ser visitado, se realizou uma pesquisa sobre a situação geográfica e climática da edificação, para ter uma ideia dos fatores que poderiam influenciar nos processos de deterioração do bambu: direção dos principais ventos, precipitações, variações de temperatura, etc.

### **3.2.2 Vistorias ao local**

Durante as vistorias às edificações foram observadas as características do entorno de cada estudo de caso e se levantaram informações específicas sobre as manifestações patológicas nos elementos de bambu.

#### **3.2.2.1 Visita exploratória**

Esta foi a primeira aproximação física com a edificação e serviu para verificar as condições apropriadas para a realização das inspeções (horários, acessibilidade aos elementos de bambu, iluminação e aspectos de segurança).

Nesta visita foi necessário dialogar com os usuários/proprietários das edificações para explicar a pesquisa e as atividades que seriam

realizadas: entrevista e inspeções. Em um dos casos foi solicitado entregar um documento contendo esses esclarecimentos. Nesta visitação também se definiram as datas e horários das entrevistas com os proprietários ou usuários, assim como o das inspeções.

### 3.2.2.2 Inspeção visual

Considerando que nenhum caso possuía projetos das edificações, com exceção do caso de Morretes, foi necessário fazer o levantamento das plantas e fachadas das estruturas, que serviram como mapas para registrar as manifestações patológicas durante as inspeções.

A inspeção visual foi a técnica utilizada para fazer um levantamento da condição dos elementos de bambu. O método de inspeção adotado para esta pesquisa foi o produto da sistematização e adaptação, para auxiliar na identificação de manifestações patológicas em elementos de bambu, dos procedimentos e orientações para inspeção indicados pela NBR 7190 (1997), NBR 5674 (1999) e Brito (2014).

Os procedimentos foram efetuados com o auxílio do roteiro de inspeção (Apêndice C), que funcionou como lista de verificação e detalhavam as informações que deviam ser recolhidas. No Quadro 12 apresenta-se uma síntese dos dados que foram levantados durante as inspeções, os tópicos da lista de verificação e os materiais e equipamentos utilizados.

Durante as inspeções foram analisadas todas as peças de bambu das edificações, registrando individualmente (por escrito e em fotografias) as manifestações patológicas nos casos correspondentes. Quando a peça mostrava sinais de ataques de insetos (perfurações), realizou-se uma percussão com o martelo de borracha na tentativa de identificar possíveis alterações no som que revelassem indícios do grau do comprometimento.

Quadro 12 - Síntese dos dados levantados durante as inspeções.

(início)

<b>Dados levantados</b>	<b>Passos da inspeção visual/ tópicos da lista de verificação</b>	<b>Materiais e equipamentos</b>
Aspectos Gerais	Registro de informações da edificação (entorno, pontos críticos que favoreceriam a ocorrência de anomalias, ligações e apoios, aparência geral do bambu). Registro fotográfico. Levantamento de plantas e fachadas. Elaboração dos mapas / croquis dos componentes para o registro das anomalias	Prancheta Caneta Lápis Borracha Trena Câmera de fotos

(fim)

<b>Dados levantados</b>	<b>Passos da inspeção visual/ tópicos da lista de verificação</b>	<b>Materiais e equipamentos</b>
Manifestações Patológicas	Observação minuciosa dos elementos de bambu Identificação e registro (nos mapas) das manifestações patológicas observadas em cada uma das peças de bambu Descrição das anomalias Percussão dos elementos de bambu que apresentam sinais de ataque de xilófagos. Registro fotográfico	Prancheta Caneta Lápis Lanterna Trena Régua Pinça Máscara Pano, pincel Luvas Martelo de Borracha Bisturi Câmera de fotos Escada
Outros	Registro de outras observações consideradas importantes: sobre reformas e manutenções. (Descrições e fotografias), anotações relacionadas ao uso da edificação, dúvidas para resolver nas entrevistas, entre outros.	Prancheta Caneta Lápis Borracha Câmera de fotos

Fonte: autora

### 3.2.3 Entrevistas

Na última fase da coleta de dados foram realizadas entrevistas com os projetistas e com os usuários em cada um dos sete estudos de caso. Para todos os casos, no início da entrevista foi apresentado e explicado o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) (Apêndice D), registrado na Plataforma Brasil, com o Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) do projeto de pesquisa número 99253218.7.0000.0121, cujo número de parecer consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFSC é 3.000.523 (Anexo C).

Desta forma, com o prévio consentimento dos participantes, todas as entrevistas foram gravadas e posteriormente transcritas para facilitar a subsequente análise dos dados.



### 3.2.3.1 Entrevista com projetistas

Esta entrevista teve o objetivo de esclarecer dúvidas que ficaram depois do levantamento dos dados durante as inspeções e também conhecer um pouco mais sobre a forma de trabalho do projetista.

No início da entrevista, visando à padronização das informações coletadas, em todos os casos foi necessário retomar as perguntas do Questionário 1, complementando as informações que os projetistas enviaram por e-mail e sanando dúvidas específicas que estavam relacionadas e surgiram depois das inspeções.

Em seguida, realizou-se a entrevista semiestruturada, com o auxílio do Formulário 1 (Apêndice E), que contém as questões - guias que podiam ser mais aprofundadas durante a conversa na medida necessária para obter os dados.

Os temas abordados foram agrupados nos seguintes tópicos: experiência de trabalho com bambu, manifestações patológicas e preservação do bambu e projeto com bambu.

### 3.2.3.2 Entrevista com proprietários ou usuários

A entrevista com os usuários ou proprietários, que teve o objetivo de levantar informações relacionadas com a história de uso da edificação, sendo auxiliada pelo Formulário 2 (Apêndice F). Abordaram-se estes temas: uso da edificação, reformas e manutenções.

## 3.3 DIAGNÓSTICO DA CONDIÇÃO DO BAMBU NOS ESTUDOS DE CASO

Nesta etapa se realizou a análise individual dos estudos de caso, culminando com o diagnóstico da condição do bambu nas edificações.

Na procura de compreender as particularidades da aplicação do bambu e da origem das manifestações patológicas em cada estudo de caso, foram estabelecidas as categorias de análise, mostradas no Quadro 13. Em cada estudo de caso as categorias foram analisadas individualmente.

Quadro 13 - Categorias de análise dos estudos de caso.

<b>Categoria</b>	<b>Pontos analisados</b>
Caracterização do projeto	Descrição do projeto Condições climáticas do local Características projetuais Características do bambu utilizado
Uso e manutenção dos elementos de bambu	Espécie, procedência, tratamento, forma de aplicação
Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico	Relação com os agentes de degradação, com a localização na edificação, com o projeto e execução Diagnóstico da condição dos elementos de bambu

Fonte: autora

### **3.3.1 Caracterização do projeto**

Nesta parte se fez uma descrição das características e intenções do projeto arquitetônico das edificações dos sete estudos de caso.

Para este fim, foram elaboradas as plantas, fachadas, detalhes construtivos e a modelagem em 3D utilizando AutoCAD. As volumetrias foram exportadas para SketchUp para a colocação das cores e sombras.

Além destas informações, nesta seção foram apresentadas as fotografias e observações gerais sobre o projeto (registradas durante as inspeções) e as informações fornecidas pelos projetistas nos questionários e entrevistas.

Foram especificadas as características da espécie de bambu utilizada, a sua procedência, o tratamento e a forma em que o material foi aplicado na edificação analisada.

### **3.3.2 Uso, manutenção e reformas das edificações**

Com base nas informações das entrevistas com os projetistas, proprietários e usuários, se analisaram as informações sobre a fase de uso e manutenção das edificações, complementando com o observado durante as inspeções e análise dos documentos dos projetos.

### **3.3.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu**

A análise da condição dos elementos de bambu nas edificações esteve baseada no levantamento das manifestações patológicas, cujas

características foram ponderadas junto com as informações coletadas sobre projeto, construção, uso e manutenção.

Para cada um dos estudos de caso, as manifestações patológicas encontradas foram classificadas conforme sua aparência nos seguintes grupos: a) Rachaduras e lascas; b) Manchas e mudanças de cor; c) Perfurações e outras perdas de massa; d) Rupturas / colapso do elemento.

Em todos os casos, o processo para o diagnóstico do estado dos elementos de bambu seguiu o procedimento esclarecido nos itens descritos a seguir:

### 3.3.3.1 Localização das manifestações patológicas na estrutura

Para cada grupo, realizou-se a localização das manifestações patológicas na estrutura, com a ajuda das imagens 3D no SketchUp e para tentar identificar os locais com mais ocorrências. Isto possibilitou quantificar o número de peças que apresentavam ocorrências.

No caso das rachaduras e lascas, a imagem da localização dos elementos de bambu das estruturas, foi complementada com uma classificação das rachaduras, que foi adaptada com base na classificação visual baseada no seu comprimento, apontada nas normas NSR-10, 2010; Norma Técnica E-100, 2012; e NEC-SE-*Guadua*, 2016.

É necessário mencionar que a classificação visual indicada pelas normas é para a seleção dos colmos, que serão utilizados em estruturas novas, apontando que os colmos com rachaduras de comprimentos superiores a 20% do total da peça ou que se estendem por mais de dois entrenós devem ser descartados.

Desta forma, realizando uma adaptação desta classificação para esta pesquisa, nos modelos em 3D, os colmos de bambu foram identificados com cores:

- laranja: para os colmos com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós e cujo comprimento é maior do que 20% do comprimento do colmo;
- amarelo: para os colmos com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atinge 20% do comprimento total da peça;
- foram desconsideradas aquelas rachaduras que estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça. Os colmos com estas características e

aqueles que não apresentavam rachaduras foram marcados em cor verde.

No caso das manchas e mudanças de cor, na imagem 3D da localização dos elementos de bambu das estruturas, as manchas também foram classificadas e identificadas com cores segundo sua aparência:

- ciano: manchas ocasionadas pelo tratamento;
- amarelo: saída do verniz ou descoloração;
- rosa: manchas de tintas;
- laranja: mancha verde de fungos;
- marrom: mancha preta de fungos.

Nos casos das perfurações e colapso de peças, somente foram indicadas nas imagens 3D as localizações dos colmos que apresentam estas ocorrências.

### 3.3.3.2 Diagnóstico

Nesta etapa foi feita uma descrição de cada tipo de manifestação patológica identificada (sintomas, as características do contexto em que aparecem, entre outros). Estando baseada nos dados levantados nas inspeções visuais, tendo o objetivo de reconhecer ocorrências e que tenham características semelhantes para depois apresentar uma visão geral dos vários tipos de manifestações dentro de cada grupo, seus mecanismos de ocorrência e causas prováveis.

Depois, com base na análise dos dados levantados, procurou-se então esclarecer os mecanismos pelos quais aparecem os sinais e manifestações patológicas nos elementos de bambu. Para facilitar a leitura, todos os mecanismos de ocorrência observados nos estudos de caso foram resumidos e codificados em um quadro (Apêndice G).

Para culminar esta fase de diagnóstico, se determinou a origem e causas prováveis das manifestações patológicas, possibilitando identificar suas possíveis relações com o projeto.

## 3.4 CRUZAMENTO DOS DADOS: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta fase foram feitas relações entre os resultados dos estudos de caso, primeiro dando uma visão geral dos tipos de ocorrências registradas e depois analisando as manifestações patológicas em relação:

- a) ao tratamento;
- b) à espécie do bambu;
- c) ao clima. Os dados climáticos de cada caso (ventos, precipitações, umidade) foram obtidos do site “Projeteee” do Ministério do Meio Ambiente - MMA (2019)

### **3.4.1 Origem das manifestações patológicas**

Com base no diagnóstico das manifestações patológicas observadas nos estudos de caso, realizou-se uma síntese gráfica indicando em qual etapa se originaram (projeto, construção ou uso). Realizou-se uma quantificação das vezes em que cada manifestação se originava em cada fase. Desta forma, identificaram-se as decisões de projeto que originaram as ocorrências.

### **3.4.2 Sugestões para os projetistas**

Depois de identificar quais escolhas que os projetistas estão fazendo e que podem favorecer a degradação do bambu nas edificações na região Sul do Brasil, foram apontadas uma série de sugestões que podem auxiliá-los na tomada de decisões projetuais, visando aumentar a durabilidade das edificações com bambu.

Estas recomendações foram realizadas considerando dois momentos: antes da ocupação da edificação (fases de projeto e construção) e depois da ocupação (fase de uso e manutenção).

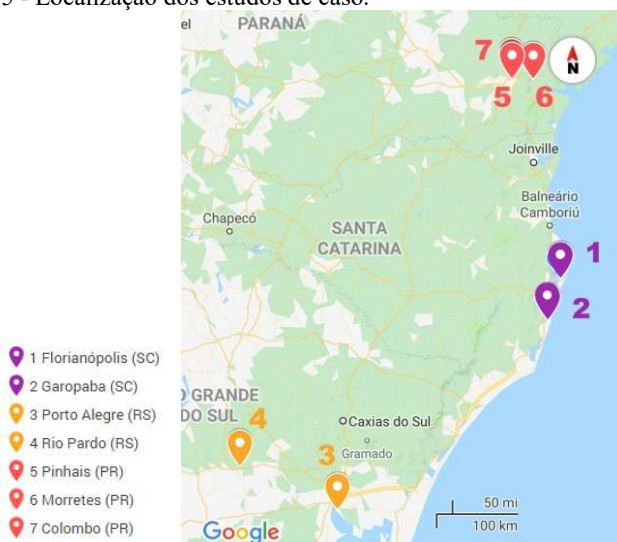
Esta fase culmina com a proposta de instruções, relacionadas aos elementos de bambu, que deveriam ser consideradas na elaboração do manual de uso, operação e manutenção, com base nos conteúdos indicados pela norma NBR 14037 (2011).



## 4 ESTUDOS DE CASO

Este capítulo expõe os resultados individuais dos sete estudos de caso localizados na Região Sul do Brasil (Figura 25); sendo mostrados os dados obtidos durante o levantamento, a descrição das decisões projetuais e as percepções dos entrevistados e as soluções construtivas referentes a cada edificação, sem gerar críticas sobre elas.

Figura 25 - Localização dos estudos de caso.



Fonte: elaborado pela autora no GoogleMaps (2018).

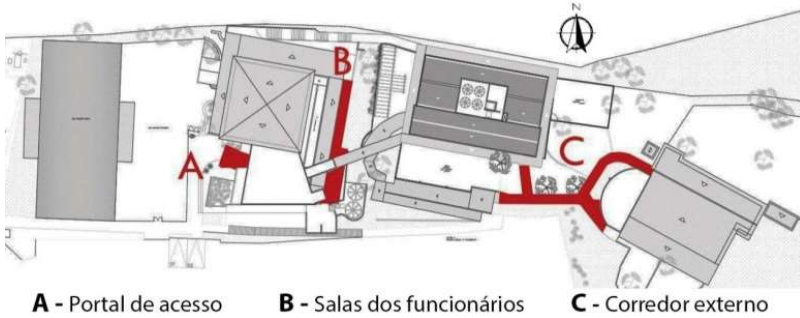
As análises das decisões de projeto e soluções construtivas apresentadas nesta seção, só serão feitas no capítulo 5 deste documento.

### 4.1 ESTUDO DE CASO 1 - FLORIANÓPOLIS

Neste caso, foram analisadas três estruturas pequenas de bambu, construídas em 2009 em uma instituição educativa de Florianópolis. Um usuário do local indicou que foi utilizado bambu com o intuito de realizar uma aproximação com o ecológico e fazer escolhas mais sustentáveis.

A Figura 26 mostra a localização das três estruturas na implantação geral da instituição educativa. Nela, é possível observar a forma em que as estruturas estão inseridas entre os prédios principais.

Figura 26 – Implantação das estruturas de bambu no estudo de caso 1.



**A** - Portal de acesso    **B** - Salas dos funcionários    **C** - Corredor externo

Fonte: instituição educativa, adaptação da autora (2017)

A Figura 27 apresenta imagens das estruturas A, B e C, indicando os dados gerais deste estudo de caso.

Figura 27 - Fotografias das estruturas de bambu no estudo de caso 1.

<p>Estrutura A</p>	<p>Estrutura B</p>
	<p><b>DADOS GERAIS:</b> <b>Ano de construção:</b> 2009 <b>Área construída</b> (total das três estruturas): 191m<sup>2</sup> <b>Função:</b> estruturas de apoio aos prédios principais da escola <b>Localização:</b> Rua Salvatina Feliciano dos Santos, 513 - Itacorubi, Florianópolis – SC. <b>Projeto e execução:</b> Guadua Bambu (Arq. André Chaluppe)</p>
<p>Estrutura C</p>	

Fonte: autora

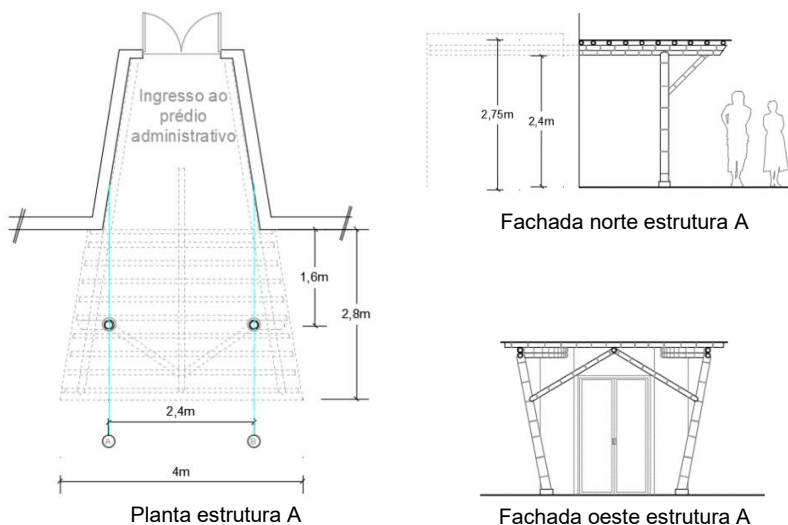


### 4.1.1 Caracterização do projeto

A estrutura A é o portal de acesso ao prédio administrativo da instituição que está orientado para o oeste; sua área é de  $16\text{m}^2$ , composta pela estrutura de bambu roliço e uma cobertura de vidro com película de proteção UV. Em que foi utilizado bambu das espécies *Dendrocalamus asper* (conhecido como bambu gigante) nos pilares e *Guadua angustifolia* nas vigas e caibros.

Na Figura 28, mostra-se a planta e fachadas da estrutura A. Nelas, é possível observar os quatro pontos de apoio: dois correspondentes aos pilares e os outros dois às duas vigas duplas, que servem de âncora à estrutura de concreto do prédio administrativo.

Figura 28 - Planta e fachadas da estrutura A do estudo de caso 1.



Fonte: autora

A **estrutura A**, destacada em vermelho na implantação da Figura 29, hierarquiza o acesso principal exclusivo para pedestres ao prédio administrativo da escola e passa no meio de dois pequenos jardins externos.

Figura 29 - Implantação e fotografia da estrutura A do estudo de caso 1.



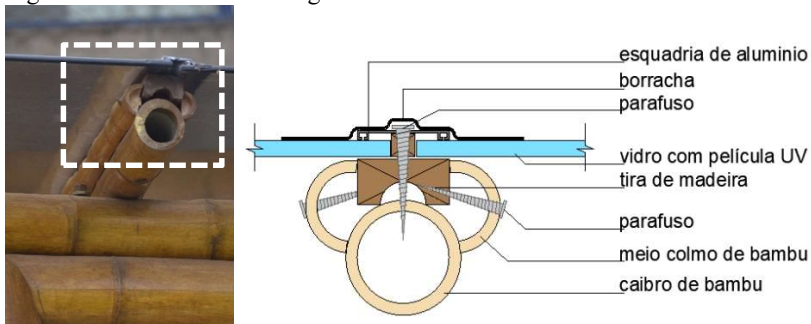
Fonte: autora

Os prédios ao redor da estrutura oferecem ao bambu proteção contra os ventos do norte e do leste. A luz solar bate diretamente em grande parte das peças de bambu durante as tardes pela face oeste. O pilar localizado ao sul recebe maior incidência de luz, enquanto que a sombra de uma árvore vizinha impede o contato direto dos raios UV com os outros bambus.

Todos os elementos de bambu são estruturais e, embora todos estejam expostos ao ar livre, a cobertura de vidro os protege da chuva e os pilares estão apoiados sobre bases de concreto que os afastam do contato direto com o solo.

A Figura 30 mostra o detalhe da conexão dos caibros de bambu com o vidro da cobertura, por meio de uma peça auxiliar de madeira e de parafusos metálicos.

Figura 30 - Detalhe de ancoragem do vidro da cobertura aos caibros de bambu.



Fonte: autora

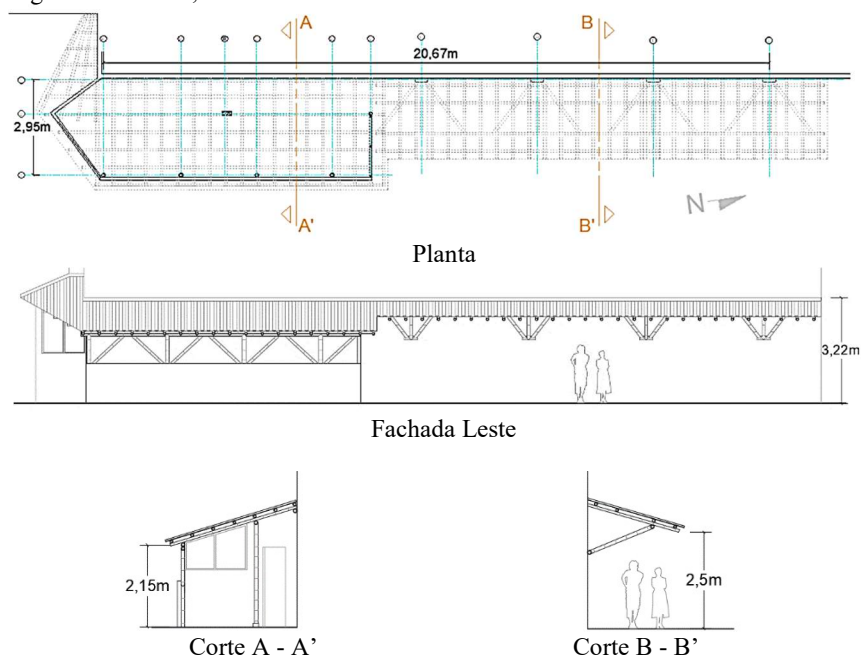
A **estrutura B** é parte do espaço dos servidores da escola e encontra-se ao leste do prédio administrativo, tendo uma área de 65 m<sup>2</sup> e

está conformada por dois ambientes: o primeiro, que contém uma sala de jantar e uma sala de estar; e o segundo, que consiste em um corredor que conecta esse lugar com outras áreas.

A estrutura da cobertura em ambos os espaços é de colmos de bambu: foram utilizadas as espécies *P. pubescens* (conhecido como bambu mossô) para pilares, vigas e caibros e *P. aurea* (conhecido como cana da Índia) para o ripamento. A cobertura na área das salas dos funcionários é de telha ondulada de material reciclado e a do corredor é uma telha ondulada translúcida.

A Figura 31 mostra a planta e duas seções da estrutura B. Na planta é possível diferenciar as duas partes e conformações da estrutura: à esquerda está aquela que corresponde à sala de estar e, à direita, a do corredor.

Figura 31 - Planta, fachada e cortes da estrutura B do Estudo de caso 1.



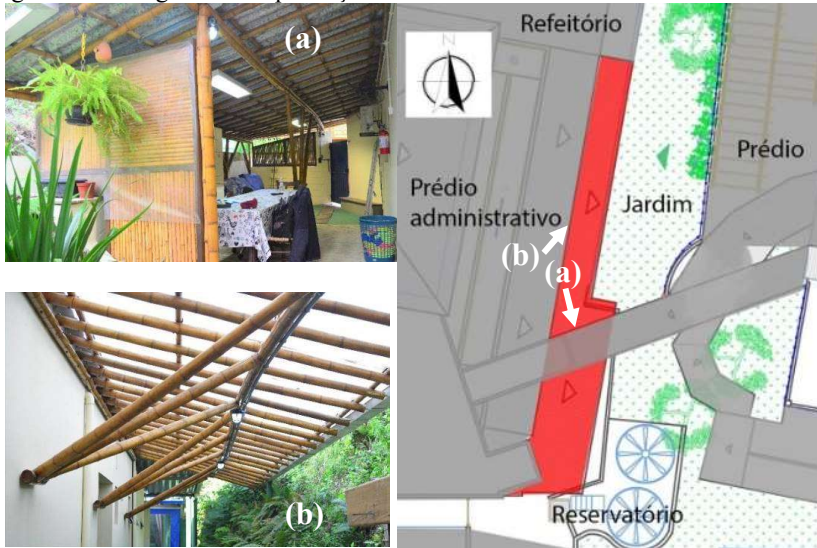
Fonte: autora

Nos cortes observa-se que, na estrutura da sala de estar existem pilares de bambu, enquanto que no corredor a estrutura da cobertura está ancorada à construção de concreto por meio de mãos francesas.

A estrutura B, destacada em vermelho na implantação da Figura 32, está localizada no nível térreo, atrás do edifício administrativo. A parte das salas de jantar e de espera é um espaço fechado em planta, mas com uma abertura na parte superior da fachada leste.

A estrutura de bambu na parte do corredor é menos larga e mais comprida, sendo fixada ao edifício administrativo, mas aberta para o leste onde existe um jardim em uma encosta.

Figura 32 - Fotografias e implantação da estrutura B do Estudo de caso 1.

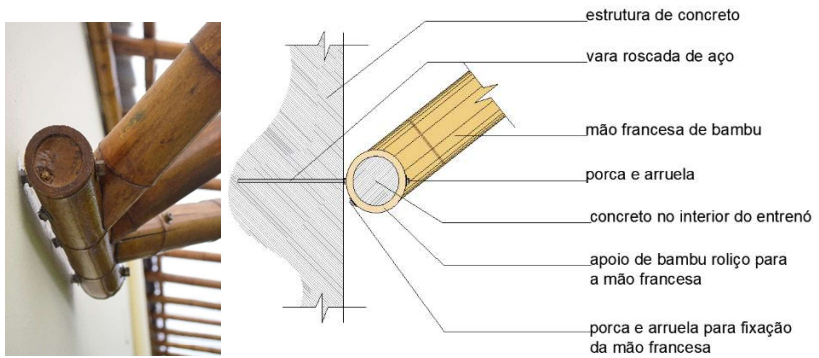


Fonte: autora

Nenhuma parte desta estrutura tem contato direto com a luz solar graças à cobertura e também à localização entre os prédios e o desnível do terreno – onde está o jardim. Esta condição também a protege dos ventos. Além disto, ambos os espaços onde encontram-se as estruturas estão permanentemente ventilados, embora a sala dos funcionários seja um espaço um pouco mais fechado ao entorno.

A Figura 33 apresenta as variações do detalhe da ligação da estrutura de bambu com a estrutura de concreto do prédio, por meio de conectores metálicos e da concretagem dos entrenós.

Figura 33 - Detalhe de ancoragem da estrutura de bambu às estruturas de concreto.



Fonte: autora

Na Figura 34, apresenta-se o detalhe da fixação das coberturas onduladas aos ripamentos de bambu, utilizando conectores metálicos. No caso da cobertura translúcida foi usada uma peça auxiliar.

Figura 34 - Detalhe de ancoragem das coberturas aos caibros de bambu.



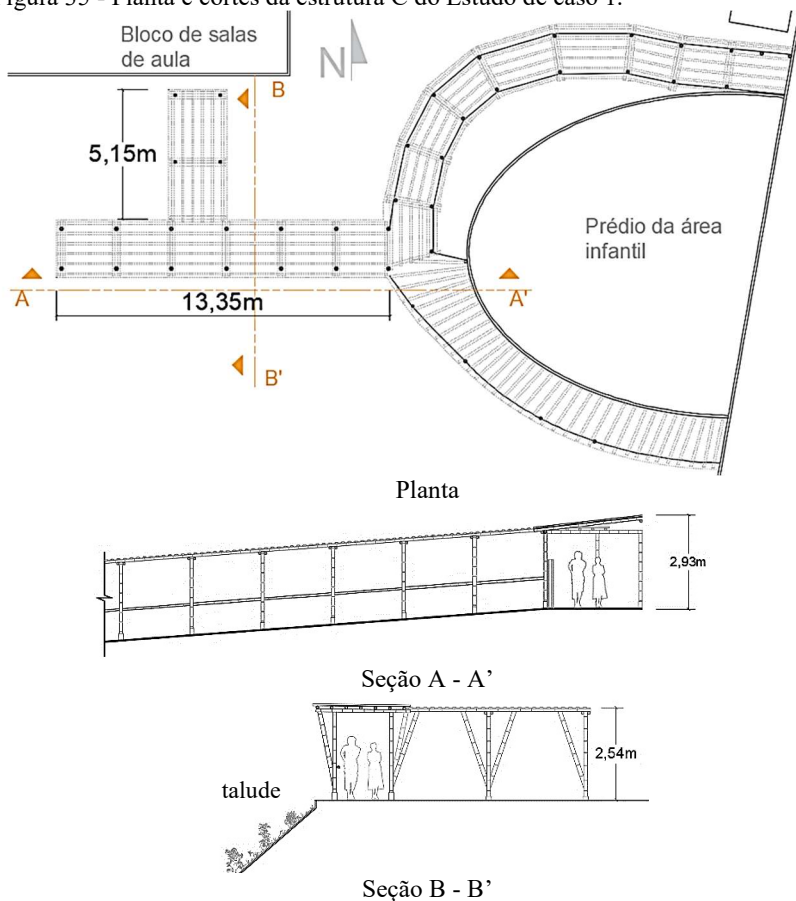
Fonte: autora

A **estrutura C** está composta por pórticos de bambu roliço, sobre os quais estão localizadas as ripas de bambu, onde está fixada a cobertura ondulada de material reciclado. Este corredor de bambu tem uma área aproximada de 110 m<sup>2</sup>.

As espécies de bambu utilizadas foram: *G. angustifolia* nos pilares, nos caibros *G. angustifolia* e *P. pubescens* e no ripamento *P. aurea*.

Na Figura 35 encontram-se a planta e duas seções da estrutura C. Nelas é possível observar os pórticos simples de bambu que constituem o corredor. No corte B – B', observa-se o talude próximo ao corredor, localizado ao lado sul da estrutura.

Figura 35 - Planta e cortes da estrutura C do Estudo de caso 1.



Fonte: autora

Na implantação, apresentada na Figura 36, destaca-se em vermelho a estrutura C, que está ligada ao leste com uma edificação de

materiais convencionais e ao oeste com uma rampa - corredor de madeira. No lado sul está localizada um talude inacessível que desce até o estacionamento, ao norte o pátio tem piso de cimento e a área infantil possui piso de areia. O terreno tem desnível e possui em vários pontos grandes coletores de águas pluviais.

Figura 36 - Fotografia e implantação da estrutura C do Estudo de caso 1.



Fonte: autora

Este corredor coberto está localizado na parte alta do terreno, aproximadamente no mesmo nível do terceiro andar do prédio administrativo. Por ser uma estrutura exterior tem contato direto com o vento e a maioria dos elementos de bambu – principalmente os que estão localizados nas fachadas norte e oeste, tendo incidência dos raios UV em algum momento do dia.

Por estar situada em um espaço aberto, onde os estudantes da escola circulam livremente, a estrutura está em contato constante com os usuários. Foi possível observar várias pessoas apoiadas nos pilares esperando o horário de saída dos alunos e também algumas crianças “escalando” pelos colmos para brincar durante os intervalos.

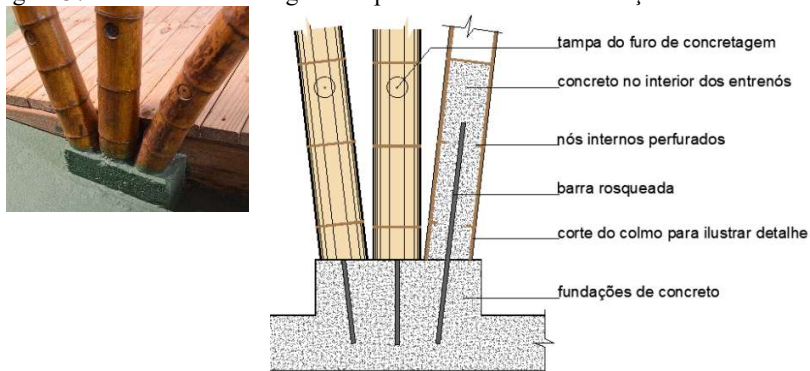
A seguir, são apresentados os detalhes restantes deste estudo de caso. Na Figura 37 é mostrado o detalhe da ligação dos pilares com as bases de concreto, devendo ser esclarecido que em todos os casos foi deixada uma espera de aço sobressaindo no meio.

Depois, as bases dos pilares foram fixadas nestas esperas para finalmente preencher com concreto o interior do primeiro entrenó do pilar de bambu. Na maioria dos pilares individuais, foram utilizados tubos de PVC como forma destas pequenas fundações elevadas de concreto (como foi observado na base dos pilares da fotografia da Figura 29).

A altura destas fundações elevadas de concreto neste estudo de caso varia entre 3 e 25 cm.



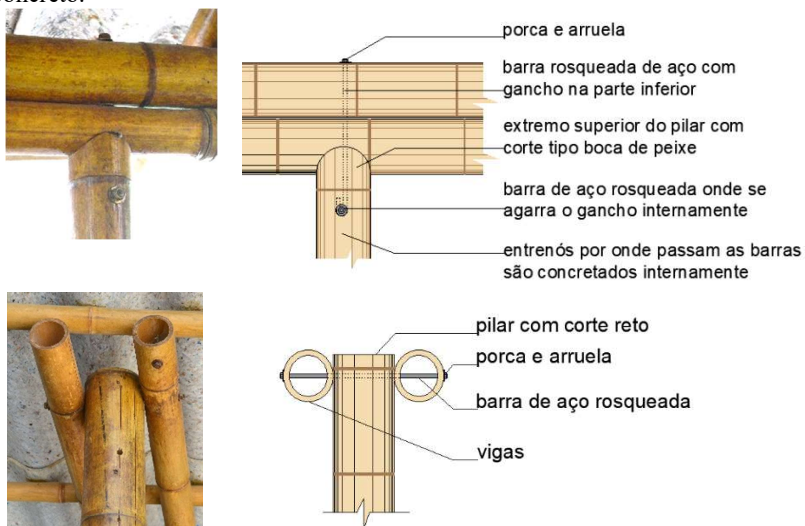
Figura 37 - Detalhe de ancoragem dos pilares de bambu às fundações de concreto.



Fonte: autora

As conexões entre pilares e vigas de bambu foram realizadas por meio de elementos metálicos aparafusados. Na estrutura principal, que suporta cargas mais elevadas, os entrenós dos colmos pelos quais passam os elementos metálicos estão concretados internamente. Dois casos distintos podem ser observados na Figura 38.

Figura 38 - Detalhes de ancoragem dos pilares de bambu às fundações de concreto.



Fonte: autora



#### 4.1.1.1 Características do bambu utilizado

Neste estudo de caso foram utilizados bambus das espécies *D. asper*, *G. angustifolia*, *P. pubescens* e *P. aurea*. Todos os colmos foram trazidos de São Paulo, com exceção dos de *P. aurea*, cuja origem foi Maringá.

Os bambus de maior diâmetro foram usados nos pilares; os de diâmetro médio nas vigas e caibros, já os menores para o ripamento. O Quadro 14 mostra algumas características dos colmos das espécies de bambu utilizadas neste caso.

Quadro 14 - Características dos colmos das espécies de bambu utilizadas no estudo de caso 1.

Espécie	Diâmetro aproximado (cm)	Comprimento dos colmos (m)	Espessura da parede (cm)
<i>Dendrocalamus asper</i>	30	20 - 30	1,1 - 2
<i>Guadua angustifolia</i>	até 20	até 30	1,5 - 2
<i>Phyllostachys pubescens</i>	até 18	até 27	média
<i>Phyllostachys aurea</i>	até 4	até 8	fina

Fonte: elaborado com base em Pereira e Beraldo (2008), Greco e Cromberg (2011).

Segundo o projetista, os cuidados relacionados com a proteção do bambu para sua aplicação nas estruturas foram: prestar atenção à maturidade (coleta de bambus de cinco anos de idade ou mais), tratamento em autoclave com CCA (o mesmo usado para tratar madeiras na região Sul do Brasil) e utilização de colmos secos.

No projeto e construção, foi considerada a proteção dos bambus do contato direto com a chuva por meio de beirais, bases de concreto para os pilares e aplicação de impermeabilizante depois da construção - com proteção UV, ação hidrófoba, inseticida e fungicida.

#### 4.1.2 Uso, manutenção e reformas dos elementos de bambu

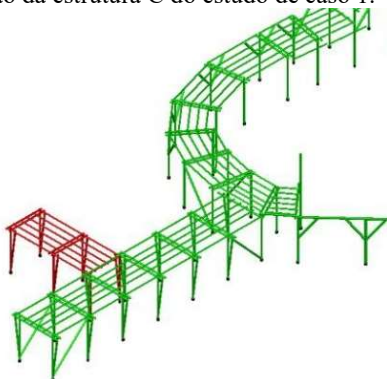
Não foi entregue aos usuários um manual de uso e manutenção, sendo as indicações de manutenção unicamente orais. Neste sentido, durante os dois primeiros anos o construtor fez a aplicação do

impermeabilizante no bambu das estruturas com periodicidade anual; posteriormente, essa atividade ficou a cargo da instituição educativa.

#### 4.1.2.1 Reformas e ampliações

Durante as inspeções foi possível identificar uma reforma feita na estrutura C, que consistiu na ampliação do corredor. Na Figura 39, essa intervenção está destacada em cor vermelha. Esta reforma foi identificada por pequenas mudanças observadas na técnica construtiva, assim como por meio das entrevistas e de fotografias.

Figura 39 - Ampliação da estrutura C do estudo de caso 1.



Fonte: autora

Nessa ampliação foram utilizados os mesmos materiais e técnicas utilizadas na estrutura C, em que as conexões também foram resolvidas com parafusos metálicos, entretanto a disposição formal dos pilares não é igual à do resto da estrutura.

Outro tópico de interesse que surgiu nas entrevistas foi que na escola existiam ainda mais estruturas de corredores externos em bambu, mas que foram desmanchadas por decisão dos usuários.

#### 4.1.3 Manifestações patológicas e diagnóstico da condição do bambu

Durante as inspeções das três estruturas deste estudo de caso foram encontradas várias manifestações patológicas. Por meio da inspeção minuciosa de cada um dos elementos, levantaram-se dados das características das anomalias, e também 1113 fotografias das manifestações patológicas.

Para a análise, as anomalias registradas foram classificadas conforme sua aparência em quatro grupos: 1) rachaduras e lascas; 2) manchas ou mudanças de cor; 3) perfurações ou perdas de massa e 4) colapso do colmo.

#### 4.1.3.1 Rachaduras e lascas

A seguir, é apresentada uma síntese da localização e uma primeira descrição das características das rachaduras, segundo a sua extensão (NSR-10, 2010; NORMA TÉCNICA E-100, 2012; NEC-SE-*Guadua*, 2016), nos elementos de bambu das três estruturas deste estudo de caso.

No Quadro 15 é possível observar um resumo que inclui a imagem da estrutura A com a localização das peças que apresentavam rachaduras e suas características.

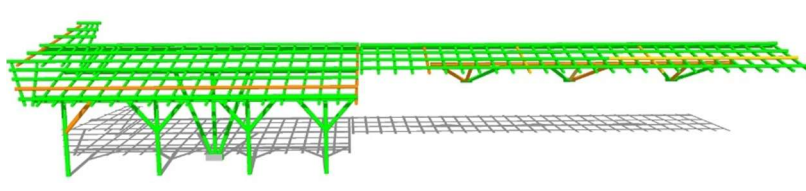
Quadro 15 - Peças com rachaduras da estrutura A do estudo de caso 1.

Cor	Legenda	Elemento estrutural		
		Pilar /mão francesa	viga	ripa
	Peças cujas rachaduras se estendem por mais de dois entrenós, com comprimento maior que 20% do comprimento do colmo.	1	2	3
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do comprimento total da peça	0	2	0
	Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	3	1	6
Somatória		4	5	9
<b>Total de peças de bambu na estrutura</b>		<b>18</b>		

Fonte: autora

Da mesma forma, o Quadro 16 mostra o resumo com a imagem da estrutura B, a localização das peças com rachaduras e suas características.

Quadro 16 - Peças com rachaduras da estrutura B do estudo de caso 1.

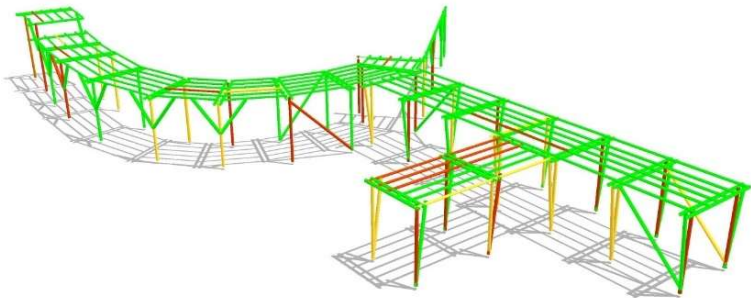


Cor	Legenda	Elemento estrutural			
		Pilar /mão francesa	viga	caibro	ripa
	Peças com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós e cujo comprimento é maior a 20% do comprimento do colmo.	5	2	3	2
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do comprimento total da peça.	1	0	2	1
	Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	17	5	47	22
Somatória		23	7	52	25
<b>Total de peças de bambu na estrutura</b>		<b>107</b>			

Fonte: autora

Finalmente, o Quadro 17 mostra o resumo com a imagem da estrutura C, a localização das peças com rachaduras e suas características.

Quadro 17 - Peças com rachaduras da estrutura C do estudo de caso 1.



Cor	Legenda	Elemento estrutural		
		Pilar /mão francesa	viga	ripa
	Peças com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós e cujo comprimento é maior a 20% do comprimento do colmo.	19	0	7
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do comprimento total da peça.	21	1	3
	Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	37	39	73
Somatória		77	40	83
<b>Total de peças de bambu na estrutura</b>		<b>200</b>		

Fonte: autora

Por meio da análise qualitativa, foram agrupadas as rachaduras com características visuais semelhantes. A seguir, são apresentados os tipos de rachaduras encontradas no estudo de caso, a descrição baseada na inspeção visual, os mecanismos de ocorrência e suas causas prováveis.

### *Rachaduras nos extremos dos colmos concretados*

**Descrição:** Rachadura no extremo que está preenchido com concreto dos colmos próximos às conexões, que se estende longitudinalmente (Figura 40). Em alguns colmos foi colocada uma braçadeira metálica para impedir que ocorra a progressão da rachadura.

Figura 40 - Rachaduras nos extremos dos colmos preenchidos com concreto.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL1 (Apêndice G).

**Causa provável:** Transmissão de momentos fletores da conexão ao colmo de bambu. Secagem dos colmos (variação dimensional).

**Origem provável:** projeto e construção.

### *Rachaduras na parte central dos colmos*

**Descrição:** Rachadura longitudinal na parte central dos colmos (Figura 41). Em alguns colmos buscou-se minimizar esse efeito com a colocação de uma braçadeira metálica.

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL2 (Apêndice G).

Figura 41 - Rachadura na parte central dos colmos.



Fonte: autora

**Causas prováveis:** Transmissão de momentos fletores da conexão ao colmo de bambu, secagem, exposição dos colmos diretamente ao sol, dentre outros.

**Origem provável:** indeterminada.

#### *Rachaduras por penetração*

**Descrição:** Rachadura longitudinal no colmo, cuja parte central está localizada no ponto onde foi colocado um prego ou um parafuso, ou foi deixada uma perfuração (Figura 42).

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL3 (Apêndice G).

**Causa provável:** perfuração do colmo com um prego ou com um parafuso cujo diâmetro é muito grande em relação ao tamanho do colmo.

**Origem:** execução.



Figura 42 - Rachadura pela ação de corpo externo.



Fonte: autora

### *Rachaduras durante a secagem*

**Descrição:** Ao final do processo de secagem podem ocorrer rachaduras longitudinais nos colmos, de pouco comprimento e largura (Figura 43). Neste caso, alguns colmos apresentam manchas escuras ou azuladas ao longo de sua extensão; tais manchas indicam que as rachaduras já estavam presentes antes da aplicação do tratamento ou das manutenções.

Figura 43 - Rachaduras durante a secagem



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL4 (Apêndice G).




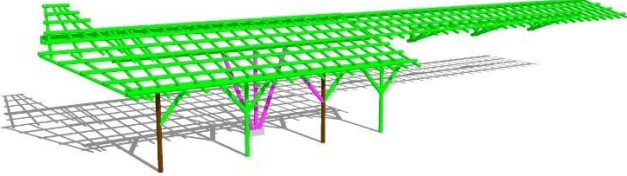
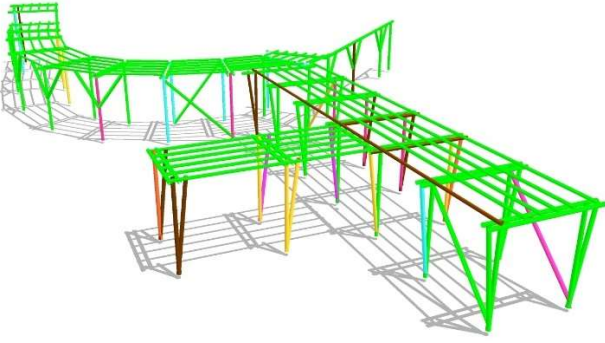
**Causa provável:** secagem rápida e não uniforme dos colmos

**Origem:** execução

#### 4.1.3.2 Manchas ou mudanças de cor

As manchas foram classificadas por sua aparência em cinco grupos: fungos pretos, fungos brancos e verdes, manchas pelo tratamento, manchas de tinta e de verniz deteriorado. No Quadro 18, apresenta-se a localização dessas manchas nas três estruturas do Estudo de Caso 1. É difícil encontrar só um tipo de mancha nas peças, sendo que as cores correspondem ao tipo de mancha predominante no colmo.

Quadro 18 - Localização das manchas nas estruturas do Estudo de Caso 1.

Imagens/ localização das manchas	Legenda
 <p data-bbox="288 785 728 817">4 0 0 0 0 14 = 18 peças</p>	<p data-bbox="862 638 980 726">Mancha pelo tratamento</p> <p data-bbox="862 758 991 813">Verniz deteriorado</p>
 <p data-bbox="274 1018 744 1050">0 0 4 0 2 101 = 107 peças</p>	<p data-bbox="862 853 963 909">Manchas de tinta</p> <p data-bbox="862 941 957 1029">Fungos verdes e brancos</p>
 <p data-bbox="274 1412 756 1444">8 9 8 2 13 160 = 200 peças</p>	<p data-bbox="862 1069 946 1125">Fungos pretos</p> <p data-bbox="862 1157 968 1212">Peça sem manchas</p>

Fonte: autora

A seguir, são apresentados os tipos de manchas encontrados no estudo de caso e a descrição baseada na inspeção visual, indicando os mecanismos de ocorrência e suas causas prováveis.

### *Manchas pelo tratamento*

**Descrição:** manchas com bordas verde azuladas e de forma irregular em várias regiões dos colmos (Figura 44).

Figura 44 - Manchas verde azuladas em estruturas do Estudo de Caso 1.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC1 (Apêndice G).

**Causa provável:** tratamento químico.

**Origem:** projeto e execução.

### *Manchas de tinta*

**Descrição:** na superfície dos elementos de bambu das estruturas há presença de manchas de tinta de várias cores (Figura 45).

Figura 45 - Manchas de tinta nos colmos de bambu.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** Tipo MC2 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** falta de limpeza dos colmos de bambu depois de terem manchado eles durante as atividades de manutenção.

**Origem:** uso e manutenção.

### *Verniz deteriorado*

**Descrição:** setores dos colmos com cor esbranquiçada, em alguns casos como se a cor tivesse “descascado” e em outros como se estivesse desgastado. Também foram observadas outras regiões onde aparecem sinais de “raspagem” do colmo e falta de uniformidade na cor. Na Figura 46, apresentam-se alguns exemplos.

Figura 46 - Deterioração do verniz nos colmos no Estudo de Caso 1.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC3 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** falta de periodicidade de aplicação do verniz (atividades de manutenção), falta de cuidados ao deslocar outros objetos nas proximidades da estrutura de bambu, bem como a falta de limpeza do

colmo antes da aplicação das demãos de verniz durante as atividades de manutenção.

**Origem:** uso e manutenção.

### *Fungos verdes e brancos*

**Descrição:** mancha de cor verde e branco na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 47).

Figura 47 - Fungos verdes em colmo de bambu.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição prolongada dos colmos à água.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

### *Fungos pretos*

**Descrição:** mancha de cor preta na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 48).

Figura 48 - Fungos pretos em colmo de bambu.



Fonte: autora (2018)

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC5 (Apêndice G).


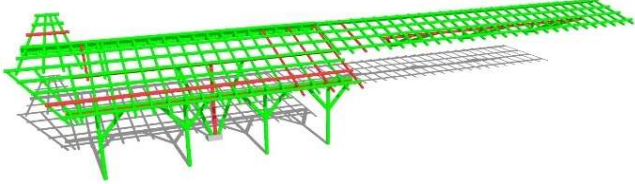
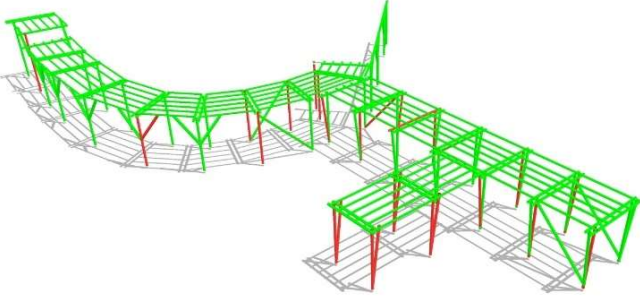
**Causas prováveis:** frequente exposição dos colmos à água

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

#### 4.1.3.3 Perfurações e perdas de massa

O Quadro 19 apresenta a localização das perfurações nas três estruturas do estudo de caso 1.

Quadro 19 - Localização das peças com perfurações nas estruturas do estudo de caso 1.

Imagens /localização das peças que apresentam perfurações	# peças afetadas
 <p data-bbox="692 762 841 791">total 18 peças</p>	3
 <p data-bbox="678 1007 841 1034">total 107 peças</p>	14
 <p data-bbox="678 1358 841 1385">total 200 peças</p>	27

Fonte: autora

Foram observados na estrutura quatro tipos de perfurações. Nas estruturas que estão majoritariamente expostas às intempéries se identificaram mais tipos de perfurações, enquanto que na estrutura B que está mais protegida a maioria das perfurações têm sua origem na execução.

#### *Perfurações durante a fase de uso*

**Descrição:** tais pequenas rachaduras longitudinais se originam de orifícios com várias formas e localizações nos colmos de bambu, na maioria dos casos, delas se originam pequenas rachaduras longitudinais (Figura 49).

Figura 49 – Perfurações durante a fase de uso no Estudo de Caso 1.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM1 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** falta de manual de usuário que indique como intervir nas estruturas de bambu.

**Origem:** fase de uso e manutenção

#### *Perfurações por *Dinoderus minutus* (caruncho)*

**Descrição:** perfurações de aproximadamente 1 mm de diâmetro localizadas na parede interna do colmo ou nos locais onde não há presença de córtex, como as gemas (onde antes estavam localizados os ramos), assim demonstradas na Figura 50.

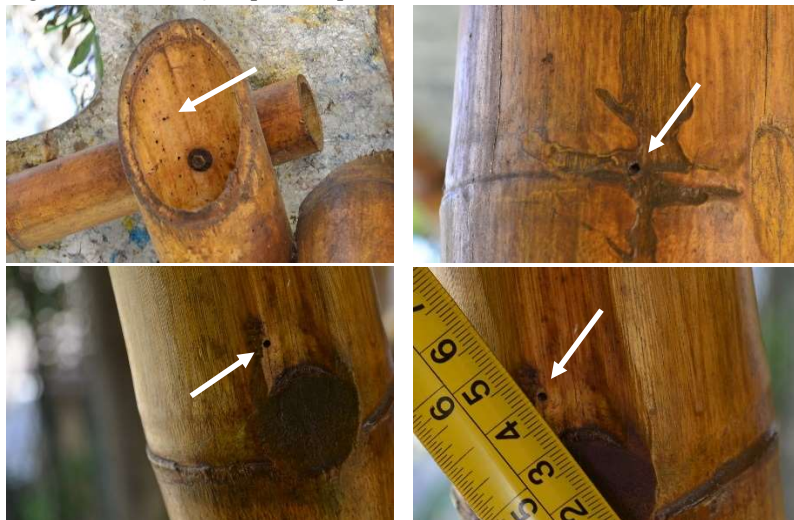
Estas perfurações podem aparecer de forma isolada ou em maiores quantidades. Neste estudo de caso foram mais frequentes na estrutura C que se encontra mais exposta às intempéries.

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM2 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** ataque do inseto *D. minutus*.



Figura 50 - Perfurações pelo ataque do *D.minutus* no Estudo de Caso 1.



Fonte: autora

**Origem:** projeto e execução, tratamento e seleção dos colmos, da mesma maneira que e falta de realização de inspeções e de controle de pragas na fase de uso (manutenção).

*Perfurações por inseto coleóptero Chlorophorus annularis*

**Descrição:** perfuração ovalada de aproximadamente 2 – 3 mm de diâmetro, localizada no córtex do colmo (Figura 51). Neste caso só se detectou um furo com estas características.

Figura 51 - Perfuração pelo ataque do *C. annularis*.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM3 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** falta de tratamento no colmo, ou com tratamento defeituoso.

**Origem:** tratamento e seleção dos colmos - execução.

#### *Perfurações durante a construção e reformas*

**Descrição:** Trata-se de orifícios circulares feitos com furadeira e que atravessam as paredes do colmo (Figura 52), localizados em vários pontos dos colmos, principalmente na parte da estrutura que foi ampliada.

Figura 52 - Perfurações no estudo de caso 1.



Fonte: autora (2018)

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM 4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** não se realizou uma seleção adequada das peças de bambu para fazer as reformas e também não se fecharam os furos que os colmos de bambu já possuíam.


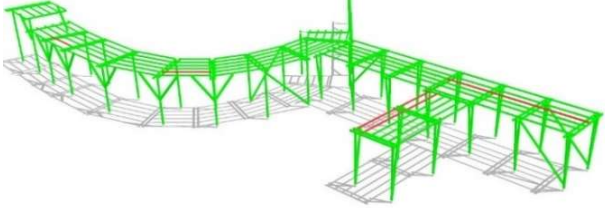
**Origem:** fase de uso e manutenção - reformas

#### 4.1.3.4 Colapso do colmo

O Quadro 20 apresenta a localização dos colmos colapsados neste estudo de caso. Na estrutura A não ocorreram peças colapsadas. Em todos os colmos afetados a causa provável foi o esmagamento das peças.



Quadro 20 - Localização dos colmos colapsados nas estruturas do Estudo de Caso 1.

Imagens /localização das peças colapsadas	# peças afetadas
 <p data-bbox="669 512 841 539">Total 107 peças</p>	2
 <p data-bbox="669 767 841 794">Total 200 peças</p>	4

Fonte: autora

**Descrição:** os colmos colapsaram e estão achatados. Geralmente estes colmos são vigas, ripas ou caibros, e neles o colapso acontece próximo aos apoios ou conexões (Figura 53).

Figura 53 - Esmagamento dos colmos nas estruturas do Estudo de Caso 1.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** uma carga de compressão perpendicular às fibras é aplicada no colmo até superar sua tensão limite. Neste caso, em vários colmos a carga foi aplicada em extremos que não apresentavam um nó na ponta e isto facilitou o colapso das peças. A falha

também pode ter ocorrido pelo efeito de uma carga excessiva sobre a peça ou porque um parafuso foi apertado mais do que seria necessário.

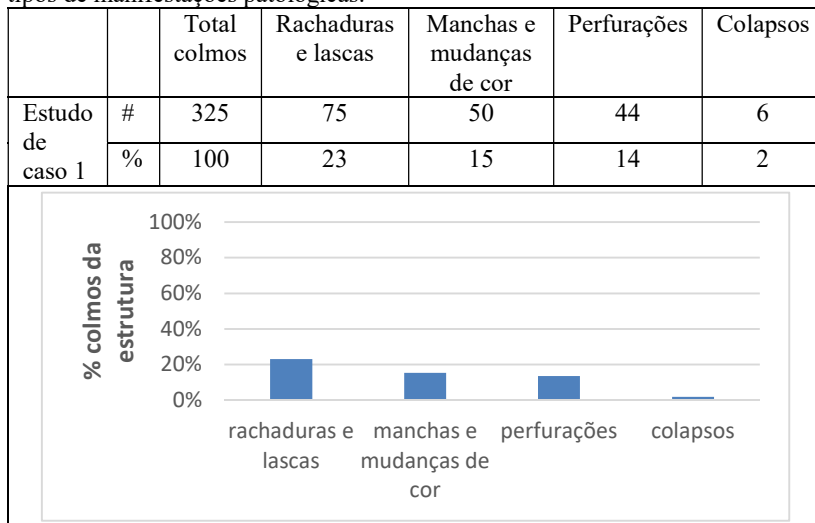
**Causas prováveis:** esmagamento dos colmos de bambu, nas regiões sem nós. Falta de reforço interno nos colmos de bambu nas áreas que suportam estas cargas, por exemplo por meio do preenchimento do entrenó. Execução de reformas sem assessoria profissional.

**Origem:** construção, uso e manutenção.

#### 4.1.3.5 Resumo de colmos com ocorrências no estudo de caso

As estruturas deste estudo de caso estão compostas por um total de 325 colmos em total. Conforme foi observado, vários deles apresentaram manifestações patológicas. O Quadro 21 apresenta uma síntese do número de peças com cada tipo de ocorrência e a percentagem em relação ao total de colmos.

Quadro 21 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas.



Fonte: autora

Observa-se que no estudo de caso as rachaduras e lascas foram o tipo de manifestação patológica com mais ocorrências, afetando cerca de 23% dos colmos, seguido pelas manchas e mudanças de cor com 15%, perto das perfurações com 14%. Por sua vez, as peças colapsadas representam menos de 2% do total dos colmos das estruturas.

## 4.2 ESTUDO DE CASO 2 – GAROPABA

Esta é uma pequena estrutura de bambu que foi projetada e construída em 2010 pelo Arq. André Chaluppe, estando localizada na varanda de uma chácara, na cidade de Garopaba, a 200 m ao norte da lagoa do Macacu (Figura 54). O projetista desta estrutura é o mesmo que do Estudo de Caso 1.

Figura 54 - Estrutura de bambu no Estudo de caso 2.



Fonte: autora

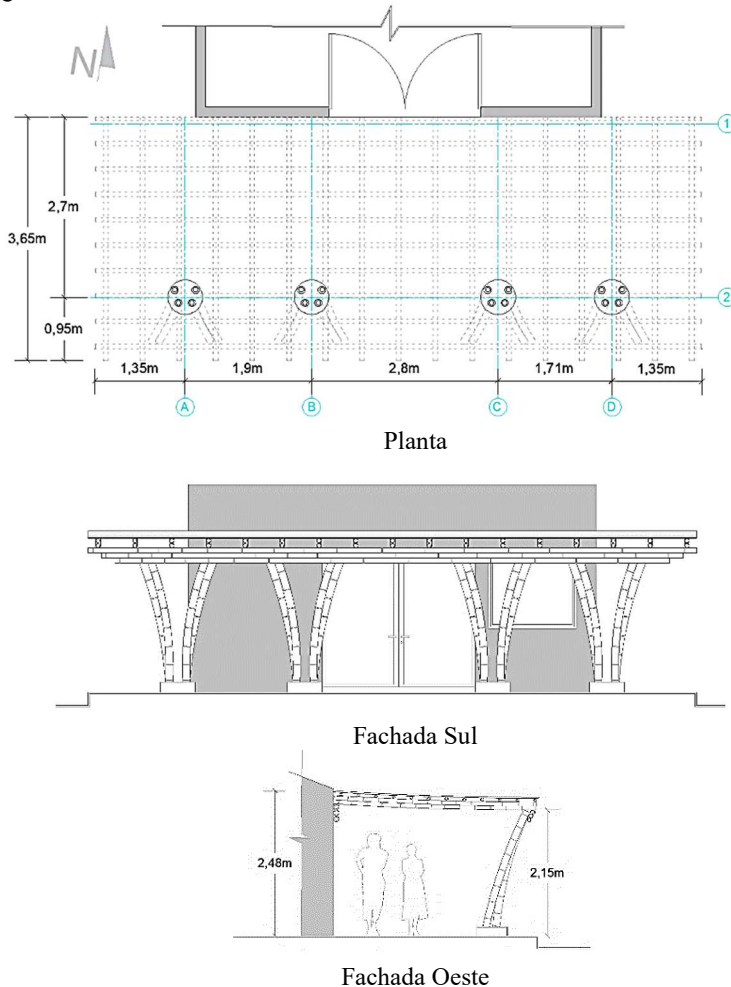
### 4.2.1 Caracterização do projeto

Esta estrutura de bambu suporta uma cobertura de vidro com película UV, fazendo parte de uma varanda, localizada na fachada sul de uma pequena casa e cuja área é de 33,25 m<sup>2</sup>. Foi construída em 2010 durante uma semana, com colmos de bambu das espécies *G. angustifolia*, *P. pubescens* e *P. aurea*. Não foi feito um projeto, baseando-se a construção apenas em um croquis feito a mão.

Na Figura 54 são apresentadas a planta e fachadas. A parte frontal da estrutura está apoiada em quatro pilares curvos e inclinados compostos por quatro colmos cada um, enquanto que a parte posterior está ancorada

à construção de concreto e alvenaria. As fundações dos pilares são de concreto e sobressaem 20 cm da laje de fundação.

Figura 55 - Estrutura de bambu no estudo de caso 2.



Fonte: autora

As curvaturas naturais dos colmos de bambu foram aproveitadas como parte da composição arquitetônica, caracterizando os pilares desta estrutura.

A resolução dos detalhes construtivos é similar àquela observada no Estudo de Caso 1, já que esta obra foi concebida pelo mesmo projetista. Então também nas conexões entre pilares e fundações, entre pilares e vigas se utilizaram parafusos e os entrenós foram concretados. No caso das outras ligações entre elementos de bambu (caibros e fixação da cobertura), também foram utilizados conectores metálicos, mas sem efetuar a concretagem dos entrenós.

#### 4.1.1.1 Características do bambu utilizado

Neste estudo de caso foram utilizados bambus das espécies *G. angustifolia*, *P. pubescens* e *P. aurea*. Os colmos das duas primeiras espécies foram trazidos de São Paulo e os de *P. aurea*, de Maringá.

Da mesma forma que no caso anterior, os bambus de maior diâmetro foram utilizados como pilares, os de diâmetro médio nas vigas e caibros e os menores para o ripamento. Tentou-se utilizar para a construção colmos com 5 anos de idade, considerados maduros pelo projetista, porém, no caso do *P. aurea* seriam de 4 anos. O tratamento foi realizado em autoclave, utilizando-se o CCA como preservante.

#### 4.2.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu

A expectativa de vida útil do projeto, segundo o projetista, é de mais de 20 anos, sempre considerando as manutenções.

Nos colmos foram aplicadas quatro demãos de “Polisten” e a manutenção foi feita só uma vez (repintado) depois da construção. Segundo indica o projetista, este produto é praticamente um filtro solar, então, ele vai observando que com o passar do tempo o produto desaparece até que seja necessária uma reaplicação. O efeito varia entre um e dois anos, havendo necessidade de reaplicação. Uma vantagem deste produto é que é à base de água e não precisa lixar a peça antes de aplicar novamente, bastando apenas lavar e aplicar.

#### 4.2.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu

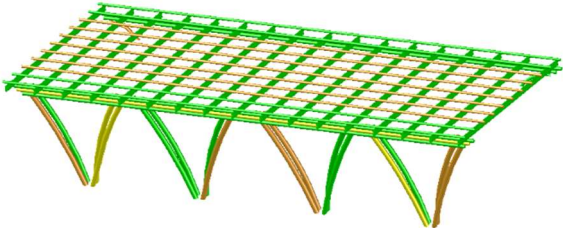
Durante a inspeção visual deste estudo de caso, foram analisados cada um dos colmos de bambu, e levantaram-se dados sobre as características das manifestações patológicas encontradas, tendo sido feitas 131 fotografias. Neste caso foram registradas manifestações dos

grupos: 1) rachaduras e lascas; 2) manchas e 3) perfurações. Não se observaram colapsos de elementos de bambu.

#### 4.2.3.1 Rachaduras e lascas

O Quadro 22 mostra uma síntese da localização das rachaduras nesta estrutura e suas características de extensão:

Quadro 22 - Peças com rachaduras na estrutura do Estudo de Caso 2.



Cor	Legenda	Elemento estrutural			
		Pilar /mão francesa	viga	caibro	ripa
	Peças com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós e cujo comprimento é maior a 20% do comprimento do colmo.	6	0	0	14
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do comprimento total da peça.	3	2	0	0
	Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	7	8	34	8
Somatória		16	10	34	22
<b>Total de peças de bambu na estrutura</b>		<b>82</b>			

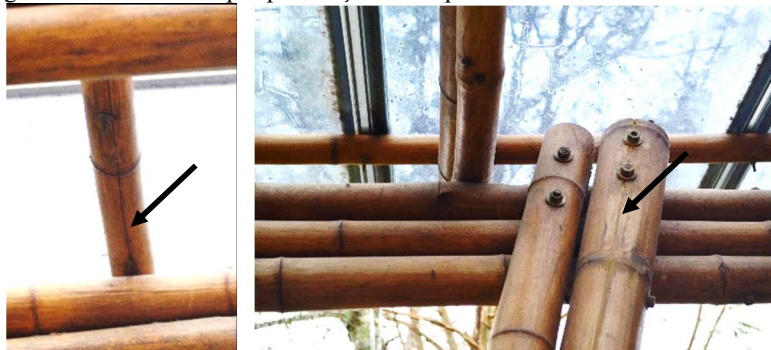
Fonte: autora

Por meio da análise qualitativa, foram agrupadas as rachaduras com características visuais semelhantes. A seguir, são apresentados os tipos de rachaduras encontrados neste estudo de caso, descrevendo-se os mecanismos de ocorrência e suas causas prováveis.

### *Rachaduras por penetração*

**Descrição:** rachadura longitudinal no colmo, cuja parte central está localizada no ponto onde há um prego, um parafuso, ou um furo deixado por algum destes elementos (Figura 56). Neste estudo de caso há vários elementos que apresentam tal manifestação patológica, principalmente os caibros.

Figura 56 - Rachaduras por penetração de corpo externo no estudo de caso 2.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL3 (Apêndice G).

**Causa provável:** no caso dos pilares, dois parafusos foram colocados na mesma direção paralela às fibras com pequena distância entre si.

**Origem:** execução.

### *Rachaduras por esmagamento*

**Descrição:** os colmos horizontais dos caibros apresentam rachaduras longitudinais em ambas as laterais nas regiões onde estão apoiados sobre as ripas (Figura 57).

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL5 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** causa de uma carga excessiva sobre a peça ou porque um parafuso foi apertado além do necessário sobre o colmo. Também os colmos poderiam ter sido reforçados internamente.

Figura 57 - Rachaduras por esmagamento no estudo de caso 2.



Fonte: autora

**Origem:** projeto e construção.

#### *Rachaduras nos extremos concretados dos colmos*

**Descrição:** Rachadura que se origina no extremo que está preenchido com concreto dos colmos próximos às conexões, que se estende longitudinalmente (Figura 58). Em alguns colmos foi colocada uma braçadeira metálica para impedir que a rachadura progredisse.

Figura 58 - Rachadura no extremo concretado de colmo.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL1 (Apêndice G).

**Causa provável:** transmissão de momentos fletores da conexão ao colmo de bambu. Secagem dos colmos (variação dimensional).

**Origem provável:** projeto e construção.

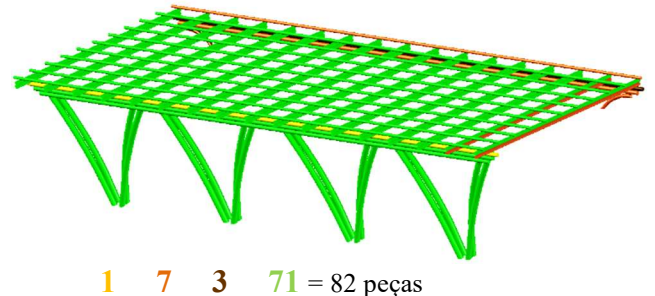
#### 4.2.3.2 Manchas ou mudanças de cor

Neste caso foram encontradas manchas de três tipos: fungos pretos, fungos brancos e verdes e deterioração do verniz. O Quadro 23 apresenta a localização dessas manchas nesta estrutura. Tornou-se difícil



encontrar só um tipo de mancha nas peças; as cores correspondem ao tipo de mancha predominante no colmo.

Quadro 23 - Localização das manchas na estrutura do Estudo de Caso 2.

Imagem / localização das manchas	Legenda
 <p>1 7 3 71 = 82 peças</p>	<p>Verniz deteriorado Fungos verdes e brancos Fungos pretos Peça sem manchas</p>

Fonte: autora

### *Verniz deteriorado*

**Descrição:** setores dos colmos com a camada do verniz descascada ou desgastada (Figura 59).

Figura 59 - Deterioração do verniz em colmo no Estudo de Caso 2.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC3 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição direta do colmo vernizado às intempéries. Falta de manutenção e aplicação de uma nova demão de verniz.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

### *Fungos verdes e brancos*

**Descrição:** manchas de cor verde e branco na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 60).

Figura 60 - Fungos verdes e líquens em colmos no Estudo de caso 2.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição prolongada dos colmos à água

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

### *Fungos pretos*

**Descrição:** manchas de cor preta na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 61).

Figura 61 - Fungos pretos em colmos no Estudo de caso 2.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC5 (Apêndice G).

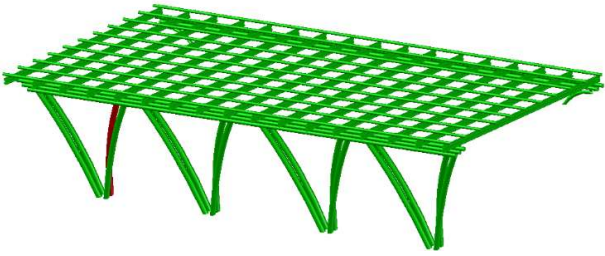
**Causas prováveis:** frequente exposição dos colmos à água.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

### 4.2.3.3 Perfurações e perdas de massa

O Quadro 24 apresenta a localização das perfurações na estrutura do Estudo de Caso 2. Observou-se na estrutura só um tipo de perfuração, causada por insetos, descrita a seguir.

Quadro 24 - Peça com perfuração na estrutura do Estudo de Caso 2.

Imagens /localização das peças que apresentam perfurações	# peças afetadas
	1

Fonte: autora

#### *Perfurações por inseto coleóptero C. annularis*

**Descrição:** foram observadas duas perfurações ovaladas de aproximadamente 2 – 3 mm de diâmetro, localizadas no córtex de um dos colmos da estrutura (Figura 62).

Figura 62 - Perfurações pelo *C. annularis* no Estudo de Caso 2.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM3 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** falta de tratamento no colmo, ou devido ao tratamento defeituoso.

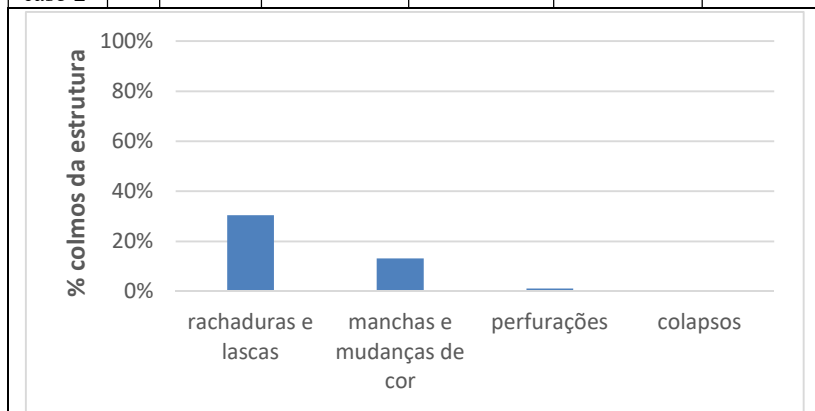
**Origem:** execução (tratamento e seleção dos colmos).

#### 4.2.3.4 Resumo de colmos com ocorrências no Estudo de Caso 2

A estrutura deste Estudo de Caso está composta por 82 colmos e vários deles apresentaram manifestações patológicas. O Quadro 25 apresenta uma síntese do número de peças com cada tipo de ocorrência e a sua percentagem em relação ao total de colmos.

Quadro 25 - Quantidade de colmos do Estudo de Caso 2 afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas.

		Total colmos	Rachaduras e lascas	Manchas e mudanças de cor	Perfurações	Colapsos
Estudo de caso 2	#	82	25	11	1	0
	%	100	30	13	1	0



Fonte: autora

Observa-se que neste estudo de caso as rachaduras e lascas foram o tipo de manifestação patológica com mais ocorrências, afetando 30% dos colmos, seguido pelas manchas e mudanças de cor com 13%; as perfurações representam menos de 1% e não ocorreram peças colapsadas.

#### 4.3 ESTUDO DE CASO 3 – PORTO ALEGRE

Neste estudo de caso foram analisadas três pequenas estruturas de bambu com formato de icosaedros truncados, que estão localizadas em um espaço multicultural aberto ao público, à beira do rio Guaíba, no bairro Itapema, ao sul da cidade de Porto Alegre.

Este espaço possui amplas áreas verdes, muitas árvores grandes que possibilitam sombra e algumas construções com materiais naturais onde são desenvolvidas várias atividades como: férias de orgânicos, aulas de yoga, reiki, constelação familiar, cursos, treinos, eventos, entre outros.

As três estruturas pesquisadas neste estudo de caso foram construídas em 2012, durante 10 dias cada uma e nelas funcionam: na estrutura A uma pequena loja de vários objetos, na estrutura B uma cozinha e na estrutura C um espaço fechado destinado a cursos e outras atividades mais privadas. A Figura 63 apresenta imagens desses locais.

Figura 63 - Estruturas de bambu do Estudo de caso 3.

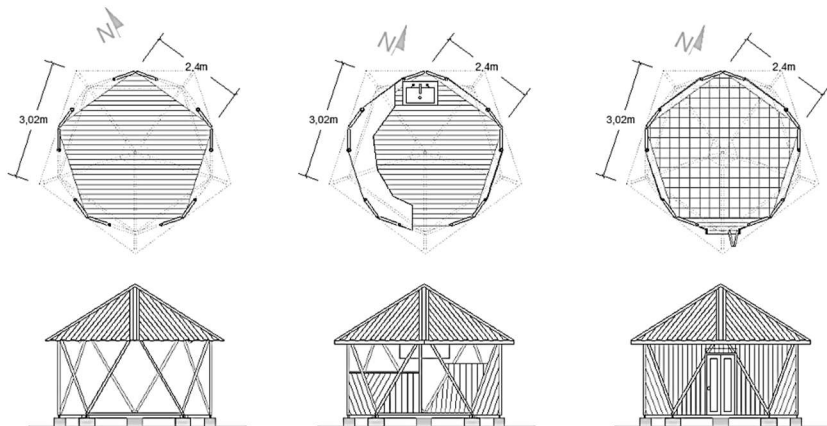


Fonte: autora

#### 4.3.1 Caracterização do projeto

As três estruturas têm uma área de 15 m<sup>2</sup> e cada uma tem base pentagonal, sendo os vértices apoiados em cinco pontos de fundação. Estas estruturas foram projetadas e construídas com colmos de bambu da espécie *P. nigra henonis*. Na Figura 64 são apresentadas as plantas e fachadas das três estruturas.

Figura 64 - Plantas e fachadas das estruturas de bambu do Estudo de Caso 3.



Fonte: autora

A **estrutura A** está construída sobre bases isoladas de pedra, o piso é de madeira, as conexões entre as peças de bambu estão realizadas com elementos metálicos, a cobertura é de telha ondulada e possui um forro de madeira. Na Figura 65 é possível observar o detalhe das conexões entre os colmos de bambu, que estão aparafusados a um elemento metálico que permite a ligação simultânea de 5 colmos. Este elemento é também utilizado para a ligação dos colmos com as fundações; neste último caso, só são conectados 4 colmos, o espaço restante do conector é fixado às fundações. Os extremos dos colmos, que estão em contato com estes elementos de conexão, estão envolvidos em plástico.

Figura 65 - Elemento metálico de conexão dos colmos de bambu na estrutura A



Fonte: autora



A **estrutura B** faz parte do espaço semiaberto da cozinha e a metade do espaço está fechado com tábuas, deixando os vãos principalmente na parte superior das fachadas para as janelas. Nesta construção foram utilizados os mesmos materiais, mas as conexões metálicas são diferentes das utilizadas na estrutura anterior, porque cada colmo de bambu foi aparafusado individualmente a uma pequena placa metálica, para depois aparafusar as placas metálicas entre si (Figura 66). Na mesma Figura, é possível observar que uma das bases nas quais se apoia a estrutura é um tronco em lugar de uma pedra.

Figura 66 - Conexões utilizadas para os elementos de bambu na estrutura B do Estudo de Caso 3.



Fonte: autora

A **estrutura C** faz parte de um espaço totalmente vedado. A principal diferença na estrutura é que o pentágono da base não foi feito com colmos de bambu, pois em seu lugar foram utilizadas vigas de madeira que sustentam uma pequena laje de concreto, cujo acabamento foi feito com peças cerâmicas. As conexões entre os colmos estruturais de bambu foram feitas utilizando o mesmo tipo de conector metálico da estrutura A.

Todos os colmos de bambu estão envernizados, a cobertura é também de telha ondulada e internamente o espaço não tem forro.

No interior são desenvolvidas atividades que precisam de maior privacidade e menos contato com os ruídos externos. Por este motivo, as paredes são todas de madeira, havendo duas janelas pequenas de vidro para iluminar o interior. Para garantir a vedação do espaço, foi utilizada em algumas partes espuma de poliuretano entre as uniões entre os colmos de bambu e as placas de madeira pintadas de cor rosa que servem de acabamento interior (Figura 67).

Figura 67 - Espuma de poliuretano cobrindo os elementos de bambu das paredes ao interior da estrutura C.



Fonte: autora

#### 4.3.1.1 Características do bambu utilizado

Os colmos de bambu da espécie *P. nigra henonis*, utilizados nas estruturas A, B e C deste estudo de caso, provêm de Ivoti – RS. Eles foram colhidos de uma floresta de uma colônia japonesa localizada na serra gaúcha.

Segundo o projetista, para a seleção do bambu procurou-se que a idade dos colmos fosse superior a 4 anos e seus diâmetros entre 6 e 8 cm. Eberts (2005) indica que os colmos desta espécie de bambu podem atingir até 18 m de altura, são muito resistentes e por isto, se recomenda seu uso na construção. Seu crescimento é nas regiões altas e pode resistir ao frio de até -22 °C.

Todos os colmos foram tratados com fogo antes da sua aplicação.

#### 4.3.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu

A expectativa de vida útil indicada pelo projetista foi de 10 anos para cada uma das estruturas, considerando as manutenções, sendo estipulado que se fizessem verificações visuais do estado dos elementos de bambu e que foi necessário fazer algumas “trocas de varas rachadas”. Não tem-se registro das datas em que estas ações aconteceram.

A pessoa que aluga atualmente o local indicou que, embora saiba que existem formas de fazer a manutenção das estruturas de bambu, ainda não fez nenhuma atividade neste sentido nas estruturas de bambu durante o ano e meio que está no local, acrescentando que não teria problema em fazer, mas precisaria ter orientações de alguém que lhe informasse como deveria proceder.



### 4.3.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu

Durante a inspeção visual das estruturas deste estudo de caso, foram analisados cada um dos colmos de bambu e levantaram-se dados sobre as características das manifestações patológicas encontradas, sendo feitas 457 fotografias. Para a análise, as ocorrências registradas foram classificadas conforme sua aparência em quatro grupos: 1) rachaduras e lascas; 2) manchas e mudanças de cor; 3) perfurações e 4) colapso do colmo. No entanto, neste caso não ocorreram peças colapsadas.

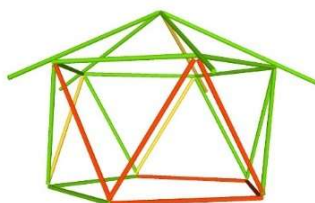
#### 4.3.3.1 Rachaduras e lascas

O Quadro 26 mostra uma síntese da localização das rachaduras identificadas na estrutura A deste estudo de caso, incluindo suas características de extensão, conforme as normas NSR-10 (2010), Norma técnica E-100 (2012) e NEC-SE-*Guadua* (2016).

Quadro 26 - Peças com rachaduras na estrutura A do Estudo de Caso 3.

(início)

Cor	Legenda	Elemento estrutural			
		Base	Pilar	Viga	Cobertura
	Peças com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós e cujo comprimento é maior a 20% do comprimento do colmo.	3	3	0	0
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do comprimento total da peça.	0	2	0	1



(fim)

Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	2	5	5	4
Somatória	5	10	5	5
<b>Total de peças de bambu na estrutura</b>	<b>25</b>			

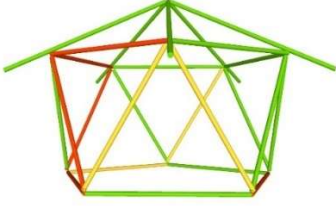
Fonte: autora

O Quadro 27 mostra uma síntese da localização das rachaduras encontradas na estrutura B.

No caso da estrutura C deste estudo de caso, não foram encontradas rachaduras nos colmos.

Quadro 27 - Peças com rachaduras na estrutura B do Estudo de Caso 3.

(início)

					
Cor	Legenda	Elemento estrutural			
		Base	Pilar	Viga	Cobertura
	Peças com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós e cujo comprimento é maior a 20% do comprimento do colmo.	2	2	2	0
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do comprimento total da peça.	1	3	0	0

				(fim)	
	Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	2	5	3	5
Somatória		5	10	5	5
<b>Total de peças de bambu na estrutura</b>		<b>25</b>			

Fonte: autora

Depois, por meio da análise qualitativa, foram agrupadas as rachaduras com características visuais semelhantes. A seguir, são apresentados os dois tipos de rachaduras encontrados neste estudo de caso, seus mecanismos de ocorrência e suas causas prováveis.

#### *Rachaduras por penetração*

**Descrição:** Rachadura longitudinal no colmo, originada no ponto onde há um parafuso (Figura 68).

Figura 68 - Rachadura por penetração de corpo externo.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL3 (Apêndice G).

**Causa provável:** introdução de um prego no colmo ou de um parafuso com diâmetro maior do que necessário.

**Origem:** execução.

### *Rachaduras nos extremos dos colmos*

**Descrição:** em muitos dos elementos de bambu das estruturas A e B ocorre este tipo de rachadura, que nasce no extremo dos colmos e se estende longitudinalmente (Figura 69).

Figura 69 - Rachadura nos extremos dos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL6 (Apêndice G).

**Causa provável:** transmissão de momentos fletores da conexão ao colmo de bambu.

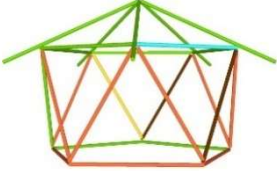
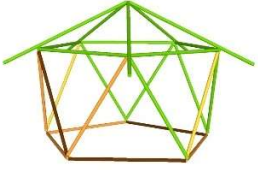
**Origem provável:** projeto e construção.

#### 4.3.3.2 Manchas ou mudanças de cor

Neste estudo de caso, as manchas foram classificadas por sua aparência em quatro grupos: fungos pretos, fungos brancos, manchas de óleo, e descoloração do colmo. O Quadro 28 apresenta a localização dessas manchas nas estruturas A e B, sendo que na estrutura C não foram observadas este tipo de manifestações.

É difícil encontrar só um tipo de mancha nas peças, por este motivo as cores correspondem ao tipo de mancha predominante em cada colmo.

Quadro 28 - Localização das manchas nas estruturas do Estudo de Caso 3.

Imagens/ localização das manchas	Legenda
 <p data-bbox="296 512 677 544">1 1 9 2 12 = 25 peças</p>	<p data-bbox="837 347 957 403">Mancha de tratamento</p> <p data-bbox="837 440 986 496">Descoloração do colmo</p> <p data-bbox="837 533 924 620">Fungos verdes e brancos</p>
 <p data-bbox="303 754 684 786">0 2 5 3 15 = 25 peças</p>	<p data-bbox="837 655 991 683">Fungos pretos</p> <p data-bbox="837 719 938 775">Peça sem manchas</p>

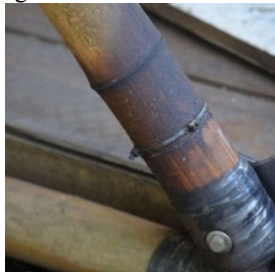
Fonte: autora

É possível observar que as peças que apresentam manchas estão localizadas principalmente na base da estrutura e nos pilares. A seguir, são analisados os tipos de manchas:

#### *Manchas pelo tratamento - óleo*

**Descrição:** na estrutura A foram observadas manchas escuras e oleosas em dois dos colmos (Figura 70).

Figura 70 - Manchas de óleo.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC1 (Apêndice G).

**Causa provável:** óleo colocado na superfície dos colmos.

**Origem:** uso e manutenção.

### *Descoloração do colmo*

**Descrição:** algumas partes dos colmos expostas às intempéries, principalmente à incidência dos raios solares, apresentam a superfície esbranquiçada (Figura 71).

Figura 71 - Descoloração do colmo.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC6 (Apêndice G).

**Causa provável:** os colmos não estão protegidos da incidência direta da luz solar.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

### *Fungos verdes e brancos*

**Descrição:** manchas de cor verde e branca na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera, como pode ser observado na Figura 72. Esta foi a manifestação patológica com maior número de ocorrências nas edificações deste estudo de caso.

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição prolongada dos colmos à água

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

Figura 72 - Fungos verdes e brancos.



Fonte: autora

### *Fungos pretos*

**Descrição:** manchas de cor preta na superfície dos colmos de bambu, deixando-a também uma textura áspera (Figura 73). Neste estudo de caso, esta manifestação foi mais frequente nos extremos dos colmos que estavam apoiados sobre as pedras e não tinham proteção.

Figura 73 - Fungos pretos nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** MC5 (Apêndice G).

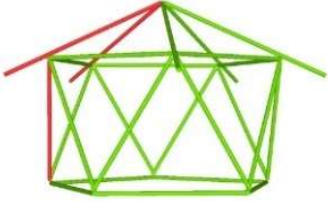
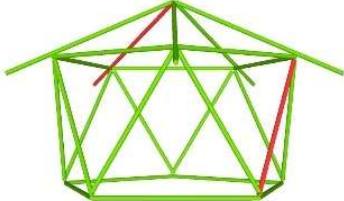
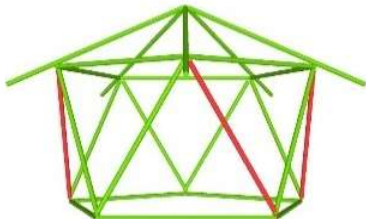
**Causas prováveis:** frequente exposição dos colmos à água

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

#### 4.3.3.3 Perfurações e perdas de massa

O Quadro 29 apresenta a localização das perfurações nas estruturas do Estudo de Caso 3. Foram desconsiderados os orifícios utilizados para o tratamento do bambu, pois estavam selados.

Quadro 29 - Peças com perfurações nas estruturas do Estudo de Caso 3.

Imagens /localização das peças que apresentam perfurações	# peças afetadas
 <p data-bbox="308 483 546 512">(estrutura A) 25 peças</p>	3
 <p data-bbox="305 762 549 791">(estrutura B) 25 peças</p>	2
 <p data-bbox="308 1066 546 1094">(estrutura C) 20 peças</p>	3

Fonte: autora

Desta forma, dois tipos de perfurações foram identificados: aqueles ocasionados pelo inseto *D. minutus*, localizados nos colmos da cobertura que não possuem proteção com plástico nos extremos e aqueles ocasionados durante a construção que estão localizados nos pilares.

#### *Perfurações por D. minutus*

**Descrição:** perfurações de aproximadamente 1- 2 mm de diâmetro localizadas na parede interna dos extremos dos colmos, como mostrado na Figura 74.



Figura 74 - Perfurações por *D. minutus*.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM2 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** ataque do inseto *D. minutus*.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

#### *Perfurações durante a construção*

**Descrição:** orifícios circulares feitos com furadeira que atravessam as paredes do colmo (Figura 75), presentes em vários pontos dos colmos, localizados neste caso nos pilares.

Figura 75 - Perfurações durante a construção



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** PM4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** erros na execução dos furos das conexões.

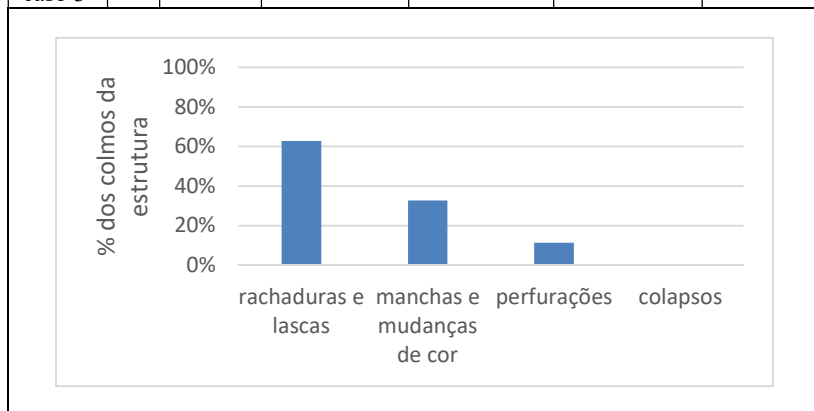
**Origem:** construção.

#### 4.3.3.4 Resumo de colmos com ocorrências no estudo de caso

A estrutura deste estudo de caso está composta por 70 colmos e vários deles apresentaram manifestações patológicas. O Quadro 30 apresenta uma síntese do número de peças com cada tipo de ocorrência e a percentagem em relação ao total de colmos.

Quadro 30 - Quantidade de colmos do Estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas

		Total colmos	Rachaduras e lascas	Manchas e mudanças de cor	Perfurações	Colapsos
Estudo de caso 3	#	70	44	23	8	0
	%	100	63	33	11	0



Fonte: autora

Observa-se que neste estudo de caso, as rachaduras e lascas foram o tipo de manifestação patológica com mais ocorrências, afetando 63% dos colmos, seguido pelas manchas e mudanças de cor com 33%, as perfurações representam 11% e não ocorreram peças colapsadas.

#### 4.4 ESTUDO DE CASO 4 – RIO PARDO

Este é um galpão de 37 m<sup>2</sup>, localizado no Rincão del Rei, em Rio Pardo – RS, em um espaço da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) - Ascar, onde anualmente se realiza o evento Expoagro Afubra.

Esta estrutura em bambu foi construída em 2013, a construção durou dois meses e foi executada por quatro pessoas (Figura 76). Não foi elaborado um projeto no papel ou maquete, sendo resolvido com base na experiência do projetista no trabalho com o material.

Figura 76 - Estrutura de bambu do Estudo de Caso 4.



Fonte: autora

Segundo o projetista e um dos funcionários da EMATER, esta edificação foi construída com o objetivo de desmitificar a construção com bambu, mostrando aos produtores rurais de Rio Grande do Sul que o bambu “não é só para fazer galinheiro”, mas é uma opção de renda, tanto na parte de produção quanto em novas formas de aplicar o material na construção.

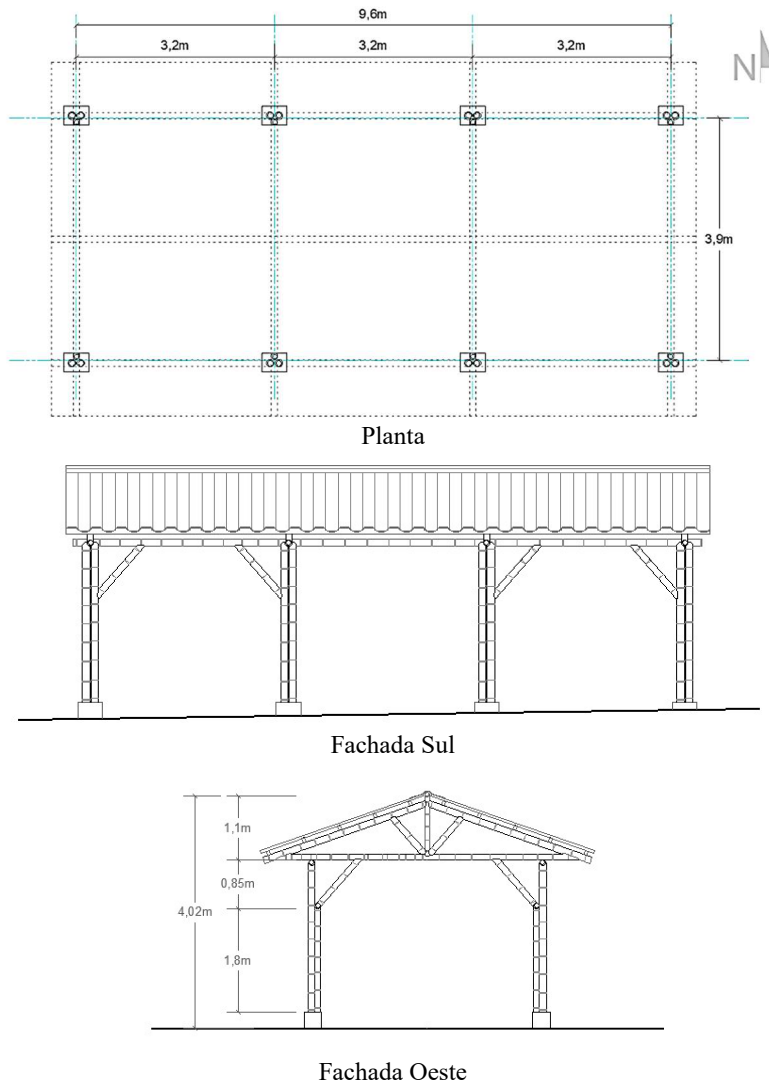
O galpão é utilizado como um auditório ao ar livre para explicar assuntos relacionados com apicultura e também para mostrar o potencial do bambu para a construção durante a feira anual, com a intenção de motivar os agricultores a plantar o bambu.

#### 4.4.1 Caracterização do projeto

A estrutura é composta por quatro pórticos construídos com colmos de bambu das espécies *D. asper* para os pilares e *P. pubescens* para as tesouras.

As fundações isoladas são de concreto, a cobertura é de amianto e está fixada a ripas de madeira, que por sua vez estão fixadas à estrutura de colmos de bambu. Há um pequeno forro tecido de bambu sob a cobertura. A Figura 77 apresenta as plantas e as fachadas do galpão.

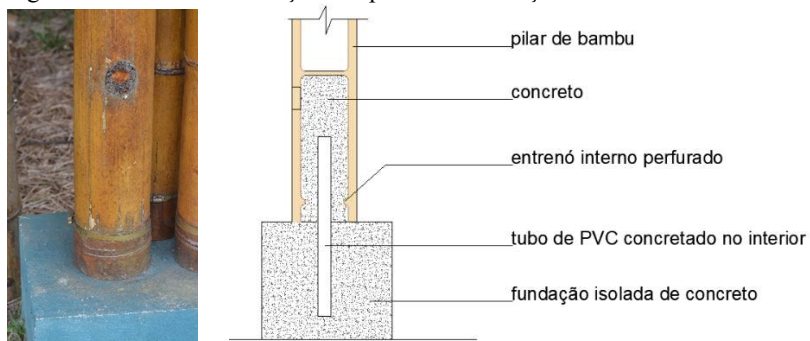
Figura 77 - Planta e fachadas do estudo de caso 4.



Fonte: autora

Nas fundações foram utilizados tubos de PVC de 75 mm concretado às fundações isoladas e depois os colmos de bambu foram fixados a estes tubos, como mostrado na Figura 78.

Figura 78 - Detalhe da fixação dos pilares às fundações.

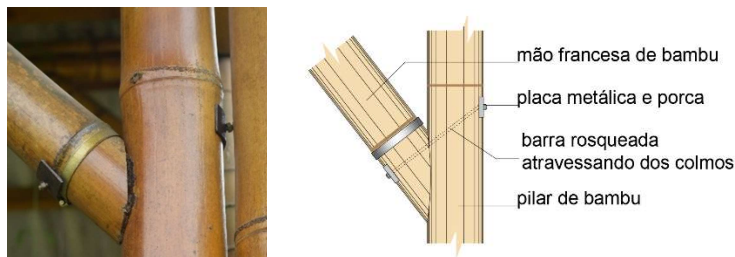


Fonte: autora

As uniões entre elementos de bambu foram feitas com cortes tipo boca de peixe ou bico de flauta, todas com maquinaria, e segundo o projetista esta foi a parte mais demorada.

As conexões foram feitas com barra rosqueada e sem preenchimento de concreto nos entrenós, pois isto facilitaria a substituição das peças. A Figura 79 apresenta um exemplo de uma dessas conexões entre um pilar e uma mão francesa.

Figura 79 - Detalhe de conexão entre colmos.



Fonte: autora

Na fotografia da figura anterior, pode-se observar o uso de uma braçadeira metálica na base da mão francesa e que comprime radialmente o colmo, ajudando a melhorar sua resistência ao fendilhamento.

Em algumas das ligações é possível observar a presença de elementos de amarração (Figura 80). No entanto, segundo indicado pelo projetista e construtor, elas são somente decorativas e sob as mesmas se situam as conexões metálicas.

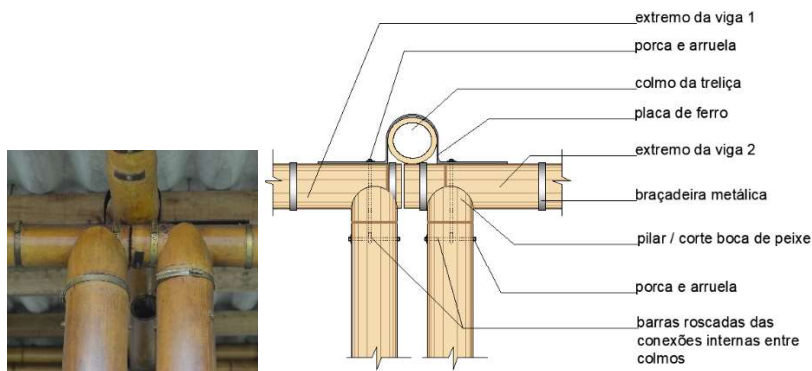
Figura 80 - Amarrações decorativas.



Fonte: autora

Outro detalhe construtivo desta edificação corresponde à parte superior de dois colmos, que compõem um dos pilares, sobre os quais estão apoiados os extremos de duas vigas, que por sua vez servem de apoio ao colmo horizontal da base de uma das treliças. Este último colmo está escorado nos extremos das vigas e, para evitar seu deslocamento sobre elas, foi utilizada uma placa metálica que o envolve pela parte superior, sendo a mesma parafusada às vigas e aos pilares, como mostrado na Figura 81:

Figura 81 - Detalhe de ligação de vários colmos sobre um dos pilares.



Fonte: autora

Mais uma vez, é possível observar na fotografia da figura anterior o uso de braçadeiras metálicas nos colmos para comprimi-los, visando aumentar sua resistência mecânica.

#### 4.4.1.1 Características do bambu utilizado

O bambu da espécie *D. asper* foi trazido desde o Planalto – RS e o *P. pubescens* desde São Paulo.

As características dos colmos solicitadas pelo projetista para o *Phyllostachys* foram: comprimento das varas de 6 m, um diâmetro aproximado de 15 cm e tratamento com o método do “cozido”. Os colmos de *D. asper* também tiveram um comprimento de 6 m, mas o tratamento foi realizado pelo projetista com octaborato de sódio a 17% (1,5 kg para cada 9 L de água) e aplicando a solução por injeção em cada entrenó.

A secagem foi realizada no depósito da oficina do projetista, local com sombra e ventilado durante, aproximadamente, cinco meses.

No projeto, as bases dos pilares estão protegidas do contato direto com o solo, pelo uso de fundações isoladas de concreto de 30 cm de altura. A estrutura possui beirais de 80 cm para proteção da estrutura do contato direto com a chuva.

#### **4.4.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu**

Considerando as manutenções o projetista prevê uma vida útil da construção de entre 30 e 40 anos. Em períodos entre seis meses e um ano ele faz visitas para observar o estado da estrutura. Observando sobretudo não há brocas, mas caso haja manifestações de sua presença, ele injeta cipermetrina no colmo. Caso esse tratamento não funcione adequadamente, a peça de bambu seria substituída.

O projetista manifestou que até 2018 não foi necessária trocar nenhuma peça desta estrutura. A manutenção está sob sua supervisão, mencionando que houve uma problemática referente a umidade em apenas uma das peças, já que a água estava infiltrando pela cobertura e enchendo o colmo. Foi necessário realizar impermeabilizações para proteger este elemento de bambu e evitar a presença de umidade no futuro.

Houve também em algumas das vigas de bambu das treliças, um problema com o ingresso de roedores e nesse caso os colmos foram preenchidos com espuma expansiva.

#### **4.4.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu**

Foram analisados cada um dos colmos de bambu que compõem esta estrutura durante a inspeção visual e levantaram-se dados sobre as características das manifestações patológicas encontradas, sendo feitas 427 fotografias. As anomalias foram classificadas conforme sua aparência nos mesmos grupos descritos nos casos anteriores: a)

rachaduras e lascas; b) manchas e mudanças de cor; c) perfurações e d) colapso do colmo.

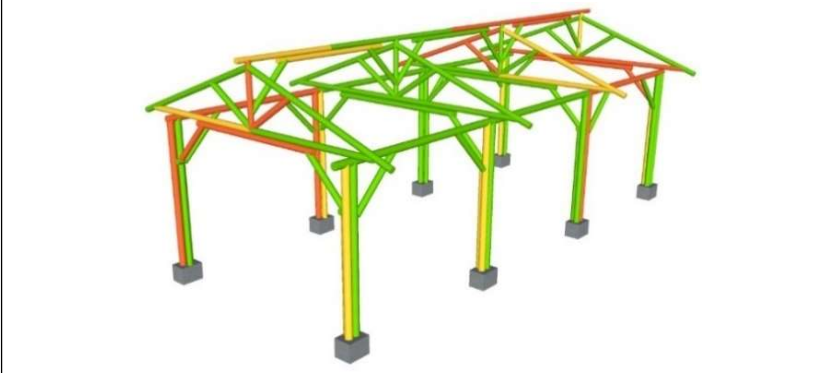
#### 4.4.3.1 Rachaduras e lascas

O Quadro 31 mostra uma síntese da localização das rachaduras, indicando suas características de extensão, conforme as normas NSR-10 (2010), Norma técnica E-100 (2012) e NEC-SE-*Guadua* (2016).

Depois, por meio da análise qualitativa, foram agrupadas as rachaduras com características visuais semelhantes. A seguir, são apresentados os tipos de rachaduras encontrados no estudo de caso, seus mecanismos de ocorrência e causas prováveis.

Quadro 31 - Peças com rachaduras na estrutura do Estudo de Caso 4.

(início)



Cor	Legenda	Elemento estrutural			
		Pilar	Mão francesa	Viga	Treliça
	Peças com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós e cujo comprimento é maior a 20% do comprimento do colmo.	3	2	8	4
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do comprimento total da peça.	8	0	4	4



					(fim)
	Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	13	20	8	20
	Somatória	24	22	20	28
	<b>Número de peças de bambu na estrutura</b>	<b>94</b>			

Fonte: autora

### *Rachaduras nos extremos dos colmos concretados*

**Descrição:** observou-se a presença de rachaduras no extremo que está preenchido com concreto na base dos pilares, estendendo-se longitudinalmente (Figura 82).

Neste caso, a rachadura nem sempre chega à extremidade do borde do colmo nos casos em que foi colocada uma braçadeira metálica próxima às fundações.

Figura 82 - Rachaduras nos extremos dos colmos preenchidos com concreto.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL1 (Apêndice G).

**Causa provável:** transmissão de momentos fletores da conexão ao colmo de bambu. Secagem dos colmos (variação dimensional)

**Origem provável:** projeto e construção.

### *Lasclas nos extremos dos colmos*

**Descrição:** desfibramento nos extremos de alguns colmos, como observado na Figura 83.

Figura 83 - Lasclas nos extremos dos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL7 (Apêndice G).

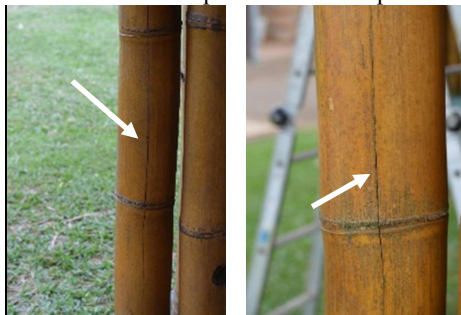
**Causa provável:** corte incorreto.

**Origem provável:** execução.

### *Rachaduras na parte central dos colmos*

**Descrição:** rachadura axial na parte central dos colmos de alguns pilares (Figura 84).

Figura 84 - Rachaduras na parte central dos pilares.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL2 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** transmissão de momentos fletores da conexão ao colmo de bambu, secagem, exposição dos colmos diretamente ao sol, entre outras.

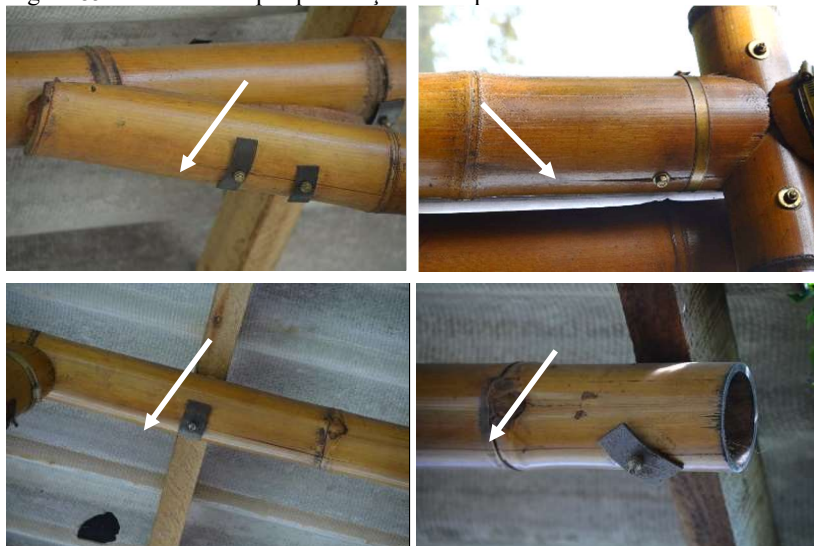
**Origem provável:** indeterminada.

### *Rachaduras por penetração*

**Descrição:** rachadura longitudinal no colmo, originada onde há um prego, um parafuso, ou um furo deixado por algum destes elementos (Figura 85).

Em alguns colmos a rachadura passa por dois parafusos colocados no mesmo eixo longitudinal.

Figura 85 - Rachaduras por penetração de corpo externo.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL3 (Apêndice G).

**Causa provável:** inserção de um prego no colmo ou um parafuso com diâmetro muito grande.

**Origem:** execução.

### *Rachaduras por apoio incorreto*

**Descrição:** rachaduras curtas originadas nos extremos dos colmos sobre os quais estão apoiados outros elementos (Figura 86).

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL8 (Apêndice G).

**Causa provável:** apoio incorreto na seção do colmo.

**Origem provável:** projeto e execução

Figura 86 - Rachaduras por apoio incorreto

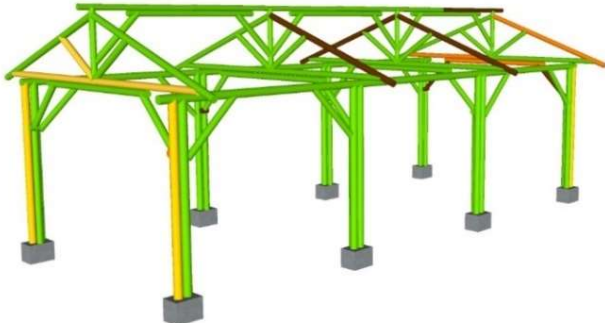


Fonte: autora

#### 4.4.3.2 Manchas e mudanças de cor

Neste estudo de caso, as manchas foram classificadas por sua aparência em três grupos: fungos pretos, fungos verdes e verniz deteriorado. O Quadro 32 apresenta a localização dessas manchas nesta edificação. É difícil encontrar só um tipo de mancha nas peças; as cores correspondem ao tipo de mancha predominante no colmo.

Quadro 32 - Localização das manchas na estrutura.

Imagens/ localização das manchas	Legenda
 <p data-bbox="239 1198 568 1230">6 5 8 75 = 94 peças</p>	<p data-bbox="788 847 910 906">Verniz deteriorado</p> <p data-bbox="788 943 874 1031">Fungos verdes e brancos</p> <p data-bbox="788 1067 863 1126">Fungos pretos</p> <p data-bbox="788 1163 885 1222">Peça sem manchas</p>

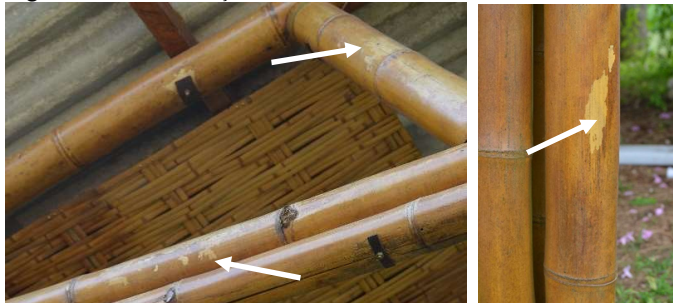
Fonte: autora

Durante a inspeção, mostrou-se evidente que a estrutura recebe uma manutenção contínua, porque pode ser observado que já foram aplicadas várias camadas de verniz, que os parafusos estavam bem apertados e que alguns problemas de umidade já haviam sido resolvidos.

### *Verniz deteriorado*

**Descrição:** setores dos colmos com a camada do verniz descascada ou desgastada (Figura 87).

Figura 87 - Deterioração do verniz nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC3 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição direta do colmo envernizado às intempéries. Aplicação do verniz sem haver limpado antes o colmo.

**Origem:** uso e manutenção.

### *Fungos verdes e brancos*

**Descrição:** manchas de cor verde e branca na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 88).

Figura 88 - Fungos verdes e brancos nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição prolongada dos colmos à água

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

### *Fungos pretos*

**Descrição:** manchas de cor preta na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 89).

Neste caso, esta mancha está presente principalmente nos extremos dos colmos da cobertura mais próximos aos beirais, sem ter se propagado ao longo do bambu. Foi possível observar em duas mãos francesas que já tinham estas manchas ao longo do colmo, mas que foram envernizadas.

Figura 89 - Fungos pretos nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC5 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** frequente exposição dos colmos à água.

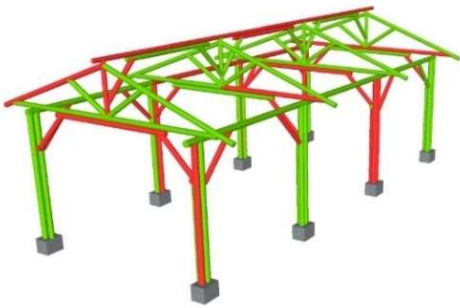
**Origem:** projeto, uso e manutenção.

#### 4.4.3.3 Perfurações e perdas de massa

O Quadro 33 apresenta a localização das perfurações nos colmos deste estudo de caso. Foram desconsiderados os orifícios utilizados para o tratamento por injeção do bambu.



Quadro 33 - Peças com perfurações nas estruturas do Estudo de Caso 3.

Imagens /localização das peças que apresentam perfurações	# peças afetadas
 <p data-bbox="748 560 841 585">94 peças</p>	37

Fonte: autora

As perfurações são as manifestações patológicas com mais ocorrências nesta edificação. Entre elas, aquelas ocasionadas pelo inseto *C. annularis* são as mais numerosas; no entanto foram registradas também perfurações causadas pelo inseto *D. minutus*, por erros na execução e pela ação de roedores.

#### *Perfurações durante a construção e a fase de uso*

**Descrição:** orifícios circulares feitos com furadeira que atravessam as paredes do colmo (Figura 90) e orifícios deixados por pregos, localizados em vários pontos de alguns colmos.

Figura 90 - Perfurações deixadas durante a construção e na fase de uso.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipos PM1 e PM4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** erros na execução dos furos das conexões. Usuários colocam pregos nos colmos.

**Origem:** construção e fase de uso.

### *Perfurações por inseto coleóptero C. annularis*

**Descrição:** presença de um grande número de perfurações ovaladas de aproximadamente 2 – 3 mm de diâmetro, localizadas no córtex de vários colmos da estrutura (Figura 91).

Neste caso, vários colmos apresentavam mais de uma perfuração.

Figura 91 - Perfurações pelo *C. annularis* no Estudo de Caso 2.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM3 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** colmos com tratamento defeituoso.

**Origem:** execução.

### *Perfurações por D. minutus (caruncho)*

**Descrição:** perfurações de aproximadamente 1-2 mm de diâmetro, localizadas na parede interna dos extremos de alguns colmos, como mostrado na Figura 92.

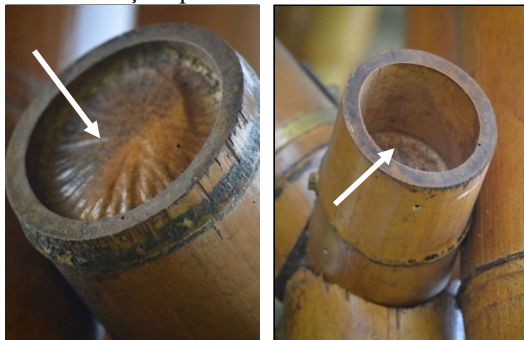
**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM2 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** ataque do inseto *D. minutus*.

**Origem:** projeto e execução.



Figura 92 - Perfurações por *D. minutus*.

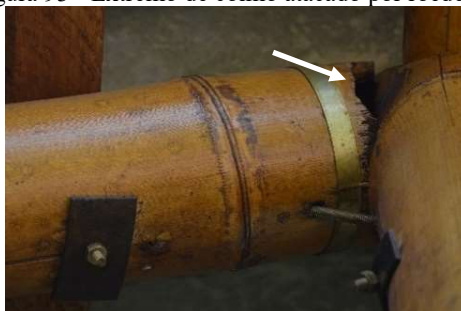


Fonte: autora

### *Perfurações por ação de roedores*

**Descrição:** extremo de um dos colmos inclinados que sustenta a cobertura e apresenta-se roído (Figura 93).

Figura 93 - Extremo de colmo atacado por roedores.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM5 (Apêndice G).

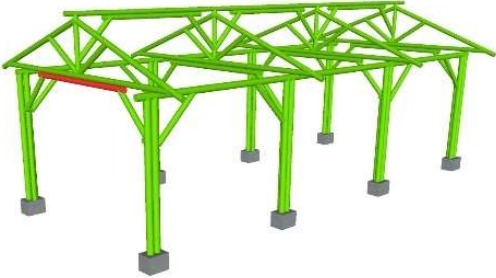
**Causas prováveis:** rato encontrou um espaço para entrar no colmo e construiu toca dentro do mesmo.

**Origem:** execução, fase de uso e manutenção.

#### 4.4.3.4 Colapso do colmo

O Quadro 34 apresenta a localização do único colmo colapsado que foi identificado neste Estudo de Caso.

Quadro 34 - Localização da peça colapsada no Estudo de Caso 4.

Imagens /localização da peça colapsada	# peças afetadas
 <p data-bbox="650 549 745 576">94 peças</p>	1

Fonte: autora

### *Colapso do colmo causado por ataque de insetos*

**Descrição:** observou-se a presença de uma rachadura longitudinal de aproximadamente 1 cm de largura e mais de 1,5 m de comprimento, localizada no colmo inferior da treliça da fachada oeste (Figura 93). Este colmo também apresentou várias perfurações causadas pelo inseto *C. annularis*.

Figura 94 - Peça colapsada no Estudo de Caso 4.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** a seção do colmo, que está submetido a flexão nesta treliça, já estava comprometida pelo ataque dos insetos. Então, neste elemento submetido à flexão, as cargas superaram sua resistência provocando a fratura e o fendilhamento longitudinal do bambu na fibra mais tracionada, localizada na parte inferior do colmo.

**Causas prováveis:** ataque de insetos

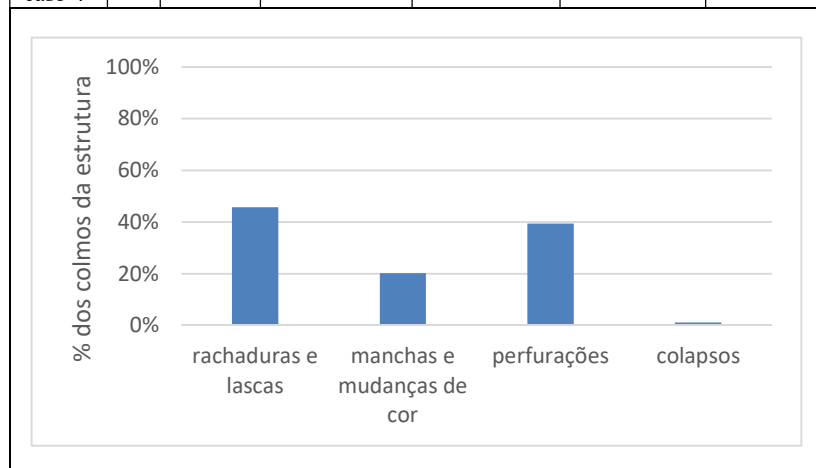
**Origem:** execução (tratamento e seleção do colmo).

#### 4.4.3.5 Resumo de colmos com ocorrências no estudo de caso

A estrutura deste estudo de caso está composta por 94 colmos e vários deles apresentaram manifestações patológicas. O Quadro 35 mostra uma síntese do número de peças com cada tipo de ocorrência e a porcentagem em relação ao total de colmos.

Quadro 35 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas.

		Total colmos	Rachaduras e lascas	Manchas e mudanças de cor	Perfurações	Colapsos
Estudo de caso 4	#	94	43	19	37	1
	%	100	46	20	39	1



Fonte: autora

Observa-se que neste estudo de caso as rachaduras e lascas são o tipo de manifestação patológica que ocorre na maioria dos bambus neste caso, afetando 46% dos colmos, seguido pelas perfurações com 39%, depois as manchas e mudanças de cor representam 20% e 1% de peças colapsadas.

#### 4.5 ESTUDO DE CASO 5 – PINHAIS

Este galpão para abrigo de novilhas está localizado no Centro Paranaense de Referência em Agroecologia - CPRA (Figura 95), a

estrutura foi construída em 2012, com o objetivo de mostrar aos agricultores as possibilidades que o bambu apresenta como material de construção.

Figura 95 - Estrutura do Estudo de Caso 5.



Fonte: autora

A construção durou entre seis e sete meses, porque foi realizada durante várias oficinas, com a participação de cerca de 7-15 pessoas em cada uma delas.

O projeto foi desenvolvido principalmente com base em uma maquete, que permitiu visualizar a forma de executar os detalhes construtivos.

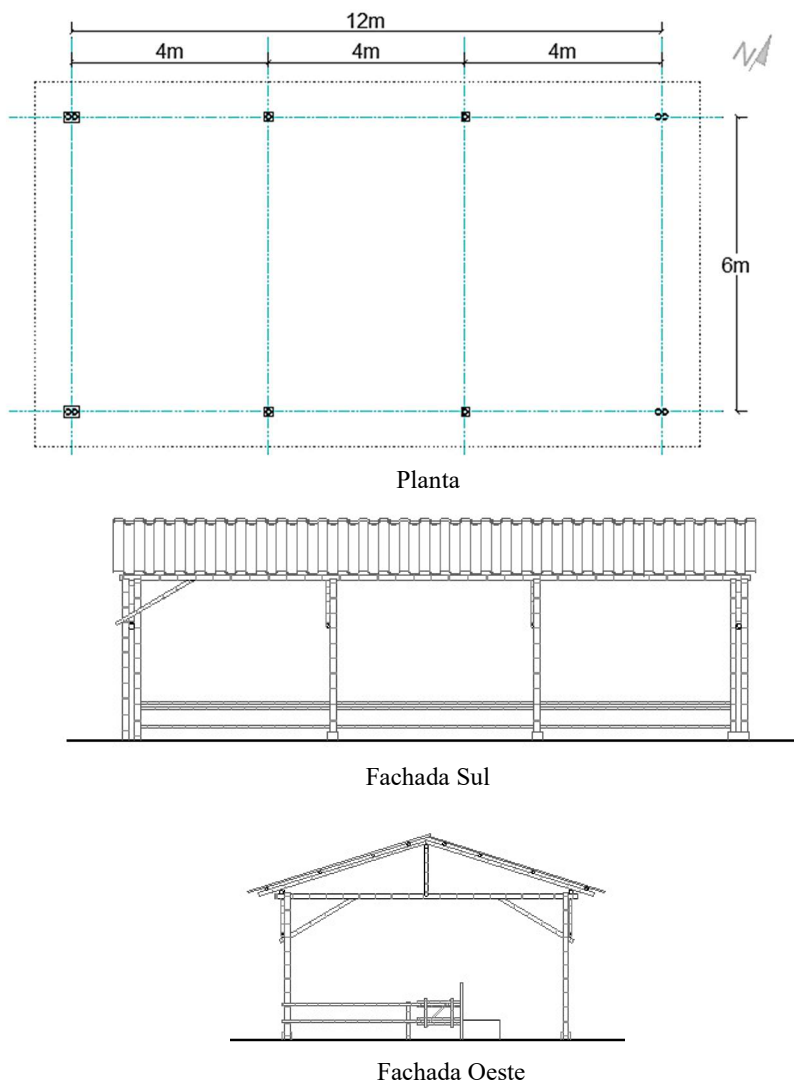
Como será observado nesta seção, este projeto recolhe opções de aplicação do bambu, de fácil execução e baixo custo para os moradores de áreas rurais, buscando o aproveitamento dos recursos disponíveis e o baixo impacto ambiental.

#### 4.5.1 Caracterização do projeto

O galpão tem uma área de 37,4 m<sup>2</sup> e a estrutura de bambu está composta por quatro pórticos. Na sua construção foram utilizadas seis espécies de bambu.

A planta e as fachadas são mostradas na Figura 96.

Figura 96 - Planta e fachadas do Estudo de Caso 5.

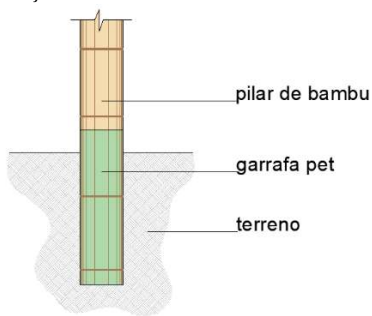
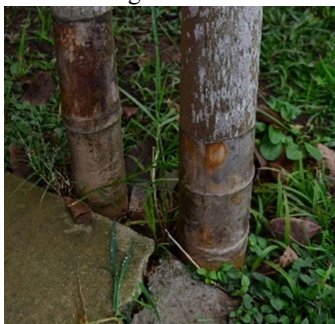


Fonte: autora

Nesta edificação foram aplicados quatro tipos de soluções construtivas para as fundações. O primeiro consiste em colocar a base do

colmo dentro de uma garrafa PET e depois simplesmente enterrá-lo no solo (Figura 97).

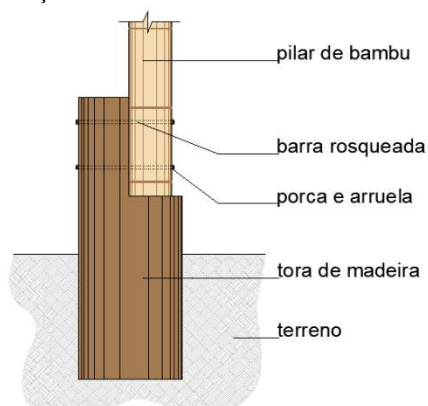
Figura 97 - Fotografia e detalhe de fundação.



Fonte: autora

O segundo tipo de fundação consiste em apoiar a base do pilar em uma peça de madeira cortada de forma que seja possível aparafusar horizontalmente o colmo de bambu com a metade da tora, como mostrado na Figura 98.

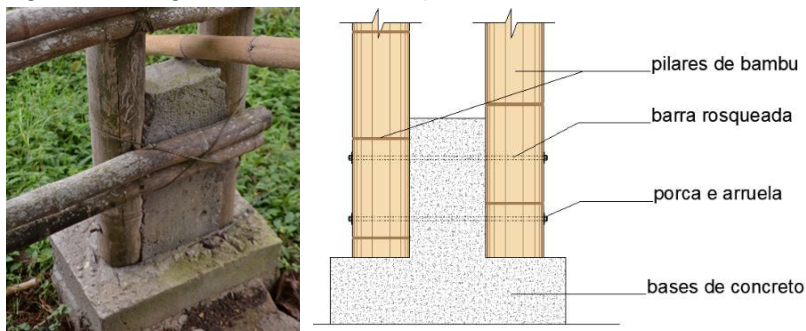
Figura 98 - Fotografia e detalhe de fundação.



Fonte: autora

Como uma variação do detalhe anterior, no terceiro tipo de fundação dos colmos de bambu estão aparafusados um a cada lado de uma base de concreto (Figura 99).

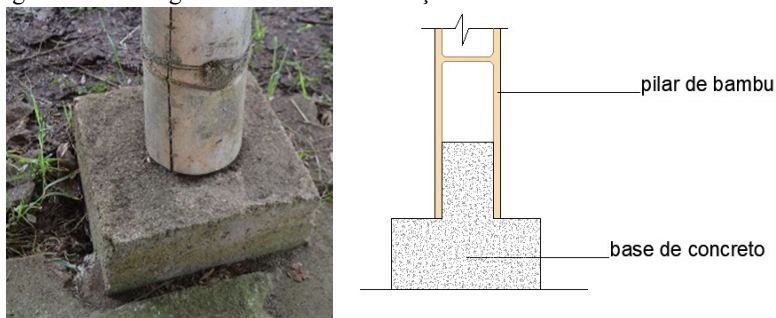
Figura 99 - Fotografia e detalhe de fundação.



Fonte: autora

O último detalhe de fundação observado nesta edificação é similar às dos estudos de caso anteriores, apoiando-se a base do pilar sobre uma base isolada de concreto; a diferença é que sobre ela é fundido um cilindro onde se encaixa a base do colmo. Neste caso, o colmo não é aparafusado (Figura 100).

Figura 100 - Fotografia e detalhe de fundação.



Fonte: autora

Em todas as figuras anteriores dos detalhes das fundações é possível observar o uso de cordões de poliamida ao redor dos colmos. Esta fibra sintética foi utilizada nesta edificação em todas as ligações entre colmos (Figura 101).



Figura 101 - Uso de cordão de poliamida nas ligações.



Fonte: autora

Neste estudo de caso, observou-se que foram utilizadas cavilhas de bambu para a maioria das ligações com colmos de menores diâmetros (Figura 102). Esse procedimento visou à redução no consumo de aço para as conexões.

Figura 102 - Uso de cavilhas de bambu nas ligações.



Fonte: autora

#### 4.5.1.1 Características do bambu utilizado

Esta estrutura foi construída com seis espécies de bambu: *P. pubescens*, *G. chacoensis*, *P. aurea*, *D. asper*, *Bambusa tuldoides* e *B. vulgaris*. A colheita dos colmos de bambu foi efetuada em locais próximos, aproximadamente um ano antes de começar a construção.

Os colmos foram trazidos desde Quatro Barras e Campina Grande do Sul – PR, que são locais onde houve colonização japonesa e foram



plantadas algumas espécies de bambus, bem como da fazenda da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e do mesmo sítio do CPRA.

Não foi aplicado nenhum tipo de tratamento no bambu, somente teve-se o cuidado de colher os colmos na fase da Lua minguante, onde ficaram secando na posição vertical entre uma e duas semanas. Depois os colmos continuaram secando na posição horizontal.

O motivo de não ter aplicado tratamento químico, segundo explica o projetista, é porque o objetivo da construção é que os agricultores possam replicar o uso do bambu, que é um recurso que eles já têm disponível. Então, não teria necessidade de levar produtos químicos para as áreas rurais, pois estes só encareceriam a construção desnecessariamente e poluiriam outros locais. Com o bambu disponível, torna-se mais viável substituir as peças comprometidas.

#### **4.5.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu**

Segundo o projetista, a expectativa de vida útil desta edificação é, no mínimo, cinco anos, considerando que o bambu é um recurso disponível na natureza. Então, se ele pudesse ser utilizado por cinco anos, ele já cobriria os gastos que foram feitos acima da estrutura. É importante neste sentido considerar a importância da manutenção da estrutura e de saber manejar o bambuzal. Nas áreas rurais “você tem o bambuzal muito próximo e todo ano ele está renovando, então você pode fazer trocas se for preciso”.

Neste sentido, o projetista assinalou que a manutenção desta estrutura consiste principalmente na parte do canzil que prende o pescoço dos animais. Até agora nenhuma das outras peças foi trocada.

Os usuários cuidam para que não ocorram goteiras sobre as peças de bambu da estrutura e observam se aparecem sinais de ataques de xilófagos e /ou apodrecimento.

#### **4.5.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu**

Durante a inspeção visual analisou-se cada um dos colmos de bambu que compõem esta estrutura, foram obtidos dados sobre as características das manifestações patológicas encontradas, sendo feitas 167 fotografias. As anomalias registradas foram classificadas conforme sua aparência em quatro grupos a) rachaduras e lascas; b) manchas e mudanças de cor; c) perfurações e d) colapso dos colmos.

## 4.5.3.1 Rachaduras e lascas

O Quadro 36 mostra uma síntese da localização das rachaduras, incluindo suas características, conforme as normas NSR-10 (2010), Norma técnica E-100 (2012) e NEC-SE-*Guadua* (2016).

Depois, por meio da análise qualitativa, foram agrupadas as rachaduras com características visuais semelhantes. A seguir, são apresentados os tipos de rachaduras encontrados no estudo de caso, seus mecanismos de ocorrência e suas causas prováveis.

Quadro 36 - Peças com rachaduras na estrutura do Estudo de Caso 5.

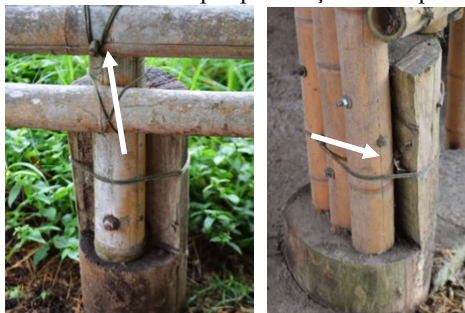
Cor	Legenda	Elemento estrutural		
		Pilar / mão francesa	Viga	Cobertura
	Peças com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós e cujo comprimento é maior a 20% do comprimento do colmo.	17	6	10
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do comprimento total da peça.	2	1	19
	Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	6	1	19
	Somatória	25	8	48
<b>Total de peças de bambu na estrutura</b>		<b>81</b>		

Fonte: autora

### *Rachaduras por penetração*

**Descrição:** Rachadura longitudinal no colmo, localizada no ponto onde há um prego, um parafuso, uma cavilha ou um furo deixado por algum destes elementos (Figura 103).

Figura 103 - Rachaduras por penetração de corpo externo.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL3 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** a estrutura não tem rigidez suficiente e os elementos de ligação (parafusos, cavilhas) são muito grandes em relação aos colmos.

**Origem:** projeto e execução.

### *Rachaduras na base dos colmos dos pilares*

**Descrição:** ocorrência de rachadura no extremo inferior dos colmos dos pilares que está em contato com os elementos de fundação, estendendo-se longitudinalmente (Figura 104).

Figura 104 - Rachaduras nos extremos dos colmos preenchidos com concreto.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL6 (Apêndice G).

**Causa provável:** transmissão de momentos fletores da conexão ao colmo de bambu.

**Origem provável:** projeto e execução.

#### *Rachadura por esmagamento*

**Descrição:** os colmos dispostos horizontalmente nas ripas apresentam rachaduras longitudinais, em ambas as laterais das regiões que se encontram apoiadas sobre os caibros (Figura 105).

Figura 105 - Rachadura por esmagamento.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL5 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** carga perpendicular às fibras pontual e excessiva sobre o entrenó, que por sua vez não foi reforçado.

**Origem:** projeto e construção.

#### *Rachadura por apoio incorreto*

**Descrição:** rachaduras curtas originadas nos extremos dos colmos sobre aqueles que estão apoiados outros elementos (Figura 106).

Figura 106 - Rachadura por apoio incorreto.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL8 (Apêndice G).

**Causa provável:** apoio incorreto na seção do colmo

**Origem provável:** projeto, execução.

#### 4.5.3.2 Manchas ou mudanças de cor

Neste estudo de caso, todos os colmos de bambu apresentam a mancha dos fungos verdes; também se observou em algumas peças a presença de fungos pretos e descolorações dos colmos. A seguir, são analisadas estas manifestações:

##### *Fungos pretos*

**Descrição:** manchas de cor preta na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 107).

Figura 107 - Fungos pretos em colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC5 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** frequente exposição dos colmos à água.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

##### *Fungos verdes e brancos*

**Descrição:** manchas de cor verde e branca nas superfícies dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 108).

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição prolongada dos colmos à umidade.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

Figura 108 - Fungos verdes e líquens nos colmos.



Fonte: autora

### *Descoloração do colmo*

**Descrição:** superfície dos colmos com cor branca (Figura 109).

Figura 109 - Descoloração de colmo.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC6 (Apêndice G).

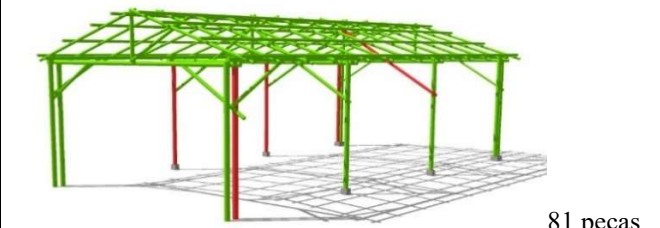
**Causa provável:** os colmos não estão protegidos das intempéries.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

### 4.5.3.3 Perfurações e perdas de massa

Neste caso se identificaram poucos colmos com ocorrência de perfurações. O Quadro 37 apresenta sua localização. As perfurações observadas nesta edificação são de dois tipos: ocasionadas durante a construção e causadas por insetos.

Quadro 37 - Peças com perfurações nas estruturas do Estudo de Caso 5.

<b>Imagens /localização das peças que apresentam perfurações</b>	<b># peças afetadas</b>
 <p>81 peças</p>	5

Fonte: autora

#### *Perfurações durante a construção e a fase de uso*

**Descrição:** orifícios circulares feitos com furadeira que atravessam as paredes do colmo (Figura 110) e orifícios deixados por pregos, observados em alguns colmos.

Figura 110 - Perfurações deixadas durante a construção e na fase de uso.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipos PM1 e PM4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** erros na execução dos furos das conexões, usuários colocam pregos nos colmos.

**Origem:** construção, uso e manutenção.

### Perfurações pelo inseto *D. minutus*

**Descrição:** presença de perfurações circulares de aproximadamente 2 mm de diâmetro e localizadas no córtex de vários colmos da estrutura, principalmente pilares (Figura 111). Neste caso, os colmos apresentavam mais de uma perfuração.

Figura 111 - Perfurações pelo *D. minutus*.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM2 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** ataque do inseto *Dinoderus minutus*.

**Origem:** projeto e execução.

#### 4.5.3.4 Colapso do colmo

O Quadro 38 apresenta a localização do único colmo colapsado que foi identificado neste estudo de caso.

Quadro 38 - Localização da peça colapsada.

Imagens /localização da peça colapsada	# peças afetadas
 <p>81 peças</p>	1

Fonte: autora



### *Colapso do colmo por esmagamento*

**Descrição:** o colmo colapsado é uma viga que foi esmagada em dois pontos de apoio sobre os pilares (Figura 112).

Figura 112 - Colmo colapsado por esmagamento.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** uma carga de compressão perpendicular às fibras é aplicada no colmo até superar sua tensão limite. Neste caso, estas cargas foram aplicadas sobre os locais em que o colmo está apoiado nos pilares e que, além disso, estão localizados no meio dos entrenós, que não foram reforçados.

**Causas prováveis:** esmagamento dos colmos de bambu, nas regiões sem nós. Falta de reforço interno nos colmos de bambu nas áreas que suportam estas cargas.

**Origem:** construção, uso e manutenção.

#### 4.5.3.5 Resumo de colmos com ocorrências no estudo de caso

A estrutura deste estudo de caso está composta por 81 colmos e vários deles apresentaram manifestações patológicas. O Quadro 39 apresenta uma síntese do número de peças com cada tipo de ocorrência e a percentagem em relação ao total de colmos.

Observa-se que neste estudo de caso as manchas e mudanças de cor estão presentes em todos os colmos, as rachaduras e lascas afetam 68% dos colmos, as perfurações 6% e 1 % de peças colapsadas.

Quadro 39 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas

		Total colmos	Rachaduras e lascas	Manchas e mudanças de cor	Perfurações	Colapsos
Estudo de caso 5	#	81	55	81	5	1
	%	100	68	100	6	1

Tipo de Manifestação Patológica	% dos colmos da estrutura
rachaduras e lascas	68%
manchas e mudanças de cor	100%
perfurações	6%
colapsos	1%

Fonte: autora

#### 4.6 ESTUDO DE CASO 6 – MORRETES

Esta estrutura de bambu foi projetada pelo Arq. Tomaz Lotufo e construída em 2016, estando localizada sobre um antigo estábulo reformado, que atualmente abriga um espaço destinado a oficinas sobre educação ambiental (Figura 113). A edificação está localizada na região litorânea do Paraná, no parque privado Ekôa Park.

Figura 113 - Estrutura de bambu do Estudo de Caso 6.



Fonte: autora

A execução foi dividida em duas etapas: a pré-fabricação dos componentes estruturais, que durou aproximadamente um mês no ateliê do Centro de Referência do Bambu - CERBAMBU Ravena em Minas Gerais, e a montagem da estrutura realizada durante 15 dias.

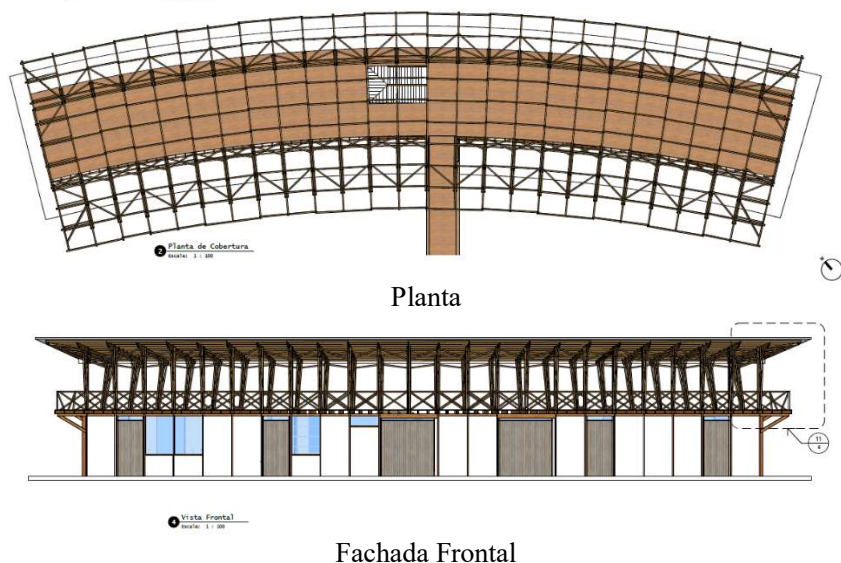
No projeto arquitetônico foi prevista a pré-fabricação de componentes. Neste sentido, o projetista indicou que o projeto com bambu é mais flexível do que com outros materiais e que os desenhos “não têm que transmitir o nível de autoridade que o projeto executivo transmite”. Ou seja, os planos devem estar bem feitos e detalhados, mas também devem estar abertos para acolher outras decisões que podem ser feitas durante a execução da obra.

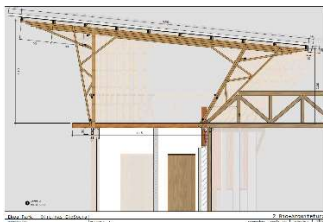
Também foi realizada uma maquete, que foi importante durante a construção para ajudar a resolver e compreender os detalhes.

#### 4.6.1 Caracterização do projeto

A área do segundo andar desta edificação é de 50 m<sup>2</sup>, que corresponde à parte cuja estrutura é de bambu, composta por 24 pórticos construídos com *P. aurea*, um bambu que geralmente é utilizado para a fabricação de móveis. A Figura 114 apresenta a planta do segundo andar, a fachada frontal e um corte desta edificação.

Figura 114 – Planta, fachada e corte do Estudo de Caso 6



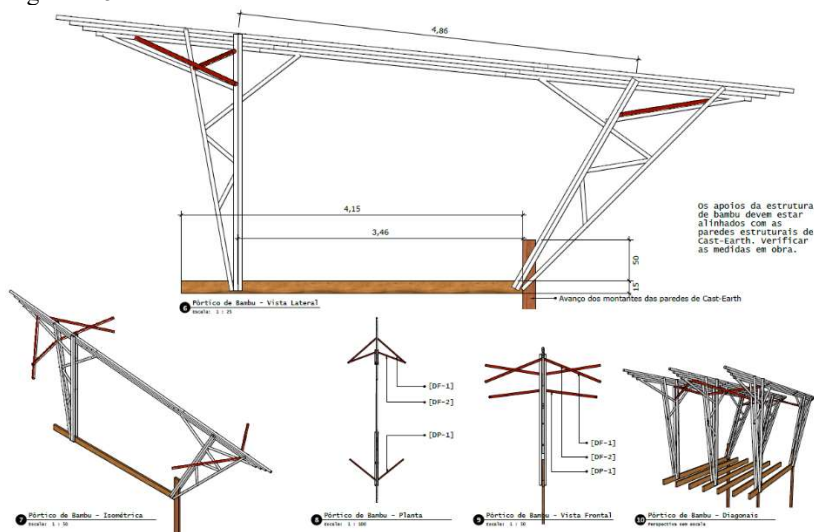


Corte

Fonte: Arq. Tomaz Lotufo (2018)

A parte mais alta da estrutura está orientada para o nordeste. Cada um dos pórticos estruturais é formado por três componentes pré-fabricados: dois pilares e uma viga. A Figura 115 apresenta o detalhe dos pórticos.

Figura 115 - Detalhe da estrutura.



Fonte: Arq. Tomaz Lotufo (2018)

Na Figura 116 são mostradas duas imagens do processo de pré-fabricação dos componentes estruturais deste estudo de caso, realizado no ateliê de CERBAMBU – MG. Considerando as características dos colmos de bambu e seu diâmetro pequeno, para aumentar a seção dos componentes estruturais, foram utilizados vários colmos em cada um e também treliças.

Figura 116 - Pré-fabricação dos componentes estruturais.



Fonte: CERBAMBU (2017)

Nesta obra, por um lado é destacado o potencial que o bambu possui para a pré-fabricação graças, entre outras coisas, a sua leveza que contribui para a montagem dos elementos na obra. Por outro lado, o projetista apontou que o bambu pode ser vendido em componentes estruturais e que estes podem ser feitos em pequenas cooperativas.

Essa é uma forma de fomentar o trabalho desse tipo de organizações: comprando o bambu já com valor agregado: não simplesmente tratado, mas como parte de elementos estruturais.

Todas as conexões entre os elementos de bambu foram aparafusadas, o que facilitou os processos de pré-fabricação e montagem. A Figura 117 mostra a estrutura montada.

Figura 117 - Estrutura montada.



Fonte: Tomaz Lotufo (2018)

A proporção conseguida com colmos de bambu nos componentes estruturais, a modulação e o ritmo fazem parte importante da composição arquitetônica.

#### 4.6.1.1 Características do bambu utilizado

Para o projeto foi selecionado o bambu *P. aurea*, procurando a disponibilidade na região e valorizando o material disponível localmente. No caso, essa espécie é muito utilizada nos arredores, principalmente na fabricação de móveis e em artesanato, então pensou-se em mostrar as possibilidades construtivas dessa espécie.

O projetista procurou então uma pessoa experiente na construção com essa espécie e o processo de preparação do bambu ficou a cargo dos executores do projeto.

Nesta estrutura foi utilizado tratamento com fogo para os colmos de bambu. A preservação foi realizada pelo construtor, neste caso pela equipe de CERBAMBU, que ofereceu garantias do material com a condição deles serem os encarregados da seleção dos bambus no bambuzal próprio, seu corte, tratamento e secagem.

#### 4.6.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu

Em relação à expectativa de vida útil desta estrutura, o projetista indicou que concorda com o construtor ao dizer que “é para durar 100 anos”, acrescentando que por esse motivo foram projetados beirais amplos e destacando a importância da manutenção.

Ele também mencionou que apesar do beiral frontal ser de 1,50 m, por causa da orientação e a forma da cobertura, a fachada recebe bastante luz solar direta pelas manhãs e que talvez seria interessante tentar protegê-la.

Depois de seis meses de concluída a construção, foi realizada a aplicação de hipoclorito de sódio a 5% nos colmos, todavia com a alta umidade do ambiente que ocasionou que as peças começaram a apresentar manchas. A recomendação de manutenção foi a de aplicar esta solução a cada seis meses, podendo o período ser maior dependendo da observação da condição das peças.

No entanto, considerando que a umidade é um fator ambiental muito agressivo para a estrutura, antes de outubro de 2017 foi aplicado Stain nas peças. Até a data atual não tem sido necessário trocar nenhum elemento de bambu.

### 4.6.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu

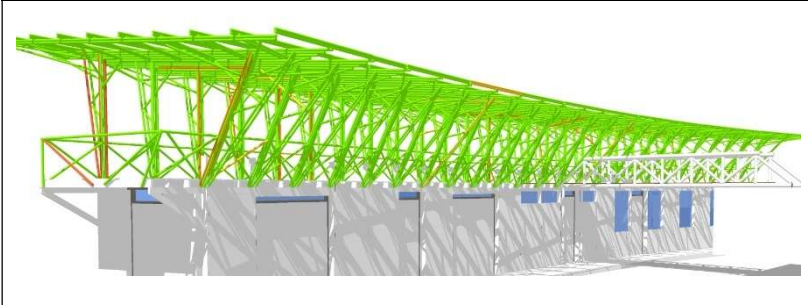
Durante a inspeção visual, analisou-se cada um dos colmos de bambu que compõem esta estrutura e foram obtidos dados sobre as características das manifestações patológicas encontradas, sendo feitos 161 registros fotográficos. As anomalias observadas foram classificadas conforme sua aparência em quatro grupos:

#### 4.6.3.1 Rachaduras e lascas

O Quadro 40 mostra uma síntese da localização das rachaduras e suas características, conforme as normas NSR-10 (2010), Norma técnica E-100 (2012), NEC-SE-*Guadua* (2016).

Quadro 40 – Localização das rachaduras na estrutura do Estudo de Caso 6.

(início)



Cor	Legenda	Elemento estrutural			
		Pilar	Viga	Diagonal	Ripa
	Peças com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós, com comprimento maior a 20% do comprimento do colmo.	18	16	62	8
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do total da peça.	13	12	78	13



(fim)

Cor	Legenda	Elemento estrutural			
		Pilar	Viga	Diagonal	Ripa
	Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	253	272	268	239
	Somatória	284	300	408	260
	<b>Total de peças de bambu na estrutura</b>	<b>1252</b>			

Fonte: autora

Depois, por meio da análise qualitativa, foram agrupadas as rachaduras com características visuais semelhantes. A seguir, são apresentados os tipos de rachaduras encontrados no estudo de caso, seus mecanismos de ocorrência e suas causas prováveis.

### *Rachaduras por esmagamento*

**Descrição:** os colmos horizontais dos caibros apresentam rachaduras longitudinais em ambas as laterais nas regiões onde estão apoiados sobre as ripas (Figura 118).

Figura 118 - Rachaduras por esmagamento nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL5 (Apêndice G).



**Causas prováveis:** carga pontual, perpendicular às fibras pontual e excessiva sobre o entrenó dos colmos, que por sua vez não foi reforçado.

**Origem:** projeto e construção.

### *Rachaduras por penetração*

**Descrição:** Rachadura longitudinal no colmo, originada no ponto onde há um prego, um parafuso, ou um furo deixado por algum destes elementos (Figura 119).

Figura 119 - Rachaduras por penetração.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL3 (Apêndice G).

**Causa provável:** parafusos colocados no mesmo eixo longitudinal, ou nos extremos de colmos sem nós na ponta (ou sem reforço interno).

**Origem:** execução.

### *Rachaduras na parte central dos colmos*

**Descrição:** rachadura axial na parte central dos colmos (Figura 120). Em alguns colmos foi colocada uma braçadeira metálica.

Figura 120 - Rachaduras na parte central dos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL2 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** transmissão de momentos fletores da conexão ao colmo de bambu, secagem não uniforme, exposição dos colmos diretamente ao sol, entre outros.

**Origem provável:** indeterminada.

### *Rachaduras na parte central do colmo inferior das vigas*

**Descrição:** rachadura longitudinal na parte central inferior dos colmos das vigas (Figura 121). Em alguns colmos foi colocada uma braçadeira metálica.

Figura 121 - Rachadura na parte central do colmo inferior das vigas.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL9 (Apêndice G).

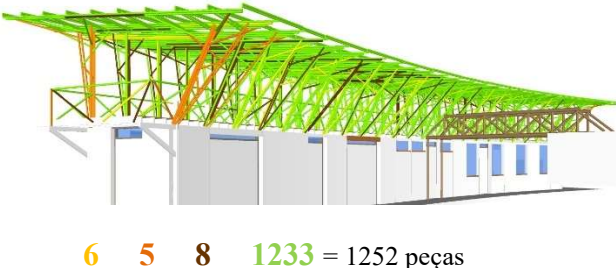
**Causa provável:** flexão não prevista do componente de bambu.

**Origem provável:** projeto.

#### 4.6.3.2 Manchas ou mudanças de cor

Neste estudo de caso as manchas foram classificadas por sua aparência em três grupos: fungos pretos, fungos verdes e descoloração. O Quadro 41 apresenta a localização dessas manchas nesta edificação, sendo difícil encontrar apenas um tipo de mancha nas peças; as cores correspondem ao tipo de mancha predominante no colmo.

Quadro 41 - Localização das manchas na estrutura.

Imagens/ localização das manchas	Legenda
 <p>6 5 8 1233 = 1252 peças</p>	<p>Descoloração</p> <p>Fungos verdes e brancos</p> <p>Fungos pretos</p> <p>Peças sem manchas</p>

Fonte: autora

Durante a inspeção e as entrevistas foi evidente que a estrutura tem uma manutenção contínua.

Os usuários têm registros de algumas manifestações, tais como, ocorrências com manchas de umidade, indicando que o clima da região é muito úmido. Afirmaram que há pouco tempo a maioria das peças da estrutura apresentavam manchas pretas e verdes, mas que entraram em contato com o projetista e o construtor para resolver os problemas.

#### *Descoloração do colmo*

**Descrição:** setores dos colmos estão brancos ou com a camada do verniz ou desgastada (Figura 122).

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC6 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** aplicação incorreta do verniz.

**Origem:** uso e manutenção.

Figura 122 - Deterioração do verniz nos colmos.

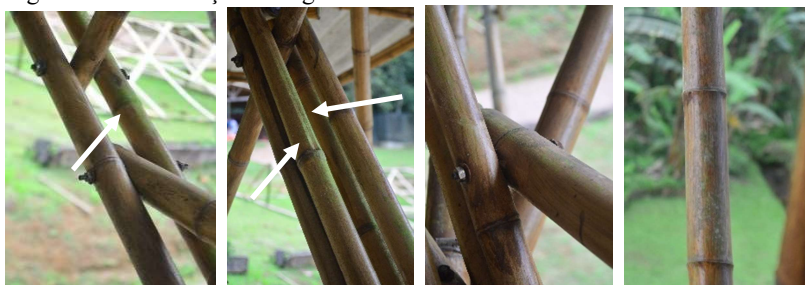


Fonte: autora

### *Fungos verdes e brancos*

**Descrição:** manchas de cor verde e branca na superfície dos colmos de bambu principalmente nas esquinas das fachadas, apresentando também uma textura áspera (Figura 123).

Figura 123 – Presença de fungos verdes nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição prolongada dos colmos à água.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

### *Fungos pretos*

**Descrição:** manchas de cor preta na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 124).

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC5 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** frequente exposição dos colmos à água

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

Figura 124 - Fungos pretos nos colmos.



Fonte: autora

#### 4.6.3.3 Perfurações e perdas de massa

Nesta edificação foram identificados 37 elementos de bambu com perfurações, que são orifícios deixados durante a construção. Não foram observadas ocorrências de ataque de xilófagos.

##### *Perfurações durante a construção e a fase de uso*

**Descrição:** orifícios circulares feitos com furadeira que atravessam as paredes do colmo (Figura 125) e orifícios deixados por pregos, localizados em vários pontos dos colmos.

**Mecanismo de ocorrência:** tipos PM1 e PM4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** erros na execução dos furos das conexões.

**Origem:** construção.

Figura 125 - Perfurações durante a construção e fase de uso.

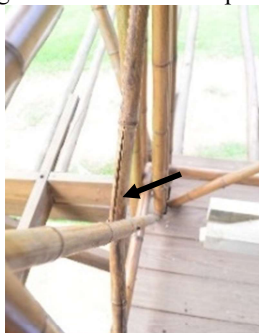


Fonte: autora

#### 4.6.3.4 Colapso do colmo

A Figura 126 mostra o único colmo colapsado, observado neste estudo de caso. Está localizado no corrimão da esquina da fachada orientada ao sudeste.

Figura 126 - Colmo colapsado.



Fonte: autora

**Descrição:** o colmo colapsado é um elemento do corrimão e foi esmagado na parte central pela ação de outro colmo.

**Mecanismo de ocorrência:** os dois extremos do colmo estão presos nas conexões e foi colocado outro colmo no meio dele formando um “x”; este outro colmo também está preso nas conexões e faz pressão na parte central do primeiro. Além disto, no ponto de união dos dois colmos foi colocado um parafuso, ocasionando o colapso do colmo.

**Causas prováveis:** esmagamento do colmo de bambu.

**Origem:** projeto, construção.



#### 4.6.3.5 Resumo de colmos com ocorrências no Estudo de Caso 6

A estrutura deste estudo de caso está composta por 1252 colmos e vários deles apresentaram manifestações patológicas. O Quadro 42 apresenta uma síntese do número de peças com cada tipo de ocorrência e a percentagem em relação ao total de colmos.

Quadro 42 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas.

		Total colmos	Rachaduras e lascas	Manchas e mudanças de cor	Perfurações	Colapsos
Estudo de caso 6	#	1252	220	59	10	1
	%	100	18	5	1	0,1

Tipo de Manifestação Patológica	Porcentagem dos Colmos da Estrutura
fendas e lascas	18%
manchas e perdas de cor	5%
perfurações	1%
colapsos	0,1%

Fonte: autora

Observa-se que neste estudo de caso as rachaduras e lascas foram o tipo de manifestação patológica que apareceu em 18% dos colmos, seguido pelas manchas e mudanças de cor com 5%, depois as perfurações representam 1% e as peças colapsadas menos que 0,1%.

#### 4.7 ESTUDO DE CASO 7 – COLOMBO /PR

É uma edificação de bambu construída em 2014 na colônia Faria, em Colombo – PR, que funciona ocasionalmente como restaurante e espaço para eventos (Figura 127).

Figura 127 - Edificação de bambu do estudo de caso 7.



Fonte: autora

A estrutura inteira foi construída por três pessoas durante sete semanas. Segundo o projetista, construtor e proprietário, não foram feitos planos antes da construção, tudo foi baseado numa maquete que orientou o processo construtivo e deu aos construtores maior segurança em relação à estabilidade do edifício.

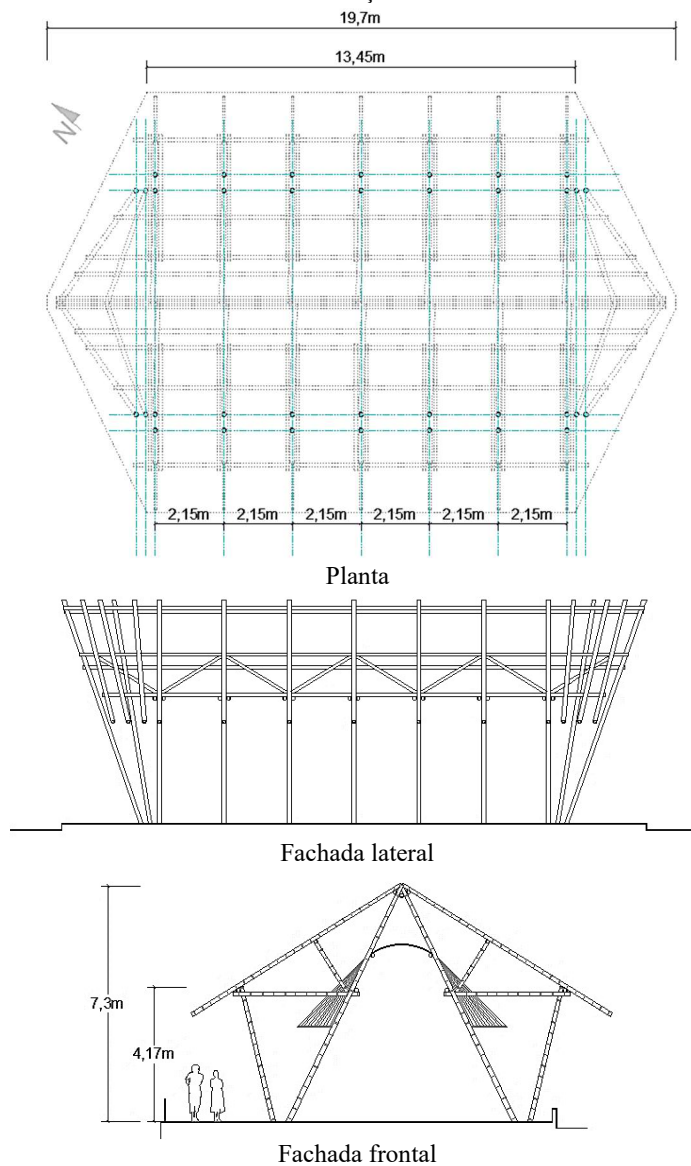
#### 4.7.1 Caracterização do projeto

A edificação tem uma área de 56 m<sup>2</sup> e a estrutura está composta por onze pórticos triangulares, construídos com colmos de bambu da espécie *P. pubescens*, chamando a atenção pela forma, proporção, altura e disposição dos bambus.

Como observado na Figura anterior, no interior da construção foram posicionadas tiras de bambu curvadas e fixadas à estrutura, tendo sido utilizadas como elemento decorativo ao simular um volume ovalado suspenso. A Figura 128 apresenta a planta e fachadas.



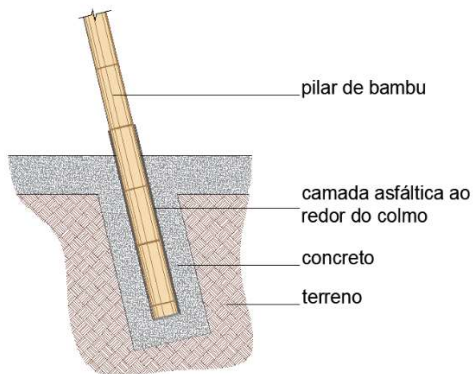
Figura 128 - Planta e fachadas da edificação do estudo de caso 7.



Fonte: autora

Em relação aos detalhes construtivos, as bases dos pilares de bambu foram revestidas com uma massa asfáltica (IGOL) e colocados diretamente no interior das fundações de concreto (Figura 129).

Figura 129 - Detalhe das fundações no Estudo de Caso 7.



Fonte: autora

As conexões dos elementos estruturais foram todas aparafusadas e nenhum entronó foi preenchido com concreto. Nas extremidades dos colmos foram colocadas garrafas PET ou massa asfáltica para proteção (Figura 130).

Figura 130 - Extremos dos colmos protegidos.



Fonte: autora

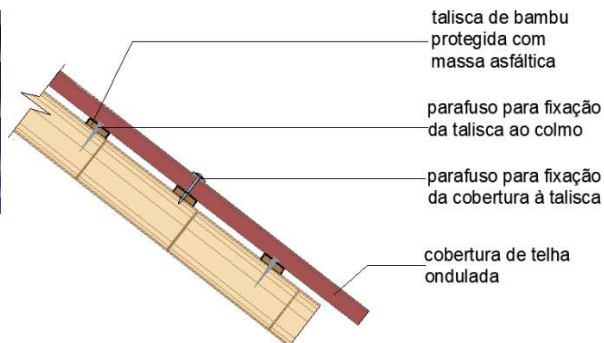
A cobertura está fixada em taliscas de bambu, que também foram protegidas com a massa asfáltica (Figura 131). Esta fixação foi realizada com parafusos de rosca soberba. Como parte da composição

arquitetônica, também foram utilizadas taliscas de bambu com massa asfáltica para o elemento decorativo ovalado e suspenso no meio da estrutura principal.

Figura 131 - Detalhe da cobertura.



Fonte: autora



#### 4.7.1.1 Características do bambu utilizado

Os colmos de bambu *P. aurea* utilizados no projeto provêm de Campina Grande, Quatro Barras – PR. Naquela região há algumas plantações de bambu com mais de 30 anos criadas por moradores japoneses.

O bambu foi comprado dos proprietários dos bambuzais que geralmente são pessoas idosas, não oferecendo garantias de idade. Geralmente o comprador se dirige ao local e escolhe os colmos em pé no bambuzal, coleta, transporta e faz o resto do processo.

Sendo assim, durante a seleção dos colmos, foram escolhidos aqueles que tinham mais líquens, que não tinham os anéis brancos ao redor dos nós, cujas folhas estavam mais amareladas e com os galhos do meio para cima já secos.

Durante o transporte cuidou-se para que os colmos não rachassem e não raspassem na carroceria do caminhão. Ao chegar no local da construção, eles foram submergidos em água nos açudes do sítio, boiando mesmo, primeiro de um lado e depois do outro, ficando imersos por 30 dias.

Depois que os colmos foram retirados da água, foram colocados sobre estrados e cobertos, para que não ficassem expostos ao sol e à chuva. Finalmente, com um lança-chamas aplicou-se calor aos colmos, o que ajudou também na parte estética do bambu.

#### 4.7.2 Uso e manutenção dos elementos de bambu

O projetista indicou uma expectativa de vida útil de, no mínimo, 15 anos para a estrutura, considerando as manutenções e as substituições de peças.

O projetista, que é também usuário do local, indicou que assim que a construção foi finalizada, aplicou-se Stain nos colmos e depois disso já faz três anos que não é feita a pintura, mas que já é necessário fazer uma impermeabilização.

Já foi identificada a presença do caruncho do bambu em algumas peças, que se manifesta na peça inteira e dá para observar o pó que ele deixa. Tentou-se então passar óleo de *Neem* (inseticida natural extraído da árvore indiana *Azadirachta indica*) em algumas peças do ripamento.

O projetista indicou que esse último tratamento natural foi interessante e que não pretende utilizar nenhum tipo de inseticida nos colmos.

#### 4.7.3 Manifestações patológicas identificadas e diagnóstico da condição do bambu

Durante a inspeção visual analisou-se cada um dos colmos de bambu que compõem esta estrutura, sendo obtidos dados sobre as características das manifestações patológicas encontradas, sendo tomadas 640 fotografias.

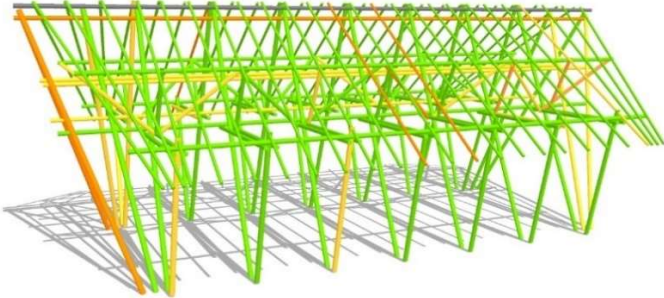
As anomalias registradas foram classificadas conforme sua aparência em três grupos: a) rachaduras e lascas; b) manchas e mudanças de cor e c) perfurações. Neste caso não se identificaram colmos colapsados.

##### 4.7.3.1 Rachaduras e lascas

O Quadro 43 mostra uma síntese da localização das rachaduras na estrutura de bambu, incluindo suas características, conforme as normas NSR-10 (2010), Norma técnica E-100 (2012) e NEC-SE-*Guadua* (2016).

Depois, por meio da análise qualitativa, foram agrupadas as rachaduras com características visuais semelhantes. A seguir, são apresentados os tipos de rachaduras encontrados no estudo de caso, seus mecanismos de ocorrência e suas causas prováveis.

Quadro 43 – Colmos que apresentam rachaduras e lascas no Estudo de Caso 7.



Cor	Legenda	Elemento estrutural			
		Pilar	Viga	Diagonal	Ripa
	Peças com rachaduras que se estendem por mais de dois entrenós e comprimento maior a 20% do comprimento do colmo.	2	3	4	3
	Peças com uma ou várias rachaduras, que se estendem por mais de dois entrenós, cujo comprimento (ou somatória de comprimentos) não atingiu 20% do comprimento total da peça.	4	11	7	1
	Peças que não apresentavam rachaduras ou cujas rachaduras estão presentes só nos entrenós, sem passar por nenhum nó e cuja somatória não atingiu 20% do comprimento total da peça.	16	26	19	46
	Colmos que não foi possível inspecionar por dificuldade de acesso e visibilidade	0	6	0	0
Somatória		22	46	30	50
<b>Total de peças de bambu na estrutura</b>		<b>148</b>			

Fonte: autora

### *Rachaduras nos extremos concretados dos colmos*

**Descrição:** foram observadas pequenas rachaduras que se originam nos extremos dos colmos que estão dentro do concreto das fundações, estendendo-se longitudinalmente (Figura 132).

Figura 132 – Rachaduras nos extremos dos colmos preenchidos com concreto.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL1 (Apêndice G).

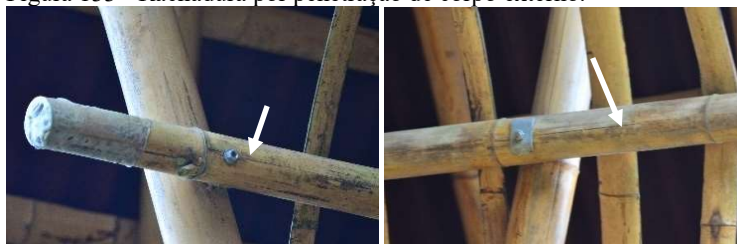
**Causa provável:** transmissão de momentos fletores da conexão ao colmo de bambu.

**Origem provável:** projeto e construção.

### *Rachaduras por penetração*

**Descrição:** rachadura axial no colmo, originada no ponto onde está um parafuso, ou vara rosqueada (Figura 133).

Figura 133 - Rachadura por penetração de corpo externo.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL3 (Apêndice G).

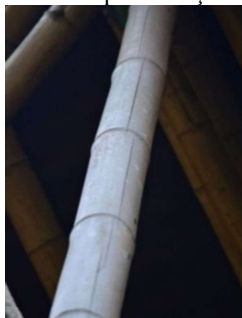
**Causa provável:** introdução de um prego ou um parafuso de diâmetro muito grande no colmo.

**Origem:** execução.

#### *Rachaduras por variações de temperatura*

**Descrição:** foram observadas pequenas rachaduras longitudinais, com pouco comprimento e largura, localizadas em vários pontos dos colmos, principalmente nas fachadas expostas à luz solar. Esta ocorrência geralmente está acompanhada por descoloração da face exposta dos colmos (Figura 134).

Figura 134 - Rachaduras por variações de temperatura.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL4 (Apêndice G).

**Causa provável:** exposição direta dos colmos aos raios UV e à umidade.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

#### *Lascas nos extremos dos colmos*

**Descrição:** desfibramento nos extremos de alguns colmos (Figura 135).

Figura 135 - Lascas nos extremos dos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo RL7 (Apêndice G).

**Causa provável:** corte incorreto dos colmos.

**Origem provável:** construção.

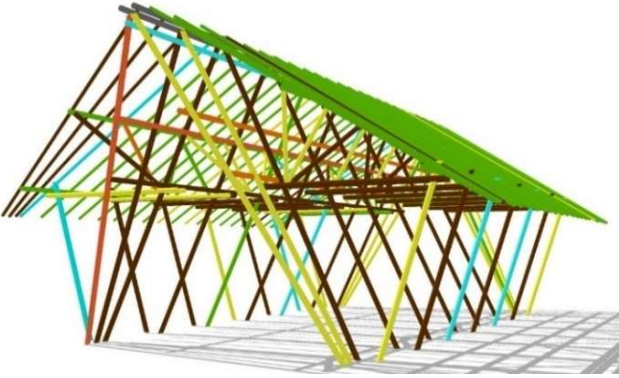
#### 4.7.3.2 Manchas ou mudanças de cor

Neste estudo de caso, as manchas foram classificadas por sua aparência em quatro grupos: manchas da massa asfáltica, fungos pretos, fungos verdes e verniz deteriorado.

Quase todos os bambus desta edificação apresentavam manchas pretas de fungos. O Quadro 44 apresenta a localização das peças que exibiram essa ocorrência.

Durante a inspeção foi evidente que a estrutura necessita de manutenções com maior periodicidade, principalmente devido à ação da umidade ambiental, que ocasiona que os fungos pretos se depositem com frequência nos colmos.

Quadro 44 - Localização das manchas na estrutura.

Imagens/ localização das manchas	Legenda
 <p data-bbox="213 1209 641 1241">8 30 6 44 60 = 148 peças</p>	<p data-bbox="787 770 912 858">Manchas de tratamento</p> <p data-bbox="787 895 912 951">Verniz deteriorado</p> <p data-bbox="787 987 879 1075">Fungos verdes e brancos</p> <p data-bbox="787 1112 870 1168">Fungos pretos</p> <p data-bbox="787 1204 894 1260">Peça sem manchas</p>

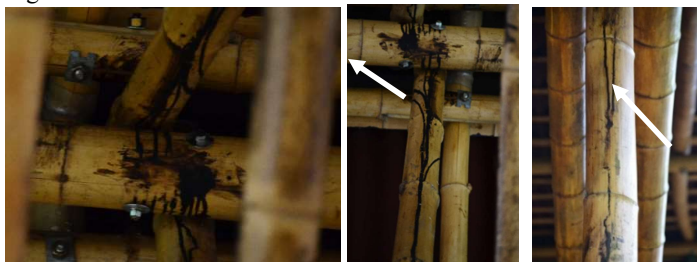
Fonte: autora



### *Manchas de tratamento - asfalto*

**Descrição:** manchas de cor preta na superfície dos colmos de bambu, com formas como de um líquido escorrendo ou pingando (Figura 136).

Figura 136 – Manchas de asfalto nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC1 (Apêndice G).

**Causa provável:** massa asfáltica derramada sobre os colmos.

**Origem provável:** construção e manutenção.

### *Verniz deteriorado*

**Descrição:** setores dos colmos com a camada do verniz descascada ou desgastada (Figura 137).

Figura 137 - Deterioração do verniz nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC3 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição direta do colmo envernizado às intempéries. Aplicação do verniz sem antes limpar o colmo.

**Origem:** execução, uso e manutenção.

### *Fungos pretos*

**Descrição:** manchas de cor preta na superfície dos colmos de bambu, apresentando uma textura áspera (Figura 138). Neste caso esta mancha está presente em quase todos os colmos.

Figura 138 - Fungos pretos nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC5 (Apêndice G).

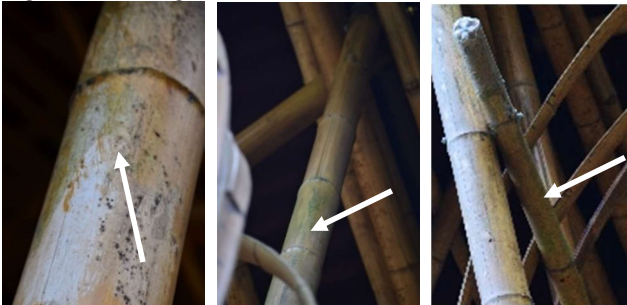
**Causas prováveis:** frequente exposição dos colmos à água.

**Origem:** projeto, uso e manutenção.

### *Fungos verdes e brancos*

**Descrição:** manchas de cor verde e branca na superfície dos colmos de bambu, apresentando também uma textura áspera (Figura 139).

Figura 139 - Fungos verdes nos colmos.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo MC4 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** exposição prolongada dos colmos à umidade

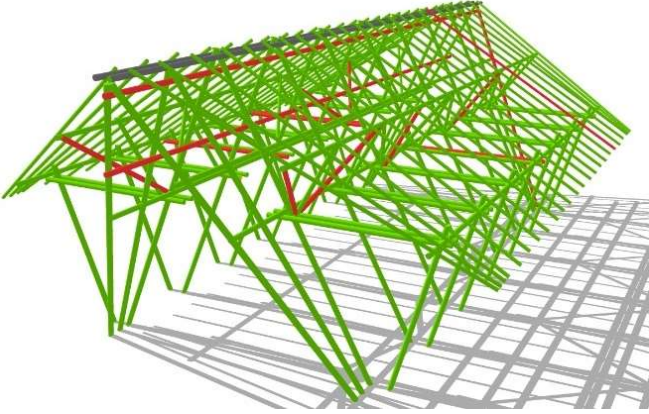
**Origem:** projeto, uso e manutenção.

#### 4.7.3.3 Perfurações e perdas de massa

Neste estudo de caso há poucas ocorrências de perfurações nos colmos de bambu. Os orifícios são ocasionados por insetos e estão localizados na parte alta da estrutura.

O Quadro 45 apresenta a localização dos colmos que apresentam esta manifestação patológica.

Quadro 45 - Peças com perfurações.

Imagem /localização das peças com perfurações	# peças afetadas
 <p data-bbox="750 1109 856 1141">148 peças</p>	14

Fonte: autora

#### *Perfurações por inseto coleóptero C. annularis*

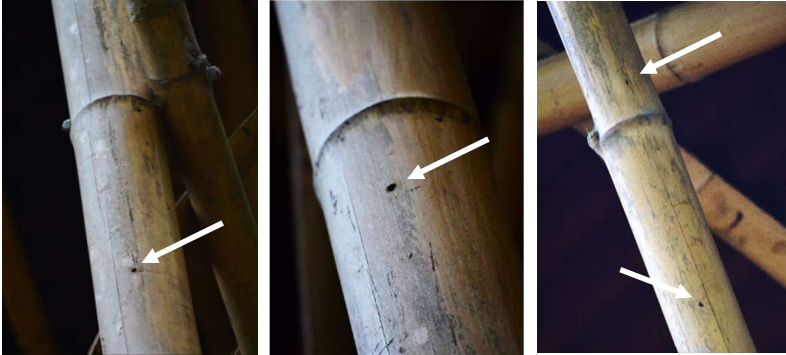
**Descrição:** presença de perfurações ovaladas de, aproximadamente, 2 – 3 mm de diâmetro, localizadas no córtex de vários colmos da estrutura (Figura 140).

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM3 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** colmos com tratamento defeituoso.

**Origem:** execução (tratamento e seleção dos colmos).

Figura 140 - Perfurações pelo *C.annularis*.



Fonte: autora

#### *Perfurações por D. minutus (caruncho)*

**Descrição:** perfurações de, aproximadamente, 1- 2 mm de diâmetro localizadas na parede interna dos extremos de alguns colmos, e excepcionalmente no córtex de outros, como mostrado na Figura 141.

Figura 141 - Perfurações pelo *D. minutus*.



Fonte: autora

**Mecanismo de ocorrência:** tipo PM2 (Apêndice G).

**Causas prováveis:** ataque do inseto *D. minutus*.

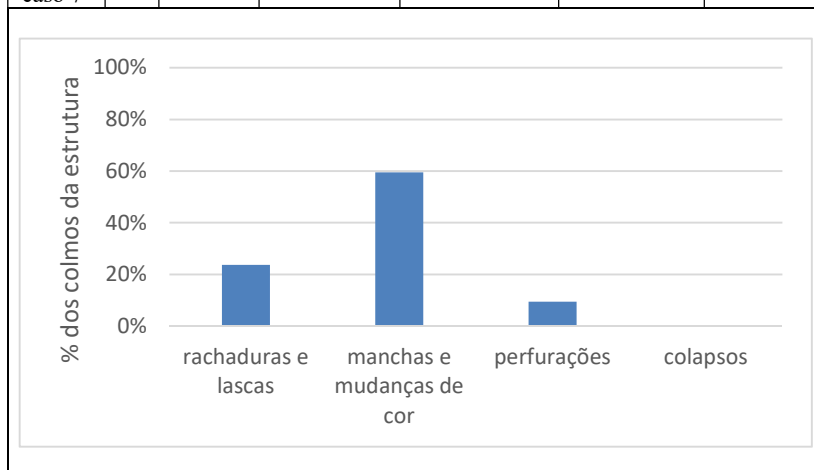
**Origem:** projeto, execução, uso e manutenção.

#### 4.7.3.4 Resumo de colmos com ocorrências no Estudo de Caso 7

A estrutura deste estudo de caso está composta por 148 colmos e vários deles apresentaram manifestações patológicas. O Quadro 46 apresenta uma síntese do número de peças com cada tipo de ocorrência e a porcentagem em relação ao total de colmos.

Quadro 46 - Quantidade de colmos do estudo de caso afetados pelos diferentes tipos de manifestações patológicas

		Total colmos	Rachaduras e lascas	Manchas e mudanças de cor	Perfurações	Colapsos
Estudo de caso 7	#	148	35	88	14	0
	%	100	24	59	9	0,00



Fonte: autora

Observa-se que neste estudo de caso, as manchas e mudanças de cor foram o tipo de manifestação patológica que apareceu em 59% dos colmos, seguido pelas rachaduras e lascas com 24%, depois as perfurações que representam 9% dos colmos, não tendo sido observadas peças colapsadas.

No capítulo seguinte, será apresentada a análise e discussão destes resultados, relacionando as manifestações patológicas observadas nestas edificações com as características dos colmos, com o clima, com o projeto e execução e com a fase de uso e manutenção.



## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira parte deste capítulo será apresentada uma síntese dos aspectos gerais das edificações, apontando as observações sobre a relação entre as manifestações patológicas com a espécie de bambu utilizada, assim como o tratamento por ela sofrido e a ação das intempéries no material. Na segunda parte será analisada a origem das ocorrências, especificando se aconteceu fase de projeto, construção ou uso das edificações.

Finalmente, serão sintetizadas as manifestações patológicas encontradas nos estudos de caso, relacionando-as com as decisões projetuais. Posteriormente apontando sugestões que irão auxiliar os projetistas a prevenir e atenuar seu surgimento, recuperando ou restaurando os componentes de bambu afetados. Para isto, irão se considerar dois momentos: antes da ocupação (fases de projeto e construção) e depois da ocupação (fase de uso e manutenção).

Deve-se alertar de que esta é uma pesquisa predominantemente qualitativa, principalmente tendo em conta o tamanho da amostra, onde serão aprofundados os aspectos dos casos estudados. Neste sentido, não serão feitas generalizações com base nos sete estudos de caso, mas serão detalhadas as características de cada um deles, observando aspectos que servirão como ponto de partida para futuras pesquisas.

Por outro lado, a parte quantitativa desta pesquisa acontecerá no momento de analisar as manifestações patológicas dos colmos de cada estudo de caso. Assim, como será observado a seguir, quantificaram-se os bambus segundo cada tipo de ocorrência em cada edificação, isto com o objetivo de visibilizar quais as manifestações patológicas predominantes em cada edificação e facilitar a análise.

### 5.1 ASPECTOS GERAIS DOS ESTUDOS DE CASO

Ao recolher as observações apontadas no capítulo anterior e outros dados obtidos durante as entrevistas, pode-se analisar que a maioria das edificações é de construção recente, sendo que a mais antiga data de 2009. Estas estruturas de bambu são de pequeno porte e têm várias funções, como: espaços complementares de prédios de alvenaria, locais de uso múltiplo, restaurante, galpões, entre outros.

Dentre os profissionais que projetaram e construíram as edificações, três são arquitetos, um é artesão e os outros dois adquiriram o conhecimento devido a vários cursos, à observação de aplicações do bambu na construção e às experiências próprias obtidas diretamente no

campo. Todos eles possuem ampla experiência profissional e conhecem os princípios para a aplicação do bambu na construção.

Vários projetistas entrevistados desenvolvem suas atividades em áreas rurais, onde o contato com a natureza e a dificuldade de acesso a alguns recursos mais tecnológicos, os levam à procura do aproveitamento do que estiver disponível.

Os profissionais entrevistados possuem várias formas de trabalhar com bambu: duas das edificações pesquisadas contavam com seu projeto completo antes da construção; quatro foram baseadas em maquetes ou modelos digitais 3D e croquis, já o restante simplesmente foi construída com base nas instruções do projetista.

Em todos os casos, as estruturas de bambu estão localizadas em espaços abertos, com ventilação natural e sem vedações verticais que protejam totalmente o material da ação das intempéries. Embora em alguns casos, como a estrutura B do Estudo de Caso 1, as paredes ao redor da estrutura não se estendem até a cobertura, deixando um amplo vão na parte superior.

Em relação à durabilidade, observou-se como ponto de partida nestes estudos de caso, que existem duas “posturas” principais dos projetistas: a primeira, que busca prolongar a vida útil do material, utilizando recursos como: tratamentos naturais ou químicos, proteção por projeto, aplicação de vernizes, entre outros.

A segunda, observada unicamente no Estudo de Caso 5, aceita a durabilidade natural do material, sem utilizar tratamentos químicos, protegendo os colmos por meio do projeto e planejando a substituição dos elementos de bambu ao longo da vida útil da edificação. Como observado no capítulo anterior, cada uma destas escolhas corresponde a necessidades e contextos distintos.

Considerando o indicado anteriormente, no decorrer da análise, o Estudo de Caso 5 foi tratado como um caso particular, pois possui características (relacionadas com a aplicação do bambu na edificação) extremamente disparees em comparação aos outros casos, e visivelmente apresenta uma grande quantidade de manifestações patológicas relacionadas principalmente com a umidade.

Todas as estruturas de bambu apresentaram manifestações patológicas. O Quadro 47 mostra a quantidade de colmos em cada estudo de caso, apresentando os diferentes tipos de ocorrências, indicando sua porcentagem em relação ao total de colmos da estrutura.



Quadro 47 - Quantidade de colmos com ocorrências em cada estudo de caso

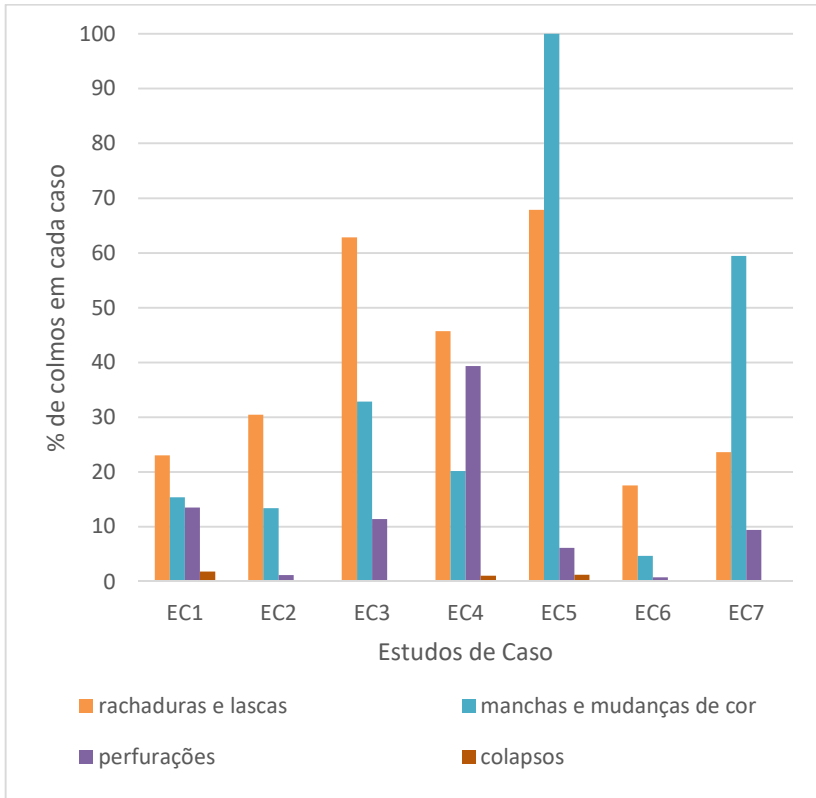
		Total de colmos	Quantidade de colmos com a ocorrência			
			Rachaduras e lascas	Manchas e perdas de cor	Perfurações	Colapso
Caso 1	#	325	75	50	44	6
	%	100	23	15	14	2
Caso 2	#	82	25	11	1	0
	%	100	30	13	1	0
Caso 3	#	70	44	23	8	0
	%	100	62	33	11	0
Caso 4	#	94	43	19	37	1
	%	100	46	20	39	1
Caso 5	#	81	55	81	5	1
	%	100	68	100	6	1
Caso 6	#	1252	220	59	10	1
	%	100	18	5	1	0
Caso 7	#	148	35	88	14	0
	%	100	24	59	9	0

Fonte: autora

Com base no quadro anterior foi elaborada a Figura 142, nela é possível identificar que em todos os casos, tanto as rachaduras e lascas, quanto as manchas e mudanças de cor, são as ocorrências que aparecem em maior quantidade.

A seguir, é analisada a relação das manifestações patológicas com a espécie do bambu, o tratamento preservativo e a ação das intempéries. Assim como, uma síntese sobre a origem das ocorrências: o projeto; a execução ou a fase de uso. Tudo isto com o objetivo de facilitar a identificação das decisões projetuais, que propiciaram seu surgimento e proliferação.

Figura 142 - Percentagem de colmos de bambu com cada manifestação patológica em cada um dos estudos de caso.



Fonte: autora

### 5.1.1 Manifestações patológicas e a espécie de bambu

Nesta seção faz-se uma síntese das espécies de bambu utilizadas nos estudos de caso, indicando sua procedência e analisando se há alguma relação com as diferentes manifestações patológicas descritas no Capítulo 5.

O Quadro 48 apresenta as espécies que foram utilizadas em cada estudo de caso, indicando o Estado de procedência do bambu. Observa-se que, na somatória entre todos os estudos de caso, foram utilizadas oito espécies.

Quadro 48 - Espécies de bambu utilizadas nos estudos de caso.

Estudo de caso	1	2	3	4	5	6	7	Total
<i>D. asper</i>	X			X	X			3
<i>G. angustifolia</i>	X	X						2
<i>P. pubescens</i>	X	X		X	X		X	5
<i>P. aurea</i>	X	X			X	X		4
<i>P. nigra var. henonis</i>			X					1
<i>G. chacoensis</i>					X			1
<i>B. tuldoides</i>					X			1
<i>B. vulgaris</i>					X			1
Local de procedência	SP /PR	SP /PR	RS	RS /SP	PR	MG	PR	-

Fonte: autora

A espécie mais utilizada (cinco estudos de caso) foi a *P. pubescens*, cuja origem em três dos casos foi São Paulo e nos outros dois Paraná.

Depois, o segue a espécie *P. aurea*, utilizada em quatro estudos de caso, sua origem foi o Paraná para três casos e Minas Gerais para o quarto.

O *D. asper* foi utilizado em três estudos de caso, proveniente de São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná.

A espécie *G. angustifolia*, trazida desde São Paulo, foi utilizada em dois estudos de caso.

Um dos estudos de caso utilizou *P. nigra var. henonis*, proveniente do Rio Grande do Sul.

As últimas três espécies, utilizadas unicamente no estudo de caso 5, foram *G. chacoensis*, *B. tuldoides* e *B. vulgaris*.

Entre todas estas espécies, a única endêmica é a *G. chacoensis*, pois a *G. angustifolia* é um bambu americano mas de zonas tropicais; as demais espécies são nativas da Ásia.

É importante destacar que no mundo, de todas as espécies de bambu descritas, só 45 possuem importância econômica (BENTON, 2015) e entre elas encontram-se três espécies nativas do continente americano: *G. angustifolia*, *G. amplexifolia* e *G. chacoensis* (RUIZ-SÁNCHEZ, 2018).

Neste sentido, é fundamental levantar o questionamento dos motivos que impedem os projetistas de utilizarem com maior frequência esta última espécie nas edificações da região.

Os diferentes tipos de manifestações patológicas estiveram presentes nos bambus de todas estas espécies, tanto as rachaduras, as manchas e as perfurações. A única diferença identificada foi que nas espécies de maiores diâmetros (*D. asper*, *P. pubescens*, *G. angustifolia*), foram identificadas as perfurações ovaladas de maior diâmetro causadas pelo inseto *C. annularis*.

### 5.1.2 Manifestações patológicas e o tratamento do bambu

Nos Estudos de Caso, com exceção do Estudo de Caso 5, foram aplicados tratamentos diferentes aos colmos de bambu (Quadro 49), incluindo métodos tradicionais e químicos.

Quadro 49 - Tratamentos aplicados no bambu nos estudos de caso.

	<b>Bambu maduro</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Tipo de tratamento</b>	<b>Secagem</b>
Caso 1	Sim	Sim	CCA / autoclave	Sim
Caso 2	Sim	Sim	CCA / autoclave	Sim
Caso 3	Sim	Sim	Fogo	Não
Caso 4	Sim*	Sim	Fervura em água ( <i>Phyllostachys</i> ) Injeção de octaborato de sódio ( <i>Dendrocalamus</i> )	Sim
Caso 5	Sim	Não	-	Sim
Caso 6	Sim	Sim	Fogo	Não
Caso 7	Sim	Sim	Imersão em água e depois aplicação de fogo	Não

\* Neste caso o projetista adquiriu o bambu de dois fornecedores, então se assume que esse bambu estava maduro; já nos outros casos os próprios projetistas participaram do corte dos colmos.

Fonte: autora

Os tratamentos preservativos dos colmos procuram protegê-los do ataque de insetos e fungos. Em relação aos insetos, o Estudo de Caso 4 – construído em 2013 – apresentou mais ocorrências de perfurações (atingindo 40% dos colmos da estrutura), ocasionadas pelos insetos *C. annularis* e *D. minutus*.

A maioria das perfurações neste caso encontra-se nos colmos de *P. pubescens*, que foram tratados pelo fornecedor de São Paulo e depois transportados para o Rio Grande do Sul, local da obra. Esta situação

dificulta o seguimento do bambu, quando não há uma certificação que garanta a idade dos colmos no momento do corte, nem os procedimentos de tratamento e secagem aos quais eles foram submetidos.

Nos Estudos de Caso 3, 5 e 6 não foram observadas perfurações ovaladas, que foram atribuídas ao ataque do inseto *C. annularis*. No Estudo de Caso 5, que foi construído em 2012, onde não foi aplicado tratamento, sendo uma provável causa a umidade presente na superfície de todos os colmos, pois sabe-se que este inseto ataca sobretudo colmos secos (SUMA; BELLA, 2018).

Já nos Estudos de Caso 3 (construído em 2012) e 6 (em 2016), os colmos das espécies *P. nigra var. henonis* e *P. aurea*, respectivamente, foram tratados unicamente com fogo.

No Estudo de Caso 7, construído em 2014 com *P. pubescens*, depois do tratamento por imersão em água, aplicou-se fogo nos colmos com um lança chamas. No entanto, nesta edificação foram identificados dois colmos com perfurações atribuídas ao inseto *C. annularis*.

Os Estudos de Caso 1 e 2, construídos em 2009 e 2010, apresentaram unicamente dois colmos perfurados por este inseto. Em geral não existiam muitos colmos com orifícios causados por xilófagos, mas entre eles, a maioria foram ocasionados pelo *D. minutus*. Nestes casos o tratamento preservativo (CCA) mostrou-se altamente efetivo.

Todos os estudos de caso, com exceção do 6º (construído em 2016), apresentaram perfurações ocasionadas pelo inseto *D. minutus*. Isto poderia estar relacionado com a pouca idade da edificação e com a proximidade da última manutenção com a data em que se realizou a inspeção.

### 5.1.3 Manifestações patológicas e o clima

Os sete estudos de caso estão localizados em cidades distintas e que possuem características climáticas diferentes. A variação das temperaturas, a umidade e a direção do vento incidem nas edificações, especialmente quando trata-se de construções de bambu em exteriores.

No Quadro 50 apresentam-se dados climáticos anuais de cada cidade onde estão localizados os estudos de caso, obtidos de MMA (2019). Destacam-se nesse quadro o Estudo de Caso 3, em Porto Alegre, por registrar a maior variação da temperatura média e da umidade relativa média simultaneamente; da mesma maneira que o Estudo de Caso 7, situado no local com maior umidade relativa (Colombo, próximo a Curitiba).

Quadro 50 - Dados climáticos dos locais onde estão localizados os estudos de caso.

	Cidade /Estado	Temperatura média (°C)	Umidade relativa média (%)	Vento dominante	Vento mais forte
<b>Caso 1</b>	Florianópolis /SC	16,99 - 24,74	82,07 - 88,73	N	S
<b>Caso 2</b>	Florianópolis /SC*	16,99 - 24,74	82,07 - 88,73	N	S
<b>Caso 3</b>	Porto Alegre /RS	13,69 - 24,61	71,74 - 89,61	E	SE
<b>Caso 4</b>	Rio Pardo /RS	12,34 - 23,56	72,14 - 85,69	E	O
<b>Caso 5</b>	Rio Negrinho / PR*	12,7 - 20,5	80,6 - 87,7	E	E
<b>Caso 6</b>	Rio Negrinho / PR*	12,7 - 20,5	80,6 - 87,7	E	E
<b>Caso 7</b>	Curitiba /PR	12,88 - 20,75	83,88 - 89,52	E	E / O
* Nestes casos utilizou-se como referência os dados da cidade mais próxima (recomendada pela fonte)					

Fonte: elaborado pela autora com dados de MMA (2019)

O Estudo de Caso 3, localizado em Porto Alegre, é a edificação cujos colmos de bambu foram tratados, que apresentou maior quantidade de bambus com rachaduras, conforme foi observado na Figura 142.

Por outro lado, considerando que a umidade é um fator que favorece a proliferação de fungos na superfície do bambu; a média da umidade relativa dos locais das edificações nesta pesquisa atinge 89% no ponto mais alto, enquanto que no ponto mais baixo a média é 80% nos casos de Santa Catarina e 70% nos casos do Paraná.

Neste contexto, nos estudos de caso do Paraná verificou-se maior presença de manchas pretas e verdes na superfície dos colmos.

Segundo o indicado pelos usuários da edificação, o Estudo de Caso 6, localizado em Morretes (próximo a Rio Negrinho), frequentemente tem manifestações patológicas relacionadas com a umidade (manchas pretas e verdes). Entretanto, a obra recentemente recebeu uma manutenção e por este motivo não foram registradas tantas ocorrências durante a inspeção visual, como foi possível observar na Figura 142.

O Estudo de caso 7, localizado em Colombo (nas proximidades de Curitiba), encontra-se no local com maior umidade relativa entre os estudos de caso. A maioria dos colmos desta edificação apresentam

manchas pretas e todos os pilares possuem esta ocorrência em combinação com a mancha verde.

O projetista e proprietário desta edificação, indicou que na última manutenção foi realizada apenas a aplicação de Stain impregnante e somente até determinada altura dos colmos da estrutura. Isto foi evidente durante a inspeção, pois claramente os colmos da parte superior da estrutura estavam com maior quantidade de manchas pretas na superfície e vários bambus apresentavam descolorações.

## 5.2 A ORIGEM DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Como foi apontado no Quadro 4, do capítulo de revisão bibliográfica, a origem das manifestações patológicas pode ser durante o projeto, a construção ou a utilização de um edifício. Em todas essas etapas existem causas relacionadas direta ou indiretamente com as decisões de projeto, que podem gerar ou intensificar a ocorrência de anomalias nos elementos de bambu.

No entanto, durante a descrição e análise das manifestações patológicas dos estudos de caso, identificou-se que na maioria das vezes a origem pode não acontecer só em uma dessas etapas, mas em duas; por exemplo, uma conexão mal executada poderia ter a origem durante a construção, mas, ao considerar que não houveram especificações de projeto que explicassem sua correta execução, a origem também seria o projeto (ou a ausência dele).

No Quadro 51, apresenta-se uma síntese das manifestações patológicas que foram encontradas nos estudos de caso, apontando a origem de cada uma delas para cada edificação. Tal como mostra-se em quantos casos aparece cada manifestação patológica.

Pode ser observado que as rachaduras e lascas tem sua origem principalmente durante as fases de projeto (arquitetônico e estrutural) e construção, considerando que para as construções de bambu, o projetista determina as características dos colmos que devem ser utilizados (espécie, maturidade, tratamento, secagem), a forma em que os bambus serão aplicados na edificação (técnica construtiva) e o grau de exposição aos raios UV que o bambu estará submetido, assim como o pré-dimensionamento estrutural.

As manchas e mudanças de cor se originam principalmente nas fases de projeto, uso e manutenção. O projetista decide o grau de exposição que o bambu terá às intempéries, bem como as características dos colmos e o tratamento a ser aplicado, indicando também a forma de dar manutenção aos componentes e sua periodicidade.

Quadro 51 – Manifestações patológicas identificadas nos estudos de caso e sua origem.

	Manifestação patológica	Estudos de caso							Total
		1	2	3	4	5	6	7	
Rachaduras e lascas	R. nos entrenós concretados dos colmos	■	■		■	■		■	5
	R. na parte central dos colmos	■		■	■		■		4
	R. por penetração de corpo externo	■	■	■	■	■	■	■	7
	R. por variações de temperatura	■						■	2
	R. por esmagamento		■			■			2
	R. nos extremos dos colmos			■					1
	Lascas nos extremos dos colmos				■			■	2
	R. por apoio incorreto				■	■			2
R. na parte central inferior das vigas				■			■	2	
Manchas e mudanças cor	Manchas pelo tratamento	■		■					2
	Verniz deteriorado	■	■		■			■	4
	Manchas de tinta	■							1
	Fungos verdes e brancos	■	■	■	■	■	■	■	7
	Fungos pretos	■	■	■	■	■	■	■	7
	Descoloração do colmo			■		■	■		3
Perfurações	Durante a fase de uso	■			■				2
	Por ataque <i>Dinoderus minutus</i>	■		■	■	■		■	5
	Por ataque <i>Clorophorus annularis</i>	■	■		■			■	4
	Durante a construção e reformas	■		■	■	■	■		5
	Por ratos				■				1
Colapso do colmo	■			■	■	■		4	
LEGENDA – Origem da ocorrência									
■	Projeto	■	Projeto; construção						
■	Construção (ou execução)	■	Projeto; uso e manutenção						
■	Uso e manutenção	■	Construção; uso e manutenção						
■	Origem indeterminado								

Fonte: autora

Durante a vida útil da edificação cabe ao usuário executar as atividades de cuidado e manutenção do bambu e observar qualquer sinal de ocorrência patológica, procurando assistência técnica para realizar inspeções de diagnóstico e as intervenções para sanar o problema.

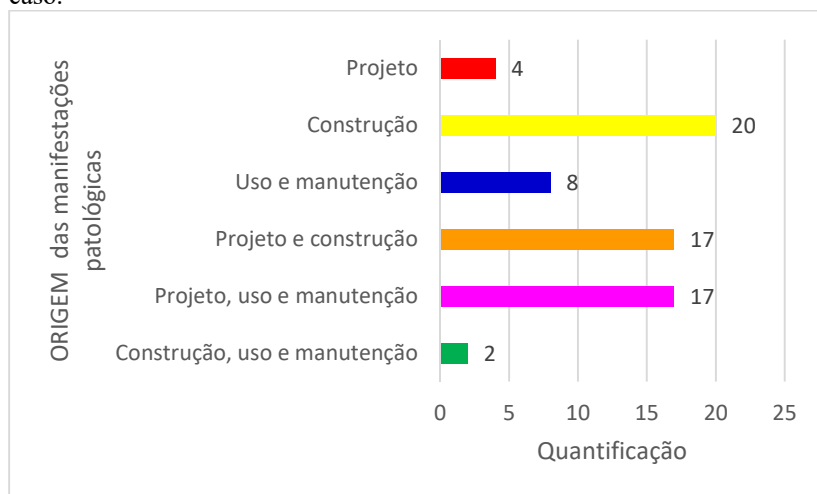
Considera-se que as atividades de cuidado e manutenção, assim como as possíveis sinais de ocorrência patológica nos colmos, devem ser indicados pelo projetista no manual de uso e manutenção da edificação; sendo entregue aos usuários junto com os documentos do projeto.



A origem das perfurações ocorre essencialmente durante o projeto e a construção, mas também em vários casos durante o uso da edificação. As perfurações por insetos xilófagos estão relacionadas com o tratamento escolhido pelo projetista (e a forma de aplicação) e com a inspeção dos elementos de bambu durante o uso. Outro tipo de perfurações são as ocasionadas durante a construção, por erros de execução das conexões e, finalmente, estão aquelas que os próprios usuários fazem durante o uso, geralmente para pendurar algum elemento na estrutura.

Prosseguindo com a análise da origem das manifestações patológicas, com o propósito de visibilizar qual é a que prevalece nos estudos de caso, com base na quantificação mostrada no quadro anterior, foram somadas as vezes em que cada uma das origens ocasionou uma manifestação patológica nos estudos de caso, Figura 143.

Figura 143 – Síntese da origem das manifestações patológicas nos estudos de caso.



Fonte: autora

Poucas são as manifestações patológicas que têm como origem o projeto por si só, porém, nota-se que muitas delas se originam em duas etapas que incluem à fase de projeto: “projeto / construção” ou “projeto / uso e manutenção”.

Identificou-se que a origem da maior parte das ocorrências foi na fase de construção, pela forma em que se executaram os detalhes construtivos dos elementos de bambu e a forma como foi realizado o tratamento dos colmos. Do mesmo modo, registraram-se duas ocorrências

que tiveram origem nas fases de “construção/ uso e manutenção”, ocasionadas principalmente pela intervenção nas edificações sem assessoria técnica.

As manifestações patológicas com origem unicamente na fase de uso e manutenção foram manchas de tinta, tratamentos ou de aplicação deficiente do verniz, assim como perfurações feitas pelos usuários. Neste caso, observaram-se várias ocorrências que tiveram origem combinada nas fases de “projeto/ uso e manutenção”.

Por conseguinte, constatou-se que o projeto tem relação direta com a origem das manifestações patológicas, embora elas ocorram nas fases de construção ou de uso e manutenção. Já que é no projeto que se tomam as decisões e traçam-se as diretrizes que orientam as ações que serão desenvolvidas nas fases subsequentes.

A fase de construção é uma consequência da fase de projeto, pois nela são executados todos os detalhes pensados e especificados pelos projetistas. Por este motivo, quanto mais detalhado seja o projeto, menos importantes serão as decisões que devam ser tomadas durante a obra, reduzindo as possibilidades de erros que podem favorecer o aparecimento de manifestações patológicas.

Neste ponto também é preciso destacar que na Figura 141, observou-se que os Estudos de Caso 1 e 6 são os que menos manifestações patológicas apresentam nos colmos, talvez exista alguma relação desta observação, com o fato que estes casos foram os únicos que contaram com o projeto completo prévio à construção.

A fase de uso e manutenção fica praticamente a cargo dos usuários da edificação. Considerando que a maioria das pessoas não conhece os cuidados necessários para o correto funcionamento e a prolongação da vida útil de componentes de bambu. As indicações relacionadas com sua manutenção devem também ser fornecidas pelo projetista, para prevenir o aparecimento e / ou propagação de ocorrências.

### **5.2.1 Manifestações patológicas com origem no projeto e construção**

Durante o levantamento e análise dos dados dos estudos de caso foi possível perceber que, embora os projetistas saibam como utilizar o bambu na construção, na prática, algumas ocorrências poderiam ter sido ocasionadas ou agravadas por decisões tomadas durante o projeto ou a execução.

Apenas em dois dos casos analisados foi elaborado o projeto arquitetônico completo prévio à construção. A execução das obras esteve baseada geralmente em modelos tridimensionais, que deram uma ideia de

como seriam resolvidas as conexões. Esta falta de detalhamento do projeto, somado à necessidade de mão de obra experiente em trabalho com bambu (tema emergente durante as entrevistas), acaba trazendo complicações durante a fase de construção das estruturas, que podem favorecer o surgimento de anomalias.

A seguir, apresentam-se as manifestações patológicas originadas nas fases de projeto e construção que foram identificadas nos estudos de caso, apontando algumas sugestões para os projetistas.

### 5.2.1.1 Rachaduras nos entrenós concretados

O preenchimento dos entrenós com concreto nas conexões é uma solução construtiva atribuída ao reconhecido arquiteto colombiano Simón Vélez, que trabalha projetando edificações com bambu há mais de 35 anos. Esta forma de reforço tem sido testada e adotada pelas normas de construção da Colômbia, Equador e Peru.

No entanto, na hora de projetar, faz-se necessário lembrar os diferentes comportamentos estruturais que o bambu e o concreto possuem. A rigidez do concreto se contrapõe à flexibilidade do bambu e isto se manifesta em rachaduras nos colmos, que podem aumentar com o tempo. Nos estudos de caso observaram-se muitos entrenós concretados que apresentam rachaduras (Figura 144).

Figura 144 - Rachaduras nos entrenós concretados.



Fonte: autora

A Figura 145 mostra uma imagem de uma conexão estrutural projetada por Simón Velez em uma construção de 1988 em Caldas – Colômbia. Nessa imagem, é possível observar por um lado a grande rachadura no extremo do colmo horizontal concretado e, por outro, que nem todos os entrenós foram concretados.

Figura 145 - Conexão estrutural em obra projetada por Simón Vélez em 1988.



Fonte: Salazar Ocampo (2018)

Neste ponto é primordial entender que esta é a forma em que os dois materiais se comportam e para este tipo de situação, os projetistas precisam encontrar formas de reagir perante as ocorrências.

Um modo de atenuar essas rachaduras, é o uso de braçadeiras nos entrenós dos colmos concretados; esta solução também foi observada em alguns dos estudos de caso analisados. Outra opção é evitar o máximo possível o uso de concreto nas ligações, através de um minucioso estudo e um projeto acertado das conexões.

Há também outras possibilidades de reduzir o uso do concreto, por meio da utilização de conectores de madeira ou de aço, que permitem inclusive, resolver conexões mais complexas. Alguns exemplos do uso destas conexões no Brasil podem ser observados nos estudos de caso analisados por Ballesté (2017).

#### 5.2.1.2 Rachaduras por penetração

Esta ocorrência é muito comum nas construções de bambu, considerando que as conexões geralmente são feitas com elementos metálicos ou cavilhas. Estas rachaduras originam-se principalmente durante a execução (em alguns casos também no projeto ou na fase de uso) e foram identificadas em todos os estudos de caso desta pesquisa.

Para evitar o fendilhamento ou geração de lascas nos colmos por esta causa, pode-se iniciar as perfurações por onde irão passar depois os conectores, utilizando uma broca de diâmetro pequeno e depois utilizar a broca com o diâmetro final. Deve-se evitar atravessar as duas paredes do colmo de uma vez só, iniciando a perfuração de um lado do colmo até

atravessar completamente a primeira parede e, posteriormente, iniciar a perfuração na parede oposta, também de fora para dentro.

Além disto, as perfurações não devem estar localizadas no mesmo eixo longitudinal do colmo, evitando o enfraquecimento do mesmo feixe de fibras, que poderia delinear o caminho para as fendas continuarem.

#### 5.2.1.3 Rachaduras por variações de temperatura

No campo, por meio da inspeção visual torna-se difícil determinar quais são as rachaduras nas estruturas ocasionadas pelas variações de temperatura. As perdas de umidade podem acabar fissurando os colmos, podendo ter origem durante o processo de secagem do bambu ou durante o uso da edificação.

Como examinado no capítulo anterior, um exemplo do aparecimento desta manifestação durante o uso, foi observado nos colmos das fachadas do Estudo de Caso 7, que estão expostos às intempéries. Então, uma forma de evitar sua aparição é proteger os colmos da exposição a continuas mudanças de temperatura.

#### 5.2.1.4 Rachaduras nos extremos dos colmos (conexões)

A causa desta ocorrência, é que as conexões transmitem os momentos fletores aos colmos de bambu, deformando-os, enquanto as conexões não acompanham esta deformação. Isto produz tensões de tração transversal às fibras, provocando uma fissura que se estende longitudinalmente pelos colmos.

Este tipo de ocorrência também foi identificado por Ballesté (2017) nos estudos de caso da sua pesquisa, bem como sua recomendação para prevenir este tipo de ocorrência, que é projetar vínculos menos rígidos para que consigam absorver os momentos fletores ou concretar internamente o colmo inteiro. Este é um tema interessante para ser desenvolvido em futuras pesquisas.

#### 5.2.1.5 Lascas causadas pelo corte do bambu

Como foi apontado nos estudos de caso, esta ocorrência é frequente quando os bambus são cortados com máquinas (serra de disco ou motosserra), principalmente porque se corta os colmos em uma única direção.

Para evitar que isto aconteça, os colmos de bambu devem ser girados durante o corte, com o objetivo que a serra sempre penetre na direção radial, iniciando pelo córtex (Figura 146).

Figura 146 – Corte de colmos com serra.



Fonte: autora

#### 5.2.1.6 Manchas deixadas pelo tratamento

Em três dos casos estudados foram observadas manchas deixadas pelo tratamento preservativo utilizado. No primeiro caso, pelo CCA; no segundo, por manchas de óleo na superfície dos colmos, e no terceiro, pelo impermeabilizante asfáltico que foi derramado sobre alguns colmos durante a aplicação.

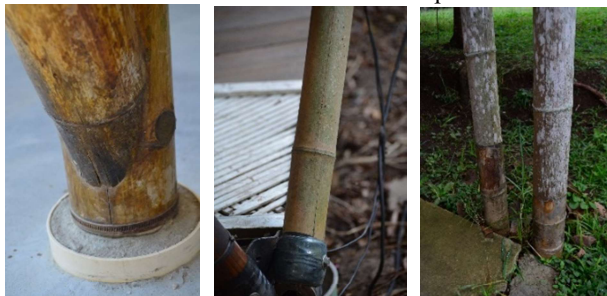
Embora estas ocorrências sejam principalmente estéticas, os projetistas precisam considerá-las no momento de escolher o tipo de tratamento que irão aplicar no bambu. É necessário explicar nos detalhes construtivos, sua forma de aplicação (no caso de capas asfálticas ou produtos químicos) e as medidas de segurança que precisam ser tomadas durante os procedimentos.

#### 5.2.1.7 Fungos verdes e pretos

As manchas causadas por fungos verdes e pretos também foram identificadas em todos os estudos de caso, sendo causadas pela umidade.

Embora os projetistas tenham protegido as bases dos pilares do contato direto com o chão por meio de diferentes estratégias, alguns colmos apresentaram umidades nestes locais (Figura 147).

Figura 147 - Manchas de umidade nas bases dos pilares.



Fonte: autora

Estas ocorrências foram causadas em alguns casos porque as fundações de concreto, sobre as quais os pilares estão apoiados, não possuem a altura suficiente para afastar as bases dos colmos da água que escorre pelo terreno. Nos outros casos, porque os bambus não foram protegidos dos respingos da água da chuva, seja pelos beirais insuficientes, pela falta de canais de coleta de água e/ou pelo vento, que faz com que a chuva caia na sua direção.

Neste sentido, é necessário cuidar desses detalhes, aumentando a altura das bases de concreto (ou o tipo de proteção que tenha sido escolhido) onde estão apoiados os pilares e combinando isto com os beirais largos, como mostrado na Figura 148. As normas internacionais recomendam que a altura mínima destas bases sobre o nível do piso seja 20 cm.

Figura 148 - Proteção das bases dos pilares contra a umidade.



Fonte: AIS (2000)

Pelas mesmas causas, apresentaram maior quantidade de sinais de umidade os colmos localizados nas fachadas mais expostas. A Figura 149

mostra as fachadas frontal e posterior do Estudo de Caso 7, os colmos localizados nelas apresentaram mais manchas verdes e pretas do que os outros na mesma estrutura.

Figura 149 – Colmos expostos nas fachadas do Estudo de caso 7.



Fonte: autora

Nestes casos, os projetistas devem estar cientes que as fachadas de bambu mais expostas às intempéries tem vulnerabilidade aos ataques de fungos, essencialmente nas regiões climáticas mais úmidas e de alta pluviosidade. Esta situação se agrava quando as fachadas são orientadas na direção do vento predominante, como é o caso da fachada Sul do corredor da estrutura 3 do Estudo de Caso 1 (Figura 150), onde as manchas de fungos pretas e verdes estão presentes em quase todos os pilares inclinados.

Figura 150 - Pilares com mais ocorrências de manchas verdes e pretas.



Fonte: autora

Para este caso há duas propostas para proteger os bambus: a primeira é criar uma barreira de proteção para esta fachada, ou aumentar



a frequência das manutenções; neste caso efetuando a limpeza da superfície dos colmos e da aplicação do verniz.

Na estrutura B, do mesmo Estudo de caso 1, quase não foram observadas manchas de umidade, já as que foram identificadas estavam localizadas nos extremos dos colmos da cobertura, estando desta forma mais expostos. A metade da estrutura B está rodeada por paredes de alvenaria, protegendo assim os pilares; na outra metade a estrutura está ancorada diretamente aos pilares de concreto (com mãos francesas).

#### 5.2.1.8 Descoloração do colmo

Esta ocorrência é causada principalmente pela incidência direta dos raios UV nos colmos de bambu. Logo, foi possível observá-la sobretudo naqueles casos onde não foi aplicado verniz na superfície dos bambus, ou onde não optou-se pelo uso do verniz, como é o caso dos colmos tratados por fogo; também nas fachadas que estão expostas às intempéries.

#### 5.2.1.9 Perfurações por elementos externos

Neste ponto, faz-se referência por um lado àquelas perfurações feitas por “erro” durante a construção das edificações, depois que a perfuração correta foi feita e utilizada para a conexão, o orifício errado foi deixado aberto, o que poderia ser um risco para a estrutura, porque permitiria o ingresso de xilófagos.

Desta forma, sugere-se ter uma maior fiscalização durante a construção, buscando com que estes tipos de ocorrência sejam observados e resolvidos. O preenchimento destes furos pode ser realizado com uma massa elaborada com a serragem do bambu misturada à cola ou com produtos disponíveis no mercado, utilizados para vedar pequenas aberturas em superfícies de madeira (exemplo: massa F12, da Viapol). A aplicação deve realizar-se antes das demãos de verniz.

#### 5.2.1.10 Problemas com a distribuição das cargas

Cinco dos casos apresentaram nos colmos rachaduras ocasionadas pela inadequada distribuição das cargas nos bambus.

Os casos mais críticos nos estudos de caso, foram aqueles em que o colmo foi esmagado por causa do peso da cobertura, ou porque outros elementos foram colocados sobre os entrenós sem o devido reforço e na

direção perpendicular às fibras (Figura 151). Em alguns casos, tal ato levou ao colapso dos elementos.

Figura 151 - Esmagamento de ripa de bambu.

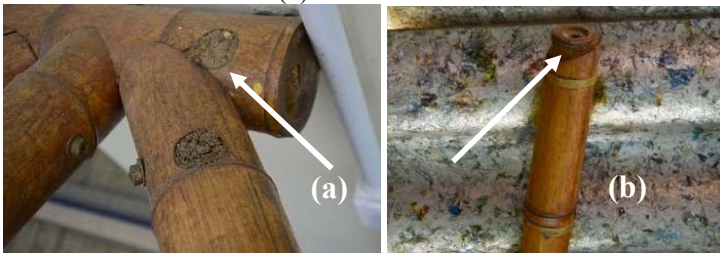


Fonte: autora

Embora os projetistas já conheçam que as ligações dos elementos estruturais devem ser feitos sobre os nós, durante a execução nem sempre isto é possível; em tais situações os entrenós devem ser reforçados internamente.

Neste sentido, também foram observadas opções de reforço durante as inspeções dos estudos de caso, como por exemplo, por meio do preenchimento com concreto (Figura 152a) ou por meio da inserção no entrenó de outro colmo de menor diâmetro com nó no extremo “embuchamento” (Figura 152b).

Figura 152 - Reforço interior dos colmos com concreto (a) ou com o embuchamento de outro colmo (b).



Fonte: autora

Para o reforço interno dos colmos podem ser utilizados também elementos de madeira. Estes colmos ainda podem ser reforçados externamente com braçadeiras metálicas, tendo sido observado nos estudos de caso que se trata de uma opção que ajuda nestas circunstâncias.

### 5.2.1.11 Outras observações gerais sobre os casos estudados

Em nenhum dos casos analisados foram observados colmos de bambu com perfurações de insetos que atacam o bambuzal, isto quer dizer que os colmos utilizados nas edificações dos estudos de caso, foram previamente selecionados para sua aplicação (classificação visual por defeitos).

A ausência de projeto formal na maioria dos estudos de caso e a consequente falta de detalhamento sobre como deveriam executar-se as conexões dos colmos, ocasiona que muitas decisões devam ser tomadas em obra trazendo mudanças que podem comprometer a resistência dos colmos aos agentes patológicos. Isto também dificulta a fiscalização durante a execução.

Além disto, esta situação limita o desenvolvimento de projetos de bambu na região, para as edificações de pequena escala. Afinal o projeto arquitetônico, além de servir de guia para o processo construtivo, oferece ao projetista a possibilidade de registrar soluções adotadas em determinado momento para sua posterior análise ou aprimoramento de projetos futuros. O registro destes processos não só permite a evolução do projetista, mas ao mesmo tempo da sua equipe de trabalho.

Assim foi percebida a cautela que os projetistas têm ao construir edificações de pequena escala com bambu, sem contar com o respaldo de engenheiros calculistas, que trabalhem com este material e principalmente pela falta de uma norma.

De forma geral, a mesma cautela é observada em todas as edificações com este material que, de forma geral, são superdimensionadas. Neste sentido, o uso de grandes quantidades de colmos de bambu e a modulação das estruturas, gera um ritmo estético que geralmente é aproveitado como parte da composição arquitetônica (Figura 153).

Figura 153 – Composição com bambu nas estruturas dos Estudos de caso 1 e 6.



Fonte: autora e Arq. Tomaz Lotufo (2018)

Nas entrevistas com os projetistas, outro tema emergente foi a necessidade de capacitação de mão de obra para a construção com bambu. Este é um assunto importante a se considerar, já que a qualidade das conexões e da edificação dependem em grande parte dos cuidados com os detalhes durante a execução.

Finalmente, como será apontado a seguir, há necessidade da elaboração de manuais de uso e manutenção que auxiliem aos usuários no cuidado destas estruturas.

## **5.2.2 Manifestações patológicas com origem na fase de uso e manutenção das edificações**

O bambu, como todo material de construção, precisa de cuidados específicos para ter sua durabilidade prolongada. Todavia, pelo fato de o bambu ser um material pouco conhecido pelos usuários, que têm maior familiaridade com as construções de alvenaria ou madeira, é necessário informar-lhes sobre os cuidados indispensáveis com esse material nas edificações.

Em nenhum dos estudos de caso, analisados neste trabalho, foi entregue um manual de usuário aos proprietários, com as especificações de uso e manutenção. Embora em alguns casos, tenham sido dadas recomendações de forma oral, não existem documentos que orientem de forma detalhada estes procedimentos.

A carência de um manual de uso é ainda mais evidente nos casos das edificações que posteriormente são comercializadas, alugadas ou destinadas ao uso público, porque os usuários desconhecem totalmente a forma de cuidar e preservar o bambu, sendo assim as indicações de manutenção não são transmitidas de um usuário para o posterior.

A seguir, apresentam-se as manifestações patológicas originadas na fase de uso e manutenção, que foram identificadas nos estudos de caso, apontando algumas sugestões para evitar ou atenuar sua aparição e posterior propagação durante a fase de uso.

### **5.2.2.1 Sugestões para prevenir, atenuar e resolver as manifestações patológicas com origem na fase de uso e manutenção**

Nos estudos de caso com frequência observou-se a presença de **perfurações ocasionadas por pregos e outros elementos** que, em algum momento, foram colocados nos colmos para prender algum objeto na estrutura, deixando depois o orifício aberto.

O **verniz deteriorado** e as **manchas de tinta** são ocorrências superficiais, que afetam o colmo no aspecto estético e são simples de resolver, dando-se através da limpeza e com uma nova aplicação de verniz (ou de outro acabamento).

O surgimento e propagação das **manchas pretas e verdes** causadas por fungos, que foram identificadas em todos os estudos de caso, pode ser evitada ou atenuada drasticamente por meio da inspeção frequente, buscando identificar os colmos afetados e agilizar a intervenção reparadora. A superfície do bambu deve ser limpa e protegida do contato direto com a umidade.

Em relação à frequência das inspeções dos componentes de bambu, esta vai depender das condições de exposição deste material às intempéries e sugere-se:

- inspeção efetuada a cada seis meses para elementos de bambu em áreas exteriores, onde os colmos estiverem expostos diretamente aos raios UV;
- inspeção anual para elementos de bambu que estão mais protegidos (colmos na sombra);
- inspeção cada dois ou três anos para os casos em que o bambu se encontra em ambientes interiores.

Em relação às **perfurações por xilófagos**, a inspeção periódica também é fundamental, posto que uma rápida identificação das peças afetadas permitiria intervir o mais breve possível para aplicar o tratamento adequado (por exemplo, por meio da injeção de tratamentos químicos no interior dos colmos afetados), vedando depois todos os orifícios. Nos casos em que as peças já se encontrem muito comprometidas, haverá a necessidade de substituição.

No Estudo de Caso 1, foi identificado um **colmo colapsado por esmagamento** e observou-se que esta ocorrência teve origem na fase de uso e manutenção. Os usuários realizaram uma ampliação de uma parte da cobertura com bambu, sobrecarregando uma das vigas e levando-a ao colapso.

Nesse caso, o manual de uso que deve ser entregue aos usuários, poderia incluir algumas orientações para realizar ampliações, assim como indicar as características dos colmos de bambu e também recomendar a procura de assessoria profissional para este tipo de intervenção, apontando os possíveis riscos que uma execução inadequada pode acarretar.

Os projetistas também precisam prever no projeto, a forma em que as peças de bambu serão substituídas durante as manutenções em caso de colapso dos colmos. Neste sentido é interessante utilizar detalhes de conexão visíveis que facilitem as inspeções e facilitem a troca de elementos.

Nos Estudos de Caso 3 e 7, detectaram-se **manchas deixadas nas superfícies dos colmos durante a aplicação dos tratamentos**. Em um dos casos observou-se a presença de óleo e, no outro, de respingos de massa asfáltica. Embora estas manchas sejam apenas um problema estético, igual ao das manchas de tinta, é algo que poderia ter sido resolvido com uma limpeza, logo depois de ter se aplicado o tratamento aos colmos.

A **descoloração dos colmos** com origem na fase de uso e manutenção, verificada em dois estudos de caso, é ocasionada pela falta de proteção externa à ação dos raios UV. Para resolver esse defeito, deve-se aumentar a frequência de aplicação do verniz.

Em casos onde o bambu encontre-se exposto às intempéries, recomenda-se aplicar a cada seis meses, principalmente em ambientes mais agressivos, como locais próximos ao mar ou com elevada umidade.

De modo geral, observa-se que em muitos casos, a aparição de manifestações patológicas nos elementos de bambu na fase de uso, é ocasionada pela falta de inspeção dos colmos para constatar se existem anomalias e realizar as intervenções necessárias ao momento.

Já no caso particular do Estudo de Caso 5, no qual o projetista não previu tratamento para o bambu, mas a substituição das peças à medida que estas fossem deteriorando, nota-se a maior necessidade de realizar inspeções frequentes. Sobretudo pelo fato de que majoritariamente os colmos apresentam manifestações patológicas, em especial relacionadas com a ação da umidade. Isto dificulta a identificação de novas ocorrências e a determinação do grau de comprometimento da peça, marcando o momento em que tal peça deveria ser substituída.

Assim, em futuras pesquisas, seria importante desenvolver uma forma de determinar o nível de deterioração das peças de bambu, para facilitar a tomada de decisões relacionadas com tratamentos paliativos ou com a substituição das peças. Neste sentido, o método de inspeção visual tem limitações, pois não avalia a extensão do estado de integridade no interior da peça.

Destaca-se que a entrega do manual de uso e manutenção aos proprietários, é uma estratégia para familiarizar os usuários com o uso adequado do bambu, tal como os manuais de construção que tem divulgado o aproveitamento deste material.

### 5.2.2.2 Sugestão de instruções sobre o bambu a incluir-se no manual de uso e manutenção

Uma vez identificados os problemas mais frequentes das edificações com bambu na região, baseado no que foi observado nos estudos de caso analisados, nesta seção apontam-se os itens a serem incluídos no manual de uso e manutenção de uma edificação em bambu, visando prolongar a vida útil do material.

O Quadro 52 apresenta a disposição dos conteúdos do manual de uso e manutenção, como indicado na NBR 14037 (2011).

Quadro 52 - Disposição de conteúdo do manual de uso, operação e manutenção.

<b>Capítulo</b>	<b>Subdivisões</b>
1. Apresentação	Índice. Introdução. Definições.
2. Garantias e assistência técnica	Garantias e assistência técnica.
3. Memorial descritivo	
4. Fornecedores	Relação de fornecedores. Relação de projetistas. Serviços de utilidade pública.
5. Operação, uso e limpeza	Sistemas hidrossanitários, eletroeletrônicos, de proteção contra descargas atmosféricas, de ar condicionado, ventilação e calefação, de automação, de comunicação, de incêndio. Fundações e estruturas. Vedações. Revestimentos. Pisos. Coberturas. Jardins, paisagismo e áreas de lazer. Esquadrias e vidros. Pedidos de ligações públicas.
6. Manutenção	Programa de manutenção preventiva. Registros. Inspeções.
7. Informações complementares	Meio ambiente e sustentabilidade. Segurança. Operação dos equipamentos e suas ligações. Documentação técnica e legal. Elaboração e entrega do manual. Atualização do manual.

Fonte: NBR 14037 (ABNT, 2011).

Assumindo que, o projetista já conheça todas as informações relativas às características do projeto específico, serão indicadas as recomendações gerais concernentes ao bambu que devem ser incluídas no manual de uso e manutenção (Quadro 53).

Quadro 53 - Sugestões de aspectos sobre o bambu para o manual de uso e manutenção.

(início)

<b>Capítulo</b>	<b>Sugestões de aspectos relacionados com o bambu</b>
1. Apresentação	Nas definições – incluir as partes do colmo de bambu (nó, entrenó e gema).
2. Garantias e assistência técnica	<p>Indicar os prazos de garantia do componente de bambu.</p> <p>Indicar os prazos que o usuário possui para reclamações de vícios ocultos ou aparentes relacionados ao bambu.</p> <p>Nas condições de perda de garantia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicar que o usuário é o responsável pela realização das manutenções dos elementos de bambu, conforme o indicado no manual de uso.</li> <li>- Esclarecer que os componentes de bambu não devem ser utilizados para os fins diferentes daqueles para os quais foram projetados.</li> <li>- Apontar que toda intervenção nos elementos de bambu, reforma ou substituição relacionada com os colmos deve ser realizada sob supervisão técnica de um profissional habilitado.</li> </ul> <p>Informar ao usuário como deve proceder em caso de dúvidas sobre procedimentos de uso e manutenção dos elementos de bambu, também indicando aqui o contato para assistência técnica.</p>
3. Memorial descritivo	<p>Descrever como foram construídas as partes que incluem bambu, com linguagem simples e clara (podem ser utilizadas imagens como apoio).</p> <p>Explicar para que serve cada elemento que está relacionado com os componentes de bambu, detalhar os acabamentos e especificações.</p> <p>Explicitar as cargas estruturais máximas admissíveis, por meio de exemplos práticos (como indicar os materiais permitidos em caso de substituição de uma cobertura ou de uma vedação vertical), explicando a diferença entre as cargas em cada caso.</p> <p>Apresentar o programa de manutenção preventiva, que deve incluir: atividades de manutenção (por exemplo, aplicação do verniz), a periodicidade e os responsáveis pela execução.</p>
4. Fornecedores	Indicar os fornecedores do bambu e de produtos a ele relacionados, de mão de obra, de projetistas, calculistas, entre outros. Incluindo os dados de contato.



(fim)

<b>Capítulo</b>	<b>Sugestões de aspectos relacionados com o bambu</b>
5. Operação, uso e limpeza	Recomendações para limpeza dos colmos, quais seriam os produtos, utensílios e equipamentos que podem ser utilizados e os que devem ser evitados. Instruções gerais de uso dos componentes de bambu conforme o projeto.
6. Manutenção	Orientar aos usuários para a identificação de qualquer sinal de manifestação patológica nos elementos de bambu (manchas, perfurações, fendas, entre outros). Nestes casos deve-se solicitar que entre em contato com um profissional para a realização da inspeção correspondente. Indicar periodicidade das inspeções e manutenções. Os proprietários devem entrar em contato com um profissional para realizar as inspeções antes das manutenções preventivas. Orientar a realização das manutenções dos componentes de bambu por profissionais capacitados. Orientar a utilização dos materiais indicados no memorial descritivo nas manutenções e reformas. As manutenções devem seguir o programa de manutenção indicado. Indicar a obrigatoriedade de registrar cada ação de manutenção, indicando a data e quem a realizou.
7. Informações complementares	Incluir informações para conscientizar em relação ao meio ambiente, por exemplo, relacionadas com a origem do bambu, com o descarte ou reutilização dos colmos, bem como com o tratamento aplicado aos colmos.

Fonte: autora

As sugestões apresentadas neste capítulo, têm por objetivo apoiar os projetistas com as decisões relacionadas ao bambu durante a fase de projeto, que podem interferir na durabilidade deste material e, conseqüentemente, na vida útil das edificações.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira parte deste capítulo apresentam-se as conclusões desta pesquisa, relacionadas com a hipótese e com cada um dos objetivos específicos. Em seguida, apontam-se as contribuições científicas do trabalho e finalmente listam-se as recomendações para futuras pesquisas.

### 6.1 CONCLUSÕES

Confirmou-se parcialmente, a hipótese de que por meio da análise das manifestações patológicas incidentes nos elementos construtivos de bambu em edificações, foi possível identificar os processos de degradação e a relação com as decisões projetuais que acometem a durabilidade deste material em edificações. Embora tenham sido identificados os processos de degradação da maioria das ocorrências observadas nos estudos de caso e detectada sua relação com o projeto, não foi possível determinar a profundidade, as causas e a origem de algumas manifestações do tipo fendas, por estarem mais relacionadas com questões mecânicas, que fogem do escopo desta pesquisa.

#### **6.1.1 Sobre os conceitos relacionados com a durabilidade do bambu em edificações**

No início, e durante esta pesquisa, foi estabelecido um marco conceitual, apresentado no Capítulo 2, focado nos tópicos que fundamentaram todas as atividades subsequentes.

Os conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho foram relacionados com o projeto, com a manutenção e com as propriedades dos materiais.

Depois foram abordados os conceitos de patologia da construção, causa e origem das manifestações patológicas, fazendo uma síntese daquelas relacionadas com decisões de projeto. Estes conceitos foram fundamentais para orientar o processo de análise e diagnóstico dos elementos de bambu nos casos. Dentro deste tema também foi apresentado o método geral de análise das manifestações patológicas, orientando a definição do método para esta pesquisa.

Para aprofundar estes assuntos, já em relação ao bambu, foram apresentados os fatores que intervêm na sua durabilidade, partindo das propriedades deste material; seguido pela apresentação dos agentes de degradação e seus efeitos (por meio de imagens de bambus com ocorrências). Mostraram-se também os tipos de tratamento preservativo e

suas características, logo após foi descrita a forma em que o projeto influencia na durabilidade do bambu. Todos estes conteúdos serviram para compreender os mecanismos de ação dos agentes de degradação e os processos de deterioração do material, evidenciando a grande quantidade de variáveis que neles atuam.

Finalmente, por causa da escassez de pesquisas sobre métodos de inspeção dos elementos de bambu em edificações, foram descritas e analisadas várias técnicas de inspeção não destrutivas utilizadas em madeiras, para observar as possibilidades de adaptação e uso para os fins desta pesquisa.

### **6.1.2 Em relação ao método para a inspeção da condição do bambu**

Nesta pesquisa, foi selecionada a inspeção visual como método para levantar dados sobre a condição do bambu nos estudos de caso. Este método foi adaptado para sua aplicação a este material e complementado com a percussão com martelo de borracha.

A inspeção visual foi um método prático para realizar o levantamento dos dados, porque não foram necessários equipamentos complexos. A maioria dos instrumentos utilizados estão disponíveis em laboratórios, são fáceis de transportar e de utilizar. Assim, a complexidade esteve em delinear os procedimentos específicos que devem ser realizados sistematicamente em cada um dos estudos de caso, para levantar os dados das edificações. Para este fim, foi elaborada uma ficha de inspeção que orientou quais as informações que deviam ser recolhidas no campo.

As inspeções dos estudos de caso foram realizadas com a participação de, no mínimo, duas pessoas. Isto facilitou tarefas como medições e levantamento planimétrico, inspeção dos elementos de cobertura utilizando escadas, registro de dados, dentre outras.

O pequeno porte das edificações analisadas foi um fator importante que permitiu aprimorar o método de inspeção visual e concluir os sete estudos de caso dentro do tempo estipulado para esta pesquisa, considerando principalmente a grande quantidade de informação gráfica levantada e o tempo necessário para a fase de análise dos dados. No entanto, uma vez que já foram sistematizados os procedimentos nesta pesquisa, é possível aplicá-los para construções em maior escala.

Para a inspeção visual das peças de bambu mais afastadas (por exemplo, em alguns pontos das coberturas), onde nem sempre houve viabilidade para acessar com a câmera fotográfica, foi de muita utilidade o uso de uma lente teleobjetiva e imagens de alta resolução. A lente

teleobjetiva possui uma maior distância focal e limita o ângulo de visão, permitindo fotografar pontualmente as manifestações patológicas mais distantes, desde um local mais seguro.

É preciso destacar também as limitações que a inspeção visual possui para determinar a condição do bambu, sobretudo quando trata-se de especificar o grau de comprometimento das peças. Para isto, é necessário complementá-la com outros métodos não destrutivos.

A percussão com martelo de borracha foi utilizada para identificar os entrenós que estavam preenchidos com concreto ou com outros materiais. Não mostrou-se um método efetivo para determinar o comprometimento interno das peças de bambu que apresentam galerias de insetos ou excesso de umidade.

Em todos os estudos de caso, a inspeção visual foi complementada com entrevistas com os projetistas e proprietários. Isto foi fundamental para resolver várias dúvidas que surgiam durante as observações.

### **6.1.3 Quanto às características projetuais e construtivas das edificações com bambu na região Sul do Brasil**

Depois de mais de três anos de procura, foi possível listar 20 edificações construídas com bambu, das quais, 7 foram analisadas nesta pesquisa.

Foi possível identificar algumas semelhanças entre os estudos de caso: todas as edificações são de pequeno porte e foram construídas recentemente, sendo a mais antiga datada de 10 anos atrás; o bambu é aplicado no formato roliço em estruturas em espaços abertos, ou seja, sem vedações.

Outra observação foi que unicamente em dois casos foi elaborado o projeto. As outras edificações só contaram com estudos prévios em maquete ou croquis antes da construção. Neste sentido, durante o processo de inspeção, foram realizados os levantamentos planimétricos dos projetos, para depois desenhar as plantas e fachadas, fazendo as volumetrias apresentadas no Capítulo 4. É possível observar que, para o caso das estruturas de bambu, é necessário trabalhar em modelos 3D para compreender realmente a sua conformação, já que as plantas e fachadas não transmitem as informações necessárias para a construção.

Todos os projetistas dos casos selecionados são profissionais experientes no trabalho com bambu e conhecem as formas de proteger o material por decisões de projeto. Isto foi evidente, por exemplo, ao observar que em todos os casos as estruturas foram protegidas com beirais, resguardando o material da umidade proveniente das chuvas;

assim como as bases para isolar os pilares do contato direto com o solo por meio de várias soluções construtivas, que foram mostradas no Capítulo 4.

Em contrapartida, as maiores diferenças foram observadas em relação aos tipos de tratamento preservativo aplicado aos colmos, variando desde o CCA por autoclave, conhecido como um dos mais agressivos, passando pela fervura em água, a aplicação de fogo ou a imersão em água, até um caso em que o bambu não foi tratado. É neste ponto que, de alguma maneira, foi observada a forma em que os projetistas enfrentaram as demandas de vida útil do bambu dependendo das características dos seus projetos. Foi possível evidenciar duas formas de entender a durabilidade do bambu em uma edificação:

- Para aquelas edificações onde se prevê que o bambu dure o maior tempo possível e, portanto, o projetista prioriza a preservação do bambu antes da sua aplicação, sendo aplicados tratamentos químicos aos colmos. Nestes casos, não descarta-se a eventual substituição de algum elemento durante a vida útil da edificação.
- Para aquelas edificações onde se prevê a substituição dos elementos do bambu, portanto, o projetista atém-se nos detalhes e soluções construtivas que permitam a troca dos colmos, sem dar maior atenção ao tratamento químico. Entre os casos analisados houve só uma edificação (Estudo de Caso 5) que pertence a este grupo. O projetista observa, pelas condições do entorno (rural), que há disponibilidade de bambu e que, portanto, a utilização de produtos químicos é desnecessária e encareceria a construção.

Durante as inspeções e análises foi evidente a diferença entre as edificações desses dois tipos. Naquelas em que não foi utilizado tratamento, todas as peças da estrutura apresentam ocorrências patológicas, principalmente relacionadas com manchas de umidade na superfície dos colmos, enquanto que nos outros casos este tipo de manifestação se apresentava isoladamente em determinados colmos. Seriam necessárias pesquisas mais aprofundadas utilizando outras técnicas de inspeção para detectar se há diferenças significativas no grau de comprometimento das peças entre essas abordagens.

Por outro lado, a maioria das estruturas analisadas foram montadas no local, e apenas uma delas (Caso 6) foi projetada pensando na pré-fabricação dos componentes estruturais de bambu, para sua posterior montagem. Isto mostrou outras possibilidades de trabalho com o material,

constituindo um resultado estético diferente daquele referente às demais obras analisadas.

Em relação à origem do bambu utilizado nestas edificações, foi observado que em vários casos o bambu é trazido de outros Estados, principalmente Paraná e São Paulo. Nos casos do Paraná, dois deles usam bambu coletado neste mesmo Estado e no terceiro o bambu provém de Minas Gerais. Os projetistas que utilizaram bambu da região indicaram que provém de plantações pequenas, que em muitos casos não possuem fins comerciais.

Foram identificadas as espécies de bambu mais utilizadas pelos projetistas e questionada a falta de uso da espécie *G. chacoensis*, nativa da região, que possui características apropriadas para a construção.

#### **6.1.4 Acerca da relação entre as manifestações patológicas com o projeto (e os fatores intervenientes)**

Como foi exposto nos Capítulos 4 e 5, por meio da análise de quase todas as manifestações patológicas, foi possível identificar os mecanismos de ocorrência, suas possíveis causas e origem. Neste sentido, considerando que na maioria dos casos não foi elaborado um projeto formal antes da construção, encontrou-se que as principais manifestações patológicas, que podem ter sido originadas nesta fase (ou por este motivo) foram: fendas e lascas no colmo por penetração de corpo externo, manchas pretas e verdes na superfície dos bambus, fendas ocasionadas pela inadequada distribuição das cargas e perfurações ocasionadas por elementos externos durante a execução.

A execução dos projetos com base em maquetes ou croquis, sem dúvida auxiliou no entendimento da parte construtiva; entretanto, não permitiu aos projetistas analisar outros fatores, como: a orientação das estruturas em relação aos ventos ou à trajetória solar, o detalhamento de conexões, o uso e manutenção do bambu, dentre outros.

Neste sentido, as manifestações patológicas originadas na fase de projeto, poderiam ter sido atenuadas se tivessem sido desenvolvidos projetos formais com detalhamentos. Permitindo desta forma que os construtores entendessem a forma de execução das conexões, ou que dessem informações detalhadas aos usuários sobre como realizar adequadamente as manutenções.

Por outro lado, um dos temas emergentes durante as entrevistas foi a falta de mão de obra capacitada para a execução de obras em bambu, isto, somado à inexistência de um projeto formal, contribuiu para que muitas das manifestações patológicas se originassem na fase de execução.

Por causa do escopo desta pesquisa, não aprofundou-se na determinação dos mecanismos de ocorrência, causas e origem de determinadas fendas nos colmos, considerando que muitas delas poderiam ter sido originadas por cargas mal distribuídas, relacionadas, portanto, com o cálculo estrutural. Não obstante, faz-se essencial indicar a necessidade de aprofundar neste tema em futuras pesquisas.

Em síntese, depois das análises desenvolvidas ao longo deste trabalho, acredita-se que a quantidade de ocorrências patológicas nas estruturas de bambu poderia ser atenuada significativamente, caso os projetistas elaborassem um projeto prévio à construção, baseado principalmente em modelos em 3D e especificações de detalhes construtivos, incluindo um manual de uso e manutenção que especifique os cuidados que se devem dar aos elementos de bambu. Além disso, seria positivo realizar um bom seguimento da execução dos detalhes na fase de construção.

### **6.1.5 Com respeito às sugestões para os projetistas**

Com base nas análises desenvolvidas ao longo desta pesquisa, foi possível fazer algumas recomendações para os projetistas sobre algumas ações, que poderiam prolongar a vida útil do bambu nas edificações.

Em geral, observou-se que embora os projetistas tenham os conhecimentos sobre preservação do material, há várias situações que saem do controle por vários motivos que, como visto no item anterior, tem a ver com a falta de um projeto formal com os devidos detalhamentos.

Nesse sentido, estas sugestões focaram-se de certa forma em resgatar as pequenas medidas, que podem ser adotadas para prolongar a durabilidade do bambu, mas, principalmente, na necessidade elementar da documentação de obra, assim como do manual de uso e manutenção.

## **6.2 CONTRIBUIÇÕES DESTA PESQUISA**

Esta tese é pioneira, já que possui uma abordagem desde o ponto de vista arquitetônico sobre as manifestações patológicas e a durabilidade do bambu em edificações, focando principalmente nas consequências das decisões projetuais.

Portanto, esta pesquisa não só apresenta contribuições teóricas que relacionam todas as etapas da cadeia produtiva do bambu com o projeto e construção; reunindo conceitos necessários para entender a durabilidade deste material no contexto da edificação; recolhendo dados importantes sobre obras em uso, que podem servir de sustento para futuras pesquisas;



apontando procedimentos de inspeção arquitetônica de estruturas de bambu; registrando recomendações para avaliar as fases de projeto, uso e manutenção de uma edificação de bambu, com foco na durabilidade deste material.

Esta pesquisa é uma ferramenta dinâmica para os profissionais que trabalham com projeto e construção deste tipo de edificações, bem como para proprietários e usuários destas construções.

A pesquisa apontou erros que podem ser identificados (e corrigidos) em edificações em uso; ofereceu orientações sobre escolhas projetuais que podem evitar ou atenuar as ocorrências; mostrou possibilidades de como apresentar projetos arquitetônicos com bambu (planos, modelos virtuais e detalhes); orientou a elaboração de um manual de uso e manutenção, expondo uma metodologia para profissionais realizarem inspeções visuais, sem precisar de maiores ferramentas e equipamentos.

### 6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nesta pesquisa, nesta seção apresenta-se uma lista de tópicos recomendados para futuros trabalhos de pesquisa:

- Aplicação na construção de bambus de espécies endêmicas da região, como *G. chacoensis*. Identificando dos bambuzais naturais desta espécie na região e condução de estudos de mercado para analisar a viabilidade de plantação com fins comerciais.
- Influência dos diferentes tipos de ligações nos colmos de bambu com foco na durabilidade, principalmente daquelas nas quais se utiliza concreto, assinaladas pelas normas da América do Sul.
- Causas das fendas nos colmos de bambu, medição do grau de comprometimento das peças, apontando o nível de risco que tal defeito implica para os usuários.
- Análise de mais estudos de caso em outras regiões do Brasil, que permitam construir uma base de dados com informações sobre a condição do bambu em edificações, visando a que, no futuro, seja possível também obter resultados quantitativos para este tipo de pesquisas.
- Métodos não destrutivos que complementem a inspeção visual, facilitando a determinação do grau do comprometimento interno das peças que apresentam perfurações ou umidades. Por exemplo, termografia, raios-X, ultrassom, entre outros.

- Criação de softwares (programas ou aplicativos) que facilitem o registro e a sistematização dos dados levantados durante as inspeções.
- Uso de programas e de outras ferramentas digitais que auxiliem o projeto de estruturas em bambu, permitindo a inserção de informações dos componentes já desde a concepção do edifício.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Diana Filipa da Palma de. **Avaliação de estruturas de madeira em serviço: caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo**. 2015. 239 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia Civil de Lisboa, Lisboa, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/6156>>. Acesso em: 20 jul. 2017.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. **Manual de construcción sismorresistente de viviendas de bahareque encementado**. Bogotá: AIS, 2000. 70 p.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. **NSR-10. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente**. Bogotá: AIS, 2010.
- ASSIS-VIEIRA, Matheus. Patologias construtivas: conceito, origens e método de tratamento. **Especialize**, Uberlândia, v. 1, n. 12, p.1-15, dez. 2016. Disponível em: <<https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=matheus-assis-vieira-19162517.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14037**. Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção de edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2011. 16p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**. Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013. 60p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5674**. Manutenção de edificações- Procedimento. Rio de Janeiro, 1999. 6p.
- BALLESTÉ, Joan Font. **Desempenho construtivo de estruturas de cobertura com colmos de bambu**. 2017. 218 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-21122017-103248/pt-br.php>>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- BENTON, Andrew. 2015. Priority species of bamboo. In: LIESE, Walter; KOHLN, Michael (Ed.). **Bamboo: the plant and its uses**. Hamburgo: Springer, 2015. p. 31–42.
- BERALDO, Antonio L.; S.FERREIRA, Gisleiva C.; VIEIRA, Flávia F. **Avaliação da degradação de colmos de bambu por meio de END por ultrassom**. In: SEMINÁRIO SOBRE A APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO-

DESTRUTIVOS NA MADEIRA E EM MATERIAIS À BASE DE MADEIRA, 1., 2006, Itatiba: ABENDE, 2006. p. 1 - 3. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Antonio\\_Beraldo/publication/267722113\\_AVALIACAO\\_DA\\_DEGRADACAO\\_DE\\_COLMOS\\_DE\\_BAMBU\\_POR\\_MEIO\\_DE\\_END\\_POR\\_ULTRA-SOM/links/549068e90cf225bf66a82df8/AV\\_ALIACAO-DA-DEGRADACAO-DE-COLMOS-DE-BAMBU-POR-MEIO-DE-END-POR\\_-ULTRA-SOM.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Beraldo/publication/267722113_AVALIACAO_DA_DEGRADACAO_DE_COLMOS_DE_BAMBU_POR_MEIO_DE_END_POR_ULTRA-SOM/links/549068e90cf225bf66a82df8/AV_ALIACAO-DA-DEGRADACAO-DE-COLMOS-DE-BAMBU-POR-MEIO-DE-END-POR_-ULTRA-SOM.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2017.

BERALDO, Antonio Ludovico. Bamboo Housing: Evaluation of the Component's Decay After 17 Years of Exposure. **Apuama**, Cali, abr. 2016. Disponível em: <<http://apuama.org/wp-content/uploads/2016/05/Bamboo-housing.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

BREMER, Martina et al. Effects of thermal modification on the properties of two vietnamese bamboo species: part II: effects on thermal composition. **Bioresources**, v. 8, n. 1, p.981-993, jan. 2013.

BRITO, Leandro Dussarrat. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. 2014. 502 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2014DO\\_LeandroDussarratBrito.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2014DO_LeandroDussarratBrito.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2017.

BROTO, Carles. **Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción**. Barcelona: Structure, 2006. 1389 p. 6 v. Disponível em: <[https://higieneysseguridadlaboralcv.s.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia\\_broto\\_de\\_patologias\\_de\\_la\\_construccion.pdf](https://higieneysseguridadlaboralcv.s.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2018.

BUREAU OF INDIAN STANDARDS - BIS. **Structural Design Using Bamboo – code of Practice**. New Delhi, 2010.

CHUNG, Min-jay et al. Environmentally benign methods for producing green culms of ma bamboo (*Dendrocalamus latiflorus*) and moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*). **Journal Of Wood Science**, [s.l.], v. 55, n. 3, p.197-202, 11 fev. 2009. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10086-008-1014-0>.

CONCEIÇÃO, Milton Luz da. La arquitectura absorbida en la isla de Santa Catarina, Brasil. **Apuntes**, Bogotá, v. 25, n. 2, p.200-209, jul. 2012. Disponível em: <<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8765/7020>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT - CIB (Países Baixos). **Building pathology a state-of-the-art report**. Delft: CIB, 1993. 77 p. Disponível em: <<https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB11719.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.

CONSOLI, Osmar João. **Análise da durabilidade dos componentes das fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. 2006. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88380/239904.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

CRUZ, H. (2011). **Inspeção, avaliação e conservação de estruturas de madeira. JMC'2011**. 1ª Jornada de Materiais na Construção. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP. Porto, Portugal, 6 de abril de 2011. Disponível em: <[http://paginas.fe.up.pt/~jmc2011/wp-content/uploads/2011/03/Helena\\_Cruz.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~jmc2011/wp-content/uploads/2011/03/Helena_Cruz.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2017.

DA SILVA, R.G. et al. **Ocurrence of filamentous fungi on Dendrocalamus giganteus in Brazil**. In: WORLD BAMBOO CONGRESS, 8., 2009, Bangkok. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Antonio\\_Beraldo/publication/266260536\\_Occurrence\\_of\\_filamentous\\_fungi\\_on\\_Dendrocalamus\\_giganteus\\_in\\_Brazil/links/542b26630cf29bbc126a7fdd.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Beraldo/publication/266260536_Occurrence_of_filamentous_fungi_on_Dendrocalamus_giganteus_in_Brazil/links/542b26630cf29bbc126a7fdd.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2017.

EBERTS, Wolfgang. **Bambúes**. [S.l.]: Hispano Europea, 2005. 64 p.

ESPELHO, Jean C. C.; BERALDO, Antonio L. Avaliação físico-mecânica de colmos de bambu tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 12, n. 6, p.645-652, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662008000600012>.

FRANKE, Steffen; FRANKE, Bettina; SCHARMACHER, Florian. Assessment of Timber Structures Using the X-Ray Technology. **Advanced Materials Research**, [s.l.], v. 778, p.321-327, set. 2013. Trans. Tech. Publications. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.778.321>.

GHAVAMI, Khosrow. Bamboo: Low cost and energy saving construction materials. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERN BAMBOO STRUCTURES, 1., 2007, Changsha. **Proceedings...** London: Crc Press, 2008. p. 5 - 21. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/289151405\\_Bamboo](https://www.researchgate.net/publication/289151405_Bamboo)>

[\\_Low\\_cost\\_and\\_energy\\_saving\\_construction\\_materials>](#). Acesso em: 21 ago. 2017.

GNANAHARAN, R. **Preservative treatment methods for bamboo: a review**. Peechi: Kerala Forest Research Institute, 2010. Disponível em: <[http://www.docs.kfri.res.in/KFRI-RR/KFRI-RR177\\_ii.pdf](http://www.docs.kfri.res.in/KFRI-RR/KFRI-RR177_ii.pdf)>. Acesso em: 17 jun. 2017.

GRECO, Thiago Machado; CROMBERG, Marina. **Bambu: cultivo e manejo**. Florianópolis: Insular, 184 p., 2011.

GTZ (Colombia). Cooperación Alemana Al Desarrollo. **Manual de construcción de estructuras con bambú**. Bogotá: Cooperación Colombo Alemana, 1999. 30 p. Disponível em: <<http://bambooteam.com/bambustique/autoconstruccion/30.html>>. Acesso em: 05 out. 2017.

GUADUABAMBOO. **Guadua Bamboo**. Disponível em: <<https://www.guaduabamboo.com/>>. Acesso em: 31 out. 2018.

GUPTA, B. S.; JELLE, B. P.; GAO, T. Wood facade materials ageing analysis by FTIR spectroscopy. **Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials**, v. 168, n. 5, p. 219-231, 2015.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. 231 p. 1993, São Paulo. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HIDALGO-LÓPEZ, Oscar. **Manual de construcción con bambú**. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos Ltda., 1981. 87 p. Disponível em: <<https://guaduabambucolombia.files.wordpress.com/2016/02/manual-de-construccion-con-bambu.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2017.

HIDALGO- LÓPEZ, Oscar. **Bamboo: The gift of the gods**. Colômbia: Oscar Hidalgo, 2003. 553p.

IBUKU. **IBUKU: Magical spaces, inspired by nature..** 2019. Disponível em: <<http://ibuku.com/>>. Acesso em: 26 out. 2018.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. **NEC-SE-GUADUA: Estructuras de Guadua**. Quito: 2016. 108 p. Disponível em: <<http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/NEC-SE-GUADUA-VERSION-FINAL-WEB-MAR-2017.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 22156**: Bamboo - Structural Design. 2004. 15 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686 -2**: Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 2: service life prediction procedures. 1 ed. Genebra, 2001. 25 p.

JANSSEN, Jules. **Designing and building with bamboo**. Eindhoven: International Network Of Bamboo And Rattan, 2000. 211 p. Disponível em: <[http://humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/INBAR\\_technical\\_report\\_no20.pdf](http://humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/INBAR_technical_report_no20.pdf)>. Acesso em: 06 out. 2017.

JARAMILLO, Andrea. **Proposta de sistema construtivo para habitação de interesse social com bambu guadua**: um estudo de caso no Equador. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/99326/305012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

JARAMILLO, Andrea; DO VALLE, Ângela; LIBRELOTTO, Lisiane. Inspección y estado de conservación de edificaciones de bambú en el litoral de Santa Catarina – Brasil. **Proceedings of the 11th World Bamboo Congress**. Xalapa: 2018. Documentos eletrônicos. Disponível em: <<https://worldbamboo.net/proceedings/wbcxi>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

JARAMILLO, Andrea; PATRÍCIO-KARNOPP, Zuleica, LIBRELOTTO, Lisiane. Durabilidad de materiales naturales de construcción: percepciones de proyectistas, constructores y usuarios en Florianópolis – Brasil. **Revista de Arquitectura**, Bogotá. No prelo.

JOHN, Vanderley; SATO, Neide Matiko Nakata. Durabilidade de componentes da construção. In: SATTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (Ed.). **Coletânea Habitare**: Construção e meio ambiente. Porto Alegre: ANTAC, 2006. Cap. 2. p. 20-57. Disponível em: <[http://www.habitare.org.br/ArquivosConteudo/ct\\_7\\_comp.pdf](http://www.habitare.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_comp.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2017.

KAMINSKI, Sebastián et al. Structural use of bamboo: Part 2: Durability and preservation. **The Structural Engineer**, Londres, v. 94, n. 1, p.38-43, out. 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/309135998\\_Structural\\_use\\_of\\_bamboo\\_Part\\_2\\_Durability\\_and\\_preservation](https://www.researchgate.net/publication/309135998_Structural_use_of_bamboo_Part_2_Durability_and_preservation)>. Acesso em: 10 out. 2017.

KAUR, Perminderjit et al. Scientific investigation of traditional water leaching method for bamboo preservation. **Bamboo Science And Culture**, v. 26, n. 1, p.27-32, jan. 2013.

KAUR, P. J. et al. Characterization of commercially important Asian bamboo species. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 74, n. 1, p. 137-139, 2016a. ISSN 1436-736X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00107-015-0977-y>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

KAUR, Perminder Jit et al. Eco-friendly preservation of bamboo species: traditional to modern techniques. **Bioresources**, Raleigh, v. 11, n. 4, p.1-21, jan. 2016b. Disponível em: <[http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_11\\_4\\_Kaur\\_Review\\_Ecofriendly\\_Preservation\\_Bamboo\\_Species](http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_11_4_Kaur_Review_Ecofriendly_Preservation_Bamboo_Species)>. Acesso em: 25 ago. 2017.

KAUR, Perminder Jit et al. Chemical characterization and decay resistance analysis of smoke treated bamboo species. **European Journal Of Wood And Wood Products**, [s.l.], v. 74, n. 4, p.625-628, 17 mar. 2016c. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-016-1029-y>.

KLEINE, Hans J. **Bambu: Tecnologia da durabilidade**. Florianópolis: Bambusc, Giem., 2010. 38 p.

LEITHOFF, H.; PEEK, R-d. **Heat treatment of bamboo**. Nara: The International Research Group On Wood Preservation., 2001. 11 p. Disponível em: <<http://www.irg-wp.com/search-irg-docs.html>>. Acesso em: 20 out. 2017.

LIESE, W. The Structure of Bamboo in Relation to its Properties and Utilization. **Proceedings of the International Symposium on Industrial Use of Bamboo**. Beijing, p. 95-100. 1992.

LIESE, Walter. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing, Technical Report, INBAR, 1998. 203p.

LIESE, Walter. A personal reflection on 60 years of bamboo passion and work. **Proceedings of the 9th World Bamboo Congress**. Antwerp: 2012. Documentos eletrônicos. Disponível em: <<https://worldbamboo.net/wbcix/presentation/Liese,%20Walter.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

LIESE, Walter; TANG, Thi Kim Hong Properties of the bamboo culm, Preservation and drying of bamboo. In: LIESE, Walter; KOHLN, Michael (Ed.). **Bamboo: the plant and its uses**. Hamburgo: Springer, 2015. p. 227-297.



LIMA, Rodrigo da Silva; AFONSO, Júlio Carlos; PIMENTEL, Luiz Cláudio Ferreira. Raios-x: fascinação, medo e ciência. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 1, p.263-270, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000100044>.

LICHTENSTEIN, Norberto B. **Patologia das Construções**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986. 35 p. Disponível em: <[http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT\\_00006.pdf](http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00006.pdf)>. Acesso em: 26 ago. 2017.

LÓPEZ, Gamaniel; BASTERRA, Luis-Alfonso; RAMÓN-CUETO, Gemma. Alcance de la termografía infrarroja en la evaluación no destructiva de las estructuras de madera. In: CONGRESO LATINOAMERICANO REHABEND, 5., 2014, Santander. **REHABEND 2014**. Santander: Univ. de Cantabria, 2014. p. 841 - 852. Disponível em: <[https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/10141/1/2014\\_López\\_-\\_Alcance\\_termografía\\_en\\_madera.pdf](https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/10141/1/2014_López_-_Alcance_termografía_en_madera.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2017.

LÓPEZ-RODRÍGUEZ, Fernando et al. **Manual de Patología de la Edificación - Tomo 1**. Madrid: Departamento de Tecnología de La Edificación Upm, 2004. 171 p. Disponível em: <[https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion\\_Tomo-1.pdf20](https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion_Tomo-1.pdf20)>. Acesso em: 20 out. 2018.

MATSUOKA, Jéssica Harue; BERALDO, Antonio Ludovico. Avaliação do tratamento preservativo de taliscas de bambu com ácido pirolenhoso. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p.11-20, jan. 2014. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/30220/22115>>. Acesso em: 26 set. 2017.

MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. **NORMA TÉCNICA E.100: Bambú**. Lima: 2012. 58 p. Disponível em: <<https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=180>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Projeteee - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/sobre-o-projeteee/>>. Acesso em: 5 jan. 2019.

MINKE, Gernot. **Manual de construcción con bambú**. Cali: Merlin, 2010. 155 p.

MORÁN, Jorge. **Traditional bamboo preservation methods in Latin America**. INBAR technical report 25, 2002,72p.

MORÁN, Jorge. **Construir con guadúa: manual de construcción**. Quito: International Network Of Bamboo And Rattan, 2005. 40 p.

MORESCHI, João Carlos. Biodegradação e preservação da madeira. In: MORESCHI, João Carlos. **Apostila**. Curitiba: Departamento da Engenharia Florestal da UFPR, 2013. p. 1-53.

MORREL, Jeffrey. Degradation of lignocellulosic materials and its prevention. **The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society**. Pittsburgh, p. 580-587. 6 fev. 2014.

PEREIRA, Marco A.; BERALDO, Antonio L. **Bambu de corpo e alma**. 1. ed. Bauru: Canal 6, 240p, 2008.

RODRÍGUEZ, Fernando López et al. **Manual de Patología de la Edificación**. Madrid: Euatm Universidad Politécnica de Madrid, 2004. 171 p. Disponível em: <[https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion\\_Tomo-1.pdf](https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion_Tomo-1.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2018.

RUIZ-SÁNCHEZ, Eduardo. Mexican bamboos in de XXI century: diversity, useful species and conservation. **Proceedings of the 11th World Bamboo Congress**. Xalapa: 2018. Documentos eletrônicos. Disponível em: <<https://worldbamboo.net/proceedings/wbcxi>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

SALAZAR OCAMPO, Carolina. Form and tecnocity of the works of Simón Vélez. **Proceedings of the 11th World Bamboo Congress**. Xalapa: 2018. Documentos eletrônicos. Disponível em: <<https://worldbamboo.net/proceedings/wbcxi>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

SENCICO (Perú). Servicio Nacional de Capacitación Para La Industria de La Construcción. **Manual de construcción de estructuras con bambú**. Lima: Cartolan Editores Srl, 2014. 132 p. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/275928612/Manual-de-Construccion-de-Estructuras-de-Bambu>>. Acesso em: 05 out. 2017.

SHARMA, Naresh Kr et al. Eco-friendly flame-retardant treatments for cellulosic green building materials. **Indoor And Built Environment**, [s.l.], v. 24, n. 3, p.422-432, 30 dez. 2013. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1420326x13516655>.

SOUSA, Helder S.; BRANCO, Jorge M.; LOURENÇO, Paulo B. Da inspeção à avaliação de segurança na reabilitação de estruturas de madeira. **Artigos**. In: SEMINARIO INTERVIR EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES DE

MADEIRA, I., 2014, Guimarães. p. 57 - 70. Disponível em: <repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/31172/1/intervir\_hss\_jmb\_pbl\_2014.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2017.

SUMA, Pompeo; BELLA, Salvatore. First interception of the asiatic Bamboo longhorn, *Chlorophorus annularis* (F., 1787) (Coleoptera, Cerambycidae) in Italy. **Phytoparasitica**, [s.l.], v. 46, n. 1, p.63-68, 5 jan. 2018. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s12600-017-0632-8>. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Pompeo\\_Suma/publication/322267612\\_First\\_interception\\_of\\_the\\_asiatic\\_Bamboo\\_longhorn\\_Chlorophorus\\_annularis\\_F\\_1787\\_Coleoptera\\_Cerambycidae\\_in\\_Italy/links/5aec1719a6fdcc8508b6eec4/First-interception-of-the-asiatic-Bamboo-longhorn-Chlorophorus-annularis-F-1787-Coleoptera-Cerambycidae-in-Italy.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Pompeo_Suma/publication/322267612_First_interception_of_the_asiatic_Bamboo_longhorn_Chlorophorus_annularis_F_1787_Coleoptera_Cerambycidae_in_Italy/links/5aec1719a6fdcc8508b6eec4/First-interception-of-the-asiatic-Bamboo-longhorn-Chlorophorus-annularis-F-1787-Coleoptera-Cerambycidae-in-Italy.pdf?origin=publication_detail)>. Acesso em: 06 jan. 2019.

SUN, Fangli et al. Mould-resistance of bamboo treated with the compound of chitosan-copper complex and organic fungicides. **Journal Of Wood Science**, [s.l.], v. 58, n. 1, p.51-56, 18 jan. 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10086-011-1223-9>.

TAKEUCHI, Caori Patricia. Comportamiento estructural de la Guadua angustifolia: uniones en guadua. **Ingeniería e Investigación**, Bogotá, v. 24, n. 2, p.3-7, set. 2004. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64324201>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

VALLE, Ângela do; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; TELES, Carlos Dion de Melo. Uso de técnicas não destrutivas no diagnóstico de patologias em estruturas de madeiras. **E-mat Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**, Lisboa, v. 1, n. 2, p.148-157, nov. 2004. Disponível em: <[e-mat.info/e-MAT-V1-N2-p148-157.pdf](http://e-mat.info/e-MAT-V1-N2-p148-157.pdf)>. Acesso em: 25 jun. 2017.

VETTER, Roland E. et al. Studies on drying of imperial bamboo. **European Journal Of Wood And Wood Products**, [s.l.], v. 73, n. 3, p.411-414, 15 mar. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-015-0900-6>.

VIEIRA, Matheus Assis. Patologias Construtivas: Conceito, Origens e Método de Tratamento. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, p. 1-15. dez. 2016. Disponível em: <<https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=matheus-assis-vieira-19162517.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

WANG, Xiaqing; REN, Haiqing. Comparative study of the photo-discoloration of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) and two wood

species. **Applied Surface Science**, [s.l.], v. 254, n. 21, p.7029-7034, ago. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.05.121>.

XU, Guoqi et al. Decay resistance and thermal stability of bamboo preservatives prepared using camphor leaf extract. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 78, p.103-107, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.12.001>.

## APÊNDICE A – Edificações com bambu da região Sul catalogadas

PARANÁ	
 <p>1</p> <p>Abrigo para novilhas Localização: Pinhais (CPRA) Ano de construção: 2012 Observação: selecionado para estudo de caso</p>	 <p>2</p> <p>Restaurante Localização: Colombo Ano de construção: 2014 Observação: selecionado para estudo de caso</p>
 <p>3</p> <p>Galpão para feiras orgânicas Localização: (UFPR) Ano de construção: 2017 Observação: não cumpre critério referente ao ano de construção</p>	 <p>4</p> <p>Estufa Localização: Pinhais (CPRA) Ano de construção: sem informação Observação: foi analisada outra estrutura neste local.</p>
 <p>5</p> <p>Casa do bambu Localização: Campo Largo Ano de construção: sem informação Observações: não foi possível manter contato com o proprietário.</p>	 <p>6</p> <p>Espaço eventos SES Salines Curitiba Ano de construção: sem informação Observações: não foi possível manter o contato com projetista.</p>

		
7		
<p>Local para oficinas Ekôa Park          Localização: Morretes          Ano de construção: 2016          Observações: projeto selecionado para estudo de caso</p>		
<b>SANTA CATARINA</b>		
		
1		2
Estruturas menores em escola		Chácara – estrutura exterior
Localização: Florianópolis.		Localização: Garopaba
Ano de construção: 2009		Ano de construção: 2010
Observação: selecionado para estudo de caso		Observação: selecionado para estudo de caso
		
3		4
Restaurante		Residência
Localização: Florianópolis		Localização: Garopaba
Ano de construção: sem informação		Em construção
Observações: o local não está mais em funcionamento		Observações: não cumpre critérios de seleção

			
<p style="text-align: center;">5</p> <p>Chalé hexagonal Localização: Praia Grande. Ano de construção: 2016 Observações: já foi analisado um projeto com características similares do mesmo projetista.</p>		<p style="text-align: center;">6</p> <p>Residência Localização: Florianópolis Ano de construção: sem informação Observações: não foi possível contatar os proprietários.</p>	
<b>RIO GRANDE DO SUL</b>			
			
<p style="text-align: center;">1</p> <p>Galpão Localização: Rio Pardo Ano de construção: 2013 Observações: selecionado para estudo de caso</p>		<p style="text-align: center;">2</p> <p>Icosaedros Localização: Porto Alegre Ano de construção: 2012 Observações: selecionado para estudo de caso</p>	
			
<p style="text-align: center;">3</p> <p>Restaurante – sushi Localização: Porto Alegre Ano de construção: 2005 Observações: já foram analisadas duas obras deste projetista.</p>		<p style="text-align: center;">4</p> <p>Geodésica Localização: Porto Alegre Ano de construção: 2011 Observações: atualmente esta estrutura está desmontada</p>	

			
<p style="text-align: center;">5</p> <p>Localização: Ano de construção: 2012 Observações: já foi analisada outra edificação deste projetista.</p>	<p style="text-align: center;">6</p> <p>Estrutura cobertura de galpão Localização: Santa Cruz do Sul Ano de construção: 2017 Observações: não cumpre com o critério de tempo de construção.</p>		
			
<p style="text-align: center;">7</p> <p>Estrutura de cobertura para salão de festas Localização: Palmitinho Ano de construção: 2016 Observações:</p>			

Fonte: autora



## APÊNDICE B – Questionário 1: para projetistas / construtores

Duração aproximada: 15 min

### DADOS GERAIS

Data:	Local:
Pessoa que fornece os dados:	
Edificação / função:	
Área de construção	Ano de construção

### 1. DADOS SOBRE O BAMBU UTILIZADO

1.1 Espécie (s) de bambu usado na edificação
1.2 Procedência do bambu e fornecedor
1.3 Características solicitadas na aquisição do bambu (idade, diâmetro, secagem, etc.)
1.4 Tratamento do bambu: Qual tratamento foi realizado?

### 2. DADOS SOBRE O PROJETO E CONSTRUÇÃO

2.1 Há fotografias disponíveis do processo construtivo?	2.2 Tempo que durou a construção
2.3 Expectativa de vida útil do edifício na hora de projetá-lo	
2.4 Quais foram os documentos de projeto (planos, fachadas, detalhes, 3D entre outros):	
2.5 Esses documentos estão disponíveis para esta pesquisa?	

### 3. DADOS SOBRE FASE DE USO E MANUTENÇÕES

3.1 Depois da construção se realizou algum tipo de visita à edificação para verificar a condição do material?	
3.2 Em caso afirmativo, existem registros dessas visitas?	
3.3 Como foi realizada essa verificação? – métodos usados	
3.4 Foi necessário fazer alguma/s intervenção/ões? Qual/ quais?	Data da intervenção
Observações sobre manutenções	

### OBSERVAÇÕES GERAIS DO CASO:

## APÊNDICE C – Roteiro de Inspeção

### Dados gerais

Data:	Cidade:
Endereço:	
Área da edificação:	
Pessoa que fornece os dados /ou proprietário:	
<b>Edificação objeto do estudo:</b>	<b>CÓDIGO:</b>
Usuário/s:	

### Análise do entorno

Patologias visíveis em edificações vizinhas - <u>fotografias</u>
Interferências naturais ou construídas - <u>fotografias</u>
Descrição da edificação

### Croqui em planta e corte da orientação e características do entorno imediato da edificação

(Localizar aspectos de interesse como: orientação, ventos, aberturas, elementos próximos, circulações, entre outros) – Fotografias

### Observações gerais – com registro fotográfico

Descrição do aspecto geral da envolvente da edificação (fachadas, cobertura) - <u>fotografias</u>
Identificar quais os pontos de possível acúmulo de umidade- <u>fotografias</u>
Os elementos de bambu apresentam deformações visíveis? - <u>fotografias</u>
Descrição das características das uniões (se necessário desenhar). - <u>fotografias</u>
Verificação de dimensões gerais do bambu: registro de diâmetros e distância entre nós e, se possível, espessura da parede do colmo.
O bambu tem algum verniz – ou algum outro tipo de proteção exterior? Qual o estado? – registro fotográfico

### Levantamento de plantas e fachadas

#### Caracterização modular dos elementos de bambu

(Identificação de módulos construtivos que facilitem o levantamento de dados – elaboração dos croquis/ mapas)

#### Identificação e registro de patologias – passos

Manifestação patológica / descrição	Tamanho (medidas)	Nº de foto (também marcar localização nos croquis)

**Percussão com martelo em peças com sinais de ataque de xilófagos** – anotar observações

## APÊNDICE D – TCLE

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) está condicionado ao cumprimento dos requisitos estabelecidos pela Resolução N°510/2016.

#### SOBRE A PESQUISA

O Sr(a) está sendo convidado(a) para participar da pesquisa desenvolvida como tese de doutorado intitulada **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE BAMBU: estudo da durabilidade em edificações na região sul do Brasil**. Tendo como objetivo principal analisar as manifestações patológicas, os processos de degradação e as decisões projetuais que incidem na durabilidade dos elementos construtivos de bambu em edificações da região sul do Brasil.

Esta pesquisa analisa a aplicação do bambu em edificações na região Sul do Brasil, verificando as técnicas utilizadas pelos profissionais que trabalham com este material e as especificações de projeto. A pesquisa aborda o tema da durabilidade do material em edificações em serviço, uma maior compreensão deste tema facilitará o uso mais eficiente do bambu na construção.

A pesquisa é integrada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e terá duração de oito (08) meses, com o término previsto para 04/2019. Tem como pesquisadoras responsáveis a Profa. Lisiane Ilha Librelotto, Dra. e a doutoranda MSc. Arq. Andrea Salomé Jaramillo Benavides.

O Sr(a) não terá nenhuma despesa. Sua participação voluntária nesta pesquisa consistirá em responder as perguntas a serem realizadas sob a forma de entrevista e questionário. Com a devida autorização a entrevista será gravada para a transcrição. Os dados coletados serão mantidos em sigilo e guardados pelas pesquisadoras em local seguro durante cinco (05) anos e posteriormente serão eliminados.

Salientamos que suas respostas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o seu nome ou das empresas que sejam mencionadas, em qualquer fase do estudo. Os dados serão divulgados em congressos e/ou publicações científicas, preservando-se as informações pessoais (identidade ou imagem) e respeitando a sua privacidade. O benefício relacionado à sua participação será de aumentar o conhecimento científico para a área de Ciências Sociais Aplicadas.

Os possíveis riscos e desconfortos que a pesquisa poderá trazer a(o) Sr(a) é o constrangimento de ser entrevistado(a), bem como a interrupção das atividades de trabalho, assim como a possibilidade eventual de uma quebra de sigilo involuntária não intencional. A fim de evitar ou reduzir efeitos e condições adversas, os pesquisadores garantem que suas opiniões e pontos de vista não serão expostos publicamente. Em caso de eventuais danos decorrentes da pesquisa será garantido seu direito de indenização ou ressarcimento.

É garantido ao Sr(a) o acesso aos resultados da pesquisa de doutorado, a tese terá acesso aberto e poderá ser acessada on-line por meio das páginas web da

Biblioteca Universitária, do Repositório Institucional e do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFSC. Cabe esclarecer que o participante pode se recusar a participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer tipo de constrangimento. Quaisquer dúvidas relativas a pesquisa poderão ser esclarecidas pelos contatos: [andresalome@gmail.com](mailto:andresalome@gmail.com) (48) 99823-3704 e [lisiane.librelotto@arq.ufsc.br](mailto:lisiane.librelotto@arq.ufsc.br) (48) 99111-3320. Este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido é elaborado em duas vias, sendo que uma delas ficará em poder da pesquisadora e outra com o participante da pesquisa.

#### TERMO DE CONSENTIMENTO

Após ter sido esclarecido(a) sobre os objetivos, importância e o modo como os dados serão coletados nessa pesquisa, assinale caso concorde em participar da pesquisa e autorize a divulgação das informações adquiridas em congressos e/ou publicações científicas.

Florianópolis, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2018.

.....  
Assinatura do participante da pesquisa

#### TERMO DE COMPROMETIMENTO

Como pesquisadoras responsáveis pelo estudo relacionado à DURABILIDADE DO BAMBU EM EDIFICAÇÕES NA REGIÃO SUL DO BRASIL, declaramos que assumimos a inteira responsabilidade de cumprir fielmente os procedimentos que foram esclarecidos e assegurados ao participante, assim como manteremos sigilo e confidencialidade sobre a identidade do mesmo. As pesquisadoras responsáveis se comprometem também a cumprir todas os requisitos estabelecidos pela Resolução N° 510/2016.

Florianópolis, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2018.

.....  
.....  
Prof. Lisiane Ilha Librelotto, Dra.  
Jaramillo Benavides  
assinatura da pesquisadora responsável  
pesquisadora responsável

MSc. Arq. Andrea Salomé  
assinatura da

**ENDEREÇO FÍSICO DAS PESQUISADORAS:** Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ). Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro Tecnológico (CTC), Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis – SC, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. Telefone: (48) 37219550.

O Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) é um órgão colegiado interdisciplinar, deliberativo, consultivo e educativo, vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), criado para defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos.

**ENDEREÇO DO COMITÊ DE ÉTICA.** Prédio Reitoria II (Edifício Santa Clara), R: Desembargador Vitor Lima, n°222, sala401, Trindade, Florianópolis/SC, CEP 88040-400. E-mail: [cep.propesq@contato.ufsc.br](mailto:cep.propesq@contato.ufsc.br). Telefone +55 (48) 3721-6094. CEP/SES-SC [cepses@saude.sc.gov.br](mailto:cepses@saude.sc.gov.br) Telefone + 55 (48) 3664-7218.

## APÊNDICE E – Formulário 1. Roteiro de entrevista semiestruturada com projetistas / construtores

### ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Duração aproximada da entrevista – 15 min

Antes de iniciar a entrevista, ler e assinar o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) com o participante.

Tópico abordado	Perguntas ou abordagens sugeridas
1 Experiência de trabalho com bambu	Existem diferenças entre projetar com bambu e com outros materiais (mais convencionais)? Vantagens de trabalhar com o material? Limitações de trabalhar com o material? Locais dos projetos com bambu
2 Patologias e preservação do bambu	Na sua experiência, quais são as patologias mais <u>frequentes</u> nas edificações com bambu? – detalhes de aparência /manifestação Na sua experiência, quais são as patologias mais <u>destrutivas</u> do bambu em edificações? – detalhes de aparência /manifestação Você percebe alguma relação entre o local da construção e os diferentes tipos de patologia? Como você preserva o bambu dos agentes de deterioração? Quais os métodos de preservação utilizados na região?
3 Projeto com bambu	Quais são os pontos mais importantes para você na hora de projetar com bambu? Existe alguma diferença da documentação de obra (planos, detalhes, etc.) de uma obra de bambu com as convencionais? Qual a importância da durabilidade do material no momento de projetar?

## **APÊNDICE F – Formulário 1. Roteiro de entrevista semiestruturada com proprietários / usuários**

Duração aproximada da entrevista – 15 min

Antes de iniciar a entrevista, ler e assinar o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) com o participante.

### **1. DADOS SOBRE A EDIFICAÇÃO**

Ano de construção / ano de ocupação	
O que motivou a escolha do bambu como material de construção?	
Uso principal da edificação	Houve mudanças de uso?
Qual a previsão de durabilidade da edificação?	
Disponibilidade de documentos sobre a edificação (planos, detalhes, etc.)	

### **2. DADOS SOBRE REFORMAS E MANUTENÇÕES**

Algum dos elementos de bambu foi modificado? Motivo e em que consistiu essa modificação? (Ver se existem fotos)
Você ou outros usuários têm identificado algum problema com o bambu na edificação? Descreva.
Quais são as atividades de manutenção que realizam com os elementos de bambu?
Quais são os cuidados que tem com os elementos de bambu em relação ao uso?

### **OBSERVAÇÕES GERAIS DO CASO:**

## APÊNDICE G – Codificação dos mecanismos de ocorrência

Rachaduras e Lascas		
Cód.	M. patológica	Descrição do mecanismo de ocorrência
RL1	Rachaduras nos extremos concretados dos colmos	<p>O concreto e o bambu são materiais com comportamentos diferentes e as conexões transmitem os momentos fletores aos colmos de bambu, que consequentemente são deformados, mas o concreto que preenche os entrenós não é deformado, só o bambu por causa da sua flexibilidade, por este motivo, “a rigidez do concreto interno provoca tensões de tração transversal às fibras, iniciando a fratura da parede do colmo na extremidade seccionada” (BALLESTÉ, 2017, p. 145).</p> <p>Além disto, durante as variações de temperatura e umidade, o concreto e o bambu têm comportamentos diferentes. Quando o colmo de bambu seca suas dimensões diminuem, porém nos entrenós que possuem concreto internamente, o colmo não consegue contrair o suficiente e racha.</p>
RL2	Rachaduras na parte central dos colmos	<p>Essa rachadura começa na região central estendendo-se longitudinalmente pelo colmo. Por meio unicamente da inspeção visual e sem um seguimento do comportamento da estrutura ao longo do tempo torna-se difícil determinar só um mecanismo de ocorrência considerando que existem várias causas prováveis para tal.</p>
RL3	Rachaduras por penetração	<p>Considerando que nos entrenós dos colmos, os feixes de fibras são orientados paralelamente em relação ao eixo longitudinal do colmo, quando um prego ou parafuso penetra nele são provocadas tensões que criam uma fissura que vai aumentando na direção axial à medida que o corpo se desloca pelo colmo; a fenda vai aumentando quando a tensão é perpendicular às fibras. (BALLESTÉ, 2017)</p> <p>Quando há mais de uma perfuração no mesmo eixo do colmo, as rachaduras provocadas por cada uma delas podem expandir-se até se encontrarem entre si, ocasionando então rachaduras com maiores aberturas.</p>



<b>Cód.</b>	<b>M. patológica</b>	<b>Descrição do mecanismo de ocorrência</b>
<b>RL4</b>	Rachaduras durante a secagem	Considerando que o bambu é um material higroscópico, as variações de temperatura em combinação com a umidade ocasionam que as partes do bambu expostas às intempéries se comportem diferentemente das outras, expandindo ou contraindo, o que pode ocasionar rachaduras.
<b>RL5</b>	Rachaduras por esmagamento	Uma carga de compressão perpendicular às fibras é aplicada no colmo até superar sua tensão limite, gerando rachaduras que podem ocasionar um colapso do colmo. Várias ripas apresentam esta manifestação patológica nos pontos de apoio sobre os caibros. Em alguns casos, os parafusos foram demasiado apertados nos entrenós de colmos sem reforço.
<b>RL6</b>	Rachaduras nos extremos dos colmos	As conexões transmitem os momentos fletores aos colmos de bambu, que conseqüentemente são deformados, mas as conexões não acompanham esta deformação, produzindo-se tensões de tração transversal às fibras e provocando uma rachadura que se estende longitudinalmente pelo colmo.
<b>RL7</b>	Lascas nos extremos dos colmos	O uso de maquinaria para o corte dos colmos pode causar o desfibramento dos colmos, segundo indicado por Ballesté (2017) torna-se mais intenso quando o bambu tem um teor de umidade superior a 20%. Da mesma maneira pode ser ocasionado pelo corte incorreto, já que ao cortar os colmos deve-se cuidar para não fazer o corte de uma só vez, mas girar o colmo para tentar sempre começar a cortar de fora para dentro no sentido radial.
<b>RL8</b>	Rachaduras por apoio incorreto	Os cortes dos colmos, seja boca de peixe, bico de flauta ou suas variações, devem ser feitos para encaixar de forma precisa os outros colmos da ligação. Quando o apoio não acontece na superfície máxima de contato, só uma parte do colmo recebe os esforços e a tensão diferencial gera esforços dentro dele, ocasionando assim rachaduras longitudinais.
<b>RL9</b>	Rachaduras na parte central do colmo inferior das vigas	Estas vigas compostas por vários colmos estão submetidas a flexão, as cargas às que estes componentes estão submetidas superam a sua resistência, provocando a fratura e o fendilhamento longitudinal na parte baixa do bambu inferior, onde as fibras estão mais tracionadas.

<b>Manchas e mudanças de cor</b>		
<b>Cód.</b>	<b>M. patológica</b>	<b>Descrição do mecanismo de ocorrência</b>
MC1	Manchas pelo tratamento	Em alguns casos, o tratamento utilizado para preservar aos colmos pode deixar manchas. Depois do tratamento com <b>CCA</b> , ficam resíduos do químico no interior do colmo, ao secar o líquido, deixam-se estas manchas na superfície. Ao colocar <b>óleo queimado</b> sobre a superfície do colmo, a superfície fica com coloração escura. Durante a aplicação da <b>massa asfáltica</b> nos extremos dos colmos, nas taliscas de bambu da cobertura e do elemento decorativo, vários pingos da massa asfáltica caíram sobre outros colmos. O produto não foi limpo e, com a ação do calor, as manchas ficaram em suas superfícies. Este tratamento por si só já possui cor preta.
MC2	Manchas de tinta	Durante as atividades de manutenção e pintura de outros componentes da edificação pingam gotas ou se encostam os pinceis nos elementos de bambu. Os usuários podem ter pintado involuntariamente os elementos de bambu durante o uso, não comprometendo o desempenho do material.
MC3	Verniz deteriorado	O contato frequente da água e dos raios UV com a superfície dos colmos envernizados pode ocasionar um desgaste ao longo do tempo. Também pode haver casos em que algum elemento externo tenha raspado a superfície dos colmos retirando a camada de verniz. Outra situação é que o produto tenha sido aplicado sobre o colmo de bambu que não passou por uma prévia limpeza, prejudicando a aderência com o verniz.
MC4	Fungos verdes e brancos	Esta manifestação patológica está presente no córtex dos colmos que tem contato com a água de chuva por períodos prolongados. Esta situação propicia a aparição, crescimento e reprodução de fungos e líquens na superfície dos bambus.
MC5	Fungos pretos	Esta manifestação patológica está presente nos colmos que têm contato com a água de chuva ou que tenham contato permanente com o solo. Esta situação favorece a implantação e a proliferação de fungos na superfície do colmo e se agrava nos locais com dificuldade de acesso para manutenção. Com o passar do tempo pode levar à podridão.

Cód.	M. patológica	Descrição do mecanismo de ocorrência
MC6	Descoloração do colmo	<p>A exposição direta dos colmos aos raios UV ocasiona fotodegradação, deixando a superfície do bambu com uma cor branca.</p> <p>Em outros casos, o contato frequente da umidade e dos raios UV com a superfície dos colmos pode ocasionar um desgaste com o passar do tempo.</p> <p>Às vezes o verniz foi aplicado algum tempo depois da construção, existindo locais de difícil acesso onde o verniz não foi bem aplicado, deixando partes do colmo expostas às intempéries.</p>
<b>Perfurações e perdas de massa</b>		
PM1	Perfurações durante a fase de uso	<p>Durante a vida útil da edificação, os usuários podem inserir pregos, parafusos e grampos nos colmos, gerando perfurações que podem até fissurar o colmo. Depois que o elemento é retirado, permanece o orifício que expõe a parte interna do colmo.</p>
PM2	Perfurações por <i>Dinoderus minutus</i> (caruncho)	<p>O inseto <i>D. minutus</i> ingressa nos colmos de bambu atraído pelo amido, presente nas células parenquimáticas. A seguir, depositam os ovos e as larvas se alimentam da parede interna dos colmos deixando galerias e um fino pó amarelado. Na fase adulta os insetos abandonam o colmo e deixam orifícios circulares. A presença de um grande número de galerias poderia chegar a comprometer estruturalmente os colmos.</p>
PM3	Perfurações por inseto <i>Chlorophorus annularis</i>	<p>O inseto <i>C. annularis</i> perfura o córtex do colmo e depois constrói internamente a galeria, geralmente longitudinal, depositando os ovos. As larvas desenvolvem-se dentro do colmo por longos períodos, alimentando-se da parede interna e emergindo do colmo na sua fase adulta (SUMA; BELLA, 2018). Quando é um caso isolado (presente só em um colmo na edificação), provavelmente esse bambu não foi corretamente preservado, propiciando o ataque desse inseto.</p>

<b>Cód.</b>	<b>M. patológica</b>	<b>Descrição do mecanismo de ocorrência</b>
PM4	Perfurações durante a construção ou reformas	Durante a construção, foram realizadas perfurações com a furadeira visando à fixação dos elementos, mas que não foram posicionados nos locais corretos; então, ao fazer as outras perfurações no local certo, estas foram deixadas sem tampar. Em alguns casos as peças afetadas, anteriormente faziam parte de outras estruturas e já tinham perfurações, ao serem utilizadas nas novas estruturas e os furos por onde passavam os conectores metálicos não foram fechados.
PM5	Perfurações por ação de roedores	Segundo indicado pelo projetista, um rato conseguiu introduzir-se no colmo e roeu o extremo do colmo que tem contato com a cumeeira.

## ANEXO A – Extrato do manual de Hidalgo-López (1981)

## Normas que deben tenerse en cuenta en el empleo del bambú como material de construcción

11

## EN VIGAS Y COLUMNAS

**No utilice**

Bambúes de baja resistencia como son:

Bambúes verdes o menores de tres años.

Bambúes atacados por insectos.

Bambúes que hayan florecido.

Bambúes que presenten fisuras o grietas verticales o cortes horizontales superficiales producidos accidentalmente con un machete.

**Utilice**

Bambúes sazonados o mayores de 3 años, previamente curados, secados al aire y tratados con inmunizantes.

Bambúes con cortes y uniones apropiadamente hechos.

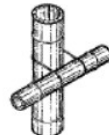
Bambúes con diámetros y espesor de pared apropiadas.

## PARA FIJAR PIEZAS HORIZONTALES

**No utilice**

Clavos o puntillas de más de 6 cms. (2.5 pulgadas), ya sea que se empleen para fijar lateralmente bambúes de menor diámetro o en la fijación de uniones.

Vigas clavadas lateralmente a las columnas.

**Utilice**

Amarres de alambre duplicados o triplicados (2 o 3 alambres de igual longitud).

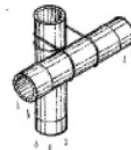
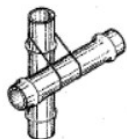
Cuerdas de nylon o cuerdas vegetales de diámetro apropiado y en buen estado.

## EN UNIONES AMARRADAS

**No utilice**

Bambúes verdes que al secarse se contraen dejando flojos los amarres.

Amarres de cuerdas elásticas (que se estiran), o con cuerdas muy delgadas o en mal estado.

**Utilice**

Bambúes previamente secados al aire.

Amarres de alambre, nylon, cuerdas vegetales o de cuero.

## EN COLUMNA, PARALES O SOPORTES DE CIMBRAS

**No utilice**

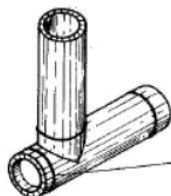
Bambúes sin un nudo en su extremo inferior, que se astillan al golpearse para plomarlos o al introducirse cuñas elevadoras.

**Utilice**

Parales o columnas de longitud apropiada, con un nudo en su extremo inferior, el cual permite golpearse sin producir astillamiento.

## 12

## Forma de evitar el aplastamiento en los extremos de vigas

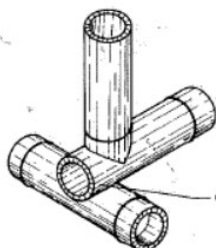


las vigas deben llevar un nudo en sus extremos.

DETALLE No 1

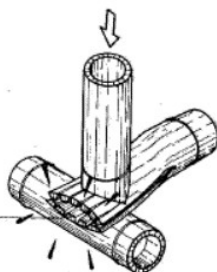
Los bambúes que se utilizan como vigas o soleras deben cortarse en tal forma que quede un nudo en cada extremo o próximo a él; de lo contrario las cargas verticales transmitidas por columnas o paralelos apoyados en los extremos de la viga pueden producir su aplastamiento.

De no ser posible que un nudo coincida con uno de los extremos de la viga, debe introducirse en éste un cilindro de madera o una sección corta de bambú que tenga uno o dos nudos y el mismo diámetro que el del interior de la viga. Si el nudo de la sección sobresale debe limarse.

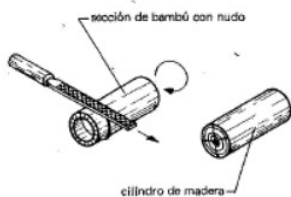


de no existir el nudo se produce el aplastamiento

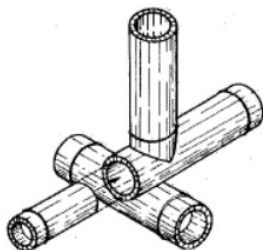
a



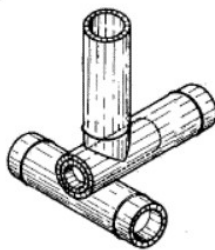
b



c



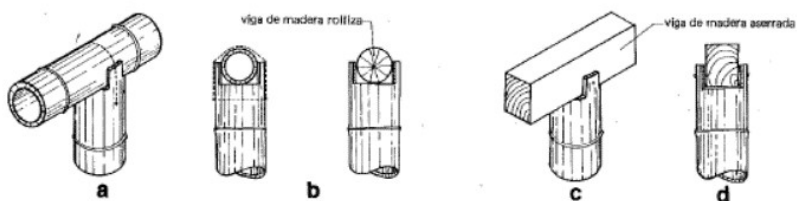
d



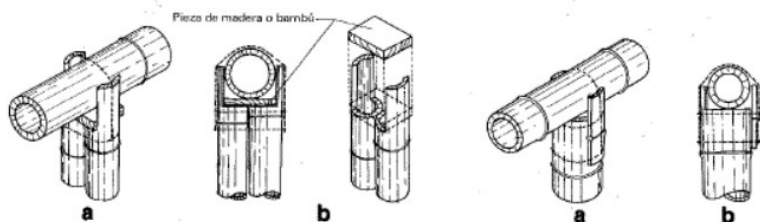
e

14

## Unión de piezas horizontales y verticales

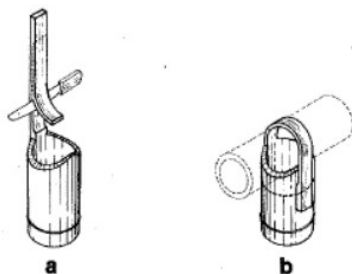


**1 Soporte con una o dos orejas.** Se emplea para recibir vigas de bambú, madera rolliza o aserrada

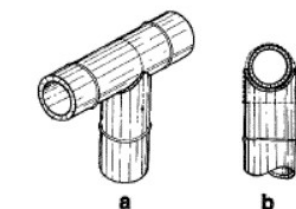


**2 Doble soporte con oreja.**  
Se emplea cuando las piezas utilizadas como vigas son de mayor diámetro que las utilizadas como columnas.

**3 Soporte con oreja sobrepuesta.**



**4 Soporte con solapa.**  
Se emplea cuando no se dispone de alambre para el amarre.  
La solapa se amarra con cintas de bambú



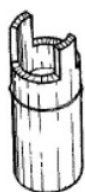
**5 Soporte con entalladura de boca de pescado.**

## Entalladuras utilizadas en la unión de piezas de bambú

13



**1**  
Con oreja



**2**  
Con dos orejas



**3**  
A bisel



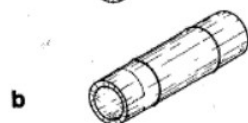
**4**  
Pico de flauta



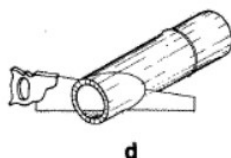
**5**  
Boca de pescado

### ELABORACION

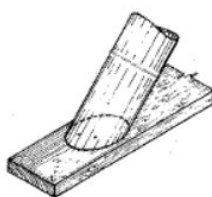
#### Trazado y cortado



#### Posición de la línea de corte



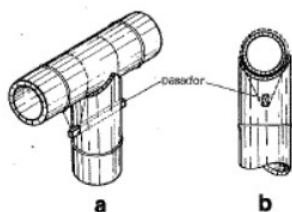
#### Aplicación de las entalladuras 3 y 4.



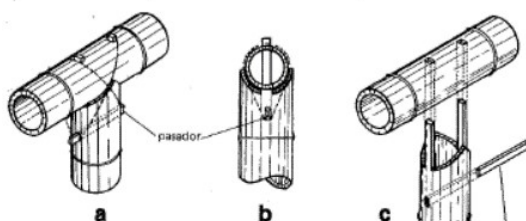


## Empleo de pasadores y anclajes en la unión de piezas horizontales y verticales

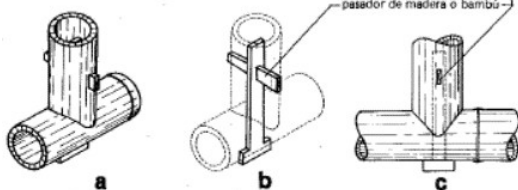
15



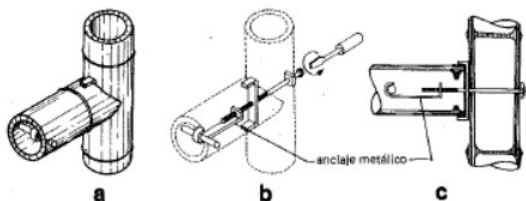
**1 Unión de piezas con amarre y clavija.**  
La clavija puede colocarse en la columna ya sea paralela o perpendicular a la viga.



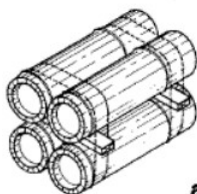
**2 Boca de pescado con clavijas**



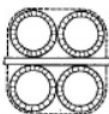
**3 Unión con anclaje de madera**  
Se emplea también invertido.



**4 Unión con anclaje metálico.**  
Se emplea en diversas posiciones.



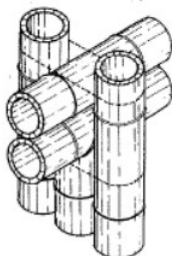
a



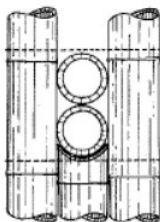
b

**1 Vigas formadas por 4 o 6 elementos**

La hilera superior se separa de la inferior por medio de latas de bambú o de piezas de madera que se colocan con una separación máxima de un metro, con el fin de que los bambúes superiores no se deslicen sobre los inferiores.



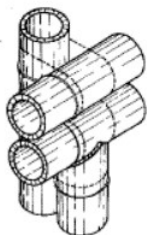
a



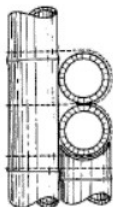
b

**2 Viga doble central**

Tiene una gran diversidad de aplicaciones en la construcción de estructuras para puentes y de instalaciones rurales.



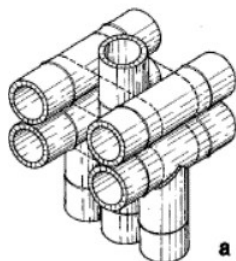
a



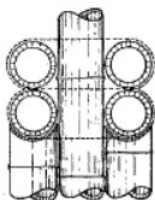
b

**3 Viga doble lateral**

Cada una de las vigas se amarra independientemente del soporte lateral y entre sí. Se emplea en la construcción de estructuras para puentes y de instalaciones rurales.



a



b

**4 Vigas dobles laterales**

Se emplea como soporte central en estructuras de puentes o de galpones.

## ANEXO B – Técnicas de inspeção de madeiras compiladas por Brito (2014)

. Principais técnicas não destrutivas (NDT) para critérios de escolha de metodologias para avaliações de elementos estruturais de madeira, em função do nível de inspeção.

Nível de inspeção	Tipo de inspeção	Tipo de avaliação	
<b>Nível 1 Inspeção Preliminar (geral)</b>	<b>Inspeção Visual Preliminar</b>	Técnica inspeção visual geral com fotos	Externa superficial
		Termografia	Externa superficial
		Medidor de umidade	Externa superficial
		Trena digital a laser	Flechas
<b>Nível 2 Inspeção Detalhada (por elemento)</b>	<b>Ensaio mecânicos nos principais elementos</b>	Interpretação sonora com martelo	Interna
		Sondagens:	
		• Sondagem superficial ao puncionamento	Externa superficial
		• Sondagem superficial com picoteamento	Externa superficial
	<b>Inspeção Visual Detalhada</b>	Medidor de densidade superficial Pilodyn*	Externa superficial
		Técnica de inspeção visual com fotos	Externa
		Medidor de umidade	Externa superficial
		Indicador de profundidade Shell-Depth	Interna
		Trena digital a laser	Flechas
		Endoscópio	Interna
<b>Ensaio mecânicos</b>	Teste à percussão	Interna	
	Sondagens:		
	• Sondagem superficial ao puncionamento	Externa superficial	
	• Sondagem superficial com picoteamento	Externa superficial	
	• Medidor de densidade superficial Pilodyn*	Externa superficial	
	• Perfuração com análise tátil/visual	Interna	
	• Perfuração com trado de amostragem	Interna	
	• Microperfuração controlada Resistograph	Interna	
<b>Testes físicos</b>	Prova de carga:		
	• Flexão		
<b>Testes químicos</b>	• Tração		
	• Compressão		
	Emissão acústica	Interno	
<b>Testes biológicos</b>	Ultrassom	Interno	
	Composição	Interno	
	Presença de tratamentos:		
	• Preservativos	Interno	
	• Retardador de chama	Interno	
	Análise de cultura de micro-organismos	Interna	

Obs.: Tabela de metodologia elaborada pelo Autor, com base nas referências de renomados pesquisadores citados nesse item.

## ANEXO C – Parecer consubstanciado do CEP

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SANTA CATARINA - UFSC



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE BAMBU: ESTUDO DA DURABILIDADE EM EDIFICAÇÕES NA REGIÃO SUL DO BRASIL

**Pesquisador:** LISIANE ILHA LIBRELOTTO

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 99253218.7.0000.0121

**Instituição Proponente:** Programa de Pós- Graduação de Arquitetura e Urbanismo da UFSC

**Patrocinador Principal:** MINISTERIO DA EDUCACAO

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 3.000.523

#### Apresentação do Projeto:

Projeto de doutorado de Andrea Salomé Jaramillo Benavides, sob orientação da professora Lisiane Ilha Librelotto, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo/UFSC. Estudo qualitativo do tipo estudo de casos, com 10 participantes. Critérios de inclusão: a) Acessibilidade à informação de projeto e construção do edifício. b) Disponibilidade dos usuários e proprietários para permitir as inspeções e participar das entrevistas e questionários. c) Ter no mínimo um ano de uso (após a construção). Critérios de exclusão: não constam. Intervenções: entrevistas e questionários

#### Objetivo da Pesquisa:

**Objetivo Primário:** Analisar as manifestações patológicas, os processos de degradação e as decisões projetuais que incidem na durabilidade dos elementos construtivos de bambu em edificações da região sul do Brasil.

**Objetivo Secundário:** a) Apresentar os principais conceitos relacionados com a durabilidade do bambu em edificações. b) Identificar as características projetuais e construtivas de edificações com bambu na região Sul do Brasil. c) Avaliar a condição do bambu em edificações que estejam em serviço na região sul do Brasil. d) Relacionar as manifestações patológicas encontradas nas edificações analisadas nos estudos de caso com o projeto e os fatores intervenientes. e) Propor diretrizes que orientem o projeto arquitetônico de edificações de bambu com ênfase na

**Endereço:** Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401  
**Bairro:** Trindade **CEP:** 88.040-400  
**UF:** SC **Município:** FLORIANOPOLIS  
**Telefone:** (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

Continuação do Parecer: 3.000.523

durabilidade do material.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Análise adequada de riscos e benefícios.

Riscos: O possível risco e desconforto que a pesquisa poderá trazer a(o) Sr(a) e o constrangimento de ser entrevistado(a), bem como a interrupção das atividades de trabalho. A fim de evitar ou reduzir efeitos e condições adversas, os pesquisadores garantem que suas opiniões e pontos de vista não serão expostos publicamente. Risco de quebra de sigilo, ainda que involuntário e não intencional.

Benefícios: O benefício relacionado a sua participação será de aumentar o conhecimento científico para a área de Ciências Sociais Aplicadas.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Sem comentários adicionais.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Folha de rosto assinada pela pesquisadora responsável e pelo coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Cronograma informando que as entrevistas ocorrerão entre novembro e dezembro de 2018. Constam o questionário e o roteiro da entrevista. O TCLE atende a resolução 510/16.

**Recomendações:**

Sem recomendações adicionais.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Aprovado.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1212201.pdf	30/10/2018 10:31:35		Aceito
Outros	questionarioroteiroentrevista.pdf	30/10/2018 10:31:19	LISIANE ILHA LIBRELOTTO	Aceito
Recurso Anexado	30outubrorecurso.pdf	30/10/2018	LISIANE ILHA	Aceito

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401  
 Bairro: Trindade CEP: 88.040-400  
 UF: SC Município: FLORIANÓPOLIS  
 Telefone: (48)3721-6094 E-mail: cep.propesq@contato.ufsc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SANTA CATARINA - UFSC



Continuação do Parecer: 3.000.523

pelo Pesquisador	30outubrorecurso.pdf	10:30:12	LIBRELOTTO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	30/10/2018 10:29:28	LISIANE ILHA LIBRELOTTO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETOPESQUISA.pdf	13/09/2018 18:58:44	LISIANE ILHA LIBRELOTTO	Aceito
Cronograma	cronograma.pdf	13/09/2018 18:58:24	LISIANE ILHA LIBRELOTTO	Aceito
Folha de Rosto	folhaderosto.pdf	03/09/2018 11:43:49	LISIANE ILHA LIBRELOTTO	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

FLORIANOPOLIS, 05 de Novembro de 2018

---

Assinado por:  
Nelson Canzian da Silva  
(Coordenador(a))

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401  
Bairro: Trindade CEP: 88.040-400  
UF: SC Município: FLORIANOPOLIS  
Telefone: (48)3721-6094 E-mail: cnp.propesq@contato.ufsc.br