



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

SUMARA ALESSANDRA SILVA LISBÔA

**PAINEL DE PAU A PIQUE – BAMBU E TERRA – NA ILHA DE SANTA
CATARINA**

FLORIANÓPOLIS

2019

Sumara Alessandra Silva Lisbôa

PAINEL DE PAU A PIQUE – BAMBU E TERRA – NA ILHA DE SANTA CATARINA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Dra. Lisiane Ilha Librelotto

Florianópolis

2019

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

Lisbôa, Sumara
Painel de pau a pique - bambu e terra - na Ilha de Santa
Catarina / Sumara Lisbôa ; orientador, Lisiane Ilha
Librelotto , 2019.
170 p.

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

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Arquitetura e construção
com terra. 3. Sistema de vedação vertical interno e
externo. 4. Estanqueidade. I. , Lisiane Ilha Librelotto.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Sumara Alessandra Silva Lisbôa

Painel de Pau a Pique – Bambu e Terra – na Ilha de Santa Catarina

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Obede Borges Faria, Dr.

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Profa. Soraya Nórr, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina

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

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.

Coordenador do Programa

Profa. Dra. Lisiane Ilha Librelotto

Orientadora

Florianópolis, 26 de agosto de 2019.

Esta pesquisa é dedicada às pessoas que buscam, no dia-a-dia, soluções que minimizam e harmonizam ações perante nosso lar, a mãe Terra.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é, antes de tudo, reconhecer que nada fazemos sozinhos. É reconhecer aqueles que nos apoiaram e depuseram confiança em nossa capacidade.

À Lisiane Ilha Librelotto, pela orientação da pesquisa e os dois anos recheados de atividades de pesquisa, ensino e extensão. Aos mestres da terra Obede Faria e Célia Neves, pelo tempo dedicado as correções e sugestões na banca de qualificação e defesa desta pesquisa.

Ao Grupo Virtuhab em especial a arquiteta Andrea Benavides e Franchesca Medina pelo auxílio no tratamento e preparo dos colmos de bambu, e Luana Carbonari e Roberta Menezes pelas dicas enquanto ótimas pesquisadoras científicas, e Alexandre Vitor pela força com a descoberta do traço ideal da terra.

Aos técnicos da Maquetaria, Saulo Pereira, pelos ensinamentos de carpintaria e marcenaria e Edí Assini que juntos passamos um calor infernal na montagem do equipamento de estanqueidade. A professora Michele Fossatti e professor Ricardo Socas pela confiança no meu estágio de docência.

Ao arquiteto Guillermo Gayo da ONG Takuara Renda, quem me despertou os estudos de bambu. A professora Eliane Veras da Veiga, a quem me fez gostar e entender a importância da história para o patrimônio cultural. A Ivana Moser e Manuela Nappi pela produção de argamassa de terra à base de cal.

A FAPESC, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos companheiros da BambuSC em especial ao Hans Kleine, Marcos Marques e Marcelo Venturi que sempre deram o apoio que precisei na pesquisa com bambu.

A pesquisadora Samya Uchôa e professor Jucinei Comin do Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais e, Valdenei Nogueira e Edson Farias da Iguatemi Engenharia por toda orientação na análise do solo.

Ao professor Humberto Roman e técnico Luiz Henrique dos Santos do Laboratório de Materiais de Construção Civil pelo empréstimo do equipamento de estanqueidade. E a Bruna Kremer da Itt Performance e a Niubis Mustelier pelas dicas na montagem do equipamento de estanqueidade.

Aos bolsistas Giovan Dalmagro e Guilherme Menegatto sob a supervisão de Pedro Souza e do coordenador Carlos Oliveira do Laboratório de Conformação Mecânica que auxiliaram na preparação de aparatos metálicos.

Aos queridos Percy Silva e Andréia de Oliveira membros do Instituto ÇaraKura pela dedicação à educação ambiental e Permacultura. Aos amigos Rodolfo Rocha e Thiago Viana pelo corte dos bambus, e Michele Vieira pelo olhar das partículas do solo e composição dos testes de argamassas de terra. E a Leticia Dalpaz pelo apoio nos projetos.

A minha prima quase irmã Lilian Costa e tia Solange Costa pelo apoio emocional.

A minha família, meu irmão Sandro por sua garra e coragem, em especial minha mãe, Sônia, que sempre acreditou nas minhas ideias vanguardistas e ao meu filho, Samuel, que durante um bom tempo teve que disputar com o pau a pique a minha atenção. Vocês são mais que minha razão de viver!

Enfim, agradeço a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, com a produção desta pesquisa, possibilitando a sua realização.

Promover métodos e tecnologia localmente disponíveis, apropriados, seguros, eficientes e ambientalmente corretos, em todos os países, particularmente nos em desenvolvimento, nos níveis local, nacional, regional e sub-regional, que enfatizem o uso otimizado dos recursos humanos, locais e encorajem métodos que economizam energia e que são protetores de saúde humana. (THE HABITAT AGENDA, 2003).

RESUMO

Esta pesquisa tem como tema principal a arquitetura e construção com terra com foco na técnica mista de pau a pique para uso em vedações externa em conjunto a sistemas construtivos com colmos de bambu. Após séculos sendo empregada em processos de construção artesanal foi aprimorada em painéis de vedação para habitação de interesse social e para o emprego em edificações mais sustentáveis. Apesar deste direcionamento da técnica para construção racionalizada, a mesma voltou a ser empregada em modelos artesanais. Sendo assim esta pesquisa aborda os parâmetros específicos na forma da utilização da técnica bem como na forma de projetar, e tem como objetivo geral avaliar o desempenho de um tipo de painel de vedação de uso externo com terra e bambu quanto à estanqueidade, em Florianópolis, ilha de Santa Catarina. Como método desenvolveu-se uma revisão bibliográfica para caracterização da técnica construtiva e definição da lacuna do conhecimento, e a pesquisa experimental com a criação de dois corpos de prova conforme descrito pela norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), Parte 4. Após submeter os corpos de prova aos ensaios estanqueidade, com a simulação de água de chuva, e também medir o teor de umidade, os resultados indicaram que o painel revestido atende aos limites estabelecidos da norma. Conclui-se que o emprego da caiação sobre argamassas de terra permite estanqueidade a água de chuva e possibilita o uso de painéis de vedação, de bambu e terra na técnica de pau a pique, em fachadas externas de edificações. Por fim, a pesquisa demonstra que o painel tem potencial para aplicação na construção mais sustentável e aponta possibilidades de novos estudos a realizar.

Palavras-chave: Arquitetura e construção com terra. Sistema de vedação vertical interno e externo. Estanqueidade.

ABSTRACT

This research has as its main theme the architecture and construction with earth, focusing on the mixed technique of wattle and daub for use in external sealings, associated with construction systems with bamboo culms. After centuries of being employed in artisanal construction processes, this technique has been refined into sealing panels for social housing and for use in more sustainable buildings. Despite this direction of the technique for rationalized construction, it is again used in handmade models. Thus, this research addresses the specific parameters in the use of this technique, as well as in the project process. The main objective is to evaluate the performance of a type of sealing panel for external use with earth and bamboo regarding the tightness, in Florianópolis, Santa Catarina. As a method, a literature review was performed to characterize the constructive technique and define the knowledge gap, and the experimental research with the elaboration of two specimens, as described by NBR 15.575 (ABNT, 2013), Part 4. After subjecting the specimens to the tightness tests, with the simulation of rainwater, and measuring the moisture content, the results indicated that the coated panel meets the limits established by this standard. It is concluded that the use of lime redering on earth mortars allows tightness to rainwater and enables the use of bamboo and earth sealing panels in the technique of wattle and daub, in external facades of buildings. Finally, this research shows that the panel has potential for application in more sustainable construction and points out possibilities for further studies.

Key-words: Architecture and construction with earth. Internal and external vertical sealing system. Tightness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Síntese metodológica.	24
Figura 2 - Diagrama <i>CRATERre</i> das diferentes famílias de sistemas de construção antigos e modernos, que utilizam a terra como matéria-prima, em destaque a técnica de pau a pique.	28
Figura 3 - Partes da técnica mista, utilizando bambu.	31
Figura 4 - Mapa esquemático da suposta migração das técnicas de construção com terra.	32
Figura 5 - Técnicas mistas pelo mundo.	33
Figura 6 - Edificações de pau a pique na Grande Florianópolis/SC.	36
Figura 7 - Técnicas mistas pela classificação de Hidalgo-López.	38
Figura 8 - Detalhe do preenchimento do nó.	39
Figura 9 - Tipos de encaixe para união de colmos de bambu.	39
Figura 10 - Paredes de <i>quincha</i> datadas entre 3.000 e 5.000s a.C, Caral/Peru.	43
Figura 11 - Grau de atividade das argilas.	46
Figura 12 - Diagrama de classificação dos solos.	47
Figura 13 - Seleção do tipo de estabilizante em função do índice de plasticidade e da classificação granulométrica do solo.	47
Figura 14 - Processo de aplicação das argamassas de terra em três fases.	50
Figura 15 - Habitação social, João Câmara/Rio Grande do Norte.	55
Figura 16 - Linha do tempo com os principais estudos de painéis pré-fabricados de pau a pique.	56
Figura 17 - Parte da sinopse da geoconstrução para técnicas mistas.	57
Figura 18 - Paineis pré-fabricado com pau-a-pique, Cajueiro Seco/Pernambuco.	59
Figura 19 - Paineis técnica mista com trama de bambu e madeira, no Brasil.	66
Figura 20 - Paineis técnica mista com trama de bambu, na América Latina.	74
Figura 21 - Condições de exposição conforme as regiões brasileiras.	80
Figura 22 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro segundo a NBR 15.220.	82
Figura 23 - Mapa da Região sul do Brasil com a demarcação Z3 - NBR 15.220 (ABNT, 2003) e área IV, NBR 15575 (ABNT, 2013).	84
Figura 24 - (da esquerda para direita) Imagens das tramas diversas: ortogonal com trama simples, trama dupla e trama variada.	86

Figura 25 - Gráfico de testes de campo e ensaio laboratorial, conforme os entrevistados.....	87
Figura 26 - Garrafas de vidro nas paredes de pau a pique.	88
Figura 27 - Vista da parede nordeste e detalhe das fissuras e descolamento da argamassa.....	90
Figura 28 - Mapa conceitual da técnica de pau a pique.	93
Figura 29 - Etapas metodológicas e os procedimentos para coleta de dados.....	94
Figura 30 - Residência unifamiliar com painéis de pau a pique num sistema construtivo em bambu segundo a Norma de Bambu Peruana E.100.....	95
Figura 31 - Etapas de confecção dos painéis – corpos de prova.	97
Figura 32 - Ensaio e testes para caracterização do solo.....	98
Figura 33 - Desenho esquemático e detalhes específicos do objeto de estudo.	99
Figura 34 - Equipamento para o ensaio de estanqueidade montado no Labrestauro/MATEC/UFSC.....	102
Figura 35 - Expressão do teor de umidade.	104
Figura 36 - Partículas existentes na terra arenosa utilizada nesta pesquisa.....	106
Figura 37 - Testes de campo do solo a ser utilizado nas argamassas de terra do objeto de estudo: queda de bola, cordão, fita e resistência seca.....	106
Figura 38 - Gráfico de curva granulométrica do solo analisado.	108
Figura 39 - Testes de diferentes traços de emboço sobre esteira de bambu: solo puro (a), 1:6 (fibra, terra arenosa) (b), 1:1:6 (fibra, cimento, terra arenosa) (c) e 1:1:6 (fibra, cal, terra arenosa) (d).....	110
Figura 40 - (da esquerda para direita) Testes de diferentes traços de emboço sobre <i>quincha</i> fachada leste e oeste.....	110
Figura 41 - Teste de argamassa de reboco a base de cal sobre emboço ora com cimento ora com cal.....	111
Figura 42 - (da direita para esquerda) Fissuras no emboço e no reboco sobre na fachada leste.	112
Figura 43 - Beneficiamento do bambu para moldura e trama do painel.	117
Figura 44 - Montagem dos dois painéis de vedação.	120
Figura 45 - Detalhes na montagem dos painéis de vedação.....	121
Figura 46 - (da esquerda para direita, de cima para baixo) Corpos de prova CPA e CPB acoplados ao equipamento de ensaio de estanqueidade, lado interno e externo respectivamente.	122

Figura 47 - Evolução das primeiras manchas de umidade durante o ensaio no CP-A, na primeira hora, e após 2 e 6 horas.	124
Figura 48 - Face interna e externa CPA após o ensaio de estanqueidade, com divisão e a delimitação da área da câmara, respectivamente.	124
Figura 49 - Erosão do reboco no CPA após ensaio de estanqueidade e baixo relevo causado pela pressão do dedo em outro local do painel.	125
Figura 50 - Face interna e externa CP-B após o ensaio de estanqueidade, com a delimitação da área da câmara.	125
Figura 51 - Dano ao CPB na face externa, no momento de acoplar a câmara de estanqueidade.	126
Figura 52 - Amostras retiradas da face interna do CPA e CPB para medição de teor de umidade.	127
Figura 53 - tempo de aparição de umidade e a primeira mancha dos dois corpos de prova.	128
Figura 54 - o teor de umidade dos revestimentos nos corpos de prova ao final dos ensaios.	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação granulométrica do solo, de acordo com NBR 6.502 (ABNT, 1995).....	44
Quadro 2 - Abreviações mnemônicas da sinopse da geoconstrução.....	58
Quadro 3 - Itens da NBR 15575-4 para avaliação de desempenho à estanqueidade. 78	
Quadro 4 - Níveis de desempenho para estanqueidade à água de vedações verticais externas e esquadrias.	79
Quadro 5 - Roteiro da entrevista não estruturada.....	83
Quadro 6 - Relação das profissões e o tempo de construção com pau a pique.	85
Quadro 7 - Características dos revestimentos conforme cada entrevistado.	89
Quadro 8 - Resumo quanto ao número de camadas e traço das argamassas de revestimentos dos painéis do referencial teórico.	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios de resistência mecânica das espécies de bambu.....	41
Tabela 2 - Condições de ensaio da norma NBR 15.575-4 para avaliação de desempenho à estanqueidade.....	79
Tabela 3 - Composição granulométrica do solo pela norma NBR 7.181 (ABNT, 2017).....	107
Tabela 4 - Resumo da caracterização do solo em comparação as indicações levantadas no referencial teórico.	108
Tabela 5 - Parâmetros de ensaio de estanqueidade obtidos dos painéis.....	126
Tabela 6 - Teor de umidade nos dois corpos de prova após ensaio de estanqueidade.	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACT	Arquitetura e Construção com Terra
<i>AIS</i>	<i>Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica</i>
BAMBUSC	Associação Catarinense do Bambu
CEDATE	Centro de Desenvolvimento e Apoio Técnico à Edificação
<i>CRATERRE</i>	<i>Centre de Recherche d'Application pour la Construction en Terre</i>
<i>CYTED</i>	<i>Programa Iberoamericano de Ciência y Tecnología para el Desarrollo</i>
DAM	Centro de Desenvolvimento das Aplicações das Madeiras do Brasil
HABIS	Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade
<i>HABYTED</i>	<i>Tecnología para Viviendas de Interés Social</i>
IELA	Instituto de Estudos Latino-Americanos
<i>INBAR</i>	<i>International Network Bamboo & Rattan</i>
<i>ININVI</i>	<i>Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda</i>
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Labrestauro/MATEC	Laboratório de Restauro, Materiais e Técnicas Construtivas Atuais e Retrospectivas
LILD	Laboratório de Investigação em <i>Living Design</i>
<i>MVCS</i>	<i>Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento</i>
<i>MIDUVI</i>	<i>Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
<i>NSR</i>	<i>Normas de Diseño y Construcción Sismo Resistente</i>
<i>PDT</i>	<i>Programa de Desarrollo Tecnológico</i>
PROTERRA	Rede Ibero-americana de Arquitetura e Construção com Terra
PUC	Pontifícia Universidade Católica
<i>UNESCO</i>	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USP	Universidade de São Paulo
SVVIE	Sistema de Vedação Vertical Interno e Externo
TIBA	Centro de Tecnologia Intuitiva e Bioarquitetura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	PERGUNTA DE PESQUISA	20
1.3	OBJETIVOS.....	20
1.4	DELIMITAÇÃO	21
1.5	ESTRUTURA	22
1.6	SINTESE DO MÉTODO	23
2	REFERENCIAL TEORICO	26
2.1	CONSTRUÇÃO COM TERRA.....	27
2.2	PAU A PIQUE	30
2.2.1	Trama de Bambu.....	37
2.2.2	Argamassa de Terra.....	43
2.3	PAINÉIS DE VEDAÇÃO COM A TECNICA MISTA	56
2.3.1	Brasil.....	59
2.3.2	América Latina	68
2.4	PAINEIS DE VEDAÇÃO E AS NORMAS BRASILEIRAS	76
2.5	ESTANQUEIDADE EM PAINÉIS DE VEDAÇÃO	78
2.6	NORMAS COMPLEMETARES	81
2.7	ENTREVISTA NÃO ESTRUTURADA	82
2.7.1	Tratamento das respostas	84
2.7.2	Inferência	90
3	MÉTODOS, FERRAMENTAS E MATERIAIS.....	94
3.1	OBJETO DE ESTUDO	94
3.2	ENSAIO DE ESTANQUEIDADE	100
3.2.1	Montagem do equipamento	101
3.2.2	Execução do ensaio.....	102
3.2.3	Teor de umidade.....	103

4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	105
4.1	OBJETO DE ESTUDO	105
4.1.1	Caracterização do solo	105
4.1.2	Testes de composição de argamassas para revestimento.....	109
4.1.3	Composição do preenchimento	112
4.1.4	Composição do sistema de revestimento	112
4.1.5	Beneficiamento do bambu	114
4.1.6	Montagem dos painéis.....	118
4.2	ENSAIO DE ESTANQUEIDADE	122
4.2.1	Relatório de ensaio	123
4.2.2	Discussão dos principais resultados do ensaio	127
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	131
5.1	CONCLUSÕES DE ACORDO COM OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	132
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	136
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO	151
	APÊNDICE B – FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS EXISTENTES NO LABORATÓRIO DE MODELAGEM E MAQUETARIA - LABMOMA E LABRESTAURO/MATEC/UFSC	154
	APÊNDICE C – PLANILHA DE CARACTERIZAÇÃO DE SOLO POR TESTES DE CAMPO	158
	APÊNDICE D – PLANILHA DE CARACTERIZAÇÃO DE SOLO POR ENSAIO LABORATORIAL – ANÁLISE GRANULOMETRICA POR PENEIRAMENTO	160
	APÊNDICE E – PLANILHA DE CARACTERIZAÇÃO DE SOLO POR ENSAIO LABORATORIAL – INDICE DE PLASTICIDADE	162
	APÊNDICE F – RELATÓRIO DE ENSAIO DE ESTANQUEIDADE.....	164
	ANEXO A – MÉTODO DE ENSAIO, EM LABORATÓRIO, DA ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE SVVE DO ANEXO C DA NORMA NBR 15.575 (ABNT, 2013)	166

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa assume como tema principal a Arquitetura e Construção com Terra – ACT, tendo como foco a técnica de pau a pique e seus componentes específicos, considerando as condições de projeto e de uso. Foi defendida na área de concentração Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, no que se refere aos Métodos e Técnicas Aplicados ao Projeto em Arquitetura e Urbanismo no programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Pau a pique é uma importante técnica de construção com terra e vem sendo desenvolvida no Brasil desde o período colonial. Segundo Hays e Matuk (2003) pertence à família de estruturas autoportantes diversas, tendo a necessidade de uma trama para estruturar a terra.

Observam-se muitas peculiaridades no seu emprego, principalmente pela disponibilidade local de material e a cultura construtiva. O pau a pique tradicional é composto por uma estrutura primária, portante, a secundária, a trama, o barreamento¹. Sobre estes elementos é aplicado o sistema de revestimento constituído de emboço, reboco e o acabamento final. Tanto o emboço quanto o reboco é preparado com terra, às vezes um tanto de areia, às vezes fibras (não muito compridas) e um aglomerante, geralmente a cal.

Essa técnica foi amplamente difundida pelo território nacional em paredes de casas rurais de barões do café², de muitos edifícios públicos e religiosos em ambientes urbanizados e, principalmente, como alternativa para construções de baixo custo.

Pau a pique, conhecida também como técnica mista, teve sua origem no continente asiático e pode ser considerada como um dos processos construtivos mais antigos da humanidade. No sul do Brasil acredita-se ser uma fusão de conhecimentos dos portugueses e

¹ De acordo com a pesquisadora Célia Neves o preenchimento é feito com terra com ou sem fibra. A terra é utilizada em estado plástico e denominada de barro, a qual é aplicada, ou lançada, com a mão. Tecnicamente se reconhece o termo barro e a atividade de embarrar quando se tratando de parede de pau a pique.

² Segundo Lima (2018) os barões eram fazendeiros, muitas vezes nobilitados pelo Império, responsáveis pelo capital, pela abertura, consolidação, crescimento e administração das Empresas Agrícolas do Café, muitas delas verdadeiros feudos autônomos e fechados em si mesmos.

africanos e indígenas, e também após a imigração dos japoneses, alemães e italianos. (OLENDER, 2006; ARAÚJO, 2007; BAYER, 2010; PINHEIRO, 2016)

Sem a preocupação por uma maior durabilidade, o povo guarani em suas *Opys* - casa de reza – continuam utilizando a técnica para fechamento de paredes sem uso de revestimentos e outros detalhes, pois de acordo com seus costumes seminômades, suas obras não são feitas para durar mais de 5 anos.

Em *UNESCO* (2012), esta técnica é citada como Patrimônio Mundial da Humanidade nas casas (do século XV a XVII) de Ouro Preto, Minas Gerais; na arquitetura vernácula³ de Goiás; também em Salvador e nas casas do centro histórico de Diamantina (século XVIII e XIX), Bahia; e nas antigas freguesias do litoral (século XIX), Santa Catarina. Estes locais sofreram, entre os anos de colonização, a mistura de culturas europeias, africanas e ameríndias.

Pelo olhar das instituições do patrimônio histórico que cuidam da manutenção das paredes de pau a pique, a técnica foi resguardada quanto ao emprego de revestimentos com argamassas de terra à base de cal. Infelizmente, pouco estudo é produzido sobre a eficiência dos materiais.

O uso do concreto como material estrutural e da alvenaria cerâmica tradicional como vedação interna e externa das edificações tornou-se a cultura construtiva com a industrialização no Brasil. Desde então, ambas não sofreram nenhuma concorrência significativa de outro material. (KRÜGER, 2000)

As construções com terra no Brasil, principalmente com pau a pique, perduram até os dias atuais como solução disponível para autoconstrução de moradias entre as camadas pobres da população. Por utilizar ferramentas e equipamentos simples em sua produção, a técnica ficou conhecida como resultado da reação do homem às hostilidades do meio em que vive e do aproveitamento do material que tem a sua disposição.

E, em 1930, por estar associada às construções mal acabadas e à proliferação da Doença de Chagas, a técnica foi proibida por lei municipal no perímetro urbano do Rio de

³ Arquitetura tradicional, resultante do desenvolvimento histórico de um determinado povo. Ela prescinde tanto do arquiteto como do projeto, na sua concepção contemporânea. Não cabe nas classificações estilísticas da arquitetura convencional. Origina-se ou é mais frequente em área rural. Respeita e se adapta bem às diversas limitações tecnológicas e físico-ambientais. A técnica é autóctone, primitiva, rudimentar, quando comparada à técnica formal (TEIXEIRA, 2017).

Janeiro. Alguns países, por exemplo, a Argentina, proíbe seu emprego pelo mesmo motivo, gerando um preconceito em relação à técnica. De maneira equivocada, o real problema não está no emprego desta, mas a falta de aplicação de revestimento.

Mesmo com sua proibição, a técnica voltou a ser utilizada, em 1936, com o projeto de painéis pré-fabricados na Vila Operária em João Monlevade/MG, pelo arquiteto Lúcio Costa. Isto despertou o interesse para novos empreendimentos, como:

- em 1963, na construção do conjunto habitacional Cajueiro Seco, Jaboatão/Pernambuco;

- em 1975, no projeto habitacional Camurupim em Propriá/Sergipe, da arquiteta Lina Bo Bardi;

- em 1985, na construção de habitações na área rural da região de Carajás/Pará (PINHEIRO et al., 2016);

- e, em 1987, com o financiamento de diversas habitações de interesse social pela Caixa Econômica Federal, nos municípios de João Câmara e Poço Branco/RN, dos arquitetos José Torquato e Márcio Machado (LOPES, 1998).

Porém, apesar das tentativas para a racionalização da técnica esta foi conservada pela tradição oral e por procedimentos artesanais para abastecer um mercado voltado à bioconstrução⁴.

Atualmente, pelos profissionais focados na Permacultura, o pau a pique tem sido empregado de forma diferente do tradicional. Neste sistema se mantém a estrutura principal mas o barro pode ser substituído por uma diversidade de materiais como pinhas, isopor ou até material reciclável e vidro colorido. Neste meio não é mais utilizado o termo barreamento.

⁴ A Bioconstrução refere-se a um tipo de construção sócio ambientalmente mais adequada, pois exige que os profissionais e os usuários pensem nas consequências ambientais de suas ações. (COLOMBO, 2006) A Bioconstrução vem sendo muito utilizada por pessoas atentas às tecnologias sociais e vernáculas. Grande parte destas pessoas são profissionais e construtores formados pelos Institutos de Permacultura distribuídos em quatro biomas brasileiros: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Pampas. A Permacultura surgiu na década 1970, fundada pelos australianos Bill Mollison e David Holmgren como crítica aos sistemas industriais e políticos os quais estão destruindo ambiental e socialmente o Planeta. A Permacultura desde lá se tornou um instrumento para criação de sistemas humanos sustentáveis, utilizando-se da Bioconstrução como um dos sete campos necessários para a sustentação da humanidade ao longo do período de declínio da energia/petróleo.

Nas regiões mais suscetíveis a abalos sísmicos, como as regiões próximas às placas tectônicas no oeste da América do Sul e nas regiões de formação de novas placas como no Oceano Pacífico, tornou-se uma técnica muito pesquisada por sua eficiência quanto à minimização de danos às construções.

Países latinos americanos como a Colômbia, Peru e Equador, a partir dos esforços de diversas instituições de ensino superior juntamente aos setores governamentais, já possuem normas específicas para construir com a técnica mista, são elas, respectivamente: *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (AIS, 1997)*; *Norma técnica E.100 Bambú (MVCS, 2012)*; *Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Guadúa (MIDUVI, 2016)*.

No Brasil não há norma específica para o uso da técnica, tampouco estudos para o desenvolvimento de painéis de vedação com a técnica mista em clima temperado úmido. E, é algo inédito no país, a avaliação de desempenho de estanqueidade de painel de vedação com bambu e terra, nesta técnica, tema principal desta pesquisa.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em conjunto com os acontecimentos atuais, a recessão e a crise energética, a construção com pau a pique utilizando a terra e o bambu para compor painéis de vedação pode ser uma possível alternativa para uma construção mais sustentável.

O uso de materiais locais como a terra e o bambu, ambos pouco processados, não tóxicos e recicláveis abundantes em todo território nacional, diminui custos de transporte e produção, facilitando ainda a incorporação e a valorização de mão de obra tradicional.

Por outro viés, a terra como material de construção possui difícil padronização e para seu preparo exige muitas horas de produção e melhoramento.

O processo de aderência nas argamassas de revestimentos ocorre pela presença de certas argilas e suas propriedades plásticas são adquiridas na presença de água. Depois de seca, as argamassas de revestimentos com terra retraem pela perda de água e reduz seu volume, surgindo diversas fissuras.

A fim de melhorar as propriedades do solo, quando este não possui composição granulométrica ideal para uso na construção com terra, e a plasticidade da argamassa para diminuir o aparecimento de fissuras é necessário a incorporação de aglomerantes e/ou adições. As adições, como fibras, auxiliam na redução da fissuração.

Conhecer o traço da mistura utilizada nos revestimentos das paredes de pau a pique se torna importante pelo fato da parede de terra ser permeável à umidade do ar. A relação entre a permeabilidade e a porosidade da argamassa de revestimento é um importante parâmetro a se considerar para entender o desgaste dos materiais, a resistência mecânica e a durabilidade.

Assim como outros materiais porosos, as paredes de terra, desde que não recebam tratamento superficial impermeabilizante, possuem regulação higroscópica (transferência de água em estado líquido para gasoso). As paredes com terra permitem a troca de vapor de água entre o meio interno e externo de forma mais controlada, ora retirando ora devolvendo a umidade do ar das edificações.

As manifestações patológicas em construções com pau a pique ocorrem principalmente no revestimento. Grande parte das edificações que empregaram a técnica está em processo de deterioração, atenuado também pelo mau emprego dos revestimentos com argamassa de terra, falta de conhecimento técnico-científico e treinamento profissional.

O uso de material mais impermeável no revestimento, como o cimento, tende a dificultar estas trocas, permitindo o armazenamento de água dentro das paredes que prejudica os elementos da trama de madeira ou bambu e provoca descolamentos, entre outros problemas.

Em geral, os solos arenosos respondem bem à adição do cimento enquanto que os argilosos estabilizam-se melhor com a cal. O cimento incrementa a resistência à compressão e apresenta maior rigidez que uma argamassa com cal, entretanto, em se tratando de revestimentos com terra, nem a resistência à compressão tampouco a rigidez são interessantes. Por isso, a cal é mais apropriada para revestimento da parede com terra, especialmente da com adobe ou de técnicas mistas.

Dada esta limitada resistência à água, evidencia-se a necessidade de inserir a técnica mista em modos de produção com mais controle e padronização para melhorar seu desempenho nas construções. Para fins de normatização, os revestimentos de ACTs deveriam ser submetidos a uma avaliação quanto ao desempenho à estanqueidade.

A avaliação de desempenho quanto à estanqueidade é realizada segundo os procedimentos da Norma Brasileira de Desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2003) - parte 4 sobre os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas – SVVIE.

Entretanto, no Brasil não há normalização para o emprego de pau a pique e são poucas pesquisas científicas que discutem a técnica vinculada às normas. O atendimento às exigências relacionadas à durabilidade, por exemplo, pode contribuir para o enfraquecimento do conceito de construção pouco pereña muitas vezes associado a essa técnica.

Existem normas sobre construção com terra em pelo menos 14 países: Alemanha, Austrália, Brasil, Colômbia, Estados Unidos, Espanha, França, Índia, Quênia, Nova Zelândia, Peru, Sri Lanka, Tunísia e Zimbábue; porém apenas a norma da Alemanha para construção com terra, da Colômbia, para construções sismo resistentes, e do Peru e Equador para construção com bambu abordam a técnica mista.

No Brasil, a regulamentação da ACT ocorre apenas para o sistema construtivo de alvenaria de solo-cimento e, em vias de normalização, para o uso de adobe (tijolo de terra seco naturalmente, sem passar pelo processo de queima, típico dos materiais cerâmicos).

Em breve, após consulta pública, também será promulgada a norma para construção com bambu.

Diante desse panorama, esta dissertação pode representar uma importante contribuição no resgate e na revalorização da técnica, com terra e bambu, como um hábito construtivo mais sustentável, preservando-a culturalmente, mas permitindo o avanço tecnológico para garantir seu uso por gerações futuras.

1.2 PERGUNTA DE PESQUISA

É possível criar um painel de vedação externo de pau a pique – bambu e terra - adequado às normas técnicas e em clima temperado úmido como na ilha de Santa Catarina?

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral é avaliar o desempenho quanto à estanqueidade de painel de vedação com terra e bambu na técnica de pau a pique para o emprego em edificações mais sustentáveis em ambiente de clima temperado úmido, na região de Florianópolis, Ilha de Santa Catarina.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Definir as características e detalhes que descrevem a técnica de pau a pique de forma a aplicá-las na proposição de um painel de vedação revestido.
- Identificar a composição e as propriedades do solo para obter o traço ideal de forma a garantir o desempenho de argamassas de revestimentos.
- Desenvolver um painel de pau a pique, sendo os principais componentes a estrutura principal e auxiliar de bambu, o preenchimento de fibra e o sistema de revestimento de terra à base de cal.
- Aferir estanqueidade do painel de vedação como corpo de prova aos critérios e requisitos mínimos estabelecidos pela norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

1.4 DELIMITAÇÃO

Esta pesquisa priorizou o uso de materiais naturais como o bambu, a terra e a fibra de aveia, os quais possuem baixa energia incorporada, e por isso podem ser utilizados em construções com menor impacto ambiental. Além disto, para montagem dos painéis de vedação - objeto de estudo - utilizado como corpo de prova no ensaio de estanqueidade utilizou-se materiais disponíveis regionalmente.

Sabendo da necessidade de tratamento dos bambus para uso na construção como indicado nas seguintes normas para bambu: *Norma técnica E.100 Bambú (MVCS 2012 apud UBIDIA, 2015)* e *Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Guadúa (MIDUVI, 2016)* e sua durabilidade frente à exposição de agentes degradantes, conforme apresentado na pesquisa de Jaramillo et al. (2018), optou-se pela imersão dos colmos em solução de componentes químicos hidrossolúveis.

A terra arenosa utilizada nos painéis de vedação, com origem na região da grande Florianópolis e comprada em loja próxima da UFSC, foi caracterizada para obter a composição de argamassas de revestimento.

Somente após as análises observou-se a necessidade do uso de aglomerante. A decisão pelo uso de cal e não de cimento, ocorreu em função do comportamento higroscópico dentro de argamassa de revestimento, e devido também ao fato de que o cimento é um material que incrementa a resistência à compressão e apresenta maior rigidez que uma argamassa com cal, o que não é interessante em paredes de terra.

Em função do tempo limitado e também do ineditismo, o objetivo da pesquisa foi estabelecido em função da disponibilidade de equipamentos optando-se então pelo ensaio de estanqueidade da norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), cujos procedimentos estão esclarecidos em seu Anexo C.

Vale destacar que em virtude da elevada umidade do ar comum em Florianópolis e localidades de clima semelhante, a pesquisa direcionou-se para a análise de estanqueidade à água e umidade excessiva, e não a outros agentes, como vento, poeira, fumaça, etc.

Também em decorrência do tempo disponível para a pesquisa, a análise ocorreu apenas com um tipo de painel de vedação - de uso externo, do tipo cego, sem aberturas - e por isso não foram ensaiadas a interface e as juntas entre componentes e elementos construtivos (janelas, portas, etc.).

Os painéis foram desenvolvidos com medidas adaptadas conforme a norma NBR 5.731 (ABNT, 1982), resultando em dois corpos de prova quadrados com 1,40 x 1,40 m (comprimento x altura) e espessura de 10 cm. As medidas são maiores que a câmara do equipamento para que apenas o centro do painel seja submetido à simulação de chuva, verificando somente o comportamento do painel e não das juntas de ligação entre a moldura e a trama.

1.5 ESTRUTURA

Nesta pesquisa foram delineados dois momentos bem distintos, um que trata da construção do referencial teórico e levantamento de dados, e outro experimental, com a confecção do objeto de estudo ao ensaio de estanqueidade.

O primeiro capítulo apresenta a fase inicial da pesquisa, ou seja, a introdução do tema com a sua contextualização e a justificativa da criação de um painel de vedação de uso externo pré-fabricado na técnica de pau a pique. Com os objetivos esclarecidos, delimitou-se a pesquisa e traçaram-se os métodos, ferramentas e materiais.

No segundo capítulo, do referencial teórico, são apresentadas as principais normas, o conhecimento da terra como material de construção, a descrição da técnica, o estudo aprofundado dos materiais constituintes e os principais estudos dentro de padrões normatizados em pesquisas realizadas no âmbito nacional e internacional.

A coleta de dados também ocorreu por meio de entrevista não estruturada com informações acerca do uso da técnica por profissionais da ACT em ambientes com

zoneamento Bioclimático - Z3 - da norma NBR 15.220 (ABNT, 2003) e com mesma pressão estática - região 4 - da norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013);

O terceiro capítulo expõe a metodologia utilizada para a produção do objeto de estudo – painel de vedação – que serviu de corpo de prova ao ensaio de estanqueidade. O ensaio de estanqueidade avaliou o desempenho conforme os procedimentos do Anexo C, da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

No quarto capítulo, ocorre a apresentação dos resultados dos procedimentos de pesquisa: objeto de estudo e ensaio de estanqueidade. E, no quinto capítulo apresentam-se as considerações finais com as conclusões sobre os resultados obtidos, a consecução dos objetivos e as recomendações para trabalhos futuros.

1.6 SINTESE DO MÉTODO

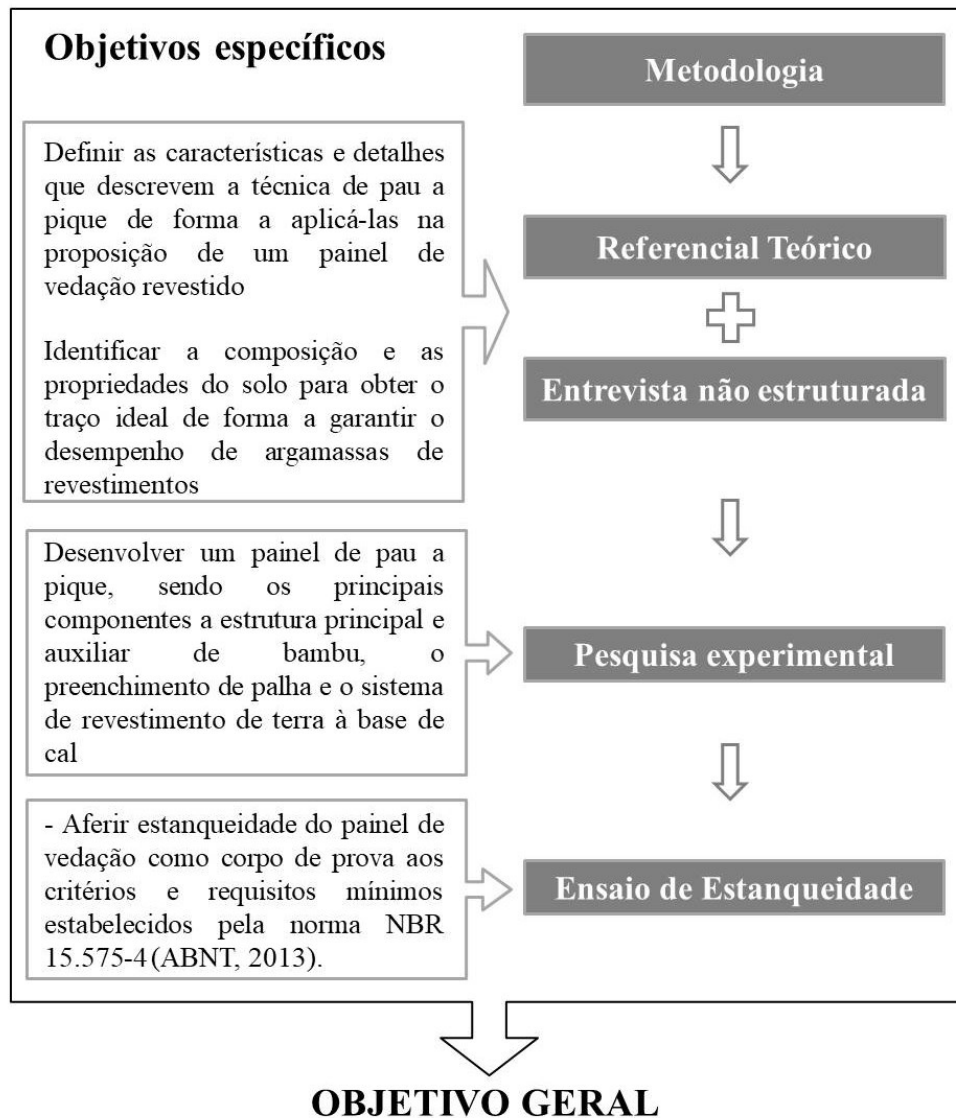
A fim de cumprir os objetivos propostos, desenvolveu-se a pesquisa experimental. Segundo Gil (2002) a pesquisa experimental “[...] consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

Sendo assim como objetivo geral, para determinar o objeto de estudo, um painel de vedação como corpo de prova à análise de desempenho de estanqueidade, a metodologia se desenvolveu em duas etapas fundamentais: pesquisa experimental para produção do objeto de estudo e ensaio de estanqueidade; mais a coleta de dados com o referencial teórico e a entrevista não estruturada com profissionais da ACT em localidades com a mesma situação bioclimática e pressão atmosférica de Florianópolis, ilha de Santa Catarina (Figura 1).

A etapa do referencial teórico consistiu em observar toda a problemática que se pretende abordar, principalmente acerca da terra e do bambu enquanto materiais de construção e suas funções na técnica mista de pau a pique.

O referencial em conjunto com as entrevistas não estruturadas, com profissionais da ACT em ambientes com as mesmas características climáticas de Florianópolis, ou seja, zoneamento Bioclimático - Z3 - da norma NBR 15.220 (ABNT, 2003) e pressão estática - região 4 - da norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), permitiu coletar as principais informações do uso da técnica

Figura 1 - Síntese metodológica.



A entrevista é uma das “principais técnicas de trabalho em quase todos os tipos de pesquisas utilizadas nas ciências sociais” (GIL, 2008). A entrevista não estruturada por ser mais flexível difere-se da estruturada ou semiestruturada⁵ porque possibilita ao entrevistador improvisar em função de suas intenções e das respostas obtidas de seu interlocutor (LAVILLE e DIONNE, 1999).

⁵ Entrevista estruturada se constrói como um questionário com suas opções de respostas determinadas, salvo se, ao invés de serem apresentadas por escrito as perguntas são feitas e anotadas por um entrevistador. Já a entrevista semiestruturada o entrevistador pode acrescentar perguntas de esclarecimentos (LAVILLE E DIONNE, 1999).

A entrevista não estruturada teve como fundamento o método de Análise de Conteúdo (BARDIN, 2011) e o procedimento de coleta de dados ocorreu com as gravações e transcrições de todas as entrevistas. Richardson (1999) comenta que as transcrições das entrevistas são lidas à procura de novas formas de compreender determinado fenômeno.

Para o tratamento das respostas foram utilizados dados quantitativos por gráfico e tabela, e qualitativos com quadros esquemáticos e mapa conceitual. A elaboração do mapa conceitual ocorreu com um programa especializado *Coggle.it*, uma ferramenta da web, que para utilizá-lo é necessário acesso à internet e um navegador atualizado.

Com isto elucidaram-se os mais variados componentes que compõem um painel de vedação com estrutura de bambu revestido com terra, bem como os recursos disponíveis, as condicionantes regionais, os detalhes construtivos adotados para a durabilidade e as principais manifestações patológicas.

Para o desenvolvimento da moldura e da trama utilizou-se os aspectos construtivos elucidados na norma E.100 Peru do painel *IPIRTI* (UBIDIA, 2015), e para o preenchimento, uma mistura de fibra e terra, conforme a sinopse de geo-construção proposta por Hays e Matuk (2003).

A etapa seguinte, de forma experimental, permitiu o desenvolvimento do objeto de estudo, por meio das seguintes soluções: projeto do painel; beneficiamento do bambu para moldura e trama; composição do preenchimento com fibra; composição dos revestimentos com argamassas de terra à base de cal; e, montagem.

Esta etapa também foi caracterizada para a aplicação dos revestimentos de terra à base de cal (KANAN, 2008), e outros temas relacionados como a caracterização do solo por testes de campo e laboratorial (NEVES et al., 2009) e os testes de composição de argamassas, elaborado pela autora.

E, para cumprir o último objetivo específico, o de submeter o painel de vedação como corpo de prova aos critérios e requisitos mínimos de estanqueidade estabelecidos pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) realizou-se a montagem do equipamento, execução do ensaio e elaboração do relatório final.

2 REFERENCIAL TEORICO

Para um referencial teórico amplo e aberto, inicialmente foi realizado o mapeamento na base de dados do Google Acadêmico, em teses, dissertações e artigos científicos, com o termo pau a pique. A partir destes termos foram descobertas outros termos como técnica mista, taipa de mão e taipa de sopapo.

Com estes termos, e em nova pesquisa, observaram-se mais de 7 mil publicações nacionais e internacionais acerca do tema. Sendo 1,9% para taipa de sopapo e 9,1% para taipa de mão, com pesquisas voltadas ao emprego da técnica no período colonial e aos métodos de restauração, e outros 89% para o termo pau a pique, com pesquisas voltadas à vulnerabilidade da técnica em habitações rurais no nordeste, com a infestação do inseto transmissor da Doença de Chagas.

Refinando a busca com a inserção do termo painel + pau a pique restaram apenas 10% daquele total de publicações, o que permitiu realizar uma pesquisa mais significativa com a identificação dos principais pesquisadores, no período de 1963 a 2019.

Também foram utilizadas as publicações disponíveis no site da Rede Iberoamericana de Arquitetura e Construção com Terra - PROTERRA⁶, como exemplo, a sinopse da geoconstrução⁷ elaborada por Hays e Matuk (2003) para desenvolver o projeto e a execução do objeto de estudo. Pela ausência de normas brasileiras específicas para pau a pique e com o auxílio das publicações dessa rede, obteve-se os termos similares: *quincha*, *bahareque* e *lehmbewurf*.

Os termos *quincha* e *bahareque* permitiram, a descoberta nos países latinos, de normas mais específicas como: *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (AIS, 1997)*; *Norma técnica E.100 Bambú (MVCS 2012 apud UBIDIA, 2015)*; *Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Guadúa (MIDUVI, 2016)*. A

⁶ Esta rede internacional atua no desenvolvimento da ACT e foi criada em fevereiro de 2006 depois do término do Projeto de Investigação (Projeto XIV.6), Subprograma XIV - Habitações de Interesse Social do Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo - CYTED, o qual foi desenvolvido entre os anos de 2001 a 2005.

⁷ Sinopse da geoconstrução é o termo traduzido de *Sinóptico de la Geo-Construcción*, um documento elaborado no programa da PROTERRA denominado *Técnicas Mixtas de Construcción com Tierra*, onde é possível observar as mais variadas aplicações de pau a pique nos países da América Latina (HAYS e MATUK, 2003).

expressão *lehmewurf* possibilitou a descoberta da norma de Construção com Terra da Alemanha (SCHRECKENBACH, 2004).

Por fim, devido à ausência de estudos com painel de bambu e terra para os ensaios de estanqueidade, houve a necessidade de coletar dados em estudos nacionais com outros materiais.

2.1 CONSTRUÇÃO COM TERRA

Construção com terra é toda edificação que utiliza o solo como matéria-prima sem alteração das suas características mineralógicas, mantida sob secagem ao sol.

Na produção de materiais cerâmicos por altas temperaturas, as propriedades do solo são alteradas, e a matéria-prima não pode ser devolvida à natureza tal como foi extraída inicialmente. (FERNANDES, 2006)

Suas principais vantagens são:

- boa capacidade de armazenamento térmico, tanto em clima quente ou frio, seco ou úmido (BRAGA et al., 2018);
- diminuir a contaminação ambiental, pois requer apenas 1% da energia requerida para preparação, transporte e elaboração (MINKE, 2001);
- preservar a madeira e outros materiais orgânicos, devido ao seu baixo equilíbrio de umidade de 0,4 a 6% e sua alta capilaridade. Os insetos e fungos necessitam um mínimo de umidade entre 14 a 18% e os fungos mais de 20% para sobreviverem (MINKE, 2001);
- elevar a ação higroscópica, que lhe permite absorver e liberar vapor de água, equilibrando a umidade relativa dos ambientes interiores (DÍAS, 2013);
- ser atóxica e não inflamável (GARZÓN, 2008).

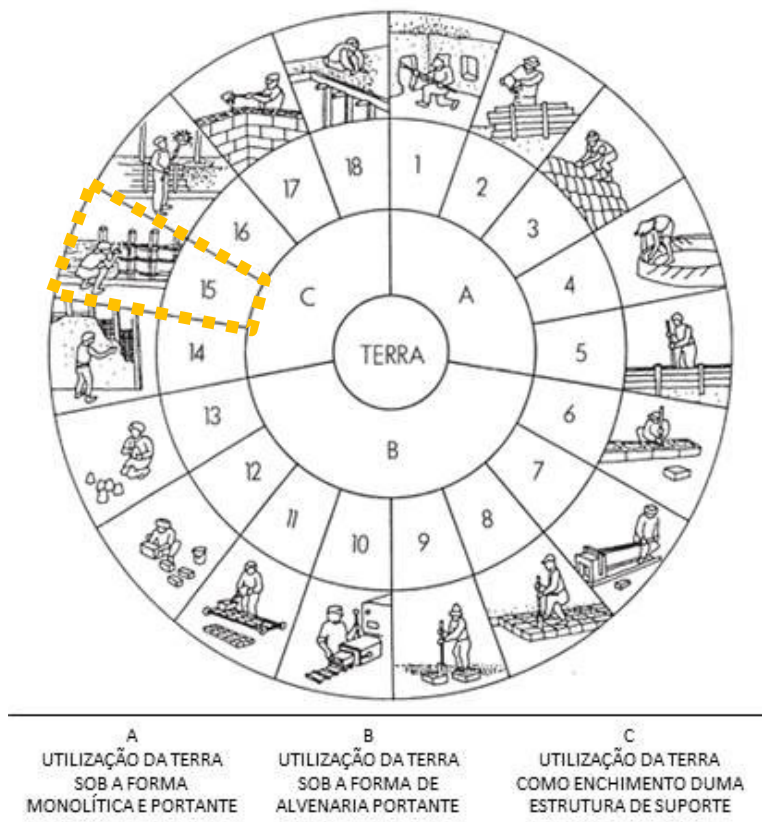
Segundo Pinheiro et al. (2016) a partir do século XIX com o advento de novas tecnologias construtivas em muitos países houve o declínio do uso da terra, retornando o emprego desse material no mundo inteiro somente durante as décadas de 1930 e 1940. Os pesquisadores enfatizam que alguns países europeus como França e Alemanha, durante a segunda guerra mundial, recorreram ao uso da terra como construção acessível e de baixo custo.

No panorama internacional evidenciaram-se os arquitetos como Le Corbusier, com o projeto de casas de blocos de terra comprimida e taipa em Marseille na França, Hassan Fathy e suas obras no Egito; Frank Lloyd Right que propôs casas de taipa nos EUA; e Fabrizio Carola, que nas décadas de 1970 e 1980, projetou e executou inúmeras obras com terra na África.

Também dentro deste panorama, em 1979, destaca o surgimento do *CRAterre* com sede na escola de arquitetura em Grenoble, França, sendo a maior referência mundial.

No diagrama estabelecido pelo *CRAterre* (Figura 2), as principais técnicas e sistemas construtivos são organizados de acordo com Houben e Guillaud (1989, apud TORGAL e JALALI, 2009, FERNANDES, 2006 e SANTOS, 2015) em três fundamentais subdivisões: monolítica e portante in loco; por unidades (alvenaria portante); por preenchimento e revestimento.

Figura 2 - Diagrama *CRAterre* das diferentes famílias de sistemas de construção antigos e modernos, que utilizam a terra como matéria-prima, em destaque a técnica de pau a pique.



Fonte: Houben e Guillaud (1989), apud Fernandes (2006).

A taipa de pilão (item 5, seção A), o adobe (itens 11, 12 e 13, seção B), e as técnicas mistas (seção C), multiplicam-se sobretudo em países que não incorporaram o padrão de construção com materiais industrializados (PINHEIRO et al., 2016).

Pau a pique se enquadra no item 15, ou seja, terra sobre engradado. Segundo Pinheiro et al. (2016) essa técnica geralmente não provoca impactos tão agressivos ao meio (poluição do ar e desmatamento) pois, por utilizar a terra, não requer compra, transportes caros, nem transformações de caráter industrial.

A ACT se estabelece a cerca de 30 anos no campo de pesquisa e atuação sobre perspectivas mais amplas, como: conservação e restauração, arquitetura vernácula e tecnologia alternativa (JOAQUIM, 2015). Ainda é conhecida sob outros termos como bioconstrução e construção sustentável, porém para ser consolidada uma construção sustentável é preciso observar não só a dimensão ambiental, como também a social e econômica.

A ACT recebe a reputação de construção sustentável a partir do pensar em novas formas de construir minimizando os impactos ao meio ambiente da Agenda 21. Este documento foi criado a partir da 2ª Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento – ECO 92, o evento ambiental do século XX. Em síntese aborda a redução de materiais com alto impacto ambiental, a redução dos resíduos gerados, a reutilização de materiais na preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído.

Segundo o Conselho Internacional da Construção - CIB (MMA, 2017) estas discussões suscitaram tendências atuais para a construção sustentável as quais caminham em duas direções no Brasil:

- empresários que apostam em empreendimentos verdes, certificados, tanto no âmbito da edificação quanto no âmbito urbano;
- centros de pesquisa com construções alternativas que estão disseminando o resgate de materiais e técnicas vernáculas com o uso de terra, fibra, pedra, bambu, entre outros materiais naturais com baixa energia incorporada a serem construídos em ecovilas e comunidades alternativas.

Os centros de pesquisa são responsáveis por grande parte da formação e transferência de conhecimento de muitos construtores com terra. Esta formação prática tem sido estimulada

desde meados de 1980, por Institutos de Permacultura e o Centro de Tecnologia Intuitiva e Bioarquitetura - TIBA, fundado por Yohan Van Lengen, escritor do livro Manual do Arquiteto Descalço (SANTOS, 2015).

No âmbito acadêmico dentro do cenário nacional existem algumas iniciativas estimuladas por instituições dedicadas à ACT, como exemplo:

- Centro de Pesquisa e Desenvolvimento – CEPED, localizado em Camaçari, na região metropolitana de Salvador/BA e vinculado à Universidade Estadual da Bahia – UNEB, quando em 1974, os pesquisadores Francisco Ferreira e Célia Neves escreveram a primeira cartilha de como produzir tijolos de solocimento;

- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT/SP, em 1988.

- PROTERRA e Rede Terra Brasil, ambas criadas em 2006;

- Associação Brasileira de Materiais Não-Convencionais – ABMTENC, criada em 1996, com sede na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC/RJ;

- Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade – HABIS, desde 1993, do Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP;

- e, o Grupo de Pesquisa Virtuhab, desde 2010, do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/UFSC.

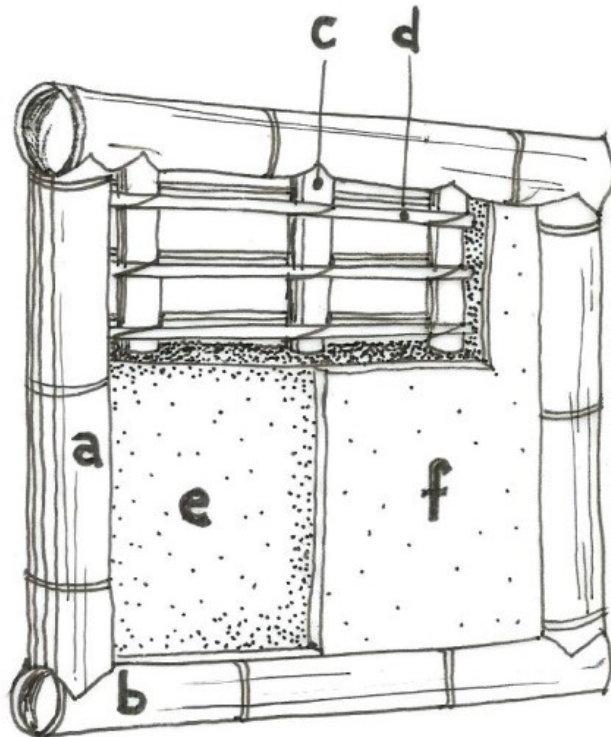
Em Santa Catarina, segundo a pesquisa de Prompt e Librelotto (2018) sobre mapeamento de ACT, existem 52 edificações distribuídas pelo estado numa concentração maior na região oeste e na região litorânea. Dentre estas edificações mais da metade são residenciais, prevalecendo mão de obra por autoconstrução e quase a metade com o emprego de pau a pique.

2.2 PAU A PIQUE

É classificada pelo *CRAterre* como técnica de enchimento, pertence à família das técnicas mistas, as quais são encontradas em diferentes continentes, com diferentes características, influências culturais e aspectos construtivos.

É considerada uma técnica de enchimento porque a terra necessita de estruturação para estabilidade, portanto as paredes que utilizam a técnica geralmente não são autoportantes e necessitam estar inseridas num sistema estrutural. Essa estruturação ocorre por uma moldura e trama geralmente de madeira e bambu (Figura 3), e depois de montada, a armação é preenchida com terra e posteriormente rebocada (FIGUEIREDO, 2011).

Figura 3 - Partes da técnica mista, utilizando bambu.



a, b - Estrutura principal ou moldura
 c,d - Estrutura auxiliar ou trama
 e - Preenchimento
 f - Revestimento

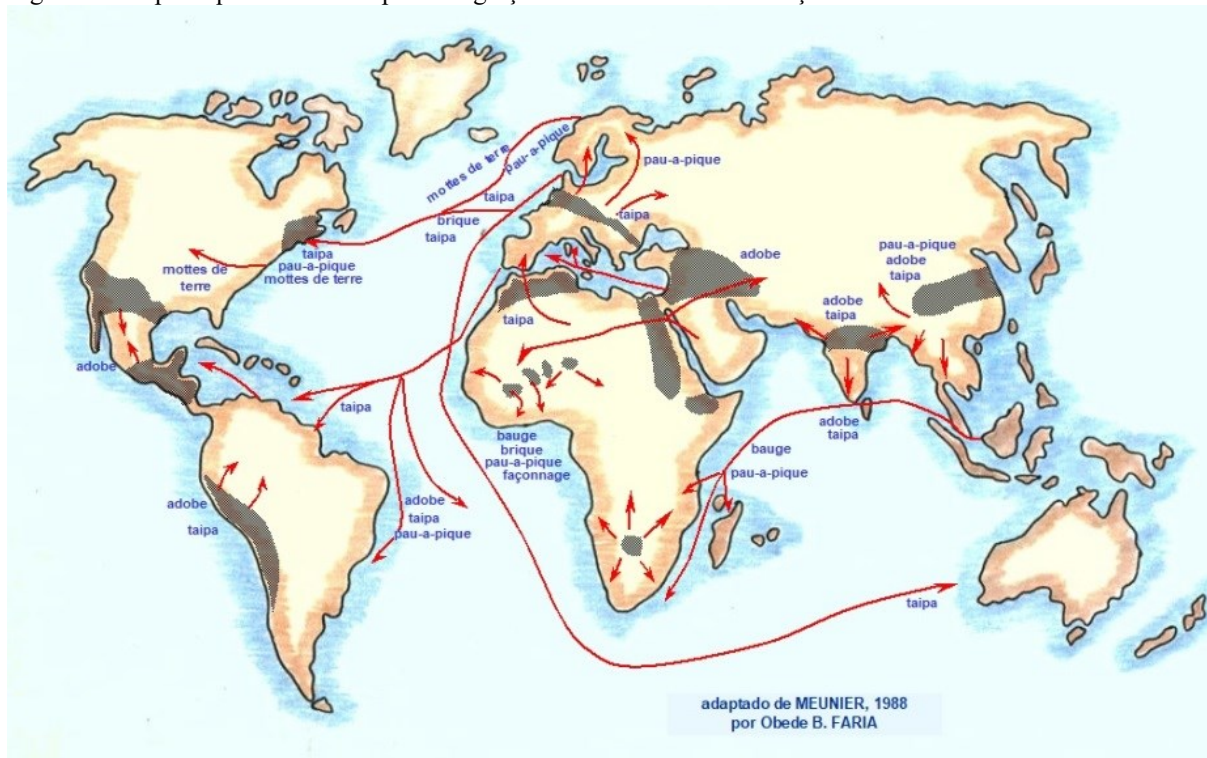
Fonte: Hays e Matuk (2003), adaptado pela Autora (2019).

A técnica, com berço no continente asiático, ultrapassou fronteiras e expandiu além dos oceanos, sendo disseminada para todos os continentes (Figura 4). Isso ocorreu principalmente pela facilidade de apreensão e praticidade de execução, a disponibilidade de materiais construtivos, as possibilidades de efeitos plásticos oferecidos pelo solo moldável e as condições de conforto térmico (ARAÚJO, 2007).

Fernandes (2013) comenta que na China, a técnica conheceu maior diversidade e escala na construção. Mas a sua redescoberta e sua recuperação ocorreu apenas a partir do ano de 1970, na França, com as diversas ações desenvolvidas em prol da ACT, do ano de 1980, na Alemanha pelo avanço na organização de legislação, regulamentos e normas específicas, e do ano de 1985, com a publicação, a nível nacional, do manual Taipa em painéis modulados (CEDATE, 1985).

Minke (2001), arquiteto alemão e responsável pelos principais estudos de construção de terra, afirma que a técnica é muito utilizada em climas sejam tropicais, subtropicais e temperados, e provavelmente é mais antiga que a taipa de pilão e os adobes.

Figura 4 - Mapa esquemático da suposta migração das técnicas de construção com terra.



Fonte: Meunier (1988), adaptado por Faria (2002).

Pelo mundo a técnica é conhecida, com algumas variantes, como: *lehmewurf* (Alemanha); *torchis* (França); *tabique* (Portugal); *quincha* e *bahareque* (América Latina); *wattle and daub* (América do Norte); e *tsuchikabe* (Japão). Descritas a seguir na Figura 5.

Países como Alemanha, Colômbia, Peru e Equador já possuem normas técnicas para a construção com técnica mista. A norma da Alemanha - *Lehmbau Regeln* -, publicada em 1999, cita que a técnica mista vem sendo utilizada mais para recuperação de obras históricas com enxaimel (SCHRECKENBACH, 2004).

Nos países da América do sul e aqueles junto ao Mar das Caraíbas na América Central a técnica tem sido utilizada durante décadas em residências de baixo custo e sismoresistentes. Nestes locais se encontram grandes reservas de bambus nativos da espécie *Guadua spp.*

Pesquisas experimentais, envolvendo instituições de ensino superior e órgãos governamentais, são desenvolvidas para o aprimoramento da técnica em painéis racionalizados.

Figura 5 - Técnicas mistas pelo mundo.



a) *Lehmbewurf* e *torchis* são painéis de vedação com entrelaçado de madeira, fibra e terra, nas estruturas conhecidas como *enxaimel* ou sistemas construtivos como *wood frame*. França, 2018



b) *Tabique* é a vedação utilizada em casa de madeira e possui aspectos diferenciados pela aplicação da argamassa só pela face externa e pelo interior o uso de ripas e/ou tábuas. Casa em Arruda dos Vinhos, Portugal, 2008



c) *Quincha* e *bahareque* são vedações geralmente feitas com esteiras ou tramas bem próximas em estruturas de bambu, rebocadas ou não com argamassa de terra. Hogar de Cristo, Equador



d) *Tsuchikabe* são vedações para paredes internas geralmente feitas com tramas bem densas, rebocadas ou não com argamassa de terra. Canteiro Escola IAU/USP, São Carlos, 2013

Fontes: Botmobil.org (2019) a; A Barriga de um *Arquitecto* *blogspot* (2019) b; *Hogar de Cristo.org.ec* (2019) c; São Carlos Agora.com.br (2019) d.

O Brasil é o país da América Latina que apresenta maior patrimônio construído com técnica mista (FERNANDES, 2013). Durante quatro séculos da história, a terra constituiu o material de construção mais importante, sendo pau a pique, e os sistemas construtivos de adobe e taipa de pilão os mais utilizados. Segundo Lopes (1998) em Minas Gerais, foi preferida à taipa de pilão por ser de fácil execução, leve, rápido e adaptável às topografias acidentadas.

As primeiras edificações luso-brasileiras na Ilha de Santa Catarina datam século XVII, quando pau a pique era utilizado pelos colonizadores em paredes de sedes rurais, religiosas ou engenhos de farinha (CONCEIÇÃO, 2012). Como divisórias internas, a trama era formada por esteios verticais de maior dimensão e depois armados com varas (peças de menor dimensão) horizontalmente pelas duas faces.

As primeiras edificações luso-brasileiras na Ilha de Santa Catarina datam século XVII, quando pau a pique era utilizado pelos colonizadores em paredes de sedes rurais, religiosas ou engenhos de farinha (CONCEIÇÃO, 2012). Como divisórias internas, a trama era formada por esteios verticais de maior dimensão e depois armados com varas (peças de menor dimensão) horizontalmente pelas duas faces.

Na lista de bens tombados da Fundação Catarinense de Cultura – FCC, é possível identificar uma edificação localizada na cidade de Florianópolis, com emprego de pau a pique, trata-se das paredes internas do segundo pavimento do Palácio Cruz e Souza (Figura 6a), construídas em 1785 sendo restauradas em 2005.

As paredes internas da antiga Casa do Vigário (figura 6b), construída provavelmente antes do Santuário Nossa Senhora da Conceição da Lagoa (1750) tem o emprego de pau a pique em suas paredes internas. Esta edificação está protegida em âmbitos Municipal, Estadual e Federal e aguarda recursos para abrigar a sede da Casa dos Açores da Ilha de Santa Catarina.

Na lista de bens tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN encontram-se os sobrados e casarios térreos (século XIX) como o caso do Núcleo Histórico do Ribeirão da ilha (Figura 6c) e em edificações diversas na Rua Conselheiro Mafra, localizadas em Florianópolis/SC (BROOS, 2002). Nas paredes internas de pau a pique encontram-se misturas de areia, algum pedregulho e cal para dar maior resistência mecânica (VEIGA et al., 1983).

Em Santos (2015) e em Abiko (IPT, 1988) é possível encontrar diferentes termos para esta mesma técnica no Brasil, como: taipa de mão, taipa de sopapo, taipa de sebe,

estruque. O termo taipa de mão está associado à forma como é empregada a terra nas paredes. Entretanto nesta pesquisa será mantido o termo pau a pique pela forte herança cultural na Ilha de Santa Catarina.

Estas diferentes nomes, contudo se aproximam, de acordo com Neves (2004), pela combinação de madeira e/ou bambu com a terra e fibra e, eventualmente, aglomerantes.

O povo Guarani utiliza a técnica como uma estratégia eficiente de manutenção da ventilação e da privacidade, além de utilizar recursos provenientes da vegetação nativa das florestas subtropicais, como fibras, cipós e madeiras leves (ZANIN e SATTLER, 2006). Interessante saber que a transmissão de saber deste povo ocorre de forma oral e as construções envolvem crianças e adultos (Figura 6d).

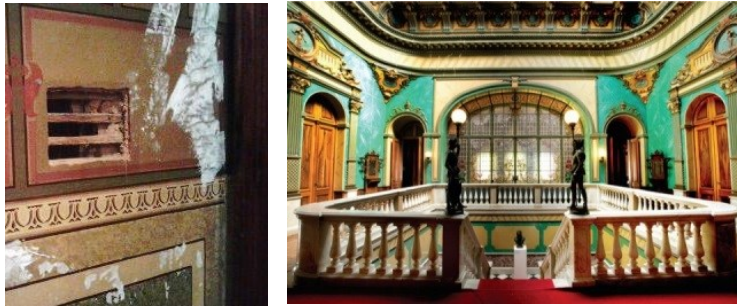
Os índios Guarani, encontrados na região da Grande Florianópolis, utilizam a técnica, principalmente em suas *Opys*, como paredes de vedação as quais são compostas com entrelaçamento de elementos verticais (fixados no solo) e horizontais (alternadamente colocados pela face interna e externa) de madeira ou bambu, sendo estes amarrados com fibra do local.

Esta trama é preenchida posteriormente com argamassa de terra, “[...] sem a presença de fibras” (XAVIER, 2009), e geralmente as paredes não são rebocadas porque a durabilidade está associada conforme os costumes seminômades⁸.

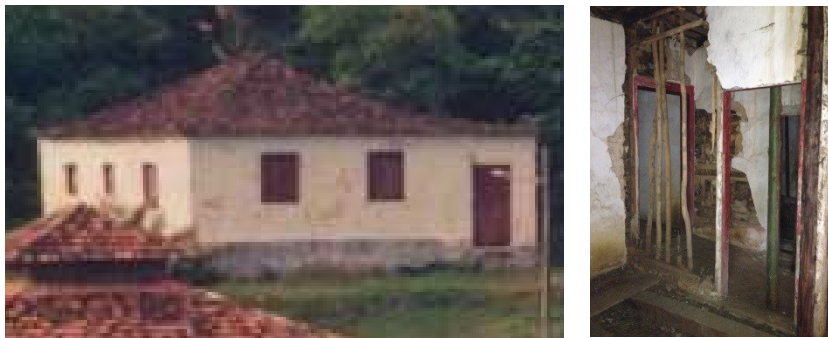
Atualmente, na Ilha de Santa Catarina, o maior emprego da técnica ocorre em residências unifamiliares de classe média, com as paredes sendo colocadas também em fachadas externas, com estrutura de madeira apoiada sobre fundação de concreto e amarrações com arame galvanizado. Mesmo em modelo artesanal de produção a ênfase é dada nos detalhes técnicos para ampliar a durabilidade como o emprego de alicerce alto, beirais amplos e o uso de rebocos naturais (Figura 6e).

⁸ O povo Guarani fixavam suas casas apenas por 4 a 5 anos, de acordo com a produtividade do solo. Quando exaurida a capacidade de produção do solo, os indígenas deixavam sementes dentro destas casas para que ao cair surgissem novas áreas florestadas. Atualmente, pela especulação imobiliária e forte influência do capital em áreas indígenas, os povos indígenas no sul do país não se caracterizam mais como seminômades. (Declaração de uma cacique feita durante a Entrevista não estruturada desta pesquisa, ano 2017).

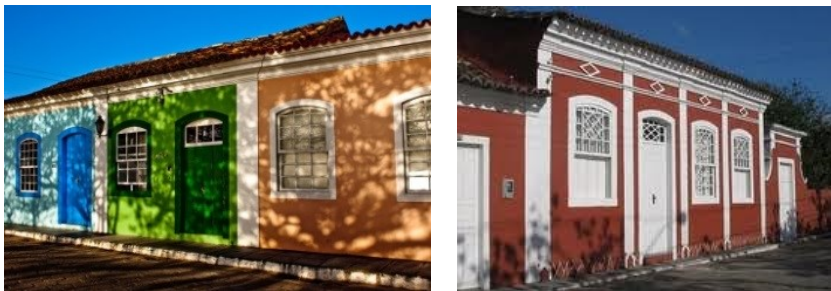
Figura 6 - Edificações de pau a pique na Grande Florianópolis/SC.



a) Palácio Cruz e Souza, localizado no centro de Florianópolis. Tombamento estadual no ano de 1984



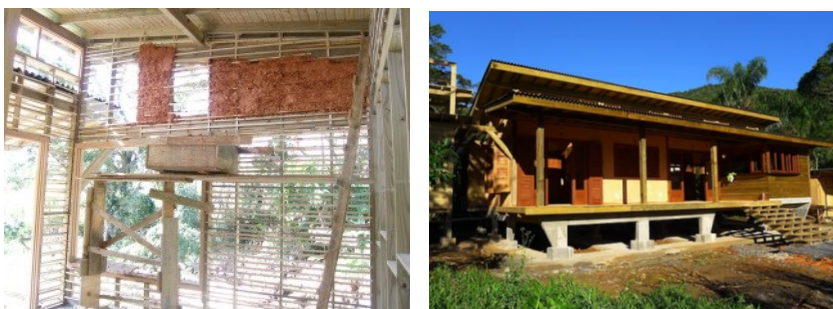
b) Antiga Casa do Vigário, localizada na Lagoa da Conceição, Florianópolis. Tombamento municipal no ano de 1975



c) Casario do Ribeirão da Ilha, parte sul insular de Florianópolis. Tombamento nacional em 2016



d) *Opys*, espaço sagrado dos índios guaranis, Palhoça, construído em 2018



e) Residência Unifamiliar Campeche, Florianópolis, construída em 2011

Fonte: Autora e Clicrbs.com.br (2019) a; Ornato (2012) b; Cultura Açoriana *blogspot* (2019) c; Autora (2019) e Conexão *Itaty facebook* (2019) d; Arquiteto Márcio de Holanda (2017) e.

Na revisão sistemática da literatura sobre taipa de mão elaborada por Cordeiro et al. (2019) acrescenta que para a permanência da técnica na atualidade

faz-se necessário o desenvolvimento de um procedimento técnico com normas específicas para aperfeiçoar a execução da estrutura, dos sistemas de amarração, ancoragens e montagens, ampliando assim a sua durabilidade (CORDEIRO et al., 2019, p. 1).

Em 1997, Lopes e Ino divulgaram os primeiros estudos científicos e os resultados revelaram ser uma técnica versátil, econômica, facilmente assimilável e transmissível e que utiliza materiais renováveis encontrados na natureza.

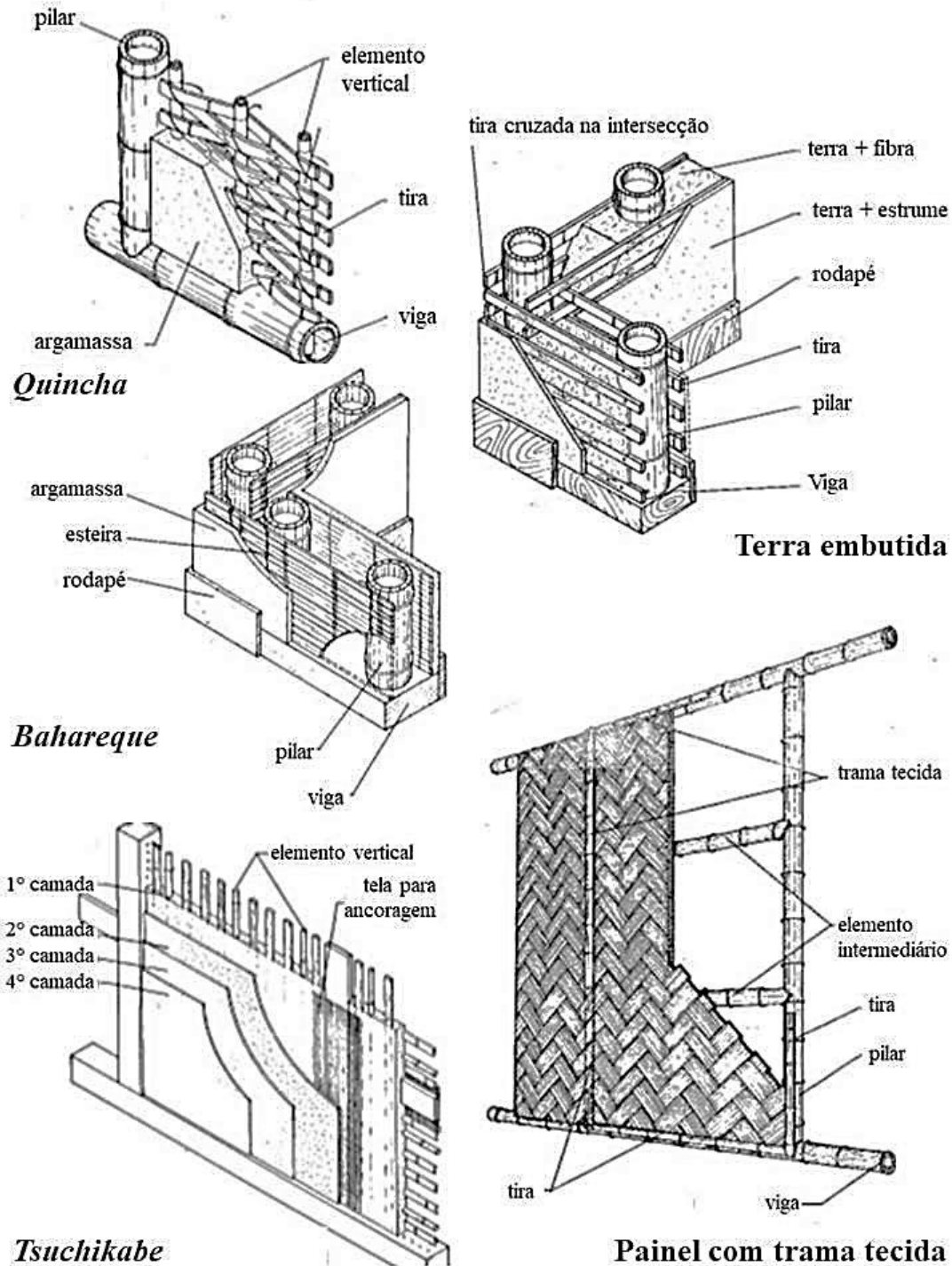
Resumidamente, nas bibliografia apresentada por estas pesquisadoras (1997, 1998, 2002 e 2012) para o melhor desempenho das paredes de pau a pique destacam-se as seguintes premissas:

- fundação, cinta de concreto ou baldrame com camada impermeabilizante, suspendendo a edificação aproximadamente 20 centímetros do solo para evitar a umidade;
- sistema estrutural, como vedação não portante, inserida numa estrutura autônoma com pilares de madeira roliça ou bambu;
- trama, com uso de arame, madeira serrada ou roliça, tela de galinheiro, talos de palmeira e bambu, dependendo da disponibilidade local, produzida artesanalmente e no local. Para a fixação das tiras da trama utilizar cipó, sisal, couro, prego ou arame;
- preenchimento, com o uso de aglomerantes ou adições, em função do tipo do solo, tais como fibras, esterco de gado, cal ou cimento para diminuir a retração da argamassa de terra. No caso de fibras, usar com aproximadamente 20 cm de comprimento;
- revestimento, com diferentes tipos de traços e dosado com cal ou cimento;
- cobertura, com beiral entre 50 até 125 cm com uso de mãos francesas, para proteção da ação da chuva;
- rodapé, para proteção contra choques e de água durante a limpeza dos ambientes.

2.2.1 Trama de Bambu

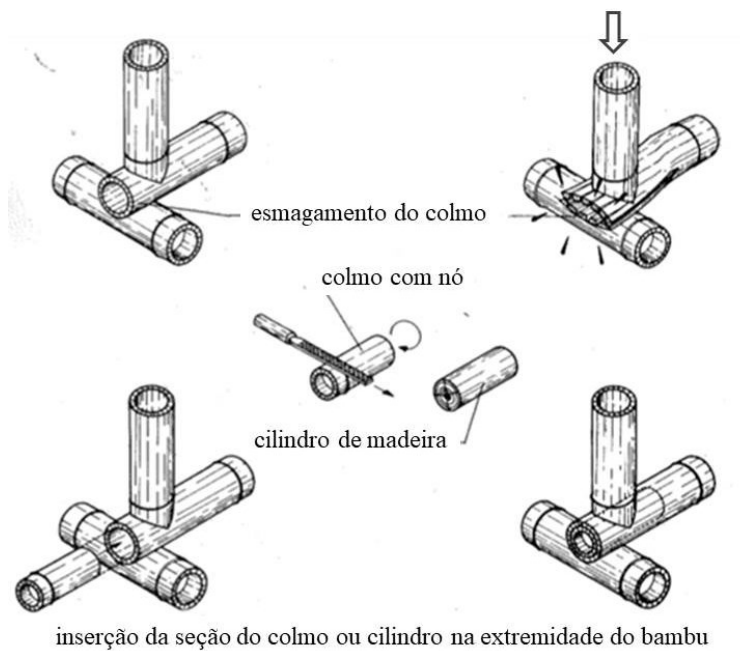
O modo como as tiras são utilizadas na estrutura auxiliar, ou melhor, na trama, geralmente define a denominação da técnica mista. Hidalgo-López (2003), cita cinco diferentes tipos, descritos na Figura 7: *quincha*, *bahareque*, terra embutida, painel com trama tecida e *tsuchikabe*.

Figura 7 - Técnicas mistas pela classificação de Hidalgo-López.



Fonte: Hidalgo-López (2003), traduzido pela autora (2019).

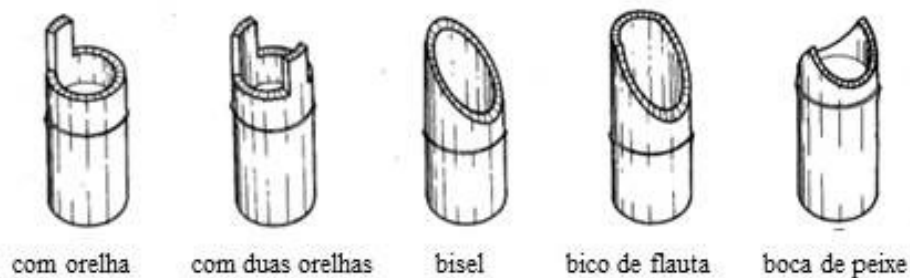
Figura 8 - Detalhe do preenchimento do nó.



Fonte: Hidalgo-López (2003), traduzido pela autora (2019).

Para a união de peças horizontais e verticais é indicado tipos diferenciados de encaixe. A Figura 9 apresenta diversos tipos como também os mais conhecidos: bico de flauta e boca de peixe.

Figura 9 - Tipos de encaixe para união de colmos de bambu.



Fonte: Hidalgo-López (2003), traduzido pela autora (2019).

Nessa pesquisa o bambu é utilizado como moldura e trama para a estruturação do preenchimento e do sistema de revestimento. Silva (2011) aponta diversas vantagens do bambu na substituição da madeira, tais como:

- devido ao seu rápido crescimento absorve mais carbono da atmosfera do que qualquer árvore, contribuindo para minimizar o efeito estufa;

- pode ser usado em áreas degradadas, pois não requer solos férteis e protege o solo contra erosões, uma vez que pode ser plantado em terrenos acidentados;

- a extração do bambu não desmata, pois novos colmos se reproduzem após a colheita não sendo necessário replantar.

O uso do bambu em nível nacional depende de toda uma cadeia produtiva a se desenvolver, a qual é fomentada por várias entidades representativas. Destas entidades, apenas quatro são regulamentadas:

- Associação Brasileira do Bambu – BambuBR, fundada em 2018 e com abrangência nacional;

- Associação Brasileira de Produtores de Bambu – APROBAMBU, fundada em 2013;

- Associação Catarinense do Bambu – BambuSC, fundada em 2005 e com abrangência estadual;

- Bambuzal Bahia, fundada em 2005 e com abrangência estadual;

As outras entidades ativas e representativas ainda não foram legalmente constituídas, como:

- Rede Bambu Goiás – RBG;

- Rede Brasileira do Bambu – RBB, responsável pela organização do Seminário Nacional do Bambu, que está em sua terceira edição;

- e, Rede de Bambu de São Paulo – REBASP.

Teixeira (2013) salienta que a planta possui um dos maiores níveis de sustentabilidade do reino vegetal e um grande potencial construtivo por ser um material leve e de fácil manuseio.

Existem 111 gêneros e 1.575 espécies de bambu distribuídas no Mundo, principalmente nas zonas quentes e com chuvas abundantes, encontrados em altitudes entre 0 e 4 mil metros. Nas Américas existem 42 gêneros e 440 espécies nativas, e o Brasil possui a maior diversidade no continente americano (GRECO e CROMBERG, 2011).

As espécies endêmicas no Brasil, principalmente o *Guadua ssp.*, ainda não são exploradas economicamente, sendo as exóticas as mais cultivadas e utilizadas em construções. Nessa pesquisa utilizam-se duas espécies exóticas: *Bambusa tuldoides* e *Bambusa oldhami*, ambas originárias da China.

Segundo Greco e Cromberg (2011) a primeira espécie foi introduzida no território nacional pelos colonizadores portugueses durante o século XIX, é comumente encontrada na Ilha de Santa Catarina. Jaramillo et al.(2016) comentam que a população, tanto no Brasil como na Colômbia e Equador, está familiarizada com a *Bambusa tuldoides* na confecção de artesanato e como suporte temporário em algumas construções de pequeno porte. Nessa espécie os colmos podem chegar aproximadamente 12 metros de altura e 6 centímetros de diâmetro. São retilíneos, finos e resistentes, adequados para a utilização em sistemas de vedação vertical (TEIXEIRA, 2013).

A segunda espécie tem como principal característica colmo ereto e uniforme, com pouca conicidade, possui aproximadamente 18m de altura e 10 centímetros de diâmetro. Ambas as espécies possuem pouco teor de amido e entrenós médios e regulares.

As resistências à compressão e a tração desses bambus foram estudadas no Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR/Londrina, a fim de provar o potencial construtivo do material (CARBONARI et al., 2017). Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de resistências à compressão e à tração das espécies de bambu ensaiadas, com corpos de prova contendo apenas um nó, e somente descritos os valores das espécies utilizadas para a confecção do objeto de estudo, alvo desta pesquisa, em comparação ao *Guadua ssp.*

Tabela 1 - Valores médios de resistência mecânica das espécies de bambu.

Espécie de bambu	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)
<i>Bambusa oldhami</i>	72,17	106
<i>Bambusa tulda</i>	75,18	125
<i>Guadua angustifolia</i>	45,45	-

Fonte: Carbonari et al. (2017).

Porém a resistência mecânica do colmo varia segundo a espécie, a idade, as condições de crescimento, o teor de umidade, a disposição dos nós e sua distribuição ao longo do colmo. Hays e Matuk (2003) salientam algumas características do colmo de bambu para uso em construções, cujas condições são descritas a seguir:

- tempo de maturação, cerca de 3 ou 4 anos – pois caso não atinja maturidade ao secar contraem demasiadamente e ficam suscetíveis ao ataque de organismos (fungos e insetos) xilófagos;

- época de corte, os colmos em estado úmido são mais fáceis de cortar, pois em estado seco adquirem grande dureza;
- corte, utilizar ferramentas adequadas e escolher um colmo sem fendas e/ou furos, não atacado por inseto;
- secagem, processo necessário para prolongar a durabilidade e resistência mecânica do colmo, pode ser ao ar livre, submerso em água ou defumado;
- tratamento com solução a base de boro, para prolongar a durabilidade do colmo entre 30 a 40 anos;
- armazenamento ao ar livre ou em estufa para que adquira maior resistência mecânica.

Benavides et al. (2018) dizem que a durabilidade é algo inquietante nas construções de bambu e segundo muitas normas este material sempre deve ser tratado antes de sua aplicação. As pesquisadoras comentam que o uso do colmo, quando comparado ao uso de tiras, esteiras e laminados, possui menos suscetibilidade aos agentes de degradação devido à proteção do córtex.

O tratamento do bambu deve ser feito logo após o corte. Os métodos mais empregados dividem-se em dois tipos: os naturais e os químicos. Os naturais dividem-se em cura na mata ou avinagrado, por imersão em água, pela ação do fogo; ação da fumaça ou defumação. Já os químicos, mais eficientes do que os naturais, dividem-se em imersão sejam em produtos oleosos, solúveis, hidrossolúveis, ou por substituição de seiva por sais hidrossolúveis, *Boucherie ou autoclave* (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Dentre os tratamentos citados, a imersão em solução de componentes químicos hidrossolúveis possui uma boa eficácia e não representa um tratamento tão agressivo ao meio ambiente (NOIA, 2012).

A imersão em produtos hidrossolúveis consiste em associar diversos sais à lignina e à celulose presentes no colmo, formando um composto insolúvel tóxico aos insetos. Dentre os sais, o mais usado é a mistura de ácido bórico e bórax. O colmo ficar em imersão de duas a quatro semanas, na temperatura ambiente.

Entretanto, quando as tiras de bambu são associadas à argamassa de terra tornam-se um composto perfeitamente estável no tempo (HAYS e MATUK, 2003). Estes compostos, da associação de um mineral com um vegetal, são encontrados em perfeito estado nas construções de aproximadamente 5.000 a.C. na cidade de Caral, área centro norte do Peru, junto ao cinturão sísmico do Pacífico (IELA, 2019). (Figura 10)

Figura 10 - Paredes de *quincha* datadas entre 3.000 e 5.000s a.C, Caral/Peru.



Fonte: Obede Faria, 2012.

2.2.2 Argamassa de Terra

As argamassas são constituídas basicamente por dois componentes, o aglomerante e o agregado, e ainda, ocasionalmente pelo uso de aditivo (KANAN, 2008). Salienta-se que a mistura destes materiais com água se obtém capacidade de endurecimento e aderência.

Nas argamassas só de terra, as partículas argilosas do solo funcionam como aglomerante. Segundo Silva (2007) “[...] a argila não sofre nenhum processo de tratamento, seu endurecimento é motivado pela evaporação da água de amassamento”.

A diversidade de características obtidas nessas argamassas está relacionada diretamente às propriedades do solo, e em função disso, verifica-se que sua utilização não se restringe apenas à aplicação em paredes, mas também a outros suportes (FARIA, 2016).

Nessa pesquisa pela relevância da confecção do objeto de estudo, o tema argamassa de terra foi separado em quatro principais subtemas: caracterização do solo; preenchimento; revestimento; e, agentes de degradação.

a) Caracterização do solo

Torgal e Jalali (2009) afirmam a princípio que o solo de qualquer jazida pode ser usado para a confecção de blocos ou de paredes de terra executadas *in situ*. A parcela de solo que se utiliza como matéria-prima é somente a fase mineral, aquela livre de matéria orgânica,

que “[...] é constituída por partículas minerais de tamanho variável, nomeadamente argilas, siltes e material arenoso, os quais se encontram misturadas entre si também em proporções variáveis”.

Mitidieri et al. (1987) e Milanez (1958), citados por Lopes e Ino (2004) comentam que “[...] o ideal é que seja utilizado o solo retirado de uma profundidade mínima de 40 cm, onde o solo tem menor mistura com o lixo, raízes e aterro”.

Porém, por ser um material muito variável sua composição depende do local de sua retirada e, até mesmo para estas profundidades, pode apresentar diferentes tipos de minerais em quantidades diversas.

As dimensões das partículas para composição do solo apresentam pequenas variações entre os diversos países. No Brasil, o sistema de classificação granulométrica é estabelecido pela norma NBR 6.502 (ABNT, 1995), que pode ser visualizado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação granulométrica do solo, de acordo com NBR 6.502 (ABNT, 1995).

Dimensão dos grãos (mm)	Classificação das partículas	Características principais
$2 \leq d \leq 20$	Pedregulho	Elemento inerte e resistente
$0,06 \leq d < 2$	Areia	Elemento inerte, sem coesão
$0,002 \leq d < 0,06$	Silte	Sem coesão, diminui a resistência da areia
$d < 0,002$	Argila	Forte coesão, sem estabilidade volumétrica

Fonte: Neves et al. (2009).

Certos tipos de argilas funcionam como elemento aglutinador na argamassa de terra e suas estruturas lamelares se igualam como páginas de livros sobrepostas. A utilização do material surge da união entre argila e água o que lhe confere algumas das propriedades mais importantes como a coesão e a plasticidade (DA PONTE, 2012).

A argila tem sua origem da erosão do feldspato e outros minerais. Deste processo de erosão e pela presença variada de minerais a argila pode ser classificada como: caulinita, montmorilonita ou ilita. A caulinita possui baixa capacidade expansiva enquanto a montmorilonita alta capacidade.

Em alguns casos, é comum o artífice confundir a argila com silte, ou vice e versa ambos os materiais com partículas muito finas. O silte é um componente do solo que não possui capacidade de coesão em estado seco, e se utilizado fora das proporções recomendadas

pode ser causa de diversas manifestações patológicas nas edificações. Por isso, é extremamente significativo analisar as propriedades do solo.

A análise do solo, assim como o acompanhamento técnico especializado em todas as etapas da obra, é fundamental para o êxito da ACT. Essa análise deve ser realizada desde o momento do projeto, de modo a auxiliar na decisão a respeito das técnicas a serem utilizadas (PROMPT, 2012).

O solo pode ser analisado por meio de testes de campo e/ou de ensaios de laboratório.

Enquanto que os ensaios realizados em laboratório são geralmente quantitativos, com resultados numéricos, os testes expeditos realizados em campo têm resultados essencialmente qualitativos e são apropriados para comparar as características entre as terras disponíveis na região, de modo a escolher a mais apropriada ao sistema construtivo pretendido (NEVES et al., 2009, p.30).

Segundo Torgal e Jalali (2009) os testes recomendáveis no campo permitem, para determinadas situações, algumas conclusões iniciais sobre que tipo de solo disponível no local. Neves et al. (2009) descrevem os seguintes testes de campo:

- tátil-visuais, avalia a aparência do tamanho de partículas, cor, brilho;
- queda de bola, avalia a propriedade de coesão;
- cordão, avalia a coesão em uma determinada umidade;
- fita, relaciona a plasticidade com o tipo de solo;
- exsudação, avalia a plasticidade do solo em função de sua capacidade de reter água;
- resistência seca, auxilia na identificação do tipo de solo em função de sua resistência mecânica.

Minke (2001), Torgal e Jalali (2009) e Rezende (2012) dizem sobre a necessidade de associar os ensaios de campo em conjunto aos laboratoriais para obter mais precisão.

Os ensaios de laboratório são realizados sob procedimentos normatizados sendo que os mais utilizados para a classificação de solos de obras de terra aqui no Brasil são: granulometria e limites de Atterberg (liquidez e plasticidade). Albert Atteberg propôs os limites ao final de 1800 e sua introdução no campo da engenharia geotécnica foi feita por Karl von Terzaghi, porém somente, em 1932, Arthur Casagrande padronizou os ensaios que foram seguidos desde então no campo da geotécnica e, conseqüentemente, em obras de terra.

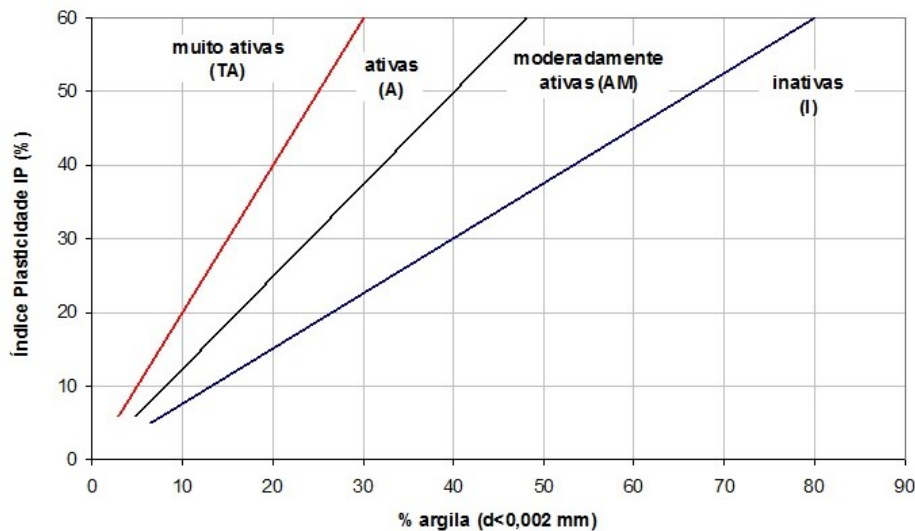
A análise granulométrica por peneiramento e por combinação de sedimentação é definida pela norma NBR 7.181 (ABNT, 2017), e o índice de plasticidade é obtido a partir da diferença entre os limites de liquidez pela norma NBR 6.459 (ABNT, 1984) e o limite de plasticidade pela norma NBR 7.180 (ABNT, 2016).

E a caracterização das amostras de solo para esses ensaios é descrita pela norma NBR 6.457 (ABNT, 1986).

Com o avanço dos estudos outros parâmetros também foram considerados importantes para a classificação do solo e a composição de argamassas de terra, como por exemplo a retração linear pois, a expansão da argila não varia só na presença de água, mas também, da análise de sua natureza mineralógica (HOUBEN e GUILLAUD, 1995).

Portanto, a expansividade de uma argamassa de terra está associada à quantidade e ao grau de atividade da argila, sua capacidade de coesão, e ao teor de umidade (Figura 11).

Figura 11 - Grau de atividade das argilas.

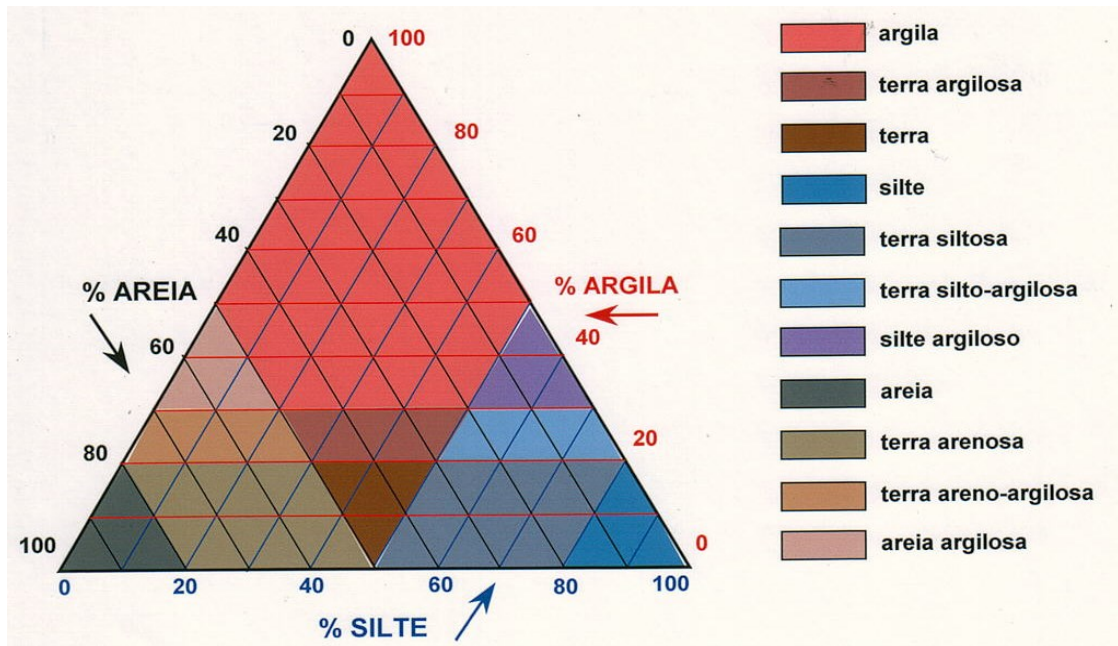


Fonte: Houben e Guillaud (1995), traduzido por Faria (2018).

De acordo com Neves et al. (2009) no diagrama de classificação dos solos (Figura 12), o solo ideal para composição de argamassas de revestimento que não necessita de estabilizantes, deve ter entre 30-80% de areias, 0-40% de silte e 20-35% de argila.

Na ausência de um solo mais adequado ou de uma mistura de solos dentre aqueles disponíveis na região, é recomendada adição de agentes estabilizadores, tanto produtos naturais como industrializados, para a melhoria das propriedades físicas e mecânicas das argamassas. Os estabilizantes garantem resistência no esforço de tração visto que a argila (solo coesivo) e a areia (solo não coesivo) resistem somente à compressão.

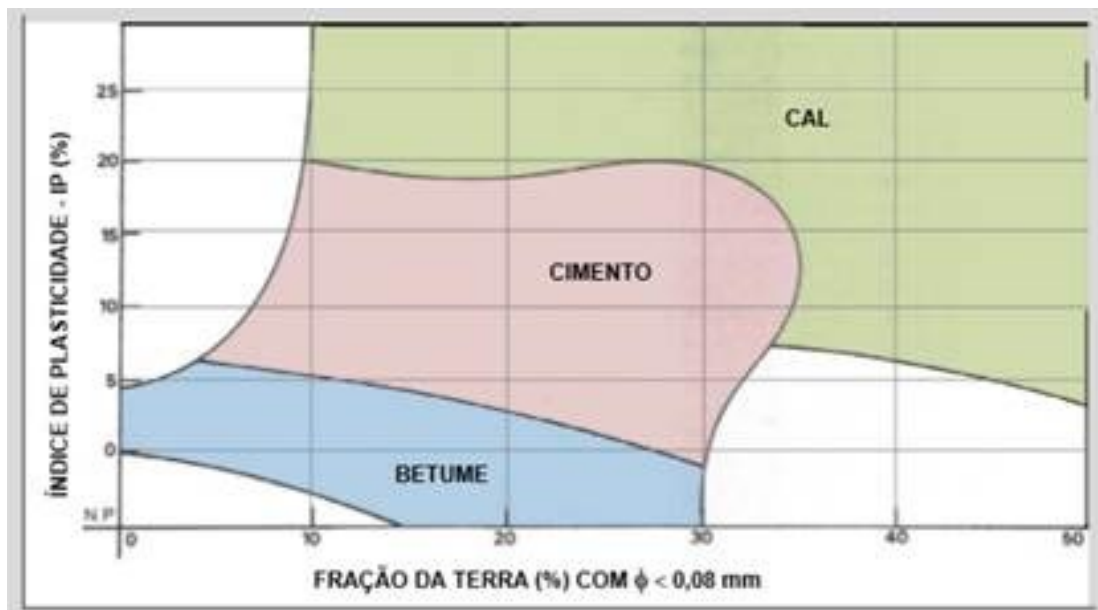
Figura 12 - Diagrama de classificação dos solos.



Fonte: Aid et al. (s/d) e Moran (1984), adaptado por Neves et al. (2009).

Mas somente a correlação entre composição granulométrica e a plasticidade que determina com segurança a necessidade ou não de estabilizantes (Figura 13).

Figura 13 - Seleção do tipo de estabilizante em função do índice de plasticidade e da classificação granulométrica do solo.



Fonte: Houben e Guillaud (1995), apud Neves et al. (2009).

Nos estudos de Torgal e Jalali (2009) os usos de estabilizante devem seguir uma regra, por exemplo, no caso do cimento, só deverá ser acrescentado para solos com composição de 50% (de preferência 75%) de areias e pedregulhos, e baixas percentagens de argila (inferiores a 20%).

Segundo Días (2013) a elaboração de argamassas de terra depende da classificação do solo a qual varia muito de região para região.

b) Preenchimento

Com o intuito de preencher a trama a aplicação de terra nas paredes de pau a pique é executada com a mão, por isso ser tão conhecida como taipa de mão. Geralmente nessa etapa são adicionadas fibras vegetais para diminuir fissuras provocadas pela retração da argamassa de terra após perda de água. O uso das fibras junto da terra também incrementa a estabilidade e durabilidade assim como a transmissão térmica da parede.

O uso de terra e fibra ficou conhecido na França nas casas da *Villefontaine* feitas antes de 1950. Seis habitações foram erguidas com estrutura de madeira e uma cobertura que protege contra o mau tempo, a terra foi misturada com fibra para preencher os quadros e constituir a parede para depois receber revestimento com madeira (*PIERRES & TERRES*, 2019).

Ambos os materiais também são utilizados, há mais de 20 anos, por uma equipe multidisciplinar dos Estados Unidos dedicados à ciência de materiais e tecnologia de construção do sistema construtivo *Light Straw-Clay – LSC* (LSC, 2019). O sistema utiliza uma grande quantidade de fibra embebida em uma mistura líquida de solo com alto teor de argila, a qual é prensada manualmente entre duas formas de compensado dispostas paralelamente, erguendo assim a parede que pode ou não ser autoportante.

No Brasil, a terra e a fibra foi alvo de pesquisa em 1996 pelo grupo HABIS nas paredes de pau a pique em uma unidade experimental de habitação. As fibras, entre 5 a 10 cm de comprimento foram misturadas a terra argilosa e posteriormente incorporadas entre trama pré-fabricada de madeira pinus (TRAMONTANO e REQUENA, 2000).

Hays e Matuk (2003) em seu manual sobre técnicas mistas recomendam para o preenchimento com fibras embebidas em argila os seguintes critérios:

- molhar abundantemente a trama antes de aplicar;
- confeccionar bolas largas de 15 a 20 cm de diâmetro;

- aplicar um recheio o mais denso possível e de uma só vez;
- o tamanho da fibra depende da forma de preparo da argamassa de terra e o tipo de trama. Sendo que as fibras curtas são apropriadas para o preparo manual da argamassa e ao preenchimento com trama dupla.

A fibra de trigo é muito utilizada nas técnicas mistas. É uma fibra oca, cerca de 5 mm de diâmetro, a qual absorve a expansividade natural da terra sem inchar. Porém é bastante rígida e difícil misturar com a terra. Para tramas leves utiliza-se 5 kg/m³, com tamanhos entre 10 e 15 cm (NEVES e FARIA, 2011).

c) Revestimento

Os revestimentos na construção com terra são considerados camadas de proteção indispensável “[...] face às ações agressivas de natureza química e mecânica” (ATAÍDE et al., 2016).

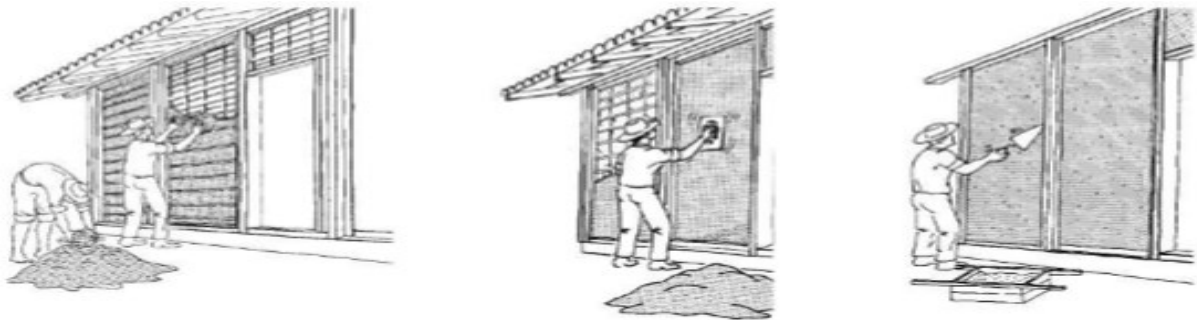
As argamassas de revestimento no estado fresco devem ter adequada aderência ao substrato e facilidade de acabamento superficial. A trabalhabilidade até o estado de endurecimento está relacionada à capacidade de retenção de água durante o amassamento até o contato com a superfície absorvente (SILVA, 2007).

As propriedades das argamassas em estado endurecido em relação ao módulo de deformação não podem ter rupturas ou fissuras que comprometam a aderência, estanqueidade e sua durabilidade.

Não há norma para argamassas de revestimentos com terra. Em Olender (2006) o sistema de revestimento para pau a pique é composto por três camadas: emboço, o qual tem a função de ponte entre o preenchimento e o reboco; reboco, camada mais externa como suporte para outros tipos de acabamentos ou que serve de acabamento final; e acabamento, como por exemplo, a pintura.

Para Lopes e Ino (2004) o processo da colocação de argamassa de terra segue três fases (Figura 14), a duas primeiras cobrem a trama e ambas possuem a mesma mistura, e logo após a secagem da primeira camada, entre 15 e 30 dias, são aplicadas a segunda e a terceira camada.

Figura 14 - Processo de aplicação das argamassas de terra em três fases.



Fonte: Fundação DAM (1988), apud Carvalho, Lopes e Matos (2010).

Rotatori et al.(2016) refletem que a aplicação do revestimento deve ser posteriormente a acomodação estrutural do preenchimento.

Hays e Matuk (2003) utilizam a referência da Escola Nacional de Obras Públicas da França para seleção granular para técnicas mistas. A classificação segue a seguinte regra aproximadamente 50% de areia fina, 30% de silte, e entre 7 a 19% de argila. Mas há ressalvas a estes índices:

- o silte é suscetível a variações de volume na presença de água, sem, no entanto, ter muita coesão, por isso não pode ser utilizado em alta proporção;
- a argila na presença de água sofre inchamento, dar preferência para as classificadas como pouco plásticas ou pouco ativas;
- para estes limites os pesquisadores recomendam índice de plasticidade entre 4 e 11%.

Nesta etapa de revestimento é muito importante o uso de estabilizantes para diminuir o processo de retração das argamassas de terra e melhorar o desempenho da parede.

Neves et al. (2009) comenta a adição de óleos vegetais e emulsões asfálticas nas argamassas tem o efeito de diminuir significativamente a permeabilidade, melhorando as condições de durabilidade.

A investigação da influência da estabilização e o tempo de permanência de retenção de umidade em argamassas de terra estabilizadas com cinzas volantes e carbureto de cálcio confirmam a sua capacidade de condicionamento passivo interno dos ambientes e melhor desempenho do que a maioria dos materiais de construção tradicionais, por exemplo: gesso e concreto (ARRIGONI et al., 2017).

Outros diferentes estabilizantes já foram testados em pesquisas experimentais como a cal viva, óleo de cozinha usado e hidróxido de sódio (EIRES et al., 2016). Esses três em

especial pela uniformidade de distribuição dentro da argamassa mostraram excelentes resultados para a redução da absorção de água e melhor desempenho na simulação de águas pluviais.

O uso de hidróxido de sódio e óleo de cozinha usado, individualmente ou simultaneamente, se torna vantajoso, pois aumentam a resistência à compressão da argamassa e reduz a absorção de água por capilaridade, já a cal viva e o aditivo (hidróxido de sódio e óleo de cozinha usado, individualmente ou simultaneamente) apresenta menor permeabilidade ao vapor de água.

O óleo de cozinha usado e de linhaça no revestimento de terra apresentaram presença de fungos e por essa razão as adições de óleo em banheiros ou locais sujeitos a umidade não é recomendado.

Como conclusão os pesquisadores comentam que as misturas com cal podem ser aplicadas em parede de terra (internas ou externas) e, as misturas de cal e óleo, podem ser aplicadas em paredes externas, podendo até mesmo ser dispensado o acabamento final em climas severos.

Assim sendo, a cal é utilizada como aglomerante básico no tratamento das superfícies porosas como as paredes de terra, devido a sua principal vantagem nas trocas de umidade entre as faces internas e externas do edifício.

A pesquisadora Kanan (2008) relata sobre as vantagens dos revestimentos a base de cal em paredes de terra:

- boa porosidade e permeabilidade, isto ocorre devido ao volume de poros grandes, os quais absorvem mais rapidamente a água, tem menor ascensão capilar e secam mais rápido, e atuam sobre o comportamento higroscópico, impedindo a condensação da umidade nos ambientes e a desagregação dos materiais pela cristalização dos sais no interior da parede;
- contribuem para a aparência e conservação do edifício, pois impedem a deterioração do esqueleto ao absorver a agressão das intempéries;
- flexibilidade, por sua resistência mecânica e processo de cura mais lenta;
- durabilidade, pois envelhecem sem provocar danos e possibilitam a manutenção periódica;
- inércia térmica.

A pesquisadora em sua investigação de argamassas antigas a base de cal aérea conseguiu determinar um traço, proporção do aglomerante e agregado, com volumes que variam entre 1:4 a 1:3 (cal, agregado), mas dependendo da função poderia ser mais rico em cal (1:2 a 1:0,5), com os agregados constituídos de

grande quantidade de finos, partículas menores que 0,075 mm, compostos de argilas, siltes, ou componentes hidráulicos, bem como proporções relativamente altas de grãos maiores que 4 mm (KANAN, 2008, p.38).

Para aplicação dos revestimentos, a superfície de suporte deve ser limpa, preenchida e depois umedecida. Kanan (2008) explica que não se deve aplicar uma camada de argamassa muito espessa de uma só vez, no máximo de 1,25 cm. O emboço pode ter espessura de 1,5 cm e as camadas de reboco com traços de areia e cal (1:1,5 a 1:0,5) entre 0,5 a 0,2 cm. Geralmente as camadas de reboco são de consistência mais fluida e aplicada com desempenadeira de metal ou com colher, alisando-as e comprimindo-as contra a parede.

No território brasileiro, a cal desde os tempos de colonização foi muito utilizada nas argamassas de revestimentos em edificações históricas. Somente a partir de 1950, que desaparecem as antigas fábricas de cal de conchas mais conhecidas como caieiras e surge a indústria da cal e do cimento (KANAN, 2008).

A produção do cimento é uma fonte poluidora por todo decorrer do processo produtivo desde a extração da matéria prima e a queima de materiais em fornos de alta temperatura com a emissão de gases de efeito estufa (MAURY, 2012).

O emprego do cimento na argamassa de revestimento pode ser danoso sobre argamassas de terra, pois tem aderência momentânea por suas diferenças de retração e coeficiente de dilatação (OLENDER, 2006).

Hays e Matuk (2003) incluem a utilização de diversos produtos orgânicos na argamassa de terra para o tratamento das superfícies objetivando melhorar a qualidade do material, entre eles: graxas, sabonetes, clara de ovo, sangue, leite azedo, látex vegetal e até urina de cavalo.

De acordo Garzón (NEVES e FARIA, 2011, p. 67) a receita tradicional para reboco em técnicas mistas é de “[...] 2% de areia grossa; 76% de areia fina; 13% de silte e 9% de argila, [...] 3% em massa [de fibras], que equivale aproximadamente a 1 parte de fibra para 30 de terra”.

A adição de fibras nos revestimentos também tem a função de incrementar a estabilidade e durabilidade. Olender (2006) comenta que o ideal é que as fibras tenham entre 4 a 6 cm e não sejam muito resistentes. Neves e Faria (2011) recomendam para o reboco inicial passar a terra por um peneira 5 mm e as fibras podem medir entre 5 a 10 cm de comprimento, e para o reboco final passar a terra por peneira malha 2 mm e as fibras não devem medir mais que 3 cm de comprimento.

Do mesmo modo, para melhorar as propriedades físicas e mecânicas das argamassas de terra, pode-se realizar a adição de esterco. Costa e Mesquita (1978, apud Lopes e Ino 1997) explicam que este material foi incorporado às ACT a partir da observação do pássaro João-de-barro.

Milanez (1958, apud Lopes, 2002) constatou que o solo utilizado pelo pássaro possuía cerca de 30% de areia e grande quantidade de fibra. Possivelmente as fibras e o esterco se decompõem e integram a argamassa de terra como matéria orgânica unificada.

Como acabamento final nas camadas de revestimentos com argamassas terra à base de cal é recomendada o uso da caiação. As pinturas minerais criam filme quase ínfimo, permitindo as trocas de umidade entre superfícies e não acumulando umidade no interior das paredes, enquanto as pinturas sintéticas geram um filme impermeabilizante sobre as mesmas (BEZERRA, 2010).

Conforme o código deontológico padrão do Zimbábue para estruturas de terra compactada (*STANDARDS ASSOCIATION OF ZIMBABWE – SADCSTAN/TC1 SC5*, 2001) a caiação⁹ têm combinações variadas com cola PVA, óleo de linhaça, cimento, areia e betume para reparar fissuras.

Os óleos vegetais (linhaça ou *karitè*) e a cera de abelha são mais utilizados para o acabamento de superfícies os quais secam em contato com o ar e são insolúveis à água, sem, no entanto impedir as trocas de umidade da parede com meio interno e externo (DA PONTE, 2012).

⁹ Pintura composta de cal hidratada com partículas muito finas e água. Quando houver coloração esta é dada por pigmentos e os aditivos usados tradicionalmente como óleo de linhaça, a caseína, a gordura animal, sabão, leite e outros (KANAN, 2008).

As tintas à base de solo também são utilizadas para a proteção das superfícies, além de baixo custo é uma opção as tintas industrializadas com a utilização de derivados de petróleo (MARTINS e ANDRADE, 2016).

d) Agentes de degradação

Nos estudos de Pascual (2004) e Henneberg de Léon (2012) as manifestações patológicas mais frequentes nessa técnica estão associadas aos revestimentos, pois ao ser mal executados deixam a estrutura e trama expostas aos agentes de degradação.

A presença de água na argila aumenta o volume do material, tornando a argamassa de terra trabalhável durante a manipulação, a qual posteriormente adquire rigidez e resistência no estado seco. A fragilidade do material está no momento em que a água evapora e contrai o volume aparecendo as retrações e gerando superfícies mal acabadas (DA PONTE, 2012).

Neves et al. (2009) salientam que a quantidade e o tipo de argila são responsáveis pelos movimentos de retração e expansão quando há variação de umidade. Nas paredes de terra, estes movimentos provocam fissuras, que podem gerar lesões internas e/ou superficiais, permitindo a penetração de água e a ocorrência de manifestações patológicas que, conseqüentemente, contribuem para a perda de resistência do material e a degradação da parede.

A análise das ações patológicas permite distinguir um conjunto de agentes de degradação, relevantes de serem analisados para atuar de forma eficaz (RODRIGUES, 2005). A seguir, as principais estudadas pela pesquisadora:

- ações mecânicas, podem provocar desde fissuras que permitem o acesso de água à trama e até mesmo a ruptura e colapso da parede. Dentre os mais graves estão àqueles relacionados aos efeitos de ação sísmica;

- erosão, causada pela ação da chuva, do vento com elementos em suspensão, dos seres vivos e principalmente dos sais hidrossolúveis higroscópicos. A presença destes sais ocorre em construções perto da orla marítima, em zonas com elevada poluição atmosférica ou onde tenha contaminação por dejetos de animais.

Os sais são transportados pela água e se cristalizam quando esta evapora, caso este processo for superficial ocorre a eflorescência e a degradação da pintura, se cristalizar antes de chegar à superfície, ocorre o destacamento e a degradação da trama;

- infiltração e absorção da água, sua origem ocorre pela presença da chuva, no terreno por ascensão ou pela ruptura de tubulações. Normalmente resultam em problemas de degradação por cristalização, fissuras pela dilatação/retração da terra e o desenvolvimento de vegetação parasitária;

- condensação de vapor de água, pode provocar umedecimento do material, entre a superfície interior em contato com o exterior, na interface interna entre materiais diferentes ou na espessura da argamassa. As consequências são degradação por desenvolvimento de fungos e bolores, redução do isolamento térmico, diminuição local da resistência mecânica e descolamento do revestimento.

Nessa técnica, geralmente, é comum as fissuras servirem de abrigo de insetos e/ou crescimento de plantas. Pelo código deontológico padrão do Zimbábue para estruturas de terra compactada (*SADCSTAN/TC1 SC5*, 2001), as fissuras no reboco não podem ter mais de 3 milímetros de largura e 75 milímetros de comprimento, e não deve exceder 20% do metro quadrado.

Outras manifestações patológicas foram estudadas, por Negreiros et al. (2012), com a técnica sendo utilizada para a construção e reforma de 300 moradias, localizadas no município de João Câmara, Rio Grande do Norte (Figura 15). O município é conhecido pela presença de abalos sísmicos.

Figura 15 - Habitação social, João Câmara/Rio Grande do Norte.



Fonte: Torquato apud Lopes (2002).

As paredes apresentaram danos estruturais no topo, nas aberturas, nos parapeitos de janelas e/ou na junção entre materiais, tais como terra e madeira.

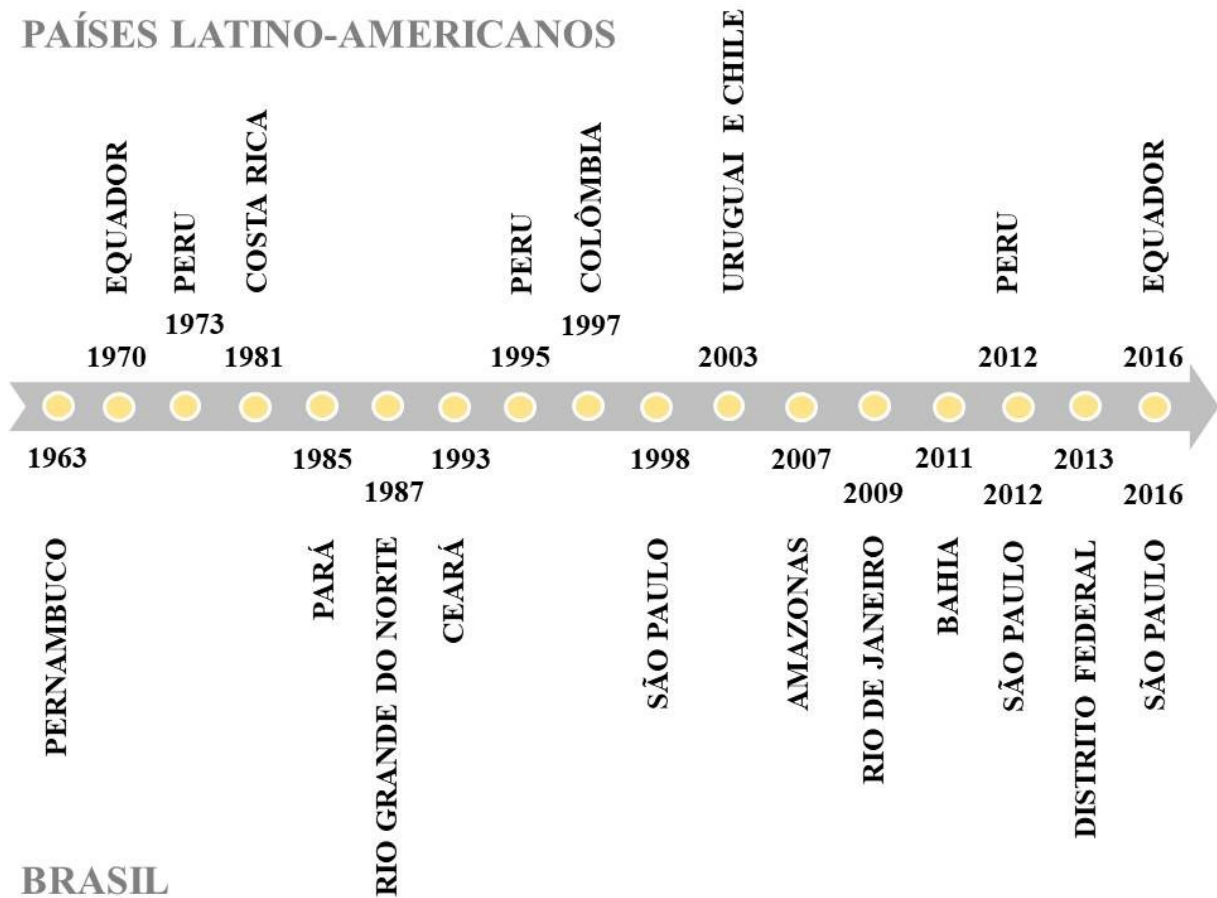
Os pesquisadores chamam atenção que a durabilidade não é apenas uma qualidade intrínseca de um material, mas reforçam que detalhes de projeto proporcionam maior proteção contra os fatores de degradação podendo aumentar a vida útil dos componentes.

São conhecidos três aspectos fundamentais para a conservação das construções com terra: um eficiente corte de capilaridade nas fundações; cobertura inclinada e com prolongamento de beiral; e, um revestimento que realmente proteja as paredes (RODRIGUES, 2005).

2.3 PAINÉIS DE VEDAÇÃO COM A TECNICA MISTA

A pesquisa bibliográfica feita com os principais estudos de painéis de vedação segue uma linha do tempo, separada no âmbito nacional e internacional (Figura 16).

Figura 16 - Linha do tempo com os principais estudos de painéis pré-fabricados de pau a pique.



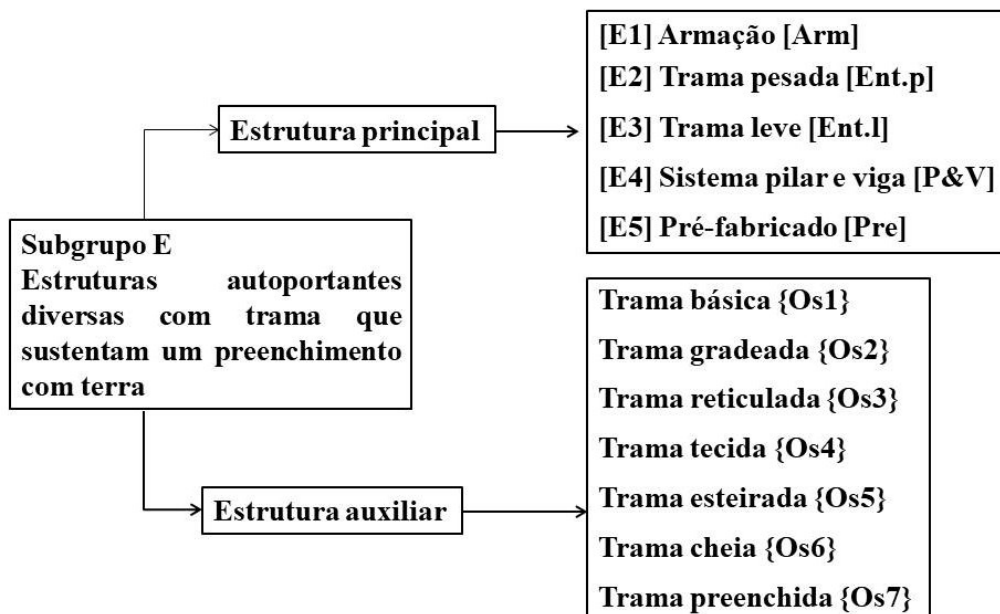
Os painéis também podem ser classificados de acordo com a sinopse da geoconstrução. Essa sinopse, criada em 2003 por Hays e Matuk, pelo *CYTED* - Projeto XIV *PROTERRA/HABYTED* de tecnologias para habitações de interesse social, apresenta as primeiras recomendações técnicas de edificação para as técnicas mistas.

Para a elaboração do manual foi realizada uma investigação minuciosa sobre as inúmeras técnicas mistas e seus procedimentos construtivos, sintetizados na sinopse da geoconstrução o qual permite distinguir três grandes grupos tecnológicos que utilizam a terra como material de construção:

- grupo I, técnicas de construção com terra não processada;
- grupo II, técnicas de construção com terra processada;
- grupo III, técnicas mistas de construção com terra processada.

No grupo III, destaca-se o subgrupo E onde se encontram as técnicas *quincha*, *bahareque* e pau a pique. Essas técnicas tem em comum uma estrutura principal [] sobre a qual conforma uma estrutura auxiliar {}, ambas geralmente de madeira e/ou bambu as quais servem como suporte para o preenchimento ou recobrimento a base de terra (Figura 17).

Figura 17 - Parte da sinopse da geoconstrução para técnicas mistas.



Fonte: Hays e Matuk (2003), traduzido pela autora (2019).

A nomenclatura para a estrutura principal e auxiliar serve para descrever de forma precisa e abreviada uma técnica mista. Por exemplo, quando for utilizada moldura pré-fabricada e painel modular com trama básica utiliza-se: ([Pre.Pm],{Os1}).

Ainda, é possível acrescentar outras codificações para uma moldura pré-fabricada e painel modular de madeira com trama básica de bambu utiliza-se: ([Pre.Pm/ma],{Os1/bu}).

É possível especificar ainda mais, incluindo outros dados, como exemplo, para uma moldura pré-fabricada e painel modular de madeira, com uma trama básica, rala, e com elementos dominantes horizontais em bambu, temos ([Pre.Pm/ma],{Os1.ra.H/bu}).

No Quadro 2, seguem as abreviações mnemônicas da sinopse da geoconstrução, somente àquelas mencionadas nesta pesquisa.

Quadro 2 - Abreviações mnemônicas da sinopse da geoconstrução.

ma	madeira
bu	bambu
pm	painel modular
jun	trama junta (sem espaçamento)
ral	trama rala (entre 7 a 20 cm)
Hv	trama de elementos horizontais entre elemento vertical
HvH	trama dupla horizontal entre elemento vertical
Vh	trama de elementos verticais entre elemento horizontal
HV	trama de elementos horizontais e verticais
D-D	trama dupla de elementos diagonais

Fonte: Hays e Matuk (2003), traduzido pela autora (2019).

A apresentação da pesquisa de painéis de vedação segue com base na ordenação cronológica, na diferenciação no âmbito nacional e internacional e necessariamente com componentes de bambu e/ou terra.

Também se destacam, conforme os objetivos específicos dessa pesquisa, os principais resultados para:

- caracterização dos componentes;
- inserção do painel no sistema construtivo;
- desempenho, no caso do painel ter sido submetido a ensaios.

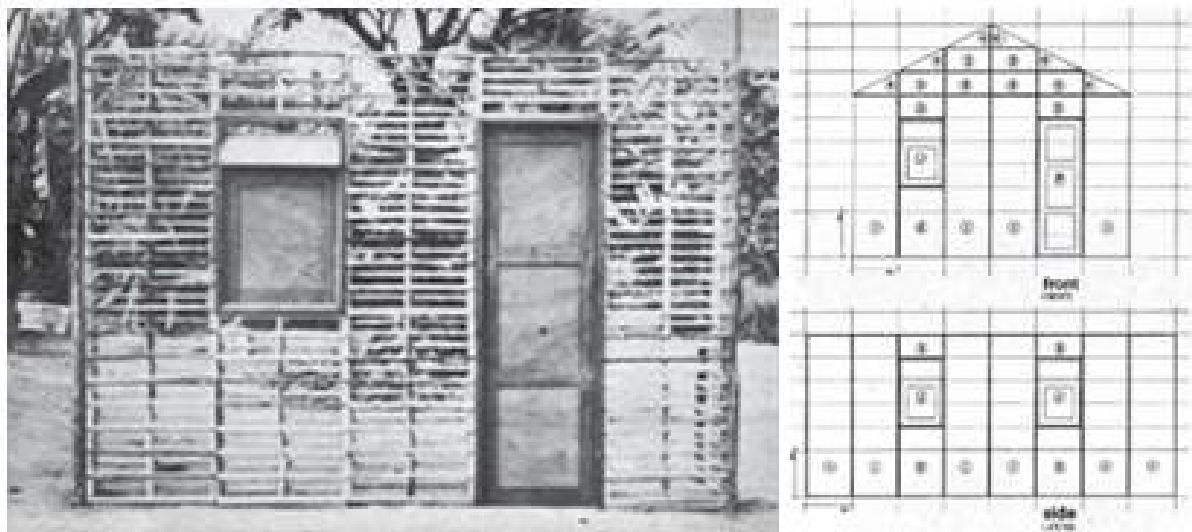
2.3.1 Brasil

Os principais estudos desenvolvidos no Brasil com emprego de painéis pré-fabricados de pau a pique iniciaram entre os anos de 1930 e 1940, quando ocorre o retorno do interesse pelas técnicas de construção com terra em diversos países.

Pinheiro et al. (2016) destacam, no cenário nacional, o arquiteto Lúcio Costa que projetou a Vila Operária de Monlevade em 1936, com uso de paredes de pau a pique nas habitações mas o projeto não foi executado.

Já o arquiteto Acácio Gil Borsoi executou um conjunto habitacional com pau a pique racionalizado, o Cajueiro Seco, Jaboatão/Pernambuco em 1963, que inspirou, em 1975, o projeto habitacional Camurupim em Propriá/Sergipe, da arquiteta Lina Bo Bardi (Figura 18).

Figura 18 - Painel pré-fabricado com pau-a-pique, Cajueiro Seco/Pernambuco.



Fonte: BIERRENBACH (2008).

Novamente, em 1985, a técnica recebe atenção com a publicação do manual *Taipa em painéis modulados* (CEDATE, 1985) sendo novamente pesquisada por Bayer, no ano de 2010. O sistema construtivo, testado na construção de habitações na área rural da região de Carajás/Pará foi, posteriormente, adaptado a Escola Rural Olhos d'Água do Distrito Federal.

A pesquisa gerou um caderno com o sistema construtivo de painéis pré-moldados sob uma ótica desmistificadora. Esse caderno mostra o significado e a importância da

reinterpretação da técnica tradicional, aperfeiçoando-a e racionalizando-a, de forma a corrigir os problemas comuns de sua má utilização, permitir seu emprego em larga escala, aproveitar a terra - material mais abundante em nosso território -, aproveitar resíduo de serraria, reduzir tempo de construção e favorecer a autoconstrução.

O processo construtivo se constitui de dois momentos básicos, na marcenaria e, a construção no canteiro de obras. A elaboração dos painéis com moldura e trama de madeira serrada utilizou três tipos básicos com 1 m de largura por 2 m de altura, justificando melhor versatilidade, maior resistência mecânica e resultado visual.

Outro momento importante com a técnica mista ocorreu em 1985, com a execução de habitações de interesse social cujas paredes foram construídas com painéis pré-moldados de três tipos de painéis (painel tipo, painel peitoril e painel bandeirola) com modulação de 0,65 m e painel empena (triangular) (LOPES, 1998).

Após 1990 ocorreram os primeiros estudos de painéis com trama de bambu os quais apontam parâmetros específicos na forma da utilização da técnica mista, também em paredes de vedação externa, e na forma de projetar, alvo de interesse nesta pesquisa.

a) Ceará, 1993

Lopes e Ino (1997) e Lopes (1998 e 2002) relatam detalhes na residência Serra Azul localizada em Maracanaú/Ceará, com a responsabilidade técnica de Alain Hays e Silvia Matuk. Os painéis foram elaborados com moldura de madeira fixada com pregos e a trama tecida, junta, com tiras verticais de bambu entre elementos horizontais, sendo fixada a estrutura de madeira por simples tensão.

Os painéis foram fixados entre pilares de madeira com seção quadrada 10 x 10 cm localizados nos cantos e nas extremidades livres da construção, e para o bloco hidráulico (banheiro e cozinha) substituído pelo tijolo cerâmico furado (Figura 19a).

O preenchimento foi aplicado em duas camadas de mistura de terra, fibra e água pisada para completa homogeneização e deixada em descanso por 48 horas. Para o emboço, aplicou-se uma camada feita com areia grossa e cal, e para o reboco uma mistura de cal, cimento e areia. O cimento apareceu apenas nas paredes externas sujeitas aos ventos e à chuva.

b) São Paulo, 1998

O Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade – HABIS construiu duas unidades experimentais de habitação de interesse social utilizando a técnica para fechamento de paredes de vedação externas com 10 cm de espessura. A proposição destas Unidades Experimentais 001 e 002, com 2 e 3 pavimentos, despertaram atenção para o fato de que é possível trabalhar de forma inovadora e barata desde que se tenha a disposição para questionar espacialidades, materiais e técnicas construtivas convencionais.

A Unidade 002 foi construída em 1998 e utilizou para composição das paredes trama pré-fabricada de madeira de pinus do tipo básica, dupla, rala, com tiras na direção horizontal presa a elementos verticais. Para o preenchimento manual utilizou-se a mistura de fibras (coast-cross, 5 a 10 cm de comprimento) e terra argilosa e tomou-se o cuidado de fazer ranhuras com as pontas dos dedos para facilitar a posterior aderência do emboço. (Figura 19b)

Os pesquisadores Tramontano e Requena (2000) comentam que a intenção de pré-fabricação levaram-nos a pensar em dispor o painel já preenchido na obra, mas testes em modelos revelaram dificuldade em manusear os painéis devido ao excesso de peso.

c) Amazonas, 2007

Ao total foram confeccionados 9 tipos de painéis, com as instalações hidráulica e elétrica embutidas, na construção de 8 casas geminadas na Vila Ecológica Protótipo – VilaEco, sede da Reserva Florestal Adolpho Ducke, em Manaus/Amazonas. Sá Ribeiro (2008) comenta que a moldura de madeira tem origem de manejo florestal.

A montagem da trama de bambu, básica, rala, com tiras na direção horizontal presa a elementos verticais ocorreu posteriormente no local. A espécie utilizada *Bambusa vulgaris*, com colmos em idade média de quatro anos, foi tratada pelo método de boucherie e as tiras pelo método de imersão. Ambos os métodos utilizaram uma solução preservativa atóxica, com ácido bórico. As peças de bambu e madeira foram secas no secador solar do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA até atingirem o teor de umidade de equilíbrio.

O preenchimento das paredes ocorreu com uma mistura de solo com alto teor de argila (oriundo das escavações da obra) e partículas de bambu, a fim de produzir um material mais leve e mais estável (Figura 19c). Após a cura, foi aplicado o chapisco 1:3 (cimento,

terra), depois o emboço 1:6 (cimento, terra) tipo massa única, desempenado, e por fim, a tinta à base de cal ou borra de carbureto (refugo industrial).

d) Rio de Janeiro, 2009

Xavier (2009) relata seus experimentos com painel de vedação triangular composto de moldura de madeira, trama gradeada, rala, dupla com elementos diagonais de tiras de bambu e diversos tipos de revestimentos. O pesquisador argumenta sobre a importância da etapa de secagem do bambu, pois a umidade intrínseca ao colmo recém-colhido provoca no acoplamento com a argamassa a proliferação de fungos que contribuem para o destacamento. Essa manifestação patológica é menor na parte externa do colmo devido a grande impermeabilidade da parede formada pelo silicato de cálcio.

Dois painéis triangulares como corpo de prova foram desenvolvidos, no Laboratório de Investigação em Living Design – LILD do Departamento de Artes e *Design* da PUC/Rio de Janeiro. No primeiro painel as tiras ficam encostadas nos cruzamentos e na segunda foram distanciadas por um espaçador (Figura 18c).

Após um ano de exposição ao ambiente do LILD, ocorreram fissuras em ambos os painéis, enquanto o maior destacamento de argamassa ocorreu na trama sem espaçador. Salienta que não utilizou fibra na argamassa para melhor visualizar o acoplamento entre esta e o bambu. O painel sem espaçador obteve uma superfície mais homogênea e com menor quantidade de argamassa e por consequência mais leveza, já o painel com espaçador possibilitou melhor aderência da argamassa e menor retração.

e) Bahia, 2011

Silva (2011) em sua dissertação traz princípios norteadores para o desenvolvimento da modulação do painel conforme normas brasileiras, com $M = 10$ cm; tolerância dimensional (diferença entre dimensões máximas e mínimas admissíveis); tipificação (usando o menor número possível de tipos de painéis); e, os parâmetros de projeto [painéis abertos ou fechados, conforme NBR 5.731 (ABNT, 1982)].

Além disso, na pesquisa foram elaborados corpos de prova de painéis sem moldura e trama básica, rala, dupla horizontal entre elementos verticais de *Bambusa vulgaris* para análise da durabilidade do bambu dentro da argamassa de terra. A análise ocorreu entre seis

meses e 3 anos, no município de Mucugê e Escola Politécnica/BA, com resultados interessantes a serem ressaltados.

Nas tramas confeccionadas com pregos, após a secagem, apareceram fissuras. Essas fissuras interferiram nos resultados dos ensaios de resistência à compressão, com valores mais baixos do que os painéis que não estavam perfurados. A resistência à compressão dos bambus *in natura* diminuiu proporcionalmente ao ataque das brocas, mas não pelo ataque do fungo, quando retirados no meio do colmo, a 150 cm do nível do solo.

No estudo se recomenda o uso do bambu ainda verde para a trama e espaçamento de 15 x 15 cm por facilitar a aplicação do preenchimento. Para a elaboração do preenchimento e argamassa de revestimento a pesquisadora traz laudos laboratoriais de caracterização do solo como a composição granulométrica por peneiras (36% argila, 12% silte, 50% areias e 2% pedregulho) e o índice de plasticidade (9%). A argamassa de revestimento feita com o traço em volume 2:3:10 (cal, areia e terra) se mostrou eficiente como solução viável para cobrir as fissuras de retração do preenchimento (Figura 19e).

f) São Paulo, 2012

Essa experiência relata a confecção de protótipos de painéis dentro da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU/USP para o estudo de caso no Vale do Ribeira. O estudo seguiu familiaridade na cultura construtiva do local estilo cabana caiçara com apenas um pavimento (NOIA, 2012).

Para estudo foram elaborados 2 painéis experimentais um com 90 x 90 cm, e outro com 70 x 235 cm, ambos com molduras de madeira e a trama tecida, junta, com tiras horizontais entre elementos verticais de *Bambusa tuldoide*. O beneficiamento do bambu seguiu a norma colombiana¹⁰, com os colmos cortados inicialmente no tamanho do painel (90 e 235 cm) e depois divididos em tiras, com a retirada do parênquima, com uma faca radial. Por fim, receberam tratamento por imersão com solução de octaborato de sódio por 3 semanas, passando depois para secagem e utilização.

¹⁰ Normas Colombianas para o processo de tratamento e construção com *Guadua angustifolia* Kunt: NTC 5300 – Cosecha y Poscosecha de los culmos, NTC 5301 – Preservación y secado del culmo e NTC 5407 – Uniones de estructuras.

O controle e agilidade na montagem dos painéis ocorreram com a utilização de um gabarito de compensado. A trama foi previamente perfurada com broca, para evitar fissuras e amarrada com arame recozido. A pesquisadora salienta que o uso de tira permite boa resistência mecânica e flexibilidade, porém é necessário o aperfeiçoamento nos arremates para a colocação da argamassa nas extremidades do painel.

Os painéis foram fixados na estrutura roliça com braçadeiras metálicas para serem posteriormente argamassados. As recomendações para estudos futuros dizem principalmente quanto à avaliação da eficiência do sistema construtivo sob os aspectos de conforto, durabilidade e manutenção (Figura 19f).

g) Distrito Federal, 2013

Em seus estudos na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília/DF, Teixeira (2013) propõe painéis dentro de um sistema construtivo para habitação econômica com apenas um pavimento. Os corpos de prova foram confeccionados com moldura de *Dendrocalumus giganteus*, trama básica, junta, horizontal entre elementos verticais, de *Bambusa tuldoides* e argamassados com base cimentícia.

Os corpos de prova com dimensões de 60 x 60 cm foram submetidos à avaliação da durabilidade, por meio de avaliações visuais, ensaios físicos de umidade e densidade, e mecânicos como a resistência à compressão flexão e aderência da argamassa de revestimento (Figura 19g).

Pelo fato de que, a cada ciclo de molhagem e secagem, proposto pelo ensaio de envelhecimento acelerado baseado na Norma NBR 13.554 (ABNT, 1996), justificou-se a dimensão reduzida do painel para obter leveza, fácil manuseio e para acomodação na estufa. A pesquisadora coloca que a estanqueidade é um dos principais problemas a serem solucionados em painéis com colmos de bambu, pois devido ao formato cônico e irregular, pode apresentar frestas. Por este motivo e para maior segurança estrutural ao conjunto e aumento da durabilidade do bambu, foi aplicada a argamassa de revestimento para evitar a entrada de ar, água e insetos.

Para melhor aderência da argamassa é indicado que a superfície do bambu seja lixada criando micro ancoragens entre o colmo e o revestimento. Já na parte interna, côncava, formada pelo tecido parenquimatoso, a aderência do revestimento é maior, principalmente pelo formato e por ser rico em amido.

Os resultados mostraram que a vida útil do painel de bambu se aproxima da estimativa empírica de 10 a 15 anos, no entanto, deve considerar que estes não foram submetidos a procedimentos de preservação e imunização tradicionais, o que levaria a um aumento de sua vida útil.

h) São Paulo, 2016

A pesquisa foi realizada, na UNESP/Bauru, com o desenvolvimento de um sistema construtivo com 4 painéis modulares: cego, porta e janela; dimensões iguais de 14 x 280 x 20 cm, respectivamente largura, altura e espessura; e painel conector com 70 cm de largura (SANTOS, 2016).

Os painéis possuem moldura com colmos de *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis* e *Bambusa tuldoides*, e trama com tiras de *Bambusa oldhami* tipo esteira vertical na face externa e de *Bambusa tuldoides* tipo tecida horizontal na face interna (Figura 19h).

Para testes de revestimentos de terra com composições variadas foram elaboradas 6 tramas tipo esteirada menor (50 x 50 cm, respectivamente a altura e comprimento). No teste 1, 3 e 5 foi aplicada caiação sobre as tiras de bambu, depois a primeira camada com solo-cal e a segunda, com *CALFITICE*¹¹.

Para o acabamento final o teste 1 e 2 recebeu tinta solo na proporção 4:1:4 (terra, água, cola branca), no 3 e 4, cal para pintura com baba de cacto palma, e no 5 e 6, pastilhas e resíduos de cerâmica com argamassa específica para assentar e rejuntar as pastilhas cerâmicas. Com os registros fotográficos se identificaram as manifestações patológicas ocorridas nas esteiras. Conclui-se que o emprego da caiação demonstrou mais efetivo do que as esteiras sem cair.

¹¹ Sigla em espanhol que utiliza as iniciais dos materiais que compõem certo tipo de argamassa cuja proporção em volume é 2:5:10:1 (cal, fibra, terra e cimento). Esta argamassa teve como mentor o engenheiro colombiano Luiz Carlos Rios Gallego.

Figura 19 - Painéis técnica mista com trama de bambu e madeira, no Brasil.



a) Residência Serra Azul,
Maracanaú/Ceara



b) Unidade experimental 002,
USP/São Carlos/São Paulo



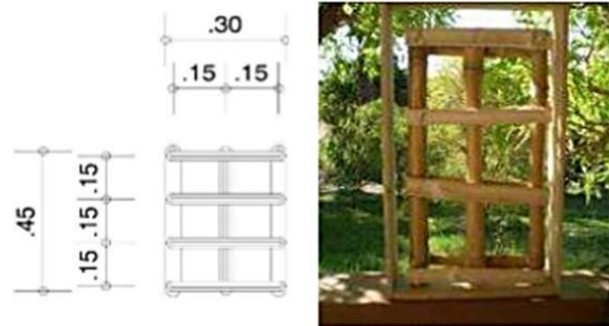
c) VilaEco,
Manaus/Amazonas



d) Trama com espaçadores entre as tiras de bambu e painel após ensaios, LILD, PUC/Rio de Janeiro

Fonte: Hays e Matuk 1993 apud Lopes (2002) a; Tramontano e Requena (2000) b; Sá Ribeiro (2008) c; Xavier (2009) d.

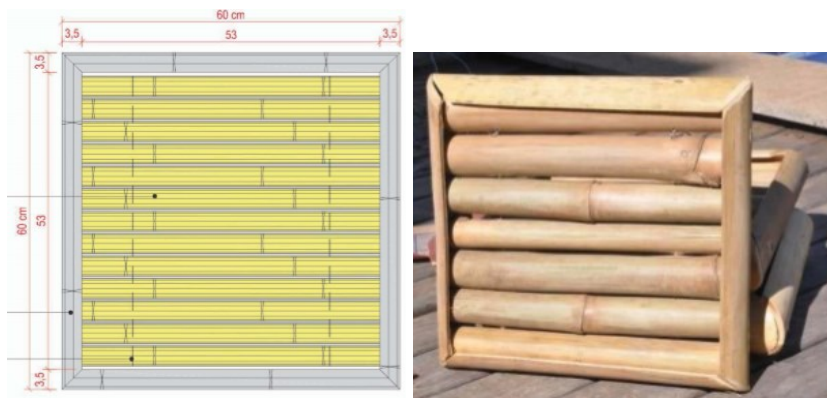
Figura 19 - Continuação...



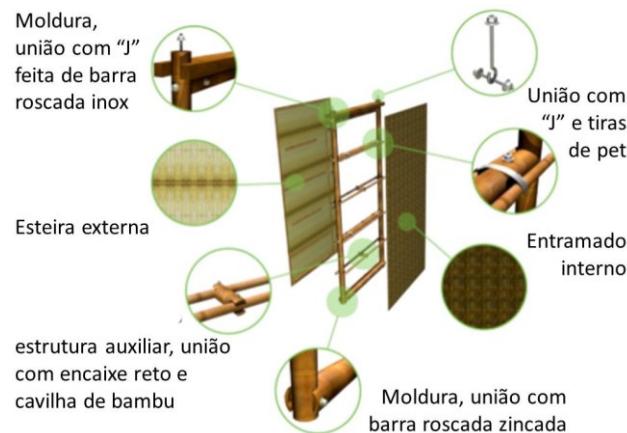
e) Corpo de prova Mucugê/Bahia



f) Painel grande e disposição final na estrutura. FAU/USP



g) Corpos de prova antes de serem submetidos à argamassa de revestimento com base cimentícia, FAU/DF



h) Componentes do painel modular tipo cego, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação/UNESP

Fonte: Silva (2011) e; Noia (2012) f; Teixeira (2013) g; Santos (2016), adaptado pela autora (2019) h.

2.3.2 América Latina

A pesquisa bibliográfica elucidou que em outros países da América Latina a confecção de painéis com trama em bambu ocorre a partir do ano de 1970 para a construção de habitações emergenciais e de interesse social.

O projeto *Viviendas del Hogar de Cristo*, da *Fundação Hogar de Cristo*, no Equador, desenvolve desde 1970 a construção de habitações emergenciais para população de baixa renda atingida por terremoto (TEIXEIRA, 2006).

Os painéis são executados com processo de produção artesanal para a moldura de madeira e trama de bambu do gênero *Guadua*, os quais são fixados com uso de grampos, pregos ou arames, sem preenchimento de argamassa.

Bariola (1995, apud Lopes, 1998) comenta o uso de painéis tipo *quincha* na Comunidade Urbana Autogestionária da *Villa El Salvador*, em Lima, Peru, a partir do ano de 1973 para habitações e obras comunitárias em uma região com poucos recursos.

Também, na Costa Rica a confecção dos painéis autoportantes foi iniciada no ano de 1981, e desenvolvida para produção de casas econômicas dentro do Projeto Nacional do Bambu/Costa Rica (TEIXEIRA, 2006). Porém esse programa funcionou por pouco tempo com a construção de aproximadamente 100 moradias e foi paralisado por falta de fundos.

Somente após o ano de 1995 ocorrem os primeiros estudos com painéis com moldura e trama de bambu argamassados, propiciando ao surgimento das primeiras normas: no ano de 1997 na Colômbia; 2012 no Peru; e, 2016 no Equador.

a) Peru, 1995

Foram elaborados, no Laboratório de Estruturas PUC/Peru, três ensaios nos painéis tipo *quincha* autoportante e pré-fabricada a fim de determinar a segurança quanto aos abalos sísmicos em construções com dois pavimentos. (TORREALBA, 1995, apud LOPES, 1998)

O manual propõe soluções para a ancoragem das paredes na fundação, a união entre paredes e ligações, a fim de diminuir os custos de materiais, de produção, e a ampliação da vida útil do painel.

Apenas no terceiro ensaio, com a inserção de estrutura metálica entre o térreo e o primeiro pavimento foi possível obter grande resistência mecânica e rigidez. Os painéis foram compostos de moldura em madeira com trama de tiras de bambu, tecida, junta, em ambos os sentidos horizontal e vertical (Figura 20a).

Flores (2003) comenta que foi produzido um manual a partir de linhas de pesquisa com protótipos de vários módulos, inclusive com soluções para o módulo úmido.

b) Colômbia, 1997

As normas sísmicas colombianas com requisitos mínimos para desenho e construção de habitações de um e dois pavimentos teve sua primeira versão no ano de 1984.

Somente em 1997 a nova Norma de Desenho e Construção Sismo Resistente NSR-98, promulgada pela Lei 400, ganhou requisitos adicionais para o Título E sobre o desenho simplificado e construção de habitações de um e dois pavimentos de *bahareque* argamassados com cimento (AIS, 2012).

Para facilitar o uso da norma foi criado um manual, o qual contou com uma investigação científica cuidadosa, para o desenvolvimento de um sistema construtivo com painéis estruturais ou não e detalhes como a montagem dos painéis, alguns tipos de conexões, tais como com o piso e a cobertura.

O painel no manual é constituído por duas partes principais: trama e revestimento. A trama é formada por uma moldura de madeira ou bambu, com viga superior e inferior, e pilares conectados entre si com pregos ou parafusos. Podem ser adicionadas outras peças diagonais no caso de painel estrutural. O revestimento é aplicado sobre malha metálica a qual está presa em uma esteira de bambu ou placa de madeira, ambas no sentido horizontal (Figura 20b).

É recomendado construir as vigas, superior e inferior, em madeira serrada, pois este material permite uniões mais rígidas e menos suscetíveis a esmagamento como ocorre com os colmos de bambu.

c) Uruguai, 2003

Em 2003 as arquitetas Rosario Etchebarne e Gabriela Piñeiro desenvolveram painéis de vedação de *fajina* (termo que substitui o termo pau a pique no Uruguai) para unidades residenciais junto da Cooperativa Vaimaca em Montevideo (ETCHEBARNE, 2003).

Este projeto foi realizado pelo *Programa de Desarrollo Tecnológico – PDT* o qual está focado na concepção e transferência de tecnologias, e contou com a colaboração do

Laboratório de Ensaios de Aberturas e Fechamentos da Universidade da República e da *Unidade Regional de Estudos e Gestão do Habitat – UREGH*.

O objetivo da pesquisa foi verificar a eficiência dos painéis como construção de baixo custo, do ponto de vista da durabilidade, isolamento térmico e acústico.

Os painéis externos consistem numa moldura de madeira, trama básica, rala, com tiras de bambu no sentido horizontal presas a elementos verticais e preenchimento de terra. A montagem destes painéis ocorre de forma direta sobre a viga baldrame de pedra com barras de aço de 8 mm dispostas a cada 80 cm para ancoragem (Figura 20d).

No preenchimento, elaborada com solo argiloso em estado plástico, foi adicionada fibra úmida deixadas entre 3 e 5 dias na água, para ter mais flexibilidade e maior aderência. Depois de misturada com os pés, a massa repousou por 2 dias.

As proporções utilizadas para cada camada foram: primeira 4:1 (terra, fibra); segunda 4:2:1 (terra, esterco, areia grossa); terceira 2:1 (esterco, areia - mistura A); e, por fim, quarta 4:1 (mistura A, limão).

Os painéis foram submetidos a diferentes testes destrutivos e não destrutivos do IPT/SP, como: ensaio de permeabilidade a água, determinação da estanqueidade de paredes externas, teste de penetração de águas pluviais e ensaio de impacto de corpo mole; porém não se obteve o acesso aos laudos.

d) Chile, 2005

Em um projeto demonstrativo contemporâneo no vale de *Elqui*, na região de Valparaíso, a técnica mista foi utilizada na construção de diversas edificações entre os anos de 1995 a 2005.

A escolha pela técnica ocorreu pela tradição na cultura construtiva, uso de materiais locais, acessível economicamente, por oferecer qualidade estrutural e flexibilidade.

O painel foi executado com moldura de pinus, devidamente processado e dimensionado, trama tecida, junta, com tiras de bambu no sentido vertical presas a elementos horizontais. A montagem foi feita com chapas metálicas devidamente calculadas sob as regras de resistência a terremotos do país e para suportar o peso de até um metro de neve, acontecimento eventual na região (Figura 20c).

O preenchimento com terra foi executado com saberes regional.

Garzón (2013) avalia que a *quincha* pré-fabricada é parte de um sistema que fornece condições térmicas semelhantes aos sistemas construtivos convencionais. Mas sugere melhorias nos componentes construtivos para proporcionar melhores resultados.

e) Peru, 2012

Neste país, a partir de 2012, também estabelece as diretrizes técnicas para a concepção e construção de edifícios sísmo resistentes com painéis de vedação de bambu de *Guadua ssp* (UBIDIA, 2015). A Figura 20e mostra apenas um tipo dos dois apresentados pela norma, esses possuem mais detalhes do que na norma colombiana NSR-8, descrita anteriormente.

Os painéis são parte de um sistema construtivo com estrutura principal em madeira e/ou bambu com trama tecida de tiras de bambu a qual recebe revestimento com argamassa de terra e fibra e depois acabamento final.

A norma define que 4 tipos de painéis segundo a aplicação da trama: *quincha*, *ipirti*, *romero* e outros de várias composições. O *IPIRTI* é um painel de vedação originário da Índia, e teve destaque nessa pesquisa porque possui muita semelhança com a cultura de pau a pique no Brasil. Sua moldura é executada com bambu e trama gradeada, rala, horizontal-vertical com tiras também de bambu.

Para a confecção das tiras da trama a norma indica o uso de um conjunto de lâminas intercambiáveis, e posteriormente a limpeza a mão.

A execução desse painel segue alguns passos. A viga baldrame deve possuir altura mínima 15 cm acima do solo. As instalações passam pelo piso, as elétricas podem ser embutidas e no caso de corte do bambu não exceder 1/5 de seu diâmetro, e as hidrossanitárias não podem ser incorporadas dentro dos elementos estruturais.

Segundo esta norma, tanto para o sistema estrutural como para a moldura as uniões dos bambus devem ser diferentes em relação às madeiras. O uso de pregos e arames deve ser limitado, porque os primeiros causam fendas e os segundos não são resistentes. As uniões devem ser feitas com entalhes e montagens tradicionais, elementos metálicos e recheio de concreto. Para a fixação da trama, a estrutura principal é perfurada para receber cavilhas de madeira.

Posteriormente é inserida a tela metálica (tipo malha de galinheiro) amarrada com arame galvanizado nº18, na qual é aplicado o revestimento feito com o traço 1:3 (cimento, areia).

A norma recomenda também revestimento com uma mistura de esterco, terra e fibra, e também permite a incorporação de seiva de cactos e fibras com comprimento maior de 10 cm.

A argamassa deve ser aplicada com 2 cm de espessura, deixada para secar por uma semana protegida da incidência do sol e da chuva e cuidando com as atividades de impactos neste período. No reboco final utiliza-se a fibra indiretamente, e o traço sugerido é 1:2 (esterco, terra com 70% areia + 30% argila), podendo ser aplicada a caiação para aumentar a proteção.

f) Equador, 2016

Anos depois, surge a Norma Equatoriana *NEC-SE-GUADUA*, a qual foi desenvolvida sob a coordenação do *Ministerio del Desarrollo Urbano y Vivienda* integrado a diversos setores governamentais e instituições de ensino superior (*MIDUVI, 2016*).

Esta norma propõe a busca da qualidade de vida dos usuários e contribui para uma cultura de segurança e prevenção na construção, princípios básicos similares à norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013).

A norma determina que os painéis sejam executados com moldura de bambu e/ou madeira com trama de tiras ou esteira de bambu, fixadas com uso de grampos, pregos ou arames no sentido horizontal aos elementos verticais (Figura 20f).

Assim como na norma peruana, é recomendado o uso de vigas superior e inferior com os colmos de bambu, ao contrário da norma colombiana. Para a confecção dos painéis, a norma recomenda a pré-fabricação dos colmos de bambu com no máximo de 3 m de comprimento e 3,5 m de altura, pois com dimensões maiores teria maior peso dificultando o transporte e execução na obra.

Para os colmos intermediários é indicado vão de 60 cm, e nos cantos extremos colmos diagonais com encaixe tipo bico de flauta para mais rigidez ao painel. A estrutura pode ser modificada segundo a inserção de portas e janelas.

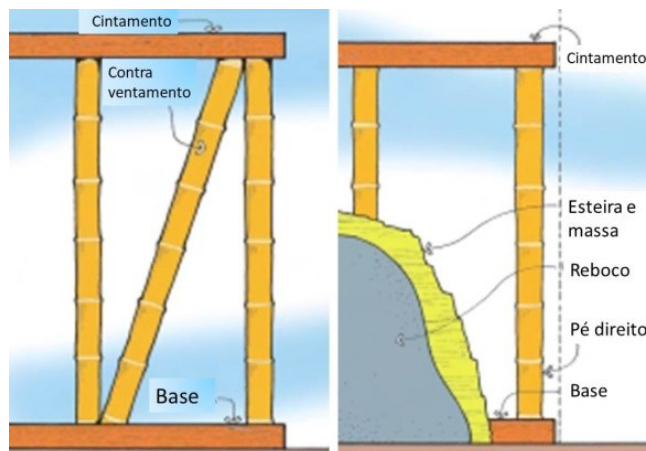
Para união entre os elementos verticais e horizontais a norma recomenda encaixe tipo boca de peixe com parafusos para ancoragem. E, para não provocar fendilhamento, as tiras devem receber uma pequena incisão em forma de cruz.

A norma indica que os revestimentos podem ser colocados por apenas uma das faces ou por ambas as faces sobre trama tipo esteira de bambu. As esteiras devem estar secas e tratadas, com o tecido parenquimatoso para o exterior. Estas são fixadas com pregos de 38 mm (1½”) amarrados com arame galvanizado n° 18.

Figura 20 - Painéis técnica mista com trama de bambu, na América Latina.



a) Painéis tipo *quincha* autoportante e pré-fabricada, Laboratório de Estruturas PUC/Peru



b) Componentes do painel não estrutural cimentado. Lei 400, NSR-98, Colômbia



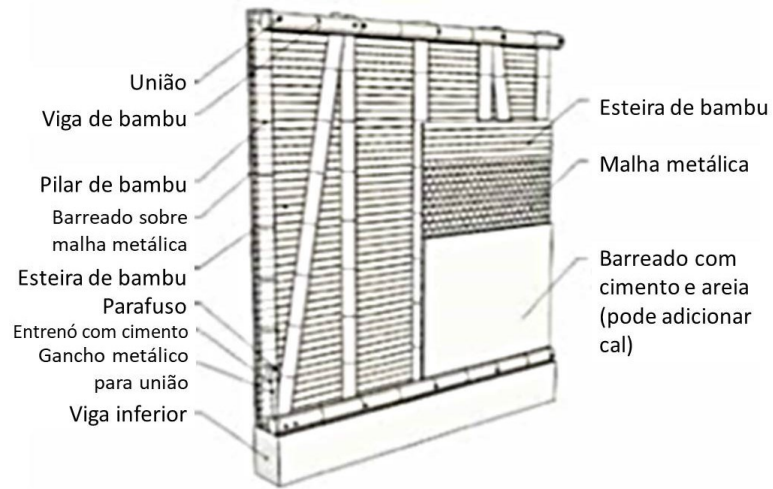
c) Detalhes dos painéis externos e internos habitação Cooperativa Vaimaca/Uruguai



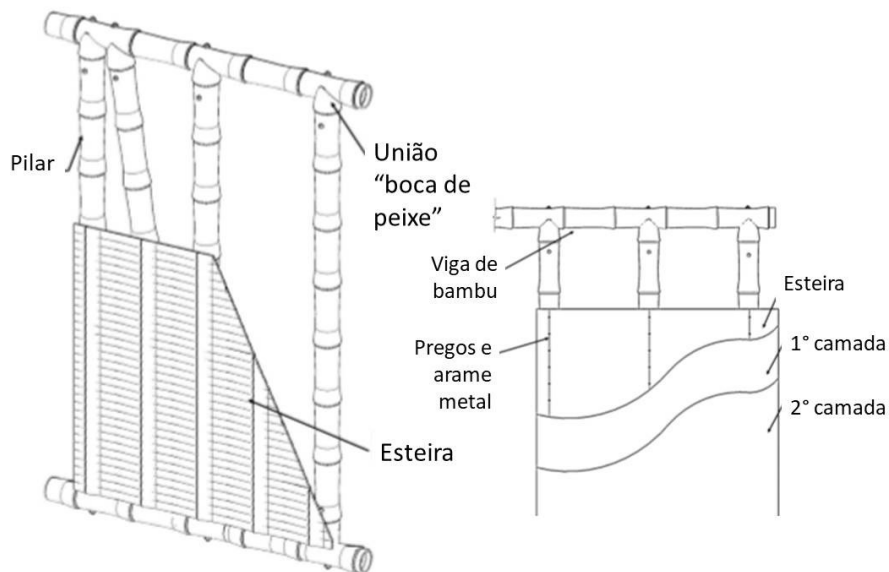
d) *Quincha* prefabricada em Pueblo Artesanal de Horcón, Chile

Fonte: Torrealba (1995), apud Lopes (1998) a; AIS (2012), traduzido pela autora (2019) b; Etchebarne (2018) c; Garzón (2013) d.

Figura 20 - Continuação...



e) Pannel de vedação – Tipo 2, modelo *IPIRTI* da norma peruana E.100. Detalhe das cavilhas de madeira unindo a trama à estrutura principal do pannel



f) Pannel estrutural da norma *NEC-SE-GUADUA*, Equador

Fonte: Ubidia (2015), traduzido pela autora (2019) e; *MIDUVI* (2016), traduzido pela autora (2019) f.

2.4 PAINÉIS DE VEDAÇÃO E AS NORMAS BRASILEIRAS

A função principal de um elemento de vedação vertical é a de delimitar espaços. As vedações são caracterizadas como um dos principais subsistemas das edificações e servem de suporte e proteção às instalações prediais criando condições de habitabilidade e segurança.

Os painéis de vedação são aqueles projetados e solucionados para substituir as alvenarias numa construção, podendo ser autoportantes ou não, isolantes acústicos ou não, e isolantes térmicos ou não, mas sempre estanques à umidade e à chuva. (RAMOS, 1997 apud VON KRÜGER 2000, p. 6).

De acordo com Teixeira (2006, p. 18) “[...] a parede ou a alvenaria tradicional é o elemento de vedação externa e interna mais usada no Brasil”, porém outras inovações tecnológicas de materiais e processos construtivos com painéis surgem no cenário nacional em busca a não agressão ao meio ambiente e utilização de recursos naturais renováveis de maneira eficaz.

No processo de desenvolvimento de produtos, identificar as funções que o painel deve desempenhar baseado nas exigências de seus futuros usuários é fundamental para o sucesso do produto no mercado. Esse tema é abordado pela norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), a qual tem como objetivo avaliar o desempenho de edificações habitacionais, independente da solução técnica utilizada com enfoque nas exigências dos usuários “[...] quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos”. (GIORGI et al., 2018)

Quando submetidos à NBR 15.575, Parte 4 (ABNT, 2013) os Sistemas de Vedações Internas e Externas - SVVIE devem cumprir exigências conforme a seguir.

a) Sustentabilidade

- Durabilidade: as vedações devem ser capazes de resistir aos ciclos de exposição ao calor e resfriamento a que estão sujeitas ao longo de sua vida útil, igual ou maior que 40 anos para vedação vertical externa, e igual ou maior que 20 anos para vedação vertical interna;

- Manutenibilidade: manter manutenções preventivas, sem que as falhas, fissuras e descolamentos comprometam o estado de utilização (estado de limite-último) e para isto confeccionar manuais do usuário para que este saiba como operar e realizar a manutenção,

facilitar o processo de inspeção, o acesso e remoção das partes integrantes no caso de constatar a necessidade de substituição de componentes;

- Impacto ambiental, devem minimizar as alterações no ambiente.

As pesquisadoras Ceolin e Librelotto (2016), após o cruzamento de parâmetros da norma NBR 15.575 apontam lacunas relativas à durabilidade, vida útil e manutenção das edificações. Por exemplo, se a vida útil de projeto - VUP para o subsistema de vedação interna for de 30 anos e apenas 13 anos para a instalação predial embutida, e considerando a necessidade de realizar a substituição do componente de instalação predial pelo menos duas vezes durante o prazo de vida útil da vedação, então a vedação não alcançará os parâmetros exigidos.

b) Segurança

- Estrutural: ainda que sem função estrutural, devem ser capazes de resistir às cargas permanentes, como o seu peso próprio, às solicitações das cargas horizontais devidas ao vento, ao impacto de choques acidentais decorrentes da própria utilização do edifício;

- Contra incêndio: devem dificultar a ocorrência da inflamação generalizada. A norma estabelece níveis de combustibilidade aceitos para os materiais empregados nas superfícies e no preenchimento (miolo) das paredes externas e internas, conforme o tipo de ambiente delimitado pela vedação;

- No uso: devem fornecer suporte à fixação de peças suspensas, permitir a operação de portas e janelas a ele conjugados de forma segura e oferecer barreira eficaz a intrusões.

c) Habitabilidade

- Desempenho térmico e acústico: deve atender às exigências de conforto para os usuários de acordo com as características bioclimáticas, isolamento de ruídos externos e entre ambientes;

- Desempenho lumínico: deve propiciar durante o dia iluminação natural conveniente;

- Funcionalidade e adaptabilidade: diz respeito à interação entre o usuário e o elemento construtivo e, sobretudo à facilidade de montagem dos componentes e diminuição

da necessidade de cortes e ajustes em obra executados pelos profissionais responsáveis pela execução;

- Saúde, higiene e qualidade do ar: devem atender às exigências da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA;
- Conforto tátil e antropodinâmico;
- Estanqueidade.

2.5 ESTANQUEIDADE EM PAINÉIS DE VEDAÇÃO

Os SVVIE devem limitar a entrada de agentes que possam causar desconforto aos usuários da edificação, tais como: água da chuva, umidade excessiva, vento, poeira, fumaça, etc; por meio de soluções projetuais que considerem a interface e as juntas entre componentes e elementos construtivos, assegurando o fechamento eficaz de frestas, prevendo juntas de dilatação para acomodar as variações dimensionais.

O Quadro 3 apresenta um resumo para avaliação de desempenho quanto ao fator estanqueidade. O requisito infiltração de água nos SVVIE é dividido sob dois critérios:

- Estanqueidade à água de chuva considerando a ação dos ventos;
- Umidade nas vedações verticais externas e internas decorrentes da ocupação do imóvel.

Quadro 3 - Itens da NBR 15575-4 para avaliação de desempenho à estanqueidade.

Exigência do usuário	Fator (item da norma)	Requisito (subitem)	Critério (subitem)	Método de ensaio
Habitabilidade	Estanqueidade	Infiltração de água no SVVE	Estanqueidade à água da chuva considerando a ação dos ventos	Anexo C
Habitabilidade	Estanqueidade	Infiltração de água no SVVIE	Umidade decorrentes da ocupação do imóvel	Anexo D

Fonte: Giorgi et al. (2018), adaptado pela autora (2019).

Para método de avaliação dos critérios deve ser selecionado um dos seguintes ensaios:

- a) Anexo C, Verificação em laboratório da estanqueidade à água

O corpo de prova deve ser fixado a uma câmara de formato prismático com aproximadamente 1,08 m² que por meio da simulação de chuva e vento, durante 7 horas, verifica-se a existência de manchas. Esse método de ensaio exige nível mínimo para o desempenho quanto à estanqueidade de vedações verticais externas (fachadas) e esquadrias (Quadro 4).

Quadro 4 - Níveis de desempenho para estanqueidade à água de vedações verticais externas e esquadrias.

Edificação	Tempo de ensaio h	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área total do corpo de prova submetido à aspersão de água, ao final do ensaio	Nível de Desempenho
Térrea (somente a parede de vedação)	7	10	Mínimo
		Sem manchas	Intermediário Superior
Com mais de um pavimento (somente a parede de vedação)	7	5	Mínimo
		Sem manchas	Intermediário Superior
Esquadrias		Devem atender à ABNT NBR 10.821-3	Mínimo

Fonte: ABNT, 2013.

O ensaio deve ser realizado conforme pressão estática e vazão de água conforme condições na Tabela 2 e Figura 21. A região 4 corresponde a alguns municípios dos seguintes estados: Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina (incluindo Florianópolis) e Rio Grande do Sul.

Tabela 2 - Condições de ensaio da norma NBR 15.575-4 para avaliação de desempenho à estanqueidade.

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão estática Pa	Vazão de água l/min/m²
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

Fonte: ABNT, 2013.

Figura 21 - Condições de exposição conforme as regiões brasileiras.



Fonte: ABNT, 2013.

O corpo de prova deve ser plano e verticalmente no prumo, com ou sem pintura ou revestimento, possuir largura de no mínimo 105 cm e comprimento de 135 cm. Quanto à espessura não há restrições. O ensaio deve ser realizado em pelo menos dois corpos de prova preparados de maneira idêntica. No caso de pintura, a tinta deve ser aplicada sobre a face externa e deve ser aplicada no mínimo 7 dias antes do ensaio.

Mustelier (2002) recomenda, para esse ensaio os corpos de provas tenham dimensão mínima de 120 x 120 cm, pelo menos 10 cm a mais que a câmara, para evitar infiltrações laterais que contribuem para um avanço mais rápido da umidade nos painéis.

A autora também comenta que os protótipos devem ser construídos na localização definitiva, pois a movimentação dos mesmos pode provocar esforços para o qual não foram preparados e fissuras que comprometem os testes de avaliação.

O método de ensaio, em laboratório, da estanqueidade à água de SVVE do Anexo C encontra-se no ANEXO A desta dissertação.

b) Anexo D, Verificação de permeabilidade a água

Uma câmara deve ser acoplada à parede e submetida à presença de água por meio de uma bureta graduada em cm^3 , para manutenção da pressão constante e medição do volume de água. A câmara tem formato de caixa, com dimensões de 16 x 34 cm, contendo no seu perímetro uma moldura para acoplamento com a parede ou corpo de prova. A inspeção visual ocorre a um metro de distância. A quantidade de água que penetra formando as áreas molhadas não pode ser superior a 3 cm^3 , por um período de 24 horas.

2.6 NORMAS COMPLEMENTARES

Na falta de normas para painéis de vedação com bambu e terra no Brasil, a norma NBR 15.575 recomenda ser aplicada em conjunto a outras normas até mesmo internacionais “[...] na ausência de normas brasileiras prescritivas para sistemas, podem ser utilizadas normas internacionais prescritivas relativas ao tema”. (ABNT 2013, p. 13)

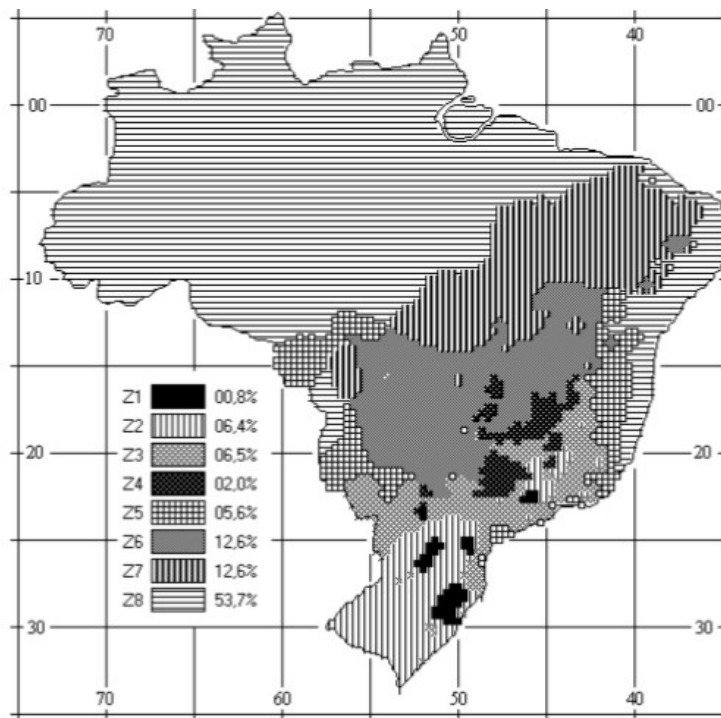
Desta forma, também foram abordadas outras normas como as internacionais da Alemanha e do Zimbábue para construção com terra, da Colômbia para construções sísmo resistente, e do Peru e Equador para construção com bambu as quais também abordam as técnicas mistas, e as quais foram descritas anteriormente neste Capítulo.

Conjuntamente, foi necessário seguir as recomendações da Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações NBR 15.220 (ABNT, 2003). A parte 3 dessa norma estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 22) e recomenda diretrizes construtivas para tipo de material de parede, em habitações unifamiliares de interesse social com até 3 pavimentos. A cidade de Florianópolis compreende a zona 3.

Para os parâmetros e condições de contorno para cada zona bioclimática são considerados os seguintes casos:

- tamanho das aberturas para ventilação;
- proteção das aberturas;
- vedações externas (tipo de parede externa e de cobertura);
- e, estratégias de condicionamento térmico passivo.

Figura 22 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro segundo a NBR 15.220.



Fonte: ABNT, 2003.

2.7 ENTREVISTA NÃO ESTRUTURADA

A escolha por esse procedimento técnico visou a caracterização da técnica mista pelo ponto de vista dos profissionais da ACT como também preencher as informações obtidas no referencial teórico.

A elaboração do roteiro de perguntas teve como base a análise de conteúdo (BARDIN, 2011). O termo análise de conteúdo designa

um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 2011, p. 47).

Dentre as diversas técnicas da análise de conteúdo a categorização é a mais antiga e a mais utilizada, a qual ocorre por temas – principais e secundários – de acordo com o problema

pesquisado. Desta forma, e com base no referencial teórico, foi possível elaborar as perguntas com a definição de três categorias (Quadro 5).

Quadro 5 - Roteiro da entrevista não estruturada.

CARACTERÍSTICA DO PROFISSIONAL	1) Nome
	2) Formação
	3) Há quanto tempo trabalha com pau a pique?
CARACTERÍSTICA DA CONSTRUÇÃO COM PAU A PIQUE	4) Qual localidade em que foi executada a obra?
	5) Utiliza equipamento de proteção individual - EPI na obra?
	6) Quais os materiais mais utilizados? Tipo de estrutura, trama, número de camadas de revestimento?
	7) Como faz a seleção do solo?
	8) Quais ensaios são utilizados para encontrar o traço da argamassa? Qual traço da argamassa?
DETALHE CONSTRUTIVO PARA PAU A PIQUE	9) De acordo com as referências este tipo de solo deveria receber adição de fibras?
	10) Estas obras apresentaram manifestações patológicas? Em quanto tempo e quais? A quais fatores você atribui a incidência destes problemas?
	11) O que é possível melhorar no processo de projeto, execução, manutenção para assegurar o desempenho quanto à durabilidade da edificação?

As perguntas objetivaram fazer entrevistados explicitarem seus contextos sociais e pessoais sobre a técnica mista nos seguintes temas: processo de projeto e executivo; aplicação dos testes de solo para a composição e estabilização das argamassas; identificação dos componentes; e principalmente, definição de detalhes construtivos importantes para o desempenho de durabilidade dos materiais e que podem evitar a ocorrência de manifestações patológicas.

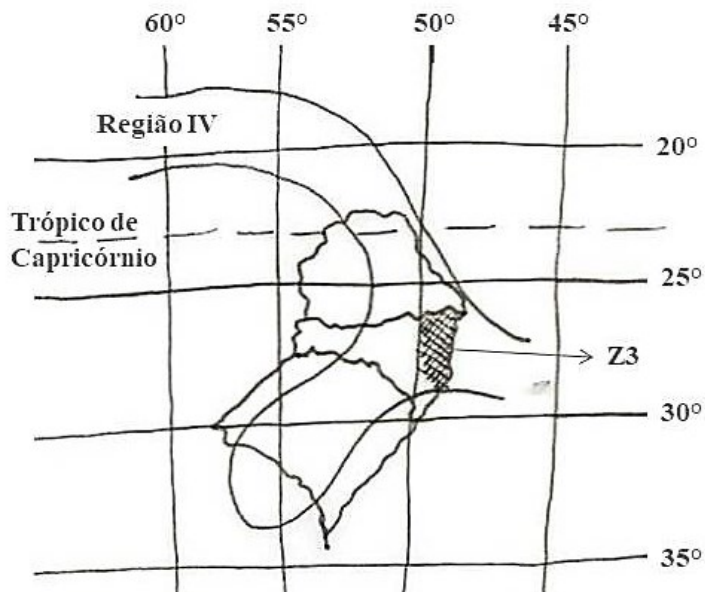
A entrevista foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres/UFSC e aprovada sob o parecer 2.345.912, 24 de Outubro de 2017. Os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE (APÊNDICE A), concordando em participar da amostra como voluntários, de forma confidencial e anônima.

A escolha da amostra foi feita com base na listagem de obras em taipa de mão da pesquisa de Prompt e Librelotto (2018) e pela busca de obras ecológicas e escritórios especializados em ACT em páginas web e mídias sociais, resultando em 23 profissionais.

A partir da delimitação, profissionais que trabalham com a técnica mista no município de Florianópolis e/ou com a mesma condição de pressão atmosférica, região IV da norma NBR 15.575-4 e em ambientes de mesma situação bioclimáticas - Zona 3, segundo a norma NBR 15.220-3, na amostra permaneceram apenas 15 dos 23 profissionais encontrados.

A Figura 23 foi confeccionada de acordo com estas duas normas citadas anteriormente. No estado de Santa Catarina a região abrange desde Jaguaruna, litoral sul do estado, até a divisa com Paraná, litoral norte do estado, e a oeste junto a encosta da Serra do Mar.

Figura 23 - Mapa da Região sul do Brasil com a demarcação Z3 - NBR 15.220 (ABNT, 2003) e área IV, NBR 15575 (ABNT, 2013).



A análise de conteúdo seguiu as três fases principais: pré-análise com a exploração do material; tratamento das respostas; e, a inferência.

2.7.1 Tratamento das respostas

Para identificação dos entrevistados na sistematização das informações utilizou-se a letra E enumerados de 1 a 15. As edificações referidas pelos profissionais localizam-se em ambientes de clima temperado, conforme a delimitação.

O Quadro 6 destaca o tempo de experiência em construção com pau a pique e a profissão de cada entrevistado. Do total de participantes, apenas dois não têm formação reconhecida na área de construção (engenharia, arquitetura e técnico em edificações).

Quadro 6 - Relação das profissões e o tempo de construção com pau a pique.

Profissão	Engenheiro civil	Arquiteto	Construtor	Técnico em edificação
Tempo				
0 a 5 anos		E13		E6
5 a 10 anos	E7, E11	E3, E9, E12	E5, E15	
10 a 15 anos		E1, E4, E8, E10, E14		
mais de 15 anos	E2			

A amostra contou com 60% de arquitetos, sendo destes a maioria com mais de 10 anos de experiência com a construção de pau a pique. Foram considerados com pouca experiência os participantes técnico em edificação E6 e o arquiteto E13, ambos com menos de 5 anos de experiência profissional. Com experiência reconhecida, o engenheiro civil E2 devido ao tempo dedicado à execução de obras com a técnica mista.

As edificações localizam-se em diversas situações, seja em área urbana ou rural, com tipos diversificados, sendo a maioria para habitação de até dois pavimentos. Todos mencionam utilizar as paredes de pau a pique de forma não estrutural, como vedação externa e interna e em conjunto de estrutura de madeira roliça ou serrada.

Sobre o uso de equipamento de proteção individual - EPI a maioria diz incentivar o uso de botas e luvas em certos momentos da obra, mas é unânime entre os profissionais a dispensa destes equipamentos no momento de preparação das argamassas de terra, com a atividade prazerosa de amassar a terra com os pés, como também a colocação nas paredes, com as mãos. Assim como comenta E1 “[...] por serem materiais atóxicos geralmente se trabalha com os pés e as mãos então só se usa EPI em certos momentos”.

a) Trama de bambu

Quanto à trama, o bambu foi mencionado por 73% dos profissionais. Os outros 27% – E6, E9, E10, E14 – substituem o bambu por ripas de eucalipto de 1 x 3 cm por vezes horizontal ora inclinada, ou com madeira de caixaria reaproveitada em ripas de 1 x 2 cm, ambas sem tratamento.

Entre os entrevistados que utilizam o bambu para execução da trama, todos utilizam formato ortogonal ora duplo ora simples, e apenas 13% deles utilizam também formato variado. (Figura 24)

E1 descreve que ao utilizar a trama ortogonal obteve facilidade na colocação do preenchimento. E3 diz quando utiliza uma trama dupla tem mais possibilidades de introduzir um maior tipo de material no preenchimento ou até mesmo nem ter preenchimento, deixando a parede mais leve no caso de uma trama junta.

Figura 24 - (da esquerda para direita) Imagens das tramas diversas: ortogonal com trama simples, trama dupla e trama variada.



Fonte: da esquerda para direita, obras dos entrevistados E8, E7 e E3, 2019.

E1 e E2 comenta que a retração da argamassa de terra pode ser menor nas tiras de bambu da trama desde que tenha a presença de umidade entre 13 a 16%, pois em estado mais seco pode gerar fissuras no emboço.

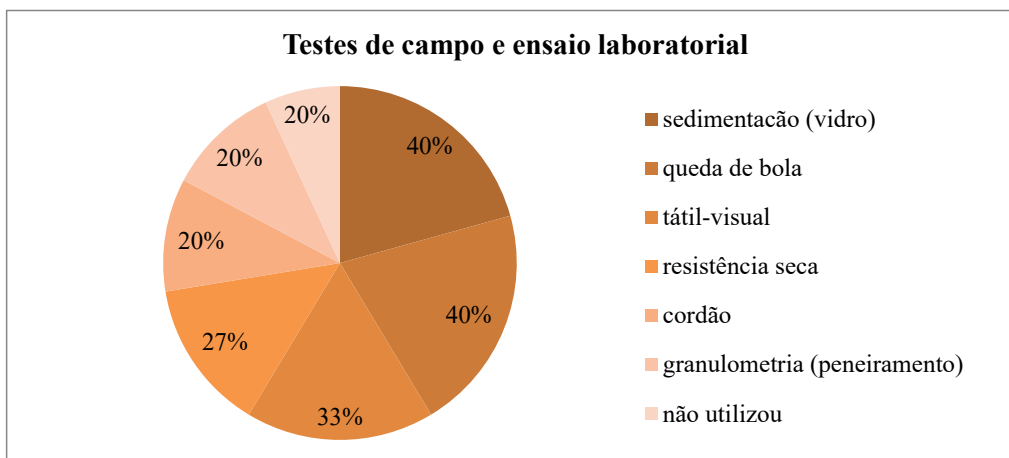
As espécies utilizadas mencionadas pelos entrevistados foram as *Bambusas ssp* e *Phyllostachys aurea*. E5 relata que as tiras foram colocadas em estado ainda verde, pinado na horizontal, e retirado todo amido com facão ou máquina de jato de água para evitar ataques de insetos. E, E11 relata que ambas as espécies podem ser tratadas com fogo e espessura entre 3 e 4 cm.

b) Argamassas de terra

Metade dos profissionais disse utilizar o solo das redondezas da obra. Já E14 salienta que já tem alguns pontos comerciais de bota-foras e aterros do município, onde encontra solos limpos e com adequada composição para argamassas de terra.

Quanto à caracterização do solo, a maioria dos profissionais citaram os testes de campo para entender a composição do solo, porém cada um se referiu diferentemente quanto à nomenclatura. A Figura 25 foi elaborada com intuito de compreender por qual ensaio os profissionais caracterizam o solo, e a nomenclatura conforme Neves et al. (2009).

Figura 25 - Gráfico de testes de campo e ensaio laboratorial, conforme os entrevistados.

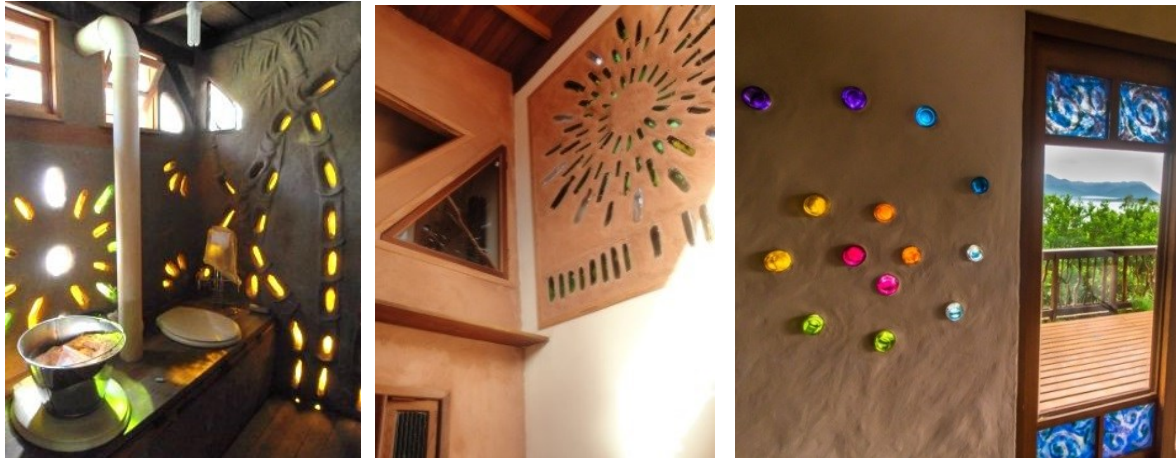


Quanto ao preenchimento, apenas 33% entrevistados comentaram sobre o assunto. Em geral para a confecção das paredes de pau a pique os materiais são variados e a grande maioria de origem local. Todos mencionam utilizar a fibra para diminuir as retrações assim como a serragem conforme comenta E10 e E15.

Como parte do rol de materiais para o preenchimento o uso de azeites vegetais e emulsões asfálticas são citados para diminuir a permeabilidade e o uso de aglomerantes como cal e cimento para aumentar a resistência mecânica. O cimento mencionado por E5 facilitou o processo de cura da argamassa em até dois dias. Também para o preenchimento E5 mencionou utilizar o poliestireno expandido – EPS, e E03 diversos materiais recicláveis. O vinagre, em duas entrevistas E10 e E15 aparecem como antifúngicos.

O vidro utilizado como material de preenchimento não obrigatório foi mencionado pela maioria dos entrevistados pelo apelo estético e a iluminação difusa que permite no interior dos ambientes (Figura 26).

Figura 26 - Garrafas de vidro nas paredes de pau a pique.



Fonte: da esquerda para direita, obra dos entrevistados E08, E11 e E14, 2019.

No Quadro 7 foram colocadas as características dos revestimentos bem como o número de camadas e o traço de cada argamassa empregada para o recobrimento da trama. Muitos entrevistados não apresentaram o traço e E9, E12 e E13 não responderam a questão.

Os entrevistados afirmam que para melhorar o desempenho dos revestimentos é importante regularizar o preenchimento, utilizar fibras menores e executar como acabamento final a caiação. E5 também salienta fazer ranhuras no preenchimento para facilitar o assentamento do reboco, aplicar o reboco enquanto a superfície aderente esteja úmida, para que ambos sofram junto o processo de cura e cuidar para não cortar materiais próximos à parede que está em processo de cura para não empoeirar e dificultar a aderência do reboco.

Quanto aos agentes de degradação, os quais afetam principalmente o desempenho das edificações, a coleta de dados mostrou que as principais manifestações patológicas estão relacionadas à argamassa de revestimento. Apenas E7 e E14 não relataram nenhum tipo de manifestação em suas obras.

E 14 comenta o seguinte sobre este assunto “[...] observamos na prática que o maior segredo do uso de pau a pique, não é tanto na estrutura nem no enchimento é no reboco, porque quase todos os problemas que acontecem que são muito poucos na verdade, tem haver com a fragilidade do reboco, que não segura por algum motivo à umidade a chuva”.

E3 comenta que o mau isolamento de água entre a viga baldrame e a parede de pau a pique favoreceu a umidade ascendente causando o descolamento dos revestimentos. E13 e E15 relatam que as manifestações de descolamento estão relacionadas ao momento de aplicação do emboço sobre o preenchimento já seco. E8 observou a presença de fungos após ter dado acabamento final nas paredes com óleo vegetal reutilizado.

Quadro 7 - Características dos revestimentos conforme cada entrevistado.

Nº entrevistado	Nº camadas	Traço (volume)
E1	3	emboço (pó de madeira serrada, terra arenosa) reboco (pó de madeira serrada, terra arenosa peneirada) caiação
E2	2	emboço 1:1:3 (terra - 50% areia + 50% argila, cal, areia) caiação
E3	3	emboço (serragem grossa, terra arenosa) reboco (baba de cactus, cal, cimento, óleo) caiação
E4	3	emboço (aditivos, terra) reboco (aditivos, terra) caiação ou tinta à base de polvilho
E5	2	emboço 4:1 + 5% (terra do mercado para assentar paredes de tijolos, argamassa pronta do mercado - areia e cal, cimento) caiação
E6	2	emboço 6:2:1 (terra siltosa (comprado no mercado e peneirada), cal e cimento) caiação
E7	3	emboço 1:3 (cal, terra areia) reboco 3:1 (cal, terra areia) caiação
E8	2	emboço ("grude" de polvilho, sem palha, areia peneirada mais fina, esterco curtido com soro de leite como cola) caiação
E10	3	emboço 2:1:1:1/2 (barro arenoso, serragem, esterco, cal hidratado) reboco (terra, esterco, grude e óleo) caiação
E11	3	emboço (50% areia, 50% terra siltosa, fibra) reboco (50% areia, 50% terra siltosa, esterco curtido) caiação
E14	3	emboço (terra areia, cal) reboco 1:2 (cal, areia fina) caiação
E15	3	emboço 4:2:1 (terra arenosa, areia média, cal) reboco 4:2:1:1:1 (terra arenosa, areia média, cal, esterco curtido peneirado, serragem fina) caiação

E10 comenta que pela ação da chuva e por ter poucas camadas de revestimento a argamassa se destacou da trama (Figura 27).

Figura 27 - Vista da parede nordeste e detalhe das fissuras e descolamento da argamassa.



Fonte: Entrevistado E10, 2017.

Foram comuns os relatos sobre a existência de manifestações patológicas quando as paredes são mal executadas e mal acabadas, inclusive tornando alvo de roedores e insetos, que se instalam nestas aberturas.

Quanto às premissas para melhor desempenho à durabilidade das paredes de pau a pique, os entrevistados reafirmaram o conhecimento popular sobre uma boa bota, um bom chapéu e boa capa de chuva. Ao total, os profissionais salientam que ora afastar as paredes do solo em 50 cm é fundamental para isolar a parede da umidade e dos respingos da chuva como também devem manter amplos beirais, pelo menos 90 cm. O profissional E11 ressalta a utilização de varandas para evitar as intempéries.

E, como comentário final sobre a qualidade da técnica a afirmação de E12 que diz “[...] não tenho tido experiências ruins com esta técnica, na verdade pau a pique tem se mostrado apropriada e dado muito certo na região de Florianópolis”.

2.7.2 Inferência

A discussão a seguir envolve o confronto entre os dados levantados a partir da análise dos 20 painéis de vedação encontrados como objeto de estudo em pesquisas científica e das 15 entrevistas elaboradas sob a ótica dos profissionais das ACTs localizados, na região de estudo.

Os profissionais e os pesquisadores possuem características semelhantes, pois se envolvem diretamente do projeto à construção. A execução da técnica mista parece ser muito simples pelo ponto de vista profissional, mesmo sendo utilizada em processos quase que artesanal, sem uso da pré-fabricação da moldura e da trama.

Em pelo menos 11 estudos das pesquisas científicas observa-se processo pré-fabricado da moldura e da trama, com a associação do painel a um sistema construtivo mais sustentável, como por exemplo, utilizando o bambu como estrutura principal. Apenas Bahia (SILVA, 2011) menciona o uso de coordenação modular conforme a norma NBR 5.731 (ABNT, 1982) para o projeto de painéis.

Quanto ao tipo de trama, destacam-se os estudos científicos em destaque do estudo na Bahia, 2011, que justifica o uso de trama dupla e o espaçamento das tiras a cada 15 x 15 cm para facilitar a etapa de preenchimento do painel. Quanto a direção das tiras ou esteiras, em 8 estudos, o que representa mais a metade da amostra, prevaleceu a direção horizontal fixas em elementos verticais.

Quanto à composição de traços, dentre os estudos científicos apenas Bahia, 2011, apresentou laudos laboratoriais de análise de solo com ensaio granulométrico por peneiras e o índice de plasticidade. Neste mesmo estudo se obteve informações sobre o preenchimento e revestimento, sendo que a pesquisadora utilizou solo disponível oriundo do município de Mucugê, Bahia, local onde se encontram habitações de pau a pique para a confecção de corpos de prova - painéis de bambu e terra. A composição do traço do preenchimento ocorreu apenas com a mistura de terra areia argilosa e água. E, para a composição do traço da argamassa de revestimento a pesquisadora utilizou a cal como estabilizante em função do índice de plasticidade.

Pelo viés dos profissionais percebem-se muitas disparidades quanto à composição do traço, quantidade de camadas e ao momento de aplicação. Provavelmente essas questões relacionadas às argamassas de terra sejam devido a pouca investigação sobre as características do solo. Dentre os entrevistados que aplicam 3 camadas, metade possuem mais de 10 anos de experiência com construção com a técnica.

Interessante saber que metade da amostra utiliza as seivas e 67% o esterco para a composição dos traços. Sobre as camadas de revestimento, 27% dos entrevistados aplicam duas camadas e 53% três camadas, e os outros 20% não mencionaram. Pela análise do Quadro

7, sobre a característica dos revestimentos aplicados pelos profissionais, percebe-se que todos utilizam a cal em alguma camada de revestimento e o acabamento final com a caição.

O Quadro 8 apresenta um resumo quanto ao número de camadas e traço das argamassas de revestimentos dos painéis do referencial teórico. Apenas 6 estudos compõem este quadro, isto porque apresentaram emprego de terra na composição das argamassas e destes apenas três estudos aplicaram 3 camadas de revestimentos, no caso Uruguai, 2003, sem uso de cimento.

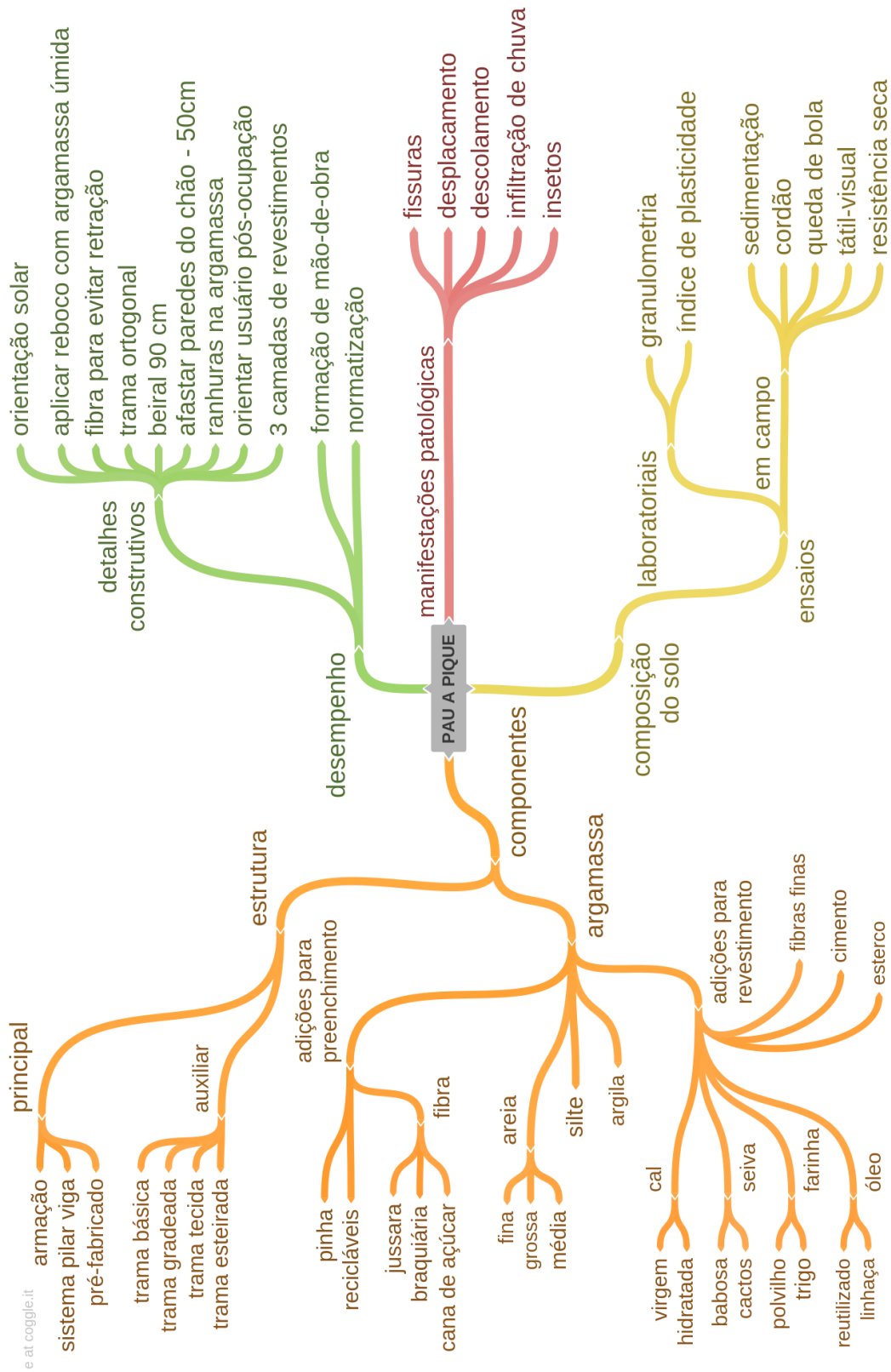
A cal foi adicionada a argamassa nos painéis de São Paulo, 2016, e em Peru, 2012, o cimento apareceu como efetivo aglomerante contra o aparecimento de fissuras na secagem da mistura de solo e cal.

Quadro 8 - Resumo quanto ao número de camadas e traço das argamassas de revestimentos dos painéis do referencial teórico.

Local da pesquisa	Nº camadas	Traço (volume)
Ceará, 1993	2	emboço (areia grossa e cal) reboco (areia, cal, cimento)
Uruguai, 2003	3	emboço 4:2:1 (terra, esterco, areia) reboco 2:1 (esterco, areia = mistura A) acabamento 4:1 (mistura A, limão)
Amazonas, 2007	3	reboco 1:3 (cimento, terra) emboço 1:6 (cimento, terra) caiação
Bahia, 2011	1	reboco 2:3:10 (cal, areia, terra)
Peru, 2012	1	reboco (esterco, terra, fibra, seiva de cactos)
São Paulo, 2016	3	emboço solo-cal reboco CALFITICE pintura 1:4:4 (cal, terra, cola branca)

Por fim, o resultado mais interessante em relação às entrevistas foi à criação do mapa conceitual o qual elucida o panorama da técnica e o entendimento de todo o processo construtivo e de manutenção por parte dos entrevistados (Figura 28). Possivelmente servirá, a muitos projetistas, como uma ferramenta para a pesquisa, ao desenvolvimento de projetos e execução de obras de pau a pique.

Figura 28 - Mapa conceitual da técnica de pau a pique.



3 MÉTODOS, FERRAMENTAS E MATERIAIS

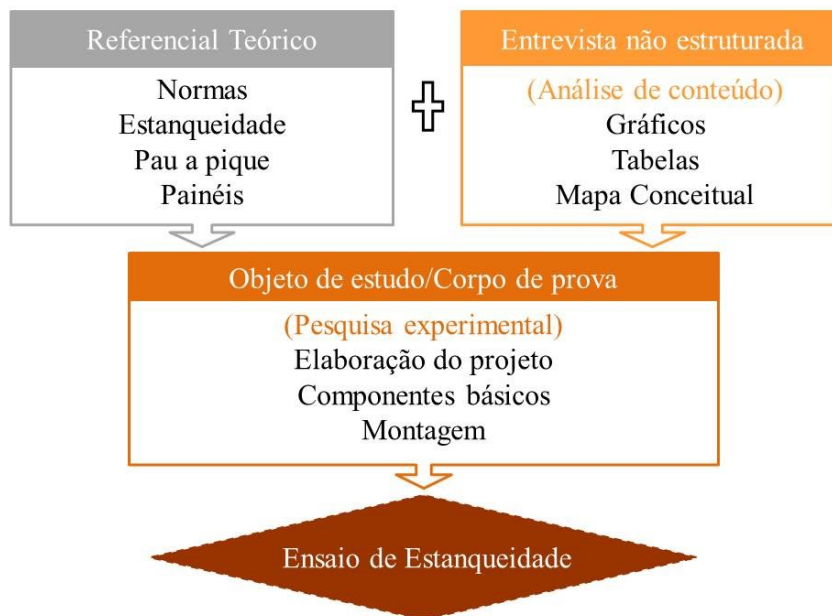
Com maior relevância a fim de cumprir os objetivos propostos, foi desenvolvida a pesquisa experimental que permitiu a criação do painel de vedação cego de pau a pique e bambu, de uso externo, não estrutural, denominado objeto de estudo.

O projeto e a execução deste objeto, para servir como corpo de prova, seguiu o Anexo C requisito quanto à estanqueidade de SVVIE da norma de desempenho NBR 15.575-4 (ABNT, 2013). A produção de dois corpos de prova idênticos também seguiu a síntese do referencial teórico principalmente para o tema argamassa de terra, separada em três principais subtemas: caracterização do solo; preenchimento; e, sistema de revestimento.

Sendo assim, o método foi dividido nas seguintes etapas fundamentais (Figura 29):

- Referencial teórico e a caracterização da técnica mista pelo ponto de vista dos profissionais da ACT por meio de entrevista não estruturada;
- Projeto e execução do objeto de estudo e seus componentes básicos;
- Avaliação de desempenho à estanqueidade.

Figura 29 - Etapas metodológicas e os procedimentos para coleta de dados.



3.1 OBJETO DE ESTUDO

Por meio de soluções projetuais e executivas essa etapa metodológica se constitui numa pesquisa experimental, caracterizada pela confecção de dois painéis de vedação para uso externo cuja finalidade é submetê-lo como corpo de prova aos ensaios de estanqueidade descrito no Anexo C da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013). Este método de ensaio em laboratório encontra-se no ANEXO A desta dissertação.

Os painéis foram confeccionados de maneira idêntica obedecendo às dimensões mínimas de largura e comprimento. Conforme a pesquisa de Silva (2001), estas medidas sofreram ajustes para $M = 10$ cm de acordo norma NBR 5.731 (ABNT, 1982). Além da padronização as medidas também seguiram a recomendação de ampliar o painel para o acoplamento junto à câmara do ensaio de estanqueidade conforme Mustelier (2002), resultando em um painel quadrado com 140 cm de comprimento e altura, e espessura de 10 cm.

A elaboração da estrutura principal dos painéis também seguiu as normas da Colômbia, Peru e Equador com a espécie *Guadua angustifolia*¹². A norma peruana mostra a possibilidade que um painel de vedação com a técnica mista desempenha dentro de um sistema construtivo com colmos de bambu na estrutura principal (Figura 30).

Figura 30 - Residência unifamiliar com painéis de pau a pique num sistema construtivo em bambu segundo a Norma de Bambu Peruana E.100.



Fonte: Ubidia (2015).

¹² Ubidia (2015) salienta que o sistema pode ser aplicado com outros bambus desde que tenham qualidades similares.

Além disso, as normas trazem definições para o beneficiamento do bambu e traço das argamassas. Dentre os painéis apresentados pelas normas, o que mais despertou interesse para a confecção do objeto de estudo foi o *IPIRTI* (Ubidia, 2015), o qual tem detalhes preciosos nas ligações entre os componentes da moldura e da trama, tiras de bambu e o uso da terra para a composição das argamassas de revestimentos.

A entrevista não estruturada auxiliou na definição do sistema de revestimento para regiões com clima úmido como em Florianópolis, com uso da cal para composição das argamassas de revestimentos, na escolha de aplicação de apenas duas camadas de revestimento: emboço e uma camada para reboco; e a caiação como acabamento final.

Desta forma, pelo acúmulo de informações obtidas, no referencial teórico e na entrevista não estruturada, se obteve diretrizes para o desenvolvimento do painel de vedação, tipo cego, para uso externo, de terra e bambu - pau a pique – com os seguintes aspectos (Figura 32):

- Moldura com pilares e vigas de colmos de *Bambusa oldhami*;
- Trama de bambu tipo básica, rala, com tiras horizontais espaçadas a cada 10 cm e desencontradas em cada face do painel, formando um vazio pelo interior, fixada em colmos secundários dispostos no sentido vertical, ambas de *Bambusa tuldooides*;
- Preenchimento com a fibra de trigo embebida numa mistura de argila diluída em água;
- Revestimento em três etapas com emboço, traço em volume 1:2:6 (cal CH-III, fibra de aparas de grama, terra arenosa), reboco, traço em volume 1:2 (cal CH-III, terra arenosa) e, por fim, pintura a base de cal - caiação somente na face externa de um dos painéis.

Vale ressaltar que a aplicação de argamassas a base de cal em paredes de terra, o acabamento final com a caiação, bem como a aplicação de 3 camadas de revestimento para melhorar o desempenho das paredes foi determinada a partir do procedimento técnico por entrevista não estruturada com os profissionais com mais de 10 anos de experiência em construções com pau a pique.

O detalhamento construtivo do painel, ou melhor, as soluções para interface entre os componentes - moldura, trama, preenchimento e sistema de revestimento - foram previstas de acordo com os seguintes critérios:

- respeito aos recursos naturais;
- utilização de normas nacionais e internacionais para uso do bambu e da terra como materiais de construção;

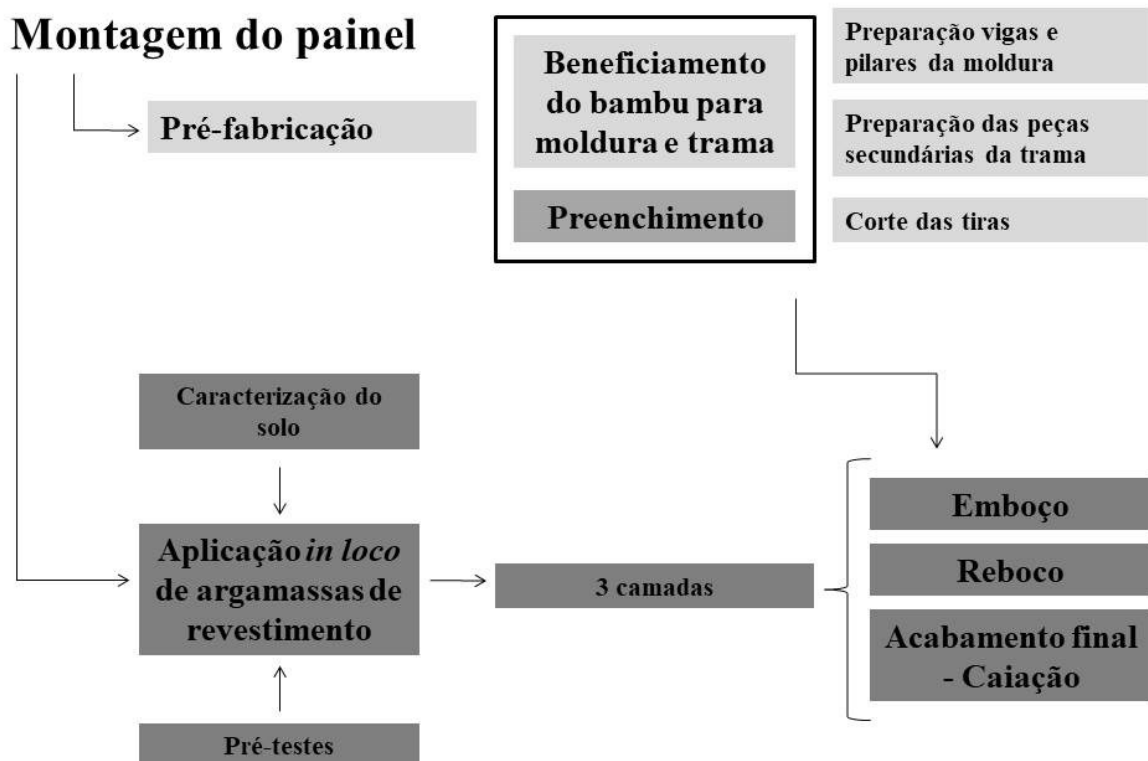
- assegurar ao bambu a diminuição de cortes e ajustes por meio de modulação e elementos pré-fabricados para facilitar a montagem e obter menor complexidade, e uso de conexões simples e eficazes com uso ínfimo de elementos metálicos;

- diminuir o peso do painel e custos.

Pela sinopse da geo-construção este modelo se enquadra na seguinte nomenclatura ([Pre.Pm/bu], {Os1.ra.HvH/bu}), ou seja, moldura pré-fabricada e painel modular de bambu, com trama básica, rala, e com elementos dominantes horizontais entre elemento vertical em bambu.

A confecção dos painéis com base na Figura 31, cujos resultados encontram no item 4.1, foi elaborada com auxílio de ferramentas e equipamentos existentes no Laboratório de Modelagem e Maquetaria - Labmoma e Labrestauro/MATEC/UFSC (APÊNDICE A).

Figura 31 - Etapas de confecção dos painéis – corpos de prova.

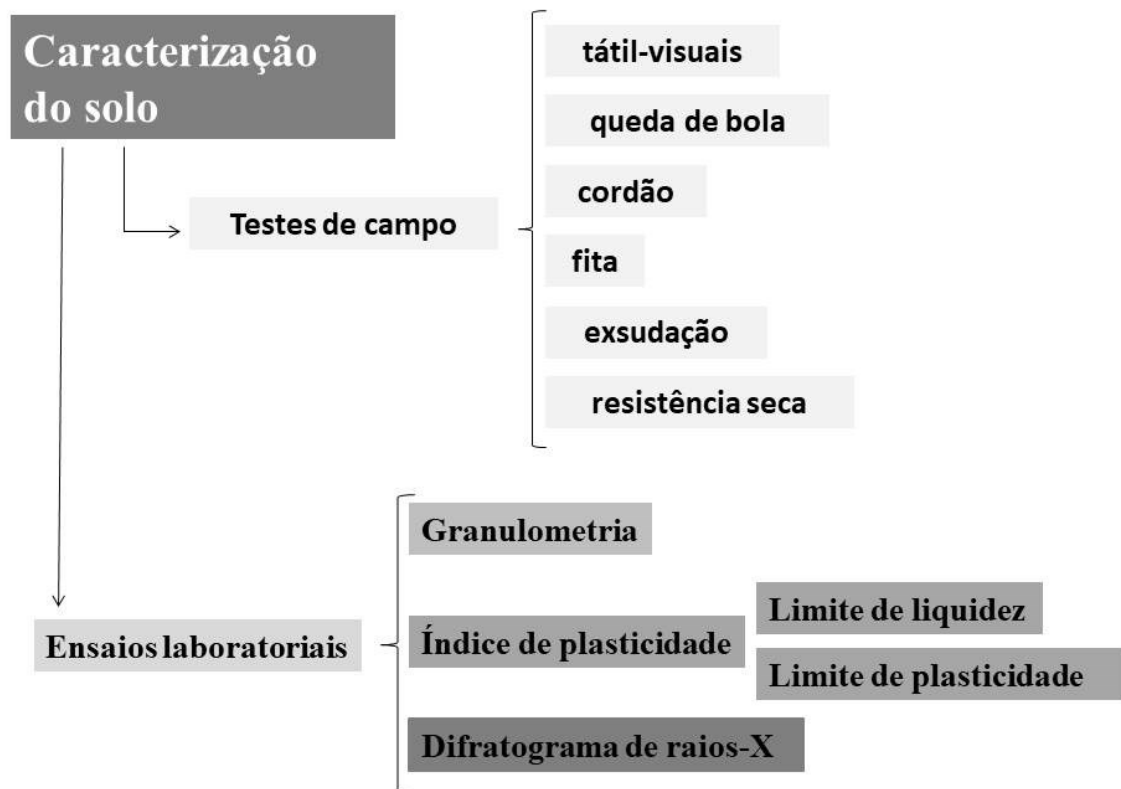


A etapa *in loco* de aplicação do sistema de revestimento exigiu a caracterização do solo por meio de ensaios de campo e laboratorial para a composição do traço do emboço e do reboco (Figura 32). Estes procedimentos foram fundamentais para quantificar a presença de

argila, a necessidade ou não de estabilizantes, a fim de diminuir a retração da terra e o aparecimento de fissuras no revestimento dos painéis.

Além disto, foram realizados testes preliminares de composição de argamassas de revestimento para obter o traço ideal de emboço e reboco para as camadas de revestimento. Estes testes foram realizados em um quadro composto de moldura de madeira e esteira de bambu e também no protótipo de sistema construtivo de bambu desenvolvido para Trabalho de Conclusão de Curso - TCC (VITOR, 2018). Com os resultados destes testes e a comparação do emprego da técnica entre os profissionais e os painéis apresentados no referencial teórico determinou-se o traço final.

Figura 32 - Ensaios e testes para caracterização do solo.



Para auxiliar nos testes de campo foram elaboradas fotografias¹³ das partículas de solo com auxílio de um estereomicroscópio da marca Leica EZ4 HD que fornece zoom de 4,4:1 com iluminação LED clara. Os sete LEDs existentes, fornecem iluminação e contraste

¹³ As fotos encontram-se no item 4.1.1, apresentação dos resultados do objeto de estudo na parte de caracterização dos solos.

de alta qualidade. A câmera digital de alta definição integrada capturou imagens coloridas diretamente no computador.

Este procedimento ocorreu no Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de água Doce - LAPAD o qual está vinculado ao Departamento de Aquicultura, do Centro de Ciências Agrárias/UFSC.

A Figura 33 ilustra o objeto de estudo em seu momento de pré-fabricação com moldura, trama e preenchimento; e os detalhes específicos da união do pilar com a viga, viga e peça secundária, e peça secundária e tira. O desenho foi elaborado respeitando as dimensões mínimas, de largura 105 cm e comprimento de 135 cm e o tamanho da câmara do ensaio de estanqueidade, visando soluções projetuais simplificadas.

Figura 33 - Desenho esquemático e detalhes específicos do objeto de estudo.

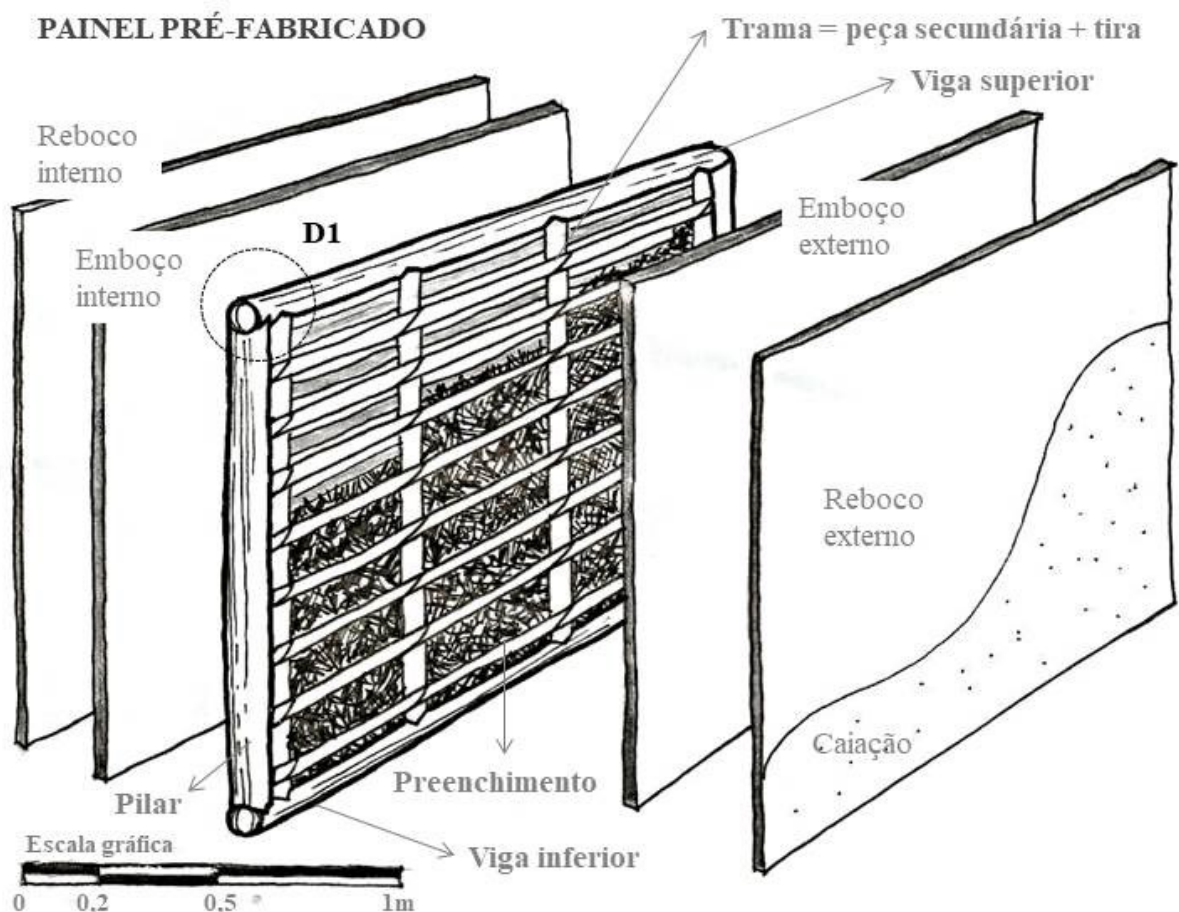
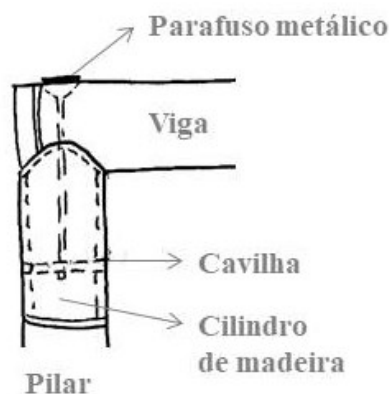
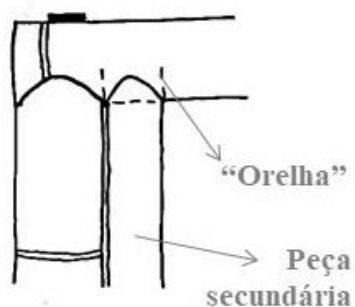
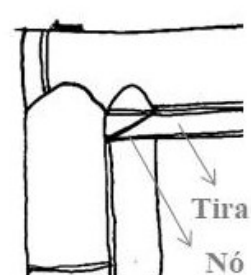


Figura 33 - continuação...

DETALHE - 1**União pilar-viga****União viga-peça secundária****União peça secundária - tira**

O APENDICE B descreve as principais ferramentas e equipamentos existentes no Laboratório de Modelagem e Maquetaria - Labmoma e Labrestauro/MATEC/UFSC utilizadas para execução dos painéis em função dos materiais bambu e terra.

3.2 ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

A estanqueidade dos sistemas de vedação vertical da norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) trata dos assuntos relacionados principalmente a água da chuva e a umidade excessiva no caso das vedações externas, e também quanto à entrada de vento, poeira, fumaça e insetos.

Para método de avaliação dos requisitos e critérios nesta pesquisa optou-se por desenvolver o Anexo C, método de ensaio, em laboratório, da estanqueidade à água de SVVE (ANEXO A).

O equipamento para o ensaio visa submeter à face externa do corpo de prova a uma aspersão de água - a qual cria uma película homogênea e contínua, representando a chuva escorrendo pela parede - e a uma pressão estática constante, representando a ação do vento mais a carga cinética das gotas de água (MUSTELIER, 2002).

Após as 7 horas de exposição dos corpos de prova a aspersão de água e pressão pneumática, a norma considera para edificações térreas diferentes tipos de desempenho para a estanqueidade à água, são eles: mínimo, intermediário e superior.

No Anexo F.5 da norma 15.575-4 (ABNT, 2013, p. 55) para o nível de desempenho intermediário e superior, os painéis de vedação não devem apresentar nenhuma mancha,

tampouco infiltrações, escorrimentos ou formação de gotas aderidas na face interna, após as 7 horas de ensaio.

E, para que atinja o nível mínimo, as manchas de umidade que aparecerem na face oposta à incidência da água não devem ser superiores a 10% em relação à área total de corpo de prova submetido à aspersão de água, ao final do ensaio.

3.2.1 Montagem do equipamento

O equipamento de estanqueidade foi montado no Labrestauro/MATEC/UFSC conforme o item C.4 (ANEXO A). Contém uma câmara com formato prismático de metal com vidro, na entrada abastecida com entradas distintas de água e ar, ambas controladas com hidrômetro e manômetro respectivamente, e na saída, com controle e sistema de bombeamento de água (Figura 34).

A câmara possui 1,10 x 1,10 m de comprimento e altura, e abertura em uma das faces para fixação da face externa do corpo de prova, respeitando a área mínima de 1,08 m² exigida pela norma. A câmara e o corpo de prova foram encaixados numa estrutura confeccionada com ripas de madeira, projetada para manter ambos numa posição estável e vertical. A fixação da câmara ao corpo de prova ocorre por meio de grandes grampos de aperto elaborados com madeira e barras rosqueáveis, porcas e arruelas de aço.

O abastecimento de água ocorre pela parte superior da câmara com a ligação de uma mangueira a um hidrômetro e deste a caixa d'água de 50 litros (a mesma bombona plástica para tratar os bambus) equipada com boia elétrica e registro. Muito próximo e logo abaixo a entrada de água, foi instalada a entrada de ar pressurizado. Este ar é insuflado por um compressor pneumático em conjunto a um manômetro.

A vazão da água e a pressão pneumática ocorrem na parte superior da câmara. Na parte inferior, para o controle da saída de água da câmara, foi instalada uma caixa com volume de 30 litros conectada a uma moto bomba para o retorno da água à caixa d'água. O sistema de água foi pensado de forma fechada para não desperdiçar a água durante as 7 horas de ensaio, diferente do Anexo C da norma de estanqueidade que tem o despejo final num sangradouro.

Figura 34 - Equipamento para o ensaio de estanqueidade montado no Labrestauro/MATEC/UFSC.



3.2.2 Execução do ensaio

Os ensaios laboratoriais para a verificação do desempenho quanto à estanqueidade foram conduzidos pela própria autora no Labrestauro/MATEC/UFSC com objetivo de avaliar

a estanqueidade do painel à água proveniente de chuvas incidentes. O corpo de prova se constituiu de um painel utilizando a técnica mista conforme descrito no item 3.1.

As demais informações solicitadas no Anexo C da norma já foram descritas anteriormente nesta dissertação, como: identificação dos constituintes da parede; dimensões do corpo de prova; identificação dos revestimentos; e, as características dos equipamentos utilizados na medida da pressão e da vazão.

Com todas as etapas preliminares prontas e após os testes do equipamento de estanqueidade, o sistema de aspersão foi acionado sendo possível estabelecer a vazão da água de 3 l/m²/min e a pressão pneumática 400 Pa (40 mmca), tendo como referência a cidade de Florianópolis a qual se encontra situada na região 4, conforme a Tabela 2.

Os painéis com a face externa devem ser acoplados pelo lado aberto da câmara do equipamento de estanqueidade com uso de silicone para vedar as juntas e de grampos para garantia de fixação.

No tempo estipulado de 7 horas, o ensaio deve ser realizado com observações na face oposta a cada 30 minutos e o relatório preenchido para cada um dos corpos de provas com as seguintes condições e parâmetros:

- Tempo de ensaio quando apareceu umidade na face oposta à incidência da água sob pressão e quando apareceu a primeira mancha, oposta a incidência da água sob pressão;
- A porcentagem da área da mancha de umidade em relação à área total do painel, oposta a incidência da água sob pressão, ao final do ensaio;
- Água coletada no final do período de exposição.

A apresentação dos resultados encontra-se no próximo capítulo.

3.2.3 Teor de umidade

Concluída a etapa do ensaio de estanqueidade, observou-se a necessidade em determinar o teor de umidade do revestimento dos painéis. A Figura 35 apresenta a equação sobre o teor de umidade, que é a relação, expressa em porcentagem, entre a massa do corpo de prova úmido e a massa do corpo de prova seco em estufa.

Figura 35 - Expressão do teor de umidade.

$$U = (M_u - M_o) / M_o * 100\%$$

O método de laboratório para determinar o teor de umidade consiste secar o material em estufa, com temperatura de 100°, durante 15 horas. As amostras do sistema de revestimento foram extraídas por perfuração utilizando uma serra copo de 57 mm, e obtidas de duas diferentes alturas dos corpos de prova, tanto pela face interna como externa, localizadas na parte superior e inferior do painel, resultando em 4 amostras de cada painel.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram separados em dois momentos distintos em função do painel de pau a pique – bambu e terra - conforme explicitado no método - capítulo 3: objeto de estudo e ensaio de estanqueidade.

4.1 OBJETO DE ESTUDO

4.1.1 Caracterização do solo

O solo utilizado para a composição das argamassas de revestimentos estava disponível no Departamento de Arquitetura e Urbanismo/UFSC. A origem deste solo é desconhecida.

Para obter dados para classificação do solo a ser utilizado na composição das argamassas de terra do objeto de estudo foram realizados testes de campo e ensaios laboratoriais no Labrestauro/MATEC, e no laboratório de solo da Empresa Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia Ltda., de direito privado.

Primeiramente, houve a caracterização das amostras de solo para os ensaios, com a homogeneização, desagregação dos torrões com auxílio de uma enxada e o quarteamento do solo para obter 2 kg de amostra.

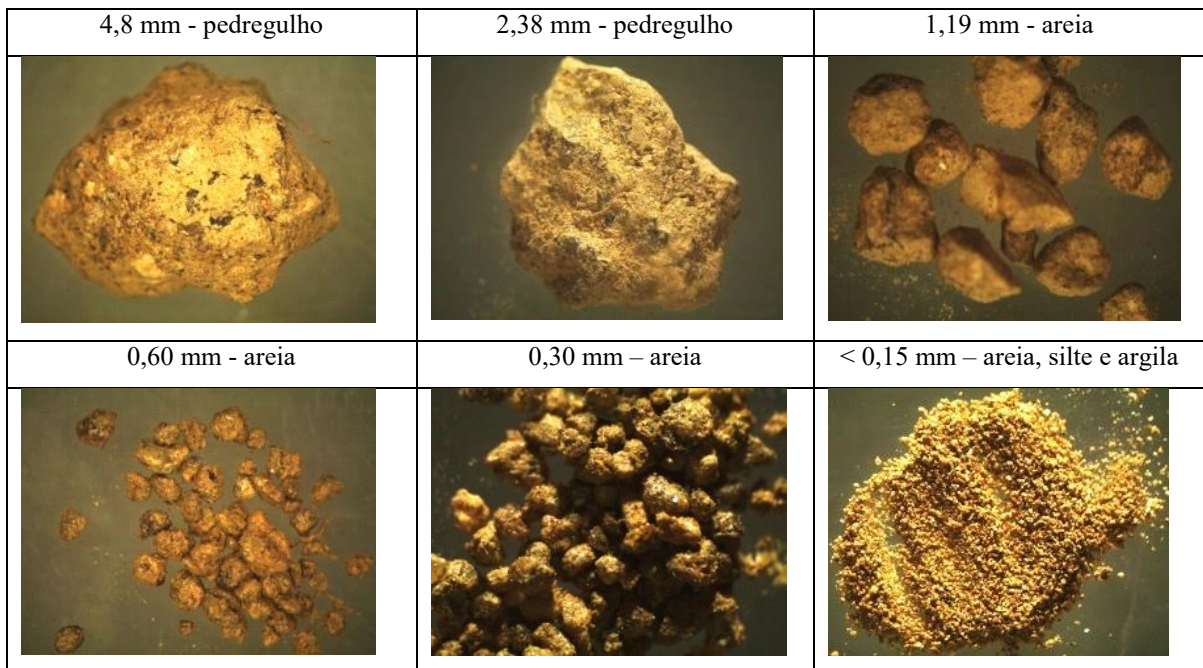
Para os ensaios de campo, realizados no Labrestauro/MATEC foram separadas 500 g da amostra e para cada ensaio laboratorial o restante do solo foi passado por peneira 2 mm, sendo seco em estufa a uma temperatura de $\pm 60^{\circ}\text{C}$ por 24h. Após a secagem houve a necessidade de desagregar os torrões com auxílio de um pilão.

A amostra submetida aos testes de campo (APÊNDICE C) conforme Neves et al. (2009) tátil-visuais não apresentou matéria orgânica e indicou a presença de:

- areia, pela aspereza;
- silte, pela suavidade e o aspecto de talco ao bater as mãos;
- e argila, pela cor marrom, poucos pontos brilhantes e também pela necessidade de lavar as mãos para retirada do material.

Para auxiliar na identificação das partículas, o solo em estudo foi fotografado com auxílio de um estereomicroscópio conforme descrito no método. As imagens obtidas aparecem na Figura 36.

Figura 36 - Partículas existentes na terra arenosa utilizada nesta pesquisa.



Fonte: Michele Cristina Vieira (2019).

Pelo teste de queda de bola foi possível perceber boa coesão, apresentando-se como terra argilosa. E pelos testes de cordão, fita exsudação e resistência seca indicou uma terra siltosa própria para adobes e terra compactada, com a necessidade de utilizar aglomerante (Figura 37).

Figura 37 - Testes de campo do solo a ser utilizado nas argamassas de terra do objeto de estudo: queda de bola, cordão, fita e resistência seca.



Este mesmo solo também foi alvo da pesquisa de Vendrami et. al (2018). Os resultados de classificação de solo pelos testes de campo indicaram equivalência aos resultados apresentados pelas pesquisadoras classificando a terra ora como siltosa ora arenosa e com presença de argila com plasticidade de média a alta. As pesquisadoras realizaram o ensaio por difratograma de raios-X e a caracterização mineralógica desse solo indicou presença da argila caulinita, de mica e quartzo.

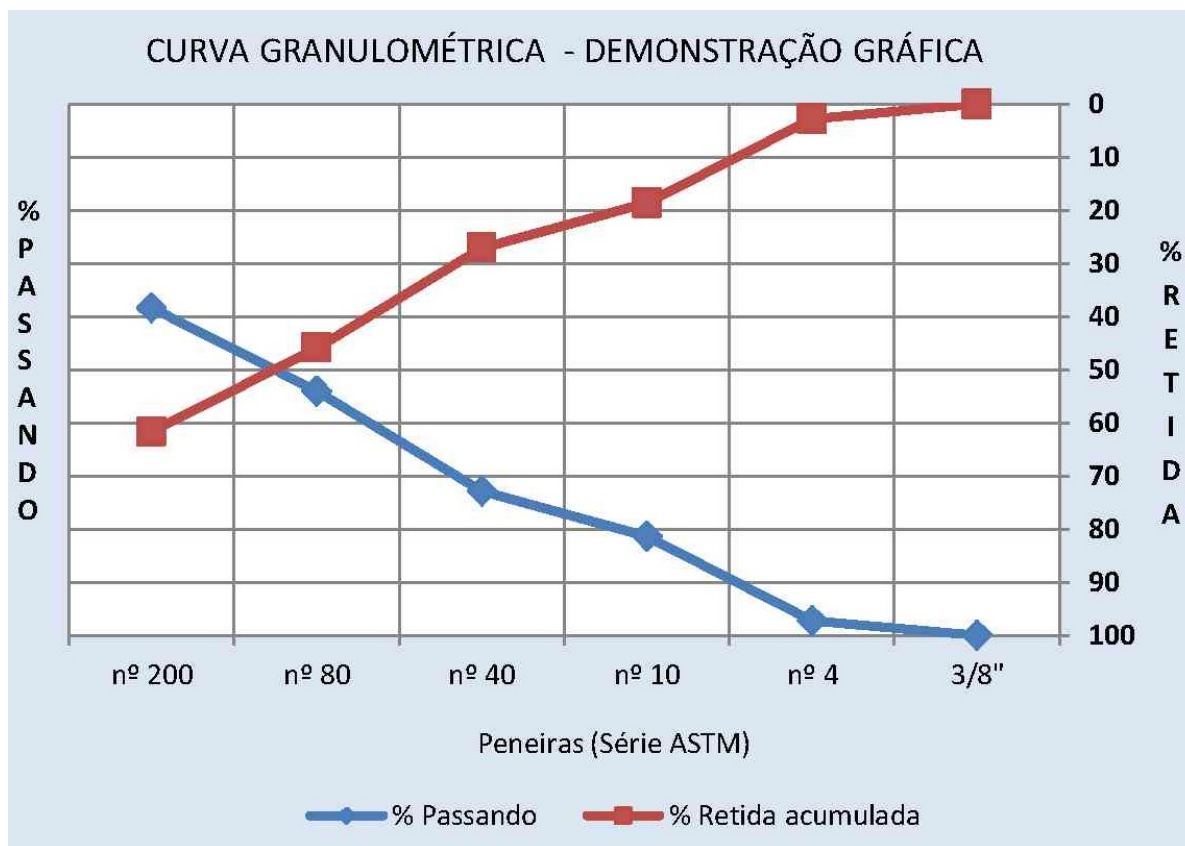
Os ensaios de granulometria foram realizados em laboratórios diferenciados, porém ambos baseados na norma NBR 7.181 (ABNT, 2017). O ensaio de granulometria por sedimentação foi realizado no Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais/UFSC, e por peneiramento, no Laboratório de Solo da Empresa Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia Ltda. (APÊNDICE D). O resultado do ensaio, apresentado na Tabela 3 e no gráfico da curva granulométrica (Figura 38), indicou presença de areia (69%), sendo a maior parte de areia fina, pouco silte (18%) e argila (13).

De acordo com o Diagrama de classificação dos solos (Figura 12) confirma que se trata de uma terra arenosa.

Tabela 3 - Composição granulométrica do solo pela norma NBR 7.181 (ABNT, 2017).

Partículas do solo	%
Cascalho fino	3
Areia	66
grossa	16
média	22
fina	28
Silte + argila	18
Argila	13
Total	100

Figura 38 - Gráfico de curva granulométrica do solo analisado.



Na Tabela 4 é possível observar os resultados de análise do solo pelo ensaio de granulometria em comparação aos índices apresentados no referencial teórico.

Tabela 4 - Resumo da caracterização do solo em comparação as indicações levantadas no referencial teórico.

Referência		Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
NBR 7.181 (ABNT, 2017)	Sedimentação	69	18	13
	Peneiramento	66	31	
Houben e Guillaud (1995)				5 – 29
Hays e Matuk (2003)		± 50 (fina)	± 30	7 – 19
Neves et al. (2009)		30 – 80	0 - 40	20 – 35
Torgal e Jalali (2009)		50 – 75		≥ 20
Garzón (Neves e Faria, 2011)		2 (grossa) + 76 (fina)	13	9

Os ensaios de limite de liquidez e plasticidade determinaram para este solo em análise o LL 37% e LP 25%, e, a diferença entre eles, o IP 12% (APÊNDICE E).

A análise comparativa do IP em 12% e da quantidade de partículas mais de 31% de partículas $d < 0,002$ mm presente nesse solo, indicou, de acordo com a Figura 11, uma argila com grau de atividade entre ativa e moderadamente ativa.

Este resultado em torno do IP se aproxima da referência para técnica mista da Escola Nacional de Obras Públicas da França (HAYS e MATUK, 2003) entre 4 e 11% com uso de argilas pouco plásticas ou pouco ativas.

Segundo Neves et al. (2009) no diagrama de classificação dos solos (Figura 12) e seleção do tipo de estabilizante em função do índice de plasticidade e da granulometria (Figura 13) essa terra arenosa necessita de estabilizante, podendo ser com cimento. Torgal e Jalali (2009) também indicam o cimento quando o solo apresenta baixas percentagens de argila e pela presença entre 50% e 75% de areias e pedregulhos.

4.1.2 Testes de composição de argamassas para revestimento

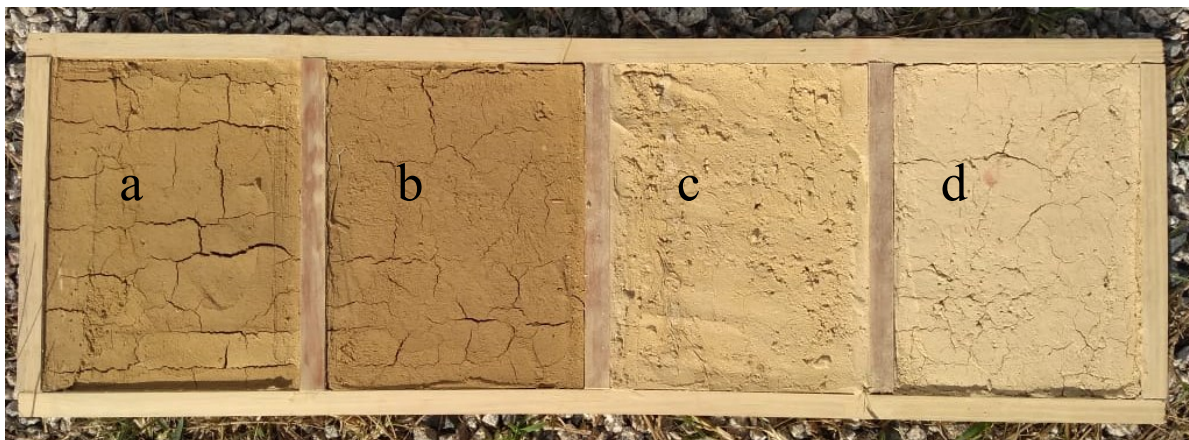
Para obter dados mais precisos, quanto ao tipo de traço a ser utilizado nas argamassas de emboço e reboco dos painéis/corpos de prova, foram feitos testes preliminares em duas superfícies: a primeira, uma esteira de bambu separada em 4 partes iguais sobre moldura de madeira; e, a segunda, em esteiras maiores de bambu, paredes tipo *quincha* do protótipo de bambu de Vitor (2018).

Este protótipo encontra-se localizado na área externa do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, e foi desenvolvido por Vitor (2018) para seu trabalho de conclusão de curso – TCC, junto ao Grupo de Pesquisa Virtuhab.

A terra arenosa, conforme recomendação de Neves e Faria (2011), foi peneirada numa malha quadriculada de 5 mm para composição do emboço e de 2 mm para o reboco. Além disto, para o emboço, utilizou-se fibra oriunda dos cortes de grama do campus universitário, entre 5 a 10 cm de comprimento.

Para os testes aplicados na esteira de bambu foram elaborados quatro tipos de argamassas para emboço: solo puro, 1:6 (fibra, terra arenosa), 1:1:6 (fibra, cimento, terra arenosa) e 1:1:6 (fibra, cal, terra arenosa). A adição de fibra se deu em função da excessiva fissuração no solo testado puro, após este resultado e com adição de estabilizantes observou-se menor quantidade de fissuras, ínfima na amostra com cimento (Figura 39).

Figura 39 - Testes de diferentes traços de emboço sobre esteira de bambu: solo puro (a), 1:6 (fibra, terra arenosa) (b), 1:1:6 (fibra, cimento, terra arenosa) (c) e 1:1:6 (fibra, cal, terra arenosa) (d).



Para melhor aderência do emboço conforme Santos (2016), tanto as esteiras menores quanto nas maiores no protótipo de bambu foram mineralizadas recebendo uma demão com pintura de leite de cal - cal hidráulica diluída com água.

Comprovada a importância do uso de estabilizante nos primeiros testes com a argamassa de emboço, foram feitos novos testes utilizando como superfície as paredes tipo *quincha* do protótipo de bambu desenvolvido por Vitor (2018). Nelas foram aplicados 2 traços de argamassas tanto de emboço (Figura 40): um com 1:1:6 (fibra, cal, terra arenosa) e outro com 1:1:6 (fibra, cimento, terra arenosa).

Figura 40 - (da esquerda para direita) Testes de diferentes traços de emboço sobre *quincha* fachada leste e oeste.



Fonte: Alexandre Vitor (2019).

Observou-se menor retração na camada de emboço com o traço composto de cimento. Vale destacar que após uma forte chuva, durante o processo de cura do emboço com cal na fachada leste, este voltou ao seu estado plástico não apresentando nenhuma manifestação patológica enquanto que o emboço com cimento já se encontrava endurecido.

Mesmo com a presença de poucas fissuras e sem o preenchimento das mesmas, após 7 dias foi aplicada a segunda camada com 2 tipos de traço de reboco: fachada leste, traço 1:2 (solo arenoso, cal); e, fachada oeste, traço 1:2 (areia média fina, cal) (Figura 41). No total, a espessura de aplicação do emboço e reboco seguiu a recomendação de Kanan (2008) de 1,5 cm e 1,25 cm, respectivamente.

Após alguns dias foram observadas, no reboco da fachada oeste número ínfimo de fissuras, porém com aspecto poroso e esfarelado.

Figura 41 - Teste de argamassa de reboco a base de cal sobre emboço ora com cimento ora com cal.



Fonte: Alexandre Vitor (2019).

Durante o processo de cura do reboco na fachada leste e com a exposição da água de chuva se observou a presença das mesmas fissuras existentes na camada de emboço (Figura 42).

Figura 42 - (da direita para esquerda) Fissuras no emboço e no reboco sobre na fachada leste.



Pelo fato dos testes de revestimentos terem sido colocados em diferentes posições nas fachadas e por consequência de incidência solar houve o entendimento de que as argamassas a base de cal necessitam de maior tempo de cura.

4.1.3 Composição do preenchimento

Para o preenchimento da trama do objeto de estudo desta dissertação foi utilizada uma mistura de terra e fibra, seguindo a premissa em propiciar maior leveza ao painel, baixo custo e disponibilidade local de material. A fibra utilizada de trigo teve origem do descarte da Central de Abastecimento do Estado de Santa Catarina S/A – CEASA/SC, localizada na Grande Florianópolis. Esta fibra é utilizada para proteger os produtos hortifrutigranjeiros durante o transporte e encontra-se livre e gratuita no pátio do local.

As fibras não foram cortadas e foram embebidas numa mistura de argila pura diluída em água, numa proporção de 0,66 m³ para 0,33 kg de argila diluída em 10 litros de água, para preencher cada m² do painel.

Logo para preencher aproximadamente 3 m², área total dos dois corpos de prova, foram necessários 2 m³ de fibra seca, 1 kg de argila pura utilizada para fabricar artefatos cerâmicos e 30 litros de água. As fibras foram preparadas dentro de um reservatório sendo amassada manualmente até ficar homogênea e aplicada logo em seguida entre as tramas de bambu.

4.1.4 Composição do sistema de revestimento

O sistema de revestimento aplicado no painel/objeto de estudo, compõe-se por três camadas, conforme Olender (2006), sendo as duas primeiras, emboço e reboco, com argamassas a base de cal e o acabamento final, a caição.

Apesar da argamassa elaborada com terra arenosa e cal, nos testes preliminares, ter apresentado uma razoável quantidade de fissuras e tempo de cura mais lento, optou-se em descartar a adição de cimento e utilizar apenas a cal para composição das argamassas de revestimento no objeto de estudo.

Isto porque, conforme já mencionado nesta dissertação, o uso de material mais impermeável no revestimento, como o cimento, tende a dificultar as trocas de ar entre o meio externo e interno, permitindo o armazenamento de água dentro das paredes o que prejudica os elementos da trama de madeira ou bambu, entre outros problemas.

O cimento também foi descartado para a composição da argamassa de revestimento do painel por sua aderência momentânea, isto devido suas diferenças de retração e coeficiente de dilatação quando aplicado sobre paredes de terra. (OLENDER, 2006).

A seguir, a caracterização de cada composição:

a) Primeira camada, emboço, traço em volume 1:2:6 (cal CH-III, fibra vegetal, terra arenosa)

Este traço foi elaborado em função da análise do solo e os testes de composição de argamassa descritos anteriormente. Utilizou-se espessura de 1,5 cm de cada lado do painel conforme a recomendação de Kanan (2008) e foi aplicado de forma manual, com arremesso de bolas diretamente sobre o preenchimento e a trama.

A terra arenosa passou por uma peneira com abertura de malha de 5 mm, e após foi misturada com a cal, depois a fibra, e por fim, aos poucos, com a água até obter uma massa firme e plástica. O processo de elaboração da argamassa ocorreu de forma manual, em carrinho de mão e para a medida de volume de material utilizou-se um balde de 5 litros.

Com a definição pela necessidade de uso de estabilizante e com os testes das composições nas esteiras de bambu do TCC Vitor (2018), verificou-se a necessidade de adição de fibra no emboço para reduzir a fissuração. Por isso, na composição do emboço para o painel utilizou-se o dobro da quantidade de fibra daquela utilizada nos pré-testes,

aumentando também a quantidade recomendada no referencial teórico de Neves e Faria (2011).

As fibras utilizadas nessa camada de revestimento também conferem maior resistência mecânica à argamassa, reduzindo a quantidade de terra. Essas foram cortadas com 6 cm conforme indicação de Olender (2006).

b) Segunda camada, reboco, traço em volume 1:2 (cal CH-III, terra arenosa)

A terra arenosa utilizada para essa composição passou por uma peneira de 2 mm sendo retirados os grãos maiores, mas deixando-a uniformemente variada com grãos de médios a finos. Com esta recomendação de Kanan (2008) se obtém menos espaços vazios entre os grãos e faz com que a cal fique mais distribuída na argamassa.

O processo de elaboração da argamassa ocorreu de forma similar ao anterior, exceto a adição de fibra. Utilizou-se espessura de 1,25 cm de cada lado do painel.

A aplicação foi executada com auxílio de pá de pedreiro sendo aplicada apenas uma camada com pressão sobre o emboço e sendo em seguida alisada.

c) Terceira camada, acabamento sobre o reboco, a caiação

Composta de 1,1 kg de cal CH-III diluída em 2,2 litros de água para a aplicação de 10 demãos, somente na face externa de um dos painéis. O número de camadas segue a recomendação de Kanan (2008), mas segundo a pesquisadora é possível diminuir para 7 demãos.

4.1.5 Beneficiamento do bambu

A escolha das espécies de *Bambusa ssp.* ocorreu pela disponibilidade local do material, oriundo de touceiras manejadas e de fácil acesso. A espécie *Bambusa oldhami* apresenta, segundo as descrições de Carbonari et al. (2017) e Greco e Cromberg (2011), características similares em relação ao bambu da espécie *Guadua angustifolia*, como: à regularidade linear dos colmos; menor índice de conicidade e uniformidade nos entrenós; além de maior resistência à compressão e tração. Com estas características essa espécie foi utilizada para a composição da moldura do painel.

A colheita dos colmos seguiu as recomendações de Hays e Matuk (2003). O corte da *Bambusa oldhami* ocorreu durante o mês de novembro de 2018 no curso de mudas de bambu promovido pela BambuSC, no sítio Vagalume em Rancho Queimado/SC. Foram escolhidos aqueles com a presença de manchas e idades entre 3 e 4 anos.

Para a composição da trama utilizou-se a *Bambusa tuldoide*, por possuir características semelhantes à *Bambusa oldhami* e menor diâmetro.

A espécie *Bambusa tuldoide* é a segunda mais abundante em Florianópolis, que apesar de exótica, adaptou-se de uma maneira harmônica a região. A colheita foi realizada no período entre maio e agosto, fora do período de brotação para não danificar os brotos e a touceira. Essa espécie tem disponível para estudos, na coleção de bambus da UFSC, localizada na Fazenda Experimental da Ressacada, no Distrito da Tapera. Foram escolhidos aqueles marcados com número 2, 3 e 4, que correspondem ao ano de nascimento em 2012, 13 e 14 (Figura 43a).

Os colmos cortados, com serrotes de poda, com tamanhos de aproximadamente 150 cm facilitou o transporte do material ao Labrestauro/MATEC/UFSC.

No local, iniciou-se a etapa de tratamento, pelo método de impregnação vertical conforme descrito por Pereira e Beraldo (2008) com a solução de 3% de pentaborato de sódio (solução de ácido bórico + bórax decahidratado) diluído em 50 litros de água.

Os colmos, ainda verdes, tiveram seus entrenós perfurados com uma barra de aço de 8 mm, e depois foram colocados num tambor com capacidade de 50 litros e preenchidos seu interior com a solução de sal de boro, repousando por 7 dias em uma extremidade e mais 7 dias da outra (Figura 43b).

A preparação dos colmos para a montagem do painel ocorreu após um mês de secagem. Primeiramente os colmos foram uniformizados retirando algumas sobras de ramos laterais. Após esta etapa, os colmos de *Bambusa oldhami* foram separados como peças principais para a confecção da moldura e os colmos de *Bambusa tuldoides* como peças secundárias para suporte da trama e confecção das tiras.

Antes de realizar os cortes dos colmos principais (moldura) houve a necessidade de medir o diâmetro de cada extremidade, os quais variaram entre 51 a 61 mm, totalizando a diferença de 10 mm.

Em seguida, numa mesa marcada com o tamanho do painel, os colmos foram distribuídos e colocados cada um em sua posição de pilar e viga. Os 2 colmos com maior densidade de parede ficaram como vigas inferiores da cada painel. A distribuição das 2 vigas superiores e dos 4 pilares peças obedeceu além da linearidade dos colmos, também os diâmetros aproximados.

As vigas foram cortadas com 140 cm e cada pilar com uma medida que se aproxima de 132 cm. Pela impossibilidade de garantir um nó em cada extremo para evitar o esmagamento, foi introduzido um cilindro de madeira nas peças principais conforme Figura 8 (HIDALGO-LÓPEZ, 2003) da mesma medida do lúmen (parte oca dos colmos) ancorado no colmo por uma cavilha de 10 mm.

Os cilindros foram produzidos com restos de eucalipto ora de caibros 5 x 10 cm arredondados num torno elétrico para madeira ora de escora de eucalipto. Este cuidado, com o preenchimento do colmo, auxilia a transmissão dos esforços e garantia da estabilidade na ligação entre os pilares e as vigas, feita por parafusos metálicos.

O segundo momento que exigiu mais atenção foi à confecção das peças secundárias que compõem a trama, a qual também exigiu simular sua posição dentro do painel e a relação com o diâmetro das vigas.

As peças secundárias, colocadas sob pressão ao longo do comprimento das vigas, receberam em suas extremidades encaixes com duas orelhas (cada uma medindo 10 x 20 mm, de largura e comprimento respectivamente) feitas com auxílio de uma serra fita. Os furos nas vigas para inserção das peças secundárias foram feitos com broca 10 mm na furadeira de bancada (Figura 43d).

Foram necessários 4 colmos de *Bambusa tuldoides* com aproximadamente 140 cm de comprimento para as peças secundárias e mais 4 colmos com 140 cm de comprimento para as tiras. E, as tiras foram confeccionadas com uso de uma faca radial.

Figura 43 - Beneficiamento do bambu para moldura e trama do painel.



a) Colmos de *Bambusa tuldooides* e *Bambusa Oldhami*



b) Tratamento dos colmos e secagem



c) Inserção de cilindros de madeira nas extremidades dos pilares e vigas, corte **boca de peixe** nos pilares e ancoragem com pino de madeira



d) Corte duas orelhas nas peças secundárias e furos nas vigas

4.1.6 Montagem dos painéis

Tanto a etapa do beneficiamento do bambu quanto à composição das argamassas necessitaram de muita atenção e demandaram tempo longo de dedicação.

A etapa de pré-fabricação da moldura exigiu um rigoroso critério de medidas e seguiu etapas de controle para que ambos os corpos de prova obtivessem ao final a mesma medida, buscando unir colmos de diâmetro aproximados e procurando a parte mais retilínea. O peso da moldura e da trama de um painel ficou em aproximadamente 12 kg.

Em cada painel, para a montagem da moldura e da inserção da trama foram utilizados apenas três tipos de ligações entre os bambus já explicado no item 4.1.5. Ao final da elaboração da moldura e da trama, aplicou-se uma demão de leite de cal, mistura de água e cal. Conforme Santos (2016) o leite de cal propicia o suporte do emboço e auxilia no aumento do tempo de cura do revestimento evitando o aparecimento de fissuras.

Em seguida, iniciou-se a etapa de preenchimento de maneira manual, conforme a tradição na execução das técnicas mistas. Para colocação das fibras foram elaborados pequenos volumes bem amassados com tamanhos aproximados de 10 x 20 cm e dispô-los dentro do painel de forma vertical perpassando por 2 tiras no mínimo (Figura 44b). O processo de preenchimento de aproximadamente 1,50 m², com apenas um indivíduo para mão de obra, levou 2 horas em cada painel. O painel pesado anteriormente, após 7 dias teve peso aproximado em 20 kg.

Após esses dias de repouso, para acomodação do material de preenchimento, foi possível aplicar, também de forma manual, a primeira camada de revestimento, o emboço, nas 2 faces – interna e externa - de cada painel.

Para execução de 1m² de emboço, levou aproximadamente 1 hora de trabalho individual, correspondendo o peneiramento manual terra arenosa já em estado seco, com tempo de produção cerca de 30 minutos; a preparação da argamassa com adição de água, 15 minutos; e, colocação, 15 minutos. Passado os 7 dias de cura, observou-se diversificada quantidade e tamanho de fissuras nos dois painéis.

Concluída essa etapa, aplicou-se o reboco formando uma espessura máxima de 1 cm sendo uniformizado com uma esponja umedecida em água (Figuras 44 c e d). Para a aplicação do preenchimento e do emboço optou-se em manter os painéis num local sem incidência direta de raios solares. Este cuidado garantiu um processo de cura mais lento e gradual procurando evitar demasiada retração na argamassa.

Para execução de 1m² de reboco levou aproximadamente 1 hora e 30 minutos de trabalho individual, que compreende: a peneiração manual de terra arenosa seca, cerca de 45 minutos; a preparação da argamassa, 15 minutos; e, colocação, 30 minutos.

Com a elaboração de dois objetos de estudo aprimorou-se a técnica tanto ao beneficiamento do bambu quanto à colocação das fibras dentro da trama.

Apesar do controle na montagem da moldura e da inserção das peças secundárias para suporte da trama houve variação de 10 mm na altura dos dois painéis (Figura 45a).

Em um dos painéis percebe-se que as fibras dispostas de maneira a perpassar por 2 a 3 tiras garantiram mais estabilidade diante da força mecânica na colocação do emboço. Com isto evitou-se que as fibras se desprendam na outra face conforme o ocorrido em um dos painéis (Figura 45b). Poderia também reduzir o espaçamento das tiras para 10 cm, porém seria necessário utilizar maior quantidade de material, o que também implicaria em aumentar o peso final do painel.

Depois da aplicação do emboço observou-se que em uma das faces dos painéis apresentou excessiva retração provavelmente devido a argamassa ter recebido menos água na mistura e por consequência apresentando-se menos plástica. Por estar em estado mais seco e pela dificuldade em esfibrar a argamassa ao longo do painel, o emboço resultou numa espessura maior pesando mais e apresentando grandes fissuras horizontais junto das tiras (Figura 45c).

Para diminuir a ocorrência de retração no emboço nas outras faces dos painéis optou-se em utilizar uma argamassa mais plástica, com mais água, isso garantiu menor retração e o aparecimento de fissuras.

Depois da aplicação de reboco observou-se retração mínima ao longo dos 14 dias de cura. As fissuras aparecem em áreas distintas sem coincidir com a tira da trama e variaram entre 1 e 2 mm, não excedendo 10% da área dos painéis.

O reboco foi deixado em repouso mais de 14 dias para atingir melhor desempenho nos ensaios de estanqueidade. Após isto, conforme a norma apenas uma face dos painéis recebeu acabamento final com a caiação.

Novamente, houve a limpeza e o umedecimento da superfície de suporte e aplicaram-se 10 demãos de tinta à base de cal, com aplicação a cada 30 minutos, no sentido transversal à parede e invertendo o sentido de aplicação. Esperou-se 14 dias para os novos ensaios.

Após este período, observou-se que a caição cobriu as fissuras existentes, conferindo uma superfície com aspecto mais homogêneo e liso (Figura 45d).

A seguir, os painéis prontos foram transportados para o local do ensaio. Durante o transporte dos painéis, estima-se entre 100 a 110 kg, se percebeu o aparecimento novas fissuras no reboco dos painéis com exceção, a face com a caição.

Figura 44 - Montagem dos dois painéis de vedação.



a) Moldura e trama



b) Preenchimento com fibra



c) Painel A, aplicação do emboço e do reboco em uma das faces



d) Painel B, aplicação do emboço e do reboco em uma das faces

Figura 45 - Detalhes na montagem dos painéis de vedação.



a) A irregularidade dos colmos do bambu e as folgas na montagem



b) Colocação das fibras entre a trama, perpassando 2 tiras, e desprendimento da fibra durante a colocação do emboço



c) Fissuras no emboço



d) Reboco externo após 10 demãos de caiação

4.2 ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

O ensaio de estanqueidade conforme o Anexo C da norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) foi efetuado com os dois painéis acoplados ao equipamento. Para o suporte da câmara e do painel foi executado uma estrutura de madeira, e no lado oposto à câmara, na outra face do painel, acrescentou-se um quadro também de madeira demarcando na face interna a área de vazão de ar e de água (Figura 46).

O primeiro ensaio ocorreu com o corpo de prova, denominado CPA, que apresentou menor quantidade de fissuras no emboço e melhor acabamento no reboco. Este não possui acabamento final com pintura. Com isto, a apresentação dos resultados dos ensaios de estanqueidade dos dois corpos de prova, ficou estabelecida com as seguintes abreviações: CPA, faces interna e externa sem pintura; e, CPB, face interna sem pintura e externa com a caiação.

Figura 46 - (da esquerda para direita, de cima para baixo) Corpos de prova CPA e CPB acoplados ao equipamento de ensaio de estanqueidade, lado interno e externo respectivamente.



A apresentação dos resultados ocorreu com o relatório de ensaio para cada corpo de prova, e a discussão foi elaborada a partir da comparação dos resultados.

4.2.1 Relatório de ensaio

Ambos corpos de prova apresentaram superfície no prumo, conforme a solicitação da norma, e com isto possibilitou acoplá-los ao equipamento de estanqueidade com a utilização de silicone.

A aparição de umidade na face interna do painel, durante o ensaio com o CPA, foi observada na primeira hora. Posteriormente, mas ainda dentro da primeira hora, iniciou a aparição das duas primeiras manchas de umidade na face oposta da câmara. Em conjunto a estas manchas observou-se a erosão do reboco na face com a incidência direta de água e ar.

Foram utilizados 1.330 litros de água, ou melhor, 1,3 m³ durante as 7 horas de ensaio. Como se tratava de um sistema de água circular, à medida que o corpo de prova absorvia água houve necessidade de adicionar, durante o ensaio, 12 litros de água na caixa de abastecimento. Isto garantiu o nível constante de água para o acionamento da boia elétrica.

Interessante destacar que a partir das 3 horas do início do ensaio iniciou um vazamento de água na parte mais baixa do corpo de prova e depois de 4 horas de ensaio não ocorreu mais erosão do reboco.

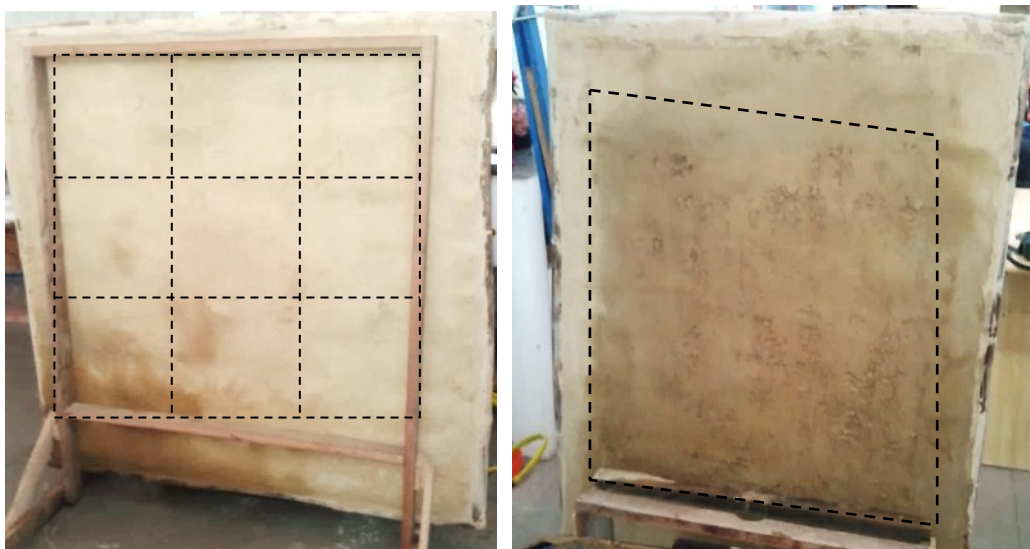
A Figura 47 apresenta a evolução das duas manchas na primeira hora, depois as 2, 3, 4, 5 e 6 horas de ensaio. É possível perceber que a incidência da primeira mancha após 2 horas aumentou e que a partir das 4 horas não sofreu alteração de tamanho, ocorrendo o mesmo fato na segunda mancha.

Figura 47 - Evolução das primeiras manchas de umidade durante o ensaio no CP-A, na primeira hora, e após 2 e 6 horas.



A Figura 48 mostra a duas faces do CPA após o ensaio, a face interna está dividida em quadrantes, para observar o tamanho da área das manchas, e a face externa, externa está com a marcação da área de exposição à água e ar, e a aparência dos pontos de erosão. Considerando a face exposta do painel a aspersão de água de 1,10 x 1,10 m, então cada quadrante representa 0,12 m².

Figura 48 - Face interna e externa CPA após o ensaio de estanqueidade, com divisão e a delimitação da área da câmara, respectivamente.



A Figura 49 mostra com mais detalhe a erosão no reboco do CPA, destacando que a camada de emboço ficou íntegra sem apresentar manifestação patológica. Foi efetuada uma forte pressão com a ponta do dedo e observou-se que o reboco voltou ao estado mais plástico e o emboço manteve-se rígido.

Figura 49 - Erosão do reboco no CPA após ensaio de estanqueidade e baixo relevo causado pela pressão do dedo em outro local do painel.



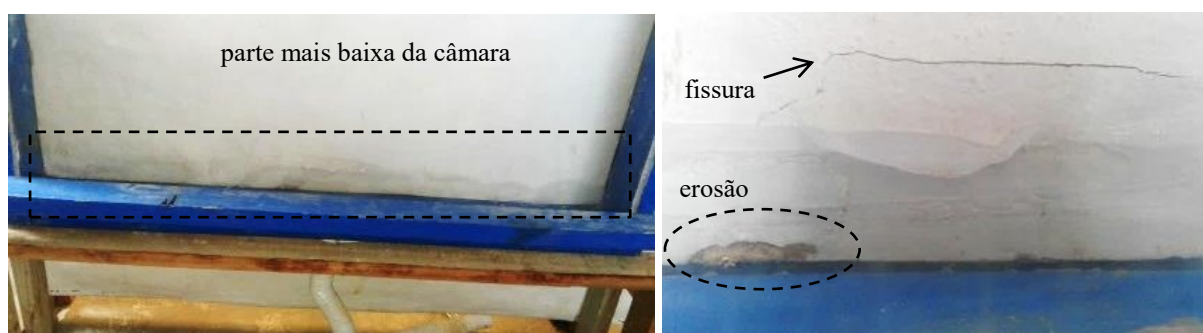
Após a preparação do equipamento para o ensaio de estanqueidade iniciaram-se os procedimentos necessários para com o CPB. Ao final do ensaio, não houve aparição de manchas na face interna dentro da área delimitada, tampouco erosão no revestimento na face externa, aquela exposta à água e ao ar (Figura 50). Ao total foram gastos 770 litros de água, ou melhor, 0,77 m³, durante as 7 horas de ensaio, tendo a necessidade de repor 15 litros de água por causa dos vazamentos.

Figura 50 - Face interna e externa CP-B após o ensaio de estanqueidade, com a delimitação da área da câmara.



Durante o ensaio com CPB, na face interna do painel observou-se a presença de umidade após 3 horas de ensaio e também um pequeno vazamento na parte mais baixa na interface entre painel e câmara, que foi aumentando a medida da exposição de água (Figura 50). O vazamento ocorreu devido aos danos causados no momento de acoplar CPB a câmara do equipamento de estanqueidade, esta danificou a parte mais baixa com o aparecimento de uma fissura horizontal e destacamento do reboco no CPB (Figura 51).

Figura 51 - Dano ao CPB na face externa, no momento de acoplar a câmara de estanqueidade.



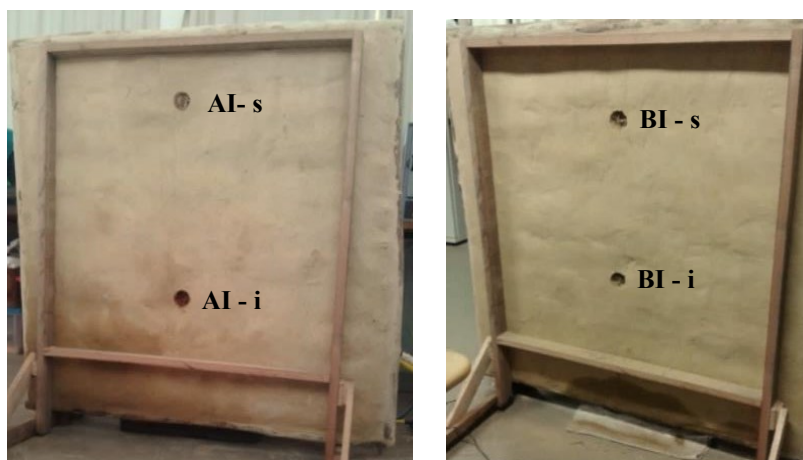
A Tabela 5 apresenta resumidamente os resultados dos dois corpos de provas submetidos aos ensaios.

Tabela 5 - Parâmetros de ensaio de estanqueidade obtidos dos painéis.

Corpo de prova	CP - A	CP - B
Tempo de aparição da umidade (horas)	0:30	3
Tempo de aparição da primeira mancha (horas)	2:30	-
Área da mancha de umidade ao final do período (m ²)	< 0,12	-
Água – leitura inicial (m ³)	48,56	49,89
Água – leitura final (m ³)	49,89	50,66

Após o ensaio de estanqueidade, realizou-se a medição do teor de umidade dos dois corpos de prova. Para isso foram retiradas quatro amostras de cada um, obtidas de duas diferentes alturas dos corpos de prova A e B, localizadas na face interna (I) – aquela oposta a incidência de água e de ar - como externa (E), e na parte superior (s) e inferior (i) (Figura 52).

Figura 52 - Amostras retiradas da face interna do CPA e CPB para medição de teor de umidade.



A Tabela 6 mostra resumidamente os resultados do teor de umidade nas amostras de argamassa após serem submetidas ao ensaio de estanqueidade.

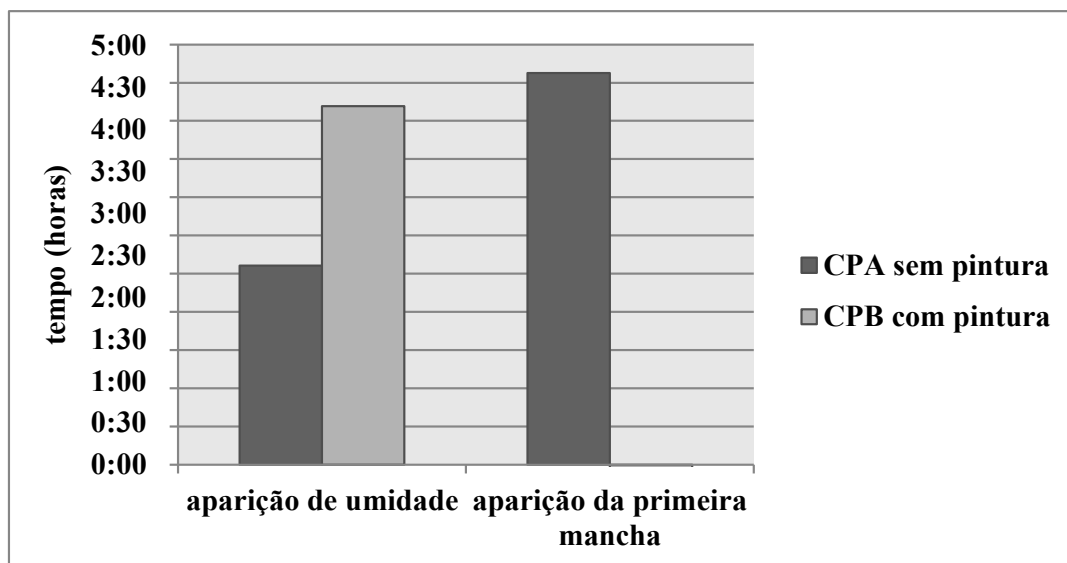
Tabela 6 - Teor de umidade nos dois corpos de prova após ensaio de estanqueidade.

Amostra	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	h (%)
AI - s	29,85	29,16	2
AI - i	25,35	22,65	12
AE - s	48,10	41,43	16
AE - i	62,21	49,21	26
BI - s	47,62	46,13	3
BI - i	48,54	46,76	4
BE - s	53,28	45,68	17
BE - i	47,55	40,55	17

4.2.2 Discussão dos principais resultados do ensaio

A análise detalhada de cada parâmetro do ensaio de estanqueidade em cada corpo de prova foi dividida em dois diferentes gráficos, sendo que a Figura 53 mostra o tempo de aparição de umidade e a primeira mancha dos dois corpos de prova e na Figura 54 o teor de umidade dos revestimentos ao final dos ensaios.

Figura 53 - tempo de aparição de umidade e a primeira mancha dos dois corpos de prova.



Como se observa na Figura 53, os comportamentos quanto à estanqueidade no CPA e CPB são bem diferentes. Em análise a aparição de umidade, enquanto no CPA ocorreu na primeira hora, no CPB somente depois de 3 horas.

Quanto à aparição da primeira mancha de umidade e segundo os critérios da norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) o CPB se apresentou estanque durante o ensaio atingindo desempenho superior e o CPA não se apresentou completamente estanque.

Se considerar o percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área total do corpo de prova submetido à aspersão de água ao final do ensaio, o CPA apresentou desempenho mínimo isto porque na face interna as manchas não excederam $0,12 \text{ m}^2$, o que compreende o limite de 10% do total da área exposta.

No final do ensaio tanto o CPA quanto o CPB apresentaram manchas de umidade na porção mais baixa fora da área de incidência direta da água e do ar. Por isso, mesmo com a presença de poucas manchas não seria adequado manter o CPA em padrões mínimos de desempenho em função do vazamento ocorrido dentro do painel, junto ao preenchimento. Este vazamento, já com início na primeira hora do ensaio, ocorreu devido à presença de microfissuras provocadas pela retração da argamassa e aquelas com origem no transporte do painel na face externa do painel.

Sabe-se que este vazamento ocorreu dentro do painel, pois ao retirar as amostras dos revestimentos o preenchimento se encontrava úmido.

Já o CPB apresentou vazamento somente por fora do painel. Isto ocorreu devido à presença de fissura e destacamento do reboco após acoplar o painel à câmara, pois este não ficou completamente plano (Figura 51). Porém, estes vazamentos não alteram os resultados de teor de umidade.

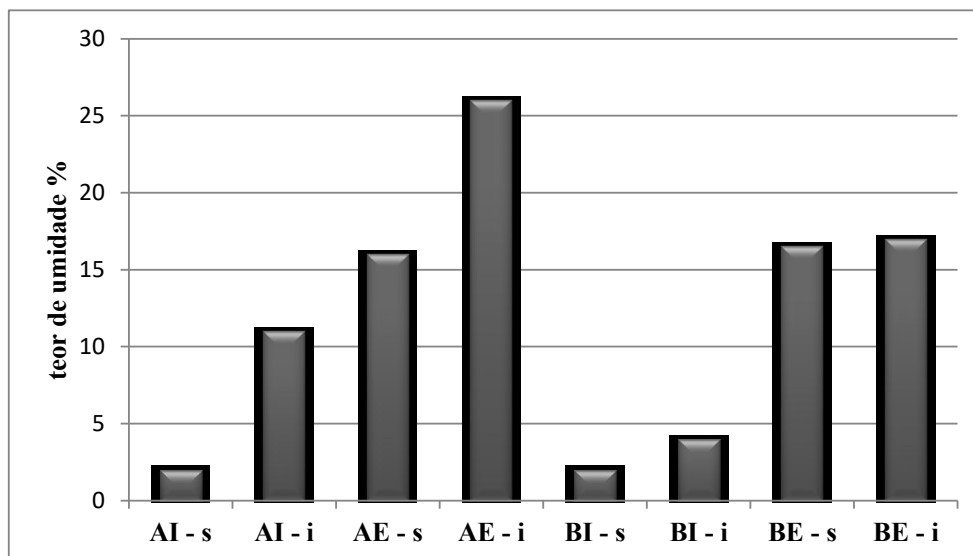
Com relação ao teor de umidade existente nos revestimentos, depois do período de exposição ao ensaio, os resultados se mostraram bem diversificados. Analisando a Figura 54 e comparando as faces internas de cada corpo de prova, é possível concluir que:

- em ambos na parte superior a absorção foi igual;
- a parte inferior do CPA teve uma maior absorção do que CPB;

Ao comparar as faces externas – aquelas expostas diretamente - à incidência de água e de ar – em relação à face interna é possível concluir que:

- em ambos se manteve muito próximo o percentual de absorção, apenas na parte superior do CPA e ambas as partes do CPB;
- na parte inferior do CPA a absorção foi maior do que no CP-B;
- e, tanto na parte superior quanto na inferior do CP-B a absorção se manteve constante.

Figura 54 - o teor de umidade dos revestimentos nos corpos de prova ao final dos ensaios.



Considerando o teor de umidade e a estanqueidade os resultados demonstram que em dias de chuva a absorção dos painéis, objeto de estudo, seria maior onde há incidência direta

de água com os ventos atuantes. Isto foi demonstrado pelo maior teor de umidade na parte mais alta do corpo de prova exatamente junto a simulação da vazão de água. Observa-se que sem o vento atuante, a chuva cairia verticalmente e as paredes da edificação pouco absorveriam a água.

O uso da cal nas camadas de revestimentos e a caiação no CPB mostraram a eficácia quanto à estanqueidade. Acredita-se que o CPA sem a caiação alcançaria melhores resultados caso não houvesse o vazamento que ocorreu devido a presença das fissuras ocorridas após seu transporte, o que prejudicou a avaliação da estanqueidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por todos esses aspectos, esta dissertação pode respaldar o avanço tecnológico do emprego da técnica de pau a pique em painel de vedação com terra e bambu, inserido num processo construtivo com etapas de pré-fabricação, mas ainda preservando hábitos culturais com a aplicação de argamassas de terra de forma manual. O componente como o preenchimento com fibra garantiu obter um painel leve.

A pesquisa mostrou como a estanqueidade à água de chuva é um importante critério para avaliar o desempenho deste tipo de painel de vedação em ambientes de clima temperado úmido, como em Florianópolis, e o revestimento como componente fundamental para preencher os requisitos mínimos para satisfação do usuário.

Vale destacar que o revestimento do painel, nesta pesquisa, é composto de três camadas, tendo o acabamento final com a caiação o principal elemento para a estanqueidade de água da chuva propiciando um nível de desempenho superior sob os critérios da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Com os testes preliminares com as argamassas de revestimento de terra observou-se que o uso da cal auxilia no processo mais lento de cura dos revestimentos, possibilita uma adequada aderência e facilita a colocação do acabamento final.

Com a confecção dos painéis, como corpo de prova, observou-se um tempo mínimo de cura de aproximadamente 28 dias, sem a incidência de sol direta bem como de água de chuva. Este tempo poderá aumentar em função da umidade do ar ou se chover diretamente sobre a parede.

Somente por meio de dados mais precisos na caracterização do solo, como os testes laboratoriais de granulometria e índice de plasticidade, que o construtor poderá diminuir a necessidade de uso de materiais industrializados para estabilização das argamassas de terra.

Além do exposto, faz-se necessário que os profissionais estejam atentos à elaboração de projetos detalhados como também a supervisão da qualidade da mão de obra para o controle mais rigoroso no preparo e tempo de cura de argamassas de terra, diminuindo as retrações e por consequência as manifestações patológicas. Atentos a este universo será possível contribuir para o desempenho à durabilidade de painéis de vedação com terra e bambu na técnica pau a pique.

5.1 CONCLUSÕES DE ACORDO COM OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os procedimentos técnicos por entrevista em conjunto ao referencial teórico tiveram como finalidade cumprir os dois primeiros objetivos específicos:

- definir as características e detalhes que descrevem a técnica de pau a pique de forma a aplicá-las na proposição de um painel de vedação revestido;
- identificar a composição e as propriedades do solo para obter o traço ideal de forma a garantir o desempenho de argamassas de revestimentos.

Ao confrontar a técnica de pau a pique entre profissionais e pesquisadores percebe-se que existem muitas características semelhantes, como por exemplo, o uso da técnica para vedações verticais internas e externas em residências unifamiliares de pequeno e médio porte, com até 2 pavimentos. Esta categoria de edificação se enquadra perfeitamente nos requisitos da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

A técnica de pau a pique em novas construções, ainda que incipiente pelo território catarinense ocorre informalmente com a prioridade de uso de materiais locais e de fontes renováveis, com baixa energia incorporada. Assim também acontece nas pesquisas científicas, com a discussão sempre em torno de habitações mais sustentáveis com uso da terra vinculado aos materiais disponíveis no ambiente local para uma menor dependência de fornecedores de materiais industrializados e convencionais.

A simplicidade em que a técnica é mencionada pelos profissionais e também as formas de caracterização dos solos por testes em campo para composição das argamassas vem possivelmente da cultura construtiva local e da formação dos profissionais em cursos de bioconstrução. Esta formação ocorre geralmente com oficinas de sensibilização e não de capacitação, sobre como se projeta e os cuidados necessários para cada clima.

Em geral, é possível afirmar que muitos profissionais da ACT não estão atentos à elaboração de projetos específicos para o emprego da técnica em painéis de vedação, principalmente quanto à coordenação modular, à padronização quanto ao tipo de trama e aos detalhes construtivos em sistemas estruturais com materiais roliços.

Alguns profissionais relataram a retração como uma manifestação patológica, porém esta é uma característica intrínseca do material terra. Quando bem observadas, as retrações podem ser solucionadas na fase de acabamento dos revestimentos e não ser a precursora de manifestações patológicas.

Acredita-se que somente com a formação técnica científica é que haverá o despertar para a necessidade sobre o uso de ensaios laboratoriais que visam principalmente determinar a quantidade de argila e o índice de plasticidade. Com dados mais precisos, é possível garantir a estabilização da terra e evitar suas fragilidades na presença da água, diminuindo o efeito da retração.

Na grande maioria das obras citadas pelos profissionais, a durabilidade das paredes está associada principalmente aos detalhes construtivos quanto ao beiral amplo, alicerce alto e emprego de revestimentos. Numa linguagem comum, costuma comentar a esse respeito que as construções em terra devem ter chapéu, botas e casaco respectivamente, para a proteção das intempéries e com isto obter uma vida longa.

A partir das entrevistas com os profissionais foi possível definir o sistema de revestimento e obter, mesmo com algumas ressalvas, os principais materiais utilizados para a proposição de um painel de vedação revestido em ambientes de clima temperado úmido, como em Florianópolis.

Salienta-se que o uso de aglomerantes naturais e extraídos do próprio local, como as seivas e o esterco, apesar do grande emprego foram descartados para confecção do objeto de estudo, pois necessitam de estudos no desempenho em paredes de terra.

Quanto ao emprego do bambu na técnica mista foram melhores esclarecidas pelo referencial teórico, com uso de modulação e pré-fabricação da moldura e da trama. A trama dupla porque possibilita o uso de algum preenchimento e obter maior espessura de parede. Trama rala para diminuir a quantidade de material e facilitar a colocação do preenchimento e trama gradeada para favorecer a estabilidade da moldura e das tiras. A opção por tiras no sentido horizontal com suporte em colmos roliços secundários teve base nas pesquisas científicas, mas não seria um problema se aplicado em sentido contrário.

E assim, a partir do acúmulo de informações pode-se alcançar o terceiro objetivo:

- desenvolver um painel de pau a pique, sendo os principais componentes a estrutura principal e auxiliar de bambu, o preenchimento de fibra e o sistema de revestimento de terra à base de cal.

Após identificar os esforços primordiais para montagem e a caracterização do solo do objeto de estudo desenvolveu-se procedimento para cada um deles.

Salienta-se a importância da pré-fabricação da moldura e trama de bambu, como também a fibra para o preenchimento, e que a etapa de fechamento com argamassas em terra seja moldada *in loco*, caracterizando a confecção do painel de vedação em processos de produção mistos.

Com isto a confecção da trama pode ser executada não necessariamente dentro da obra. Também para facilitar o beneficiamento do bambu, além do processo de pré-fabricação, é preciso obter maior número de colmos de forma a ampliar as possibilidades e diminuir a variação nominal e a conicidade. Estas questões podem ser evitadas com o cuidado na origem do material, dando preferência por touceiras manejadas e locais com maior disponibilidade de colmos.

Com maior disponibilidade de material utiliza-se a mesma parte do colmo aquela com menor conicidade. Por exemplo, utilizar o primeiro 1/3 do colmo para pilares, e os outros 1/3 (metade do colmo) para vigas, ou vice e versa, pois quanto menor variação nominal do colmo de bambu maior a precisão de cortes e encaixes, e por consequência maior precisão nas medidas finais dos painéis.

Ainda sobre o uso de bambu em molduras de painéis de vedação de pau a pique é importante salientar que escolha da espécie influencia diretamente na espessura final da parede. Nesta pesquisa a *Bambusa oldhami*, a qual possui em média 10 cm de diâmetro, refletiu na espessura final da moldura do painel, e também definiu o uso de colmos com menor dimensão para as peças secundárias.

As tiras devem estar secas e tratadas, com o tecido parenquimatoso para o exterior para criar micro ancoragens para o revestimento. Estas podem ser fixadas com fios sintéticos ou naturais evitando o uso de artefatos metálicos, a fim de diminuir custo e o aparecimento de manifestações patológicas.

O preenchimento com uso de fibra além de adicionar mais uma etapa na pré-fabricação também pode diminuir o tempo de obra *in loco*, a quantidade de terra, e como solução as questões de transporte devido ao peso final do painel.

As argamassas de terra aplicadas *in loco* evitam os danos no sistema de revestimento devido ao movimento do painel durante o processo de cura conforme ocorreu nesta dissertação.

Com isto, esta pesquisa promoveu um avanço tanto à execução de paredes de pau a pique, na questão do uso de fibra como preenchimento quanto aos problemas relativos à

retração da argamassa de terra. Sendo imprescindível, para diminuir os problemas de retração nas argamassas de revestimento a base de cal observar os seguintes procedimentos:

- testar diferente quantidade de fibras e água para se obter o traço ideal, obedecendo o do início ao fim da execução;

- realizar a caracterização do solo por ensaios de granulometria e de índice de plasticidade com laboratorista com experiência, a fim de se obter alta precisão dos dados. Pois, somente após conhecer as quantidades de partículas existentes no solo será possível a composição das argamassas de revestimento que sejam compatíveis à porosidade e permeabilidade existente em paredes de terra;

- e, evitar incidência do sol e da chuva, cuidando com as atividades de impactos neste período de secagem. Em situação real de obra, as paredes que receberem este tipo de revestimento devem estar protegidas pelo menos 28 dias após a aplicação, para evitar o aparecimento de fissuras.

Por fim, utilizou-se os procedimentos do ensaio de estanqueidade estabelecidos pela norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) para cumprir o quarto objetivo específico:

- aferir estanqueidade do painel de vedação como corpo de prova aos critérios e requisitos mínimos estabelecidos pela norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

O ensaio de estanqueidade permitiu concluir que o revestimento, é o componente mais importante a se considerar no entendimento do desgaste dos materiais, da resistência mecânica e durabilidade nos painéis de bambu e terra, na técnica mista.

As argamassas de revestimentos com terra, principalmente externas, se melhoradas, impedem a entrada de umidade para o interior dos ambientes e promovem o desempenho quanto à habitabilidade.

Aqui, cabe ressaltar que as retrações existentes no corpo de prova sem pintura - CPA ocasionadas principalmente pelo transporte do painel até local do ensaio impossibilitaram o painel de se tornar estanque à simulação de chuva. Portanto, assume-se que a probabilidade dessa ocorrência diminuiria em se tratando da execução *in loco* das argamassas de revestimento com terra.

No que diz respeito ao vazamento ocorrido no CPA levanta-se a necessidade de realização de mais ensaios para constatar se o problema foi pontual ou se o painel não é de fato estanque.

Conclui-se que o emprego da caiação permite estanqueidade a água de chuva em painéis de vedação em bambu e terra, na técnica de pau a pique, possibilitando sua utilização para fachadas externas de edificações.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando esta pesquisa como a primeira com ensaios de estanqueidade em painéis de bambu e terra, na técnica de pau a pique, constata-se que ainda existe muito trabalho a ser executado.

Não seria adequado dizer que esta pesquisa esgotou as avaliações de desempenho quanto à estanqueidade para terra arenosa, mas com ela foi possível obter parâmetros que suscitarão novas discussões.

Seguidamente apresenta-se uma lista de trabalhos futuros, cuja execução julga-se ser essencial para que a técnica de pau a pique seja validada futuramente como um sistema de vedação de vertical interno e externo e ser aplicada em construções:

- o objeto de estudo deve ser submetido à avaliação de outros parâmetros de acordo com a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), como exemplo: estrutural, térmico e contra incêndio;

- outros modelos de painéis devem ser criados, incluindo modelos com aberturas, para que sejam também submetidos aos ensaios de desempenho;

- e, inserir o objeto de estudo a um sistema construtivo com colmos de bambu, estudando principalmente, as ligações entre estrutura e vedação.

Importante ressaltar que a apresentação de resultados nesta pesquisa ocorreu apenas para um tipo de solo – terra arenosa - e por isso não seria adequado utilizar para validar outras pesquisas. A terra é um material não estandardizado, com muita variação quanto a sua composição granulométrica e tipo de argila, se muito ativa ou não, sendo assim, para obter mais conclusões seria necessário analisar outros tipos de solos antes de sua aplicação.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Geraldo Bezerra. Recomendações para Melhoria Tecnológica da Vedação Vertical em Técnica Mista em Habitação de Interesse Social: um Estudo de Caso no Bairro do Alegre em São Sebastião do Passé. Dissertação (Mestrado). Engenharia Ambiental Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. 2007. 206 p.

ARRIGONI, Alessandro; GRILLET, Anne-Cécile; PELOSATO, Renato; DOTELLI, Giovanni; BECKETT, Christopher T. S.; WOLOSZYN, Monika; CIANCIO, Daniela. *Reduction of rammed earth's higroscopic performance under stabilisation: in experimental investigation*. Journal Elsevier, número 115: 358 - 367. 2017. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132317300513?via%3Dihub> Acesso: 12 mar. 2019

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98*, Ley n° 400. 1997. 34p.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. *Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas em Bahareque Encimentado. Fondo para la reconstrucción y desarrollo social del eje cafetero*. 2012. 70 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5.731: Norma Brasileira Coordenação modular da construção: terminologia. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.459: Norma Brasileira para Solo – Determinação do Limite de Liquidez: terminologia. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.457: Norma Brasileira para amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: terminologia. Rio de Janeiro, 1986. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.502: Norma Brasileira de Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.220: Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2003. 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: Norma Brasileira de Desempenho Edificações Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013. 63 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.180: Norma Brasileira para Solo — Determinação do limite de plasticidade: terminologia. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.181: Norma Brasileira para Solo – Análise Granulométrica: terminologia. Rio de Janeiro, 2017. 13 p.

ATAÍDE, Filipa; EIRES, Rute; CAMÕES, Aires; JESUS, Carlos. Argamassas de revestimento para paredes de tabique. In: Congresso Luso Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2, 2016. João Pessoa. Anais eletrônicos... Minho, Portugal, 2018. Disponível: < <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/43201>> Acesso: 13 jun. 2018.

BARDIN, Laurence. Análise de Conteúdo. São Paulo: Edições 70. 2011.

BAYER, Ana Paula. Proposta de diretrizes para o desenvolvimento da arquitetura em terra no Rio Grande do Sul, a partir da interpretação de estratégias uruguaias. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010. 171 p.

BENAVIDES, Andrea Salomé Jaramillo; VALLE, Angela do; LIBRELOTTO, Lisiane. Inspeção e Estado de Conservação de Edificações em Bambu na Região Sul do Brasil. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 16 e Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira, 3, 2018. São Carlos. Anais eletrônicos... São Carlos, SP, 2018. Disponível:

<<http://www.biblioteca.eesc.usp.br/images/soac/ebamem/ebamem2018anais.pdf>> Acesso: 14 mai. 2018.

BEZERRA, Ana Luísa Furquim. As Cores das Fachadas de Edificações Históricas pintadas a cal. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010. 139 p.

BIERRENBACH, Ana Carolina de Souza. Conexão Borsóí-Bardi: sobre os limites das casas populares. Revista Risco, número 7: 49 - 61. São Paulo, 2008. Disponível: <<http://www.revistas.usp.br/risco/article/view/44723/48353>> Acesso: 07 set. 2018.

BRAGA, Ingrid Gomes; NASCIMENTO, Isabel Cristina M. de O.; DUAILIBE, Andrea Cristina S. C. Desempenho do Ambiente Construído com Técnica de Construção com Terra: a Taipa de Mão. In: Encontro Nacional de Ergonomia no Ambiente Construído, 7, e Seminário Brasileiro de Acessibilidade Integral, 8, 2018. Fortaleza. Anais eletrônicos... Blucher Proceedings, SP, 2014. Disponível: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/desempenho-do-ambiente-construido-com-tnica-de-construo-com-terra-a-taipa-de-mo-27975>> Acesso: 30 ago. 2018.

BROOS, Hans. Construções Antigas em Santa Catarina. Blumenau: Cultura em movimento, 2002. 204p.

CARBONARI, Gilberto; SILVA JUNIOR, Nelson; PEDROSA, Nicolas Henrique; ABE, Camila Hiromi; SCHOLTZ, Marcos Ferreira; ACOSTA, Caio Cesar Veloso; CARBONARI, Luana Toralles. Bambu - o aço vegetal. Mix Sustentável, volume 3, número 1: 17-25. Florianópolis, 2017.

CARVALHO, Thaís Marjore Pereira de; LOPES, Wilza Gomes Reis; MATOS, Karenina Cardoso. O potencial da arquitetura de terra para habitação de interesse social. In: Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social, 1, 2010. Disponível: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/509.pdf>> Acesso: 12 ago. 2018.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E APOIO TÉCNICO À EDUCAÇÃO. Taipa em painéis modulados. Ministério da Educação. Brasília, 1985. Disponível : <https://www.faneesp.edu.br/site/documentos/taipa_paineis_modulados.pdf> Acesso: 08 set. 2018.

CEOLIN, Eliká Deboni; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. Durabilidade e sustentabilidade: análise a partir da Norma de Desempenho. In: Seminário Internacional de Construções Sustentáveis, 5, Fórum de Desempenho em Edificações, 2, 2016. Passo Fundo. Anais eletrônicos... Disponível: https://www.imed.edu.br/Uploads/5_SICS_paper_56.pdf> Acesso: 17 fev. 2019.

COLOMBO, Ciliana R.; SATTLER, Miguel Aloysio; ALMEIDA, Marcos Jorge. Bioconstrução: construção do passado ou do futuro?. In: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 11, 2006. Florianópolis. Anais eletrônicos... Porto Alegre, RS, 2015. Disponível:

<<file:///C:/Users/arqui/Desktop/Mestrado/Dissertação/Referências/Pau%20a%20pique/Selecionados/Artigo%20Bioconstrucao%20Sattler%202006.pdf>> Acesso: 30 abr. 2018.

CONCEIÇÃO, Milton Luz da. *La arquitectura absorbida en la isla de Santa Catarina, Brasil*. Revista Apuntes, número 2, volume 25: 200 - 209. Bogotá, Colômbia. 2012.

CORDEIRO, Carol Cardoso Moura; BRANDÃO, Douglas Queiroz; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio. Construções Vernáculas em Terra: Perspectiva Histórica, Técnica e Contemporânea da Taipa de Mão. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção. Campinas, v.10, 2019: 1 – 19.

DA PONTE, Maria Manuel Correia Costa. Arquitetura de Terra: o desenho para a durabilidade das construções. Dissertação (Mestrado). Departamento de Arquitetura, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Coimbra. Portugal. 2012. 298 p.

DÍAS, Inês Morgado. Desenvolvimento e Caracterização de Argamassas de Cal Aérea e Terra: a influência da terra como agregado parcial. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2013. 127 p.

ETCHEBARNE, Rosario. *Alternativas a la Ocupación: Casas di Tierra*. In: *Seminário e Oficina Alternativas a la Ocupación del Arquitecturas en Tierra*, 3, 2003. Montevideo, Uruguai. Apostila... Montevideo: CYTED, 2003: 8 – 13.

ETCHEBARNE, Rosario. *Tierra al sur: arquitectura construccion*. Disponível: <<http://www.tierraalsur.com/>> Acesso: 14 ago. 2018.

EIRES, Rute; CAMOES, Aires; JALALI, Said. *Enhancing water resistance of earthen buildings with quicklime and oil*. *Jornal Elsevier*, número 142: 3281 - 3292. 2016.

FARIA, Paulina. Argamassas de terra e cal - características e campos de aplicação. In: Fórum Ibérico da Cal, 5, 2016. Lisboa. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/308405726_Argamassas_de_terra_e_cal_-_caracteristicas_e_campos_de_aplicacao> Acesso: 19 fev. 2019.

FERNANDES, Maria. Terra: forma de construir arquitectura, antropologia e arqueologia. In: Mesa Redonda de Primavera, 10, 2006. Anfiteatro Nobre, Faculdade de Letras do Porto: 20 – 24.

FERNANDES, Maria. A Taipa no Mundo. In: Seminário de Arquitectura em Terra em Portugal, 6 e Seminário Ibero-americano de Construção e Arquitectura com Terra, 9, 2010. Coimbra, Portugal. DigitAR - Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Artes, número 1, 2013: 14 – 21.

FIGUEIREDO, Margareth Gomes; VARUM, Humberto; COSTA, Aníbal. Caracterização das Técnicas Construtivas em Terra edificadas no século XVIII e XIX no Centro Histórico de São Luís (MA, Brasil). *Arquiteturarevista*, número 1, volume 7, 2011.: 81 - 93.

FLORES, Mario Octavio. *Técnica de Entremados*. Versão digitalizada. Salvador: *Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica Subprograma XIV Tecnología para Viviendas de Interés Social*, CYTED, 2003: 37 - 53.

GARZÓN, Lucia Esperanza. *Un barrio eco-sostenible – diseño modular de construcción mixta con tierra (sistema bahareque pre-fabricado). Proyecto experimental biotécnico* 2008. In: Seminário Ibero-americano de Arquitetura e Construção com Terra, 7, Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, 3, 2008, São Luiz. p. 455 – 465. Anais eletrônicos... Disponível: <<http://www.redproterra.org/categories/publicaciones>> Acesso: 17 fev. 2019.

GARZÓN, Lucia Esperanza. *Proyecto Demostrativo Contemporáneo en Chile: pueblito artesanal de Horcón memoria e impacto de una experiencia con la quincha, en el valle de Elqui*. In: Seminário Iberoamericano de Arquitetura e Construção com Terra, 13, 2013, Valparaíso, Chile.

GIL, Antônio Carlos. *Modos e Técnicas de Pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.

GIORGI, Priscila; GRIGOLETTI, Giane de Campos; LIMA, Rogério Cattelan Antochaves de. Avaliação de sustentabilidade e habitabilidade de blocos de solo-cimento segundo a norma ABNT NBR 15.575. *Revista Scielo* versão on-lin, Rio de Janeiro, v.23, n.3, out. 2018. Disponível: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1517-70762018000300430&lng=pt&nrm=iso> Acesso: 20 fev. 2019.

GRECO, Thiago Machado; CROMBERG, Marina. 2011. *Bambu: Cultivo e Manejo*. 1 ed, Florianópolis: Insular. 183 p.

HAYS, Alain; MATUK, Silvia. *Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra*. Versão digitalizada. PROTERRA: *Tecnologías de Construcción con Tierra Subprograma XIV Tecnología para Viviendas de Interés Social, CYTED*, 2003. 350 p.

HENNEBERG DE LÉON, Andrea Mara. *Aproximación a un estudio sobre las lesiones del bahareque en el estado Zulia, Venezuela. Algunas recomendaciones para su intervención*. *Revista Informes de la Construcción*, Madri, v.64, n.525, jan-mar. 2012. Disponível: <<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/issue/view/177>> Acesso: 13 jun. 2018.

HIDALGO-LÓPEZ, Oscar. *Bamboo the gift of the gods*. Bogotá: D'vinni Ltda., 2003. 71 p.

HOUBEN, Hugo; GUILLAUD, Hubert. *Traité de construction en terre*. Marseille: Parenthèses / CRATerre, 1995. 2. ed., 355 p. Tradução de Obede Borges Faria, em 16 ago. 2018.

INSTITUTO DE ESTUDOS LATINO-AMERICANOS. Caral, a cidade mais antiga de Abya Yala. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina/Projetos Povos Originários, 2016. Disponível:

<<http://www.iela.ufsc.br/noticia/caral-cidade-mais-antiga-de-abya-yala>> Acesso: 02 ago. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A, IPT/SP, Construtora Lix da Cunha S.A. Tecnologia das Edificações. 1. ed. São Paulo: PINI/IPT – Divisão de Edificações. 1988.

JARAMILLO, Andrea; DOTTA, Sara; LIBRELOTTO, Lisiane. *Panel Prefabricado con Bambusa Tuldoides, Calfitice y Botellas Plásticas Recicladas*. In: *Simposio Internacional del Bambú y la Guadua*, 6. Anais..., 2016.

JARAMILLO, Andrea; VALLE, Ângela do; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. I. Inspeção e estado de conservação de edificações em bambu na região Sul do Brasil. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2018, São Carlos. Anais do XVI EBRAMEM, 2018.

JOAQUIM, Bianca dos Santos. Terra e Trabalho: o lugar do trabalhador nos canteiros de produção da Arquitetura e Construção com Terra. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015. 229p.

KRÜGER, Paulo Gustavo Von. Análise de Painéis de Vedação nas Edificações em Estrutura Metálicas. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2000. 167p.

KANAN, Maria Isabel. Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal. Brasília: Iphan/ Projeto Monumenta, 2008. 172 p.

LAVILLE, Christian; DIONNE, Jean. A construção do saber. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999. 337p.

LIMA, Roberto Guião de Souza. Ciclo do Café Vale-paraibano. Instituto Cultural Cidade Viva e Instituto Estadual do Patrimônio Cultural, RJ: Inventário das Fazendas de Café do Vale do Paraíba Fluminense, 2018. Disponível:

<http://www.institutocidadeviva.org.br/inventarios/sistema/wp-content/uploads/2008/06/ciclo-do-cafe_pg-13-a-39.pdf> Acesso: 02 abr. 2018.

LOPES, Wilza Gomes Reis. Taipa de Mão no Brasil. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 1998. 232 p.

LOPES, Wilza Gomes Reis; INO, Akemi. A Taipa de Mão e seu Potencial Construtivo. In: Encontro Latino-americano de Edificações e Comunidades Sustentáveis, 1, 1997, Canela. Anais eletrônicos... Curitiba: UFPR, 2013. Disponível: <http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/1997/1997_artigo_07.pdf> Acesso: 20 fev. 2018.

LOPES, Wilza Gomes Reis; INO, Akemi. As Madeiras de Reflorestamento e a Taipa de Mão. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 6, 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis: IBRAMEM, 1998: 407-416.

LOPES, Wilza Gomes Reis; INO, Akemi. A Taipa de mão no Brasil. In: Seminário Ibero-americano, 1, 2002, Salvador. Anais... Salvador: PROTERRA, 2002: 407-416.

LOPES, Wilza Gomes Reis; INO, Akemi. O Emprego da terra crua e de madeira de reflorestamento como materiais de construção. In: Conferência Latino-americana de Construção Sustentável, 1, Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, São Paulo, 2004.

MARTINS, Mateus de Carvalho; ANDRADE, Roberta Aparecida de. Saberes da Terra: produção e aplicação de tintas naturais com pigmentos de solos. In: Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, 6, 2016. Bauru, 2016. 13 p.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. Revista Sustentabilidade em Debate, Brasília, v.3, n.1, jun. 2012. Disponível: <<http://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/7199>> Acesso: 15 mai. 2018.

MINISTERIO DE DESAROLLO URBANO Y VIVIENDA. Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Guadúa. 2016. Disponível: <<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/NEC-SE-GUADUA-VERSION-FINAL-WEB-MAR-2017.pdf>> Acesso: 09 set. 2018.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma técnica E.100 Bambú, 2012. Disponível: <[file:///C:/Users/arqui/Downloads/fotos/E.100Bambu%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/arqui/Downloads/fotos/E.100Bambu%20(1).pdf)> Acesso: 19 jul.. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Construção Sustentável. 2017. Disponível: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/construcao-sustentavel>> Acesso: 26 out. 2017.

MINKE, Gernot. *Manual de construcción en tierra*. 1ª ed. Montevideo: Editorial Nordan-Comunidad. 2001. 222 p.

MUSTELIER, Niubis Luperón. Avaliação do Desempenho de Blocos e Argamassas com Cinzas de Carvão Mineral incorporada para aproveitamento em Conjuntos Habitacionais. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2002. 127p.

NEGREIROS, Bianca; PEDRINI, Aldomar; MARINHO, George; PINTO, Edna Moura. Taipa de mão em João Câmara/RN. In: Workshop de Integração da rede de Pesquisa INOVATEC FINEP [Polo USP], 1, Pirassununga, 2012.

NEVES, Célia Maria Martins. Resgate e atualização do construir com terra: O projeto PROTERRA. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 1, e Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, São Paulo, 2004.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo. Rede Ibero-americana PROTERRA. 2009. Disponível: <<http://www.redproterra.org>> Acessado: 17 mai. 2018.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges. *Técnicas de Construcción com Tierra*. Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista e Rede Ibero-americana PROTERRA. Bauru. 2011. 79p.

NOIA, Paula Regina da Cruz. Sustentabilidade socioambiental: desenvolvimento de sistemas construtivos em bambu no Vale do Ribeira, SP. Dissertação (Mestrado). Programa Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. 2012. 171 p.

OLENDER, Mônica Cristina Henriques Leite. A Técnica do Pau-a-pique: subsídios para sua preservação. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2006. 119 p.

ORNATO ARQUITETURA LTDA. Restauro da Antiga Casa do Vigário. Ministério da Justiça: Florianópolis, 2012.

PASCUAL, Francisco Javier Castilla. *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra – volume 1*. Madrid, Espanha. Tese (Doutorado). *Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura*, 2004. 150p.

PADOVAN, Roberval Bráz. O bambu na arquitetura: Design de conexões estruturais. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Design, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2010. 184p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/89702>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

PEREIRA, Marco Antônio dos Reis; BERALDO, Antônio Ludovico. Bambu de Corpo e Alma. Bauru, SP: Canal 6, 2008.

PIERRES & TERRES. Patrimoines Villards, les fougères, le domaine de la terre, Îlot 10. Villefontaine: Pierres & Terres, 2019. Disponível:
<<https://pierres-et-terres.org/patrimoines-villards/les-fougères/le-domaine-de-la-terre/ilot-10/>> Acesso: 02 ago. 2019.

PINHEIRO, Levi Teixeira; RANGEL, Barbara; VARUM, Humberto Salazar Amorim; SILVA, Adeildo Cabral. Construção em terra crua contemporânea: mapeamento de escritórios e construtoras no Brasil e Portugal. In: Congresso Luso-brasileiro de Materiais e Construção Sustentáveis, 2, 2016. João Pessoa. Anais eletrônicos... Porto: Universidade do Porto, 2018. Disponível: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/86504/2/162728.pdf>> Acesso: 07 mar. 2018.

PROMPT, Cecília Heidrich. Arquitetura de Terra em Unidades Agrícolas Familiares: estudo de caso no oeste catarinense. Dissertação (Mestrado). Programa Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. 2012. 171 p.

PROMPT, Cecília Heidrich; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. Arquitetura e Construção com Terra em Santa Catarina. In: Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, 7, Rio de Janeiro, 2018. Disponível:
<<https://drive.google.com/drive/folders/1kOZ8dC8x1o4FvbTWX8ZKvLUSnPX8eSJe>>
Acesso: 25 fev. 2019.

REZENDE, Marco Antônio Penido de. Taipa de pilão histórica: roteiro para reconstituição. *Arquiteturarevista* n° 2, v. 8, 2012: 101 - 107.

RICHARDSON, Roberto Jarry et al. Pesquisa Social: Métodos e Técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999

RODRIGUES, Paulina Faria. Construções em terra crua. Revista MUSA – Museus, Arqueologia e Outros Patrimônios, vol. 2, Setúbal, Portugal: MAEDS, 2005: 149 - 155. Disponível: < <http://maeds.amrs.pt/informacao/revistas/musa1.pdf> > Acesso: 09 set. 2018.

ROTATORI, George; LAST, Priscila; CHINI, Marcelo Chini. Caminhos do revestimento natural intuitivo. In: Congresso de Arquitetura e Construção com terra no Brasil, 6, Bauru, 2016.

SÁ RIBEIRO, Marilene G. Casa Ecológica para Amazônia, Projeto de cooperação tecnológica no âmbito do Programa de Tecnologia de Habitação - HABITARE financiado pela FINEP/FNDCT/VERDE-AMARELO, 2008. Disponível: <<http://www.habitare.org.br/pdf/relatorios/121.pdf>> Acesso: 15 mai. 2018.

SANTOS, Clarissa Armando dos. Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada. Dissertação (Mestrado). Programa Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. 2015. 290p.

SANTOS, Gabriel Fernandes. Design Participativo para a Sustentabilidade: desenvolvimento de painéis modulares para fechamentos, utilizando bambu associado com terra e resíduos. Dissertação (Mestrado). Programa Pós-Graduação em Design, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 2016. 155p.

SCHRECKENBACH, Hannah. Construção com terra: informação ao consumidor. Weimar, Alemanha: Dachverband Lehm e.V, 2004. Disponível: <<http://www.dachverband-lehm.de/>> Acesso: 08 set. 2018.

SILVA, Armando Filipe da. Manifestações Patológicas em Fachadas com Revestimentos Argamassados. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

SILVA, Deir Nazareth Andrade Costa da. A Viabilidade Técnica e Econômica do Uso do Bambu: a Utilização do *Bambusa Vulgaris* como Entramado nas Construções em Taipa. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.

STANDARDS ASSOCIATION OF ZIMBABWE: Rammed Earth structures. Zimbabwe Standard Code of Practice SAZ5724, Harare. 2001.

TEIXEIRA, Anelisabete Alves. Painéis de Bambu para Habitações Econômicas: avaliação de Desempenho de painéis revestidos com argamassa. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2006.

TEIXEIRA, Anelisabete Alves. Desempenho de Painéis de Bambus Argamassados para Habitações Econômicas: Aplicação na Arquitetura e Ensaios de Durabilidade. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2013. 223 p.

TEIXEIRA, Rubenilson Brazão. Arquitetura vernacular. Em busca de uma definição. *Arquitextos*, São Paulo, ano 17, n. 201, Vitruvius, 2017. Disponível: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/17.201/6431>> Acesso: 06 set. 2018.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. 2009. *Construção em Terra: algumas considerações sobre a selecção de solos*. In: Conferência Engenharia 2009, 10. Covilhã, Portugal, 2009.

TRAMONTANO, Marcelo; REQUENA, Carlos Augusto. Unidades experimentais de habitação 001 e 002. In: revista *Téchne*, n. 49, p. 56-59. São Paulo: Pini, 2000.

UBIDIA, Jorge Morán. *Manual de Construcción: Construir con Bambú caña de guayaquil*. Red Internacional de Bambú y Ratán INBAR. Terceira edição adaptada para Peru. Peru, 2015. UNESCO (org.). Inventory of earthen architecture. 1ª ed. 2012.

VEIGA, Eliane Veras da; PACHECO, Joel; TEIXEIRA, Maria de Fátima. Ribeirão da Ilha: Patrimônio histórico e arquitetônico. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1983. 173 p.

VENDRAMI, Julia May; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; DAL SOGLIO, Carolina Rodrigues. Análise de Desempenho Estrutural de Adobe. In: Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, 7, 2018. Rio de Janeiro, 2018.

VON KRÜGER, Paulo Gustavo. Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2000.

XAVIER, Leonardo Menezes. Taipa de Sopapo: Anacronismo ou Instrumento de Sustentabilidade na Mata Atlântica?. Tese (Doutorado). Programa Pós-Graduação em Design, Pontifícia Universidade Católica Arquitetura e Urbanismo do Rio de Janeiro. 2009. 162 p.

ZANIN, Nauíra Zanrado; SATTLER, Miguel Aloysio. Abrigo na Natureza: Sustentabilidade na Habitação Mbyá-Guarani frente às Intervenções Externas. In: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 11, 2006. Florianópolis. Anais eletrônicos... Porto Alegre, RS, 2015. Disponível:

<http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_3915_3924.pdf> Acesso: 30 abr. 2018.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO



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



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
O TCLE respeita as resoluções 466/2012

Sr(a) foi selecionado(a) e está sendo convidado(a) para participar da pesquisa intitulada **Pau-a-pique, técnica apropriada para construções com terra crua em ambientes subtropicais**, que tem como objetivos: **elencar as principais patologias e detalhes construtivos**, com a justificativa de **abordar a racionalização da construção com terra**.

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 5 meses, com o término previsto para 12/2017.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em responder as perguntas a serem realizadas sob a forma de entrevista. A entrevista será gravada para posterior transcrição – que será guardado por cinco (05) anos e será posteriormente eliminada.

Sr(a) não terá nenhum custo ou quaisquer compensações financeiras. Salientamos que suas respostas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o seu nome ou qualquer uma das empresas que seja mencionado, em qualquer fase do estudo. O benefício relacionado à sua participação será de aumentar o conhecimento científico para a área de Ciências Sociais Aplicadas.

O possível risco e desconforto que a pesquisa poderá trazer a(o) Sr(a) é o constrangimento de ser entrevistado. A fim de evitar ou reduzir efeitos e condições adversas, os pesquisadores garantem que suas opiniões e pontos de vista não serão expostos publicamente. As informações coletadas ficarão de posse dos pesquisadores responsáveis e sua identidade será mantida no mais rigoroso sigilo. Serão omitidas todas as informações que permitam identificá-lo. Em caso de eventuais danos decorrentes da pesquisa será garantido seu direito de indenização ou ressarcimento via a depósito bancário.

Os dados coletados serão utilizados apenas NESTA pesquisa e os resultados serão divulgados em eventos e/ou revistas científicas. Você não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar desse estudo. A qualquer momento você pode se recusar a responder qualquer pergunta ou interromper a participação e retirar seu consentimento, sem penalização alguma. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador.

Sr(a) receberá uma via deste termo onde consta o contato/e-mail do pesquisador responsável, e demais membros da equipe, podendo tirar as suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento. Os pesquisadores responsáveis se comprometem a cumprir todas as exigências contidas nas Resoluções CNS 466/2012.

ENDEREÇO FÍSICO DO PESQUISADOR: 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.

ENDEREÇO DE CONTATO DO COMITÊ DE ÉTICA: Prédio Reitoria II (Edifício Santa Clara), R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401, Trindade, Florianópolis-SC, CEP 88.040-400. E-mail: cep.propesq@contato.ufsc.br. Telefone +55 (48)3721-6094. CEPSES-SC cepses@saude.sc.gov.br. Telefone (48) 3212-1644 / 3212-1660.



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



ENDEREÇO DE CONTATO DO COMITÊ DE ÉTICA: Prédio Reitoria II (Edifício Santa Clara), R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401, Trindade, Florianópolis-SC, CEP 88.040-400. E-mail: cep.propesq@contato.ufsc.br. Telefone +55 (48)3721-6094. CEPSES-SC cepses@saude.sc.gov.br. Telefone (48) 3212-1644 / 3212-1660.

Desde já agradecemos sua colaboração!

Prof. Lizandra Garcia Lupi Vergara
Pesquisador Responsável
E-mail: l.vergara@ufsc.br
Tel.: (48) 3721-7044

Sumara Alessandra Silva Lisboa
Pesquisador
E-mail: arquitetasumara@gmail.com
Tel.: (48) 99991-7817

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ)
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Florianópolis, ____ de _____ de 2017.

Declaro estar ciente do inteiro teor deste TERMO DE CONSENTIMENTO e estou de acordo em participar do estudo proposto, sabendo que dele poderei desistir a qualquer momento, sem sofrer qualquer punição ou constrangimento.








Participante da Pesquisa: _____



Documento de Identidade: _____







(Assinatura)

ENDEREÇO DE CONTATO DO COMITÊ DE ÉTICA: Prédio Reitoria II (Edifício Santa Clara), R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401, Trindade, Florianópolis-SC, CEP 88.040-400. E-mail: cep.propesq@contato.ufsc.br. Telefone +55 (48)3721-6094. CEPSES-SC cepses@saude.sc.gov.br. Telefone (48) 3212-1644 / 3212-1660.

**APÊNDICE B – FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS EXISTENTES NO
LABORATÓRIO DE MODELAGEM E MAQUETARIA - LABMOMA E
LABRESTAURO/MATEC/UFSC**

Ferramentas/Equipamentos/Materiais	Descrição/aplicação
	<p>Serrote para jardim e camping com Lâmina 6 Pol., retrátil, com cabo plástico, para corte dos bambus</p>
	<p>Serrote de poda curvo profissional 13 Pol. com cabo de madeira, para corte dos bambus</p>
	<p>Vergalhão Ca50 soldável 8mm (5/16), para perfurações interna dos nós dos bambus</p>
	<p>Bombona plástica 50 litros, para tratamento dos bambus e como caixa d'água no equipamento de estanqueidade</p>
	<p>Serra elétrica, para o beneficiamento dos bambus</p>
	<p>Serra fita, para o beneficiamento dos bambus</p>
	<p>Faca radial aço, para confecção das tiras de bambu</p>

	<p>Kit furadeira + parafusadeira a Bateria + jogo de brocas e bits, para o beneficiamento dos bambus</p>
	<p>Kit serra copo, para o beneficiamento dos bambus</p>
	<p>Parafuso metálico 6 mm x 120 mm, cabeça chata, fenda Philips, para união dos colmos principais da moldura</p>
	<p>Cavilhas de madeira 8 mm e 10 mm</p>
	<p>Fio sisal 3 mm, para amarração das tiras as peças secundárias da trama de bambu</p>
	<p>Torno de Madeira Elétrico para fabricação dos enchimentos dos colmos de bambus</p>
	<p>Mesa marcada com fita crepe e sargentos para montagem da moldura</p>

	<p>Conjunto de materiais para o teste Casagrande, ensaio limite de liquidez e de limite de plasticidade</p>
	<p>Conjunto de peneiras, ensaio de granulometria</p>
	<p>Kit peneiras metálicas 2 e 5 mm para preparação das argamassas de terra</p>
	<p>Carrinho de mão, enxada, pá</p>
	<p>Kit para elaboração de argamassas: masseira, balde, colher, broxa, nível, prumo, desempenadeira com esponja</p>
	<p>Silicone e pistola para aplicação</p>

**APÊNDICE C – PLANILHA DE CARACTERIZAÇÃO DE SOLO POR TESTES DE
CAMPO**



ANEXO – EXEMPLO DE PLANILHA PARA REGISTRO E AVALIAÇÃO DOS TESTES

IDENTIFICAÇÃO DA TERRA – TESTES DE CAMPO

Nome da amostra	Solo DISPONÍVEL
Localização	DEPARTAMENTO AV/UFSC
Operador	SUMARA USSA E ALEXANDRE VITOR
Data de coleta	19/03/2019
Data de execução	26/03/2019
Observações	Solo de origem desconhecida

Teste		Interpretação
Tátil-visual	Tamanho de partículas	200g AMOSTRA - 13,26g #4,0mm / 31,20g #2,30mm / 33,24g #1,19mm / 47,33g #0,6mm / 39,25g #0,3mm /
	Cor	marrom e brilhante
	Brilho	apresenta pouco brilho
	Tato/textura	áspera, suave talco, gruda na mão
Identificação da terra por inspeção tátil-visual		terra siltosa
Queda da bola		apresentou coesão, terra argilosa
Vidro - % de areia, silte e argila		—
Indicação de técnicas construtivas pelo teste do vidro		Zona para bloco e taipa
Cordão		frágil, a mole
Fita		curta
Exsudação		lenta, a muito lenta
Resistência seca		média a grande, pouco resistente, é possível reduzir os pedacos a pd - terra argilo-siltosa, argilo-arenosa, areia argilosa
Identificação da terra e de técnicas construtivas – tabela 8		Siltosa, indicada para adobe e terra compactada
Identificação da terra e de técnicas construtivas – tabela 9		se necessário utilizar aglomerante e curtir a superfície com cimento ou emulsão asfáltica
Rolo		—
Caixa		—

 23,32#0,15
 4,25#0,15

Conclusões:

recomenda-se para o bancamento solo mais argiloso e adição de fibras para estabilização do solo.

Fazer esboço do local de amostragem no verso

**APÊNDICE D – PLANILHA DE CARACTERIZAÇÃO DE SOLO POR ENSAIO
LABORATORIAL – ANÁLISE GRANULOMETRICA POR PENEIRAMENTO**

CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS						CÓDIGO		
						REVISÃO		
						DATA		
Normas de referência: NBR 6459/16 - NBR 7180/16 - NBR 7181/16 DNER-ME 122/94 - DNER-ME 82/94 - DNER-ME 80/94								
Cliente: Sumara Lisboa								
Obra: Particular				Trecho:				
Material: Solo - Silte arenoso, marrom claro				Furo n°:	Registro n°	Horizonte (m)		
Local da Coleta:			Serviço:		Executado por: Edson/Sumara			
LIMITE DE LIQUIDEZ DNER-ME 122-94				NBR 6459/16		Data		
Capsula nº	Peso da capsula e solo úmido	Peso da capsula e solo seco	Peso da capsula	Peso da água	Peso do solo seco	Porcentagem de água	Numero de golpes	
-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	
LIMITE DE PLASTICIDADE DNER-ME 82-94				NBR 7180/16		Data		
Capsula nº	Peso da capsula e solo úmido	Peso da capsula e solo seco	Peso da capsula	Peso da água	Peso do solo seco	Porcentagem de água	Limite de Plasticidade	
-	-	-	-	-	-	-	---	
-	-	-	-	-	-	-	---	
-	-	-	-	-	-	-	---	
-	-	-	-	-	-	-	---	
-	-	-	-	-	-	-	---	
GRANULOMETRIA DE SOLOS DNER 80-94				NBR 7181/16		Data 25/03/19		
PREPARAÇÃO DO MATERIAL				PENEIRAMENTO				
UMIDADE				Peneiras	Peso da Amostra		% Passando	
Capsula Nº			Retido		Passado	Parcial	Total	
Amostra + tara + água (g)	93	110,66	2"	1681,74	100,0			
Amostra + tara (g)		108,03	1"	1681,74	100,0			
Tara (g)		17,26	3/4"	1681,74	100,0			
Umidade (%)		2,9	3/8"	0,00	1681,74	100,0		
MATERIAL GRAUDO				4	47,01	1634,73	97,2	
Amostra total úmida (g)		1721,40	10	265,94	1368,79	81,4		
Solo seco ret # 10 (g)		312,95	40	52,84	141,98	72,9	59,3	
Solo úmido passado # 10 (g)		1408,45	80	36,66	105,32	54,1	44,0	
Solo seco pass. # 10 (g)		1368,79	200	30,65	74,67	38,3	31,2	
Amostra total Seca (g)		1681,74						
MATERIAL FINO								
Peso da amostra úmida (g)		200,46						
Peso da amostra seca (g)		194,82						
RESULTADOS:								
ÍNDICES FÍSICOS								
LL	-							
LP	-							
IP	-							
GRANULOMETRIA								
# 10	81,4							
# 40	59,3							
# 200	31,2							
DADOS COMPLEMENTARES								
IG	-							
CLASSIFICAÇÃO HRB	-							
MATERIAL: ---								

**APÊNDICE E – PLANILHA DE CARACTERIZAÇÃO DE SOLO POR ENSAIO
LABORATORIAL – INDICE DE PLASTICIDADE**

CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS						CÓDIGO		
						REVISÃO		
						DATA		
Normas de referência: NBR 6459/16 - NBR 7180/16 - NBR 7181/16 DNER-ME 122/94 - DNER-ME 82/94 - DNER-ME 80/94								
Cliente: Sumara Lisboa								
Obra: Particular				Trecho:				
Material: Solo - Silte Argiloso Marrom				Furo n°:	Registro n°	Horizonte (m)		
Local da Coleta:			Serviço:		Executado por: Edson/Sumara			
LIMITE DE LIQUIDEZ DNER-ME 122-94 NBR 6459/16				Data		20/11/18		
Capsula n°	Peso da capsula e solo úmido	Peso da capsula e solo seco	Peso da capsula	Peso da água	Peso do solo seco	Porcentagem de água	Numero de golpes	
61	18,56	15,02	5,76	3,54	9,26	38,2	18	
92	17,37	14,36	6,16	3,01	8,20	36,7	25	
116	17,21	14,36	6,18	2,85	8,18	34,8	37	
122	18,68	15,47	5,91	3,21	9,56	33,6	48	
82	19,14	15,94	6,18	3,20	9,76	32,8	55	
LIMITE DE PLASTICIDADE DNER-ME 82-94 NBR 7180/16				Data		20/11/18		
Capsula n°	Peso da capsula e solo úmido	Peso da capsula e solo seco	Peso da capsula	Peso da água	Peso do solo seco	Porcentagem de água	Limite de Plasticidade	
102	7,55	7,27	6,12	0,28	1,15	24,3	24,5	
138	8,18	7,89	6,68	0,29	1,21	24,0		
25	7,33	7,06	5,99	0,27	1,07	25,2		
113	7,34	7,04	5,88	0,30	1,16	25,9		
136	7,59	7,33	6,14	0,26	1,19	21,8		
GRANULOMETRIA DE SOLOS DNER 80-94 NBR 7181/16				Data				
PREPARAÇÃO DO MATERIAL				PENEIRAMENTO				
UMIDADE				Peneiras	Peso da Amostra		% Passando	
Capsula N°					Retido	Passado	Parcial	Total
Amostra + tara + água (g)	---	---	2"	---	---	---		
Amostra + tara (g)	---	---	1"	---	---	---		
Tara (g)	---	---	3/4"	---	---	---		
Umidade (%)	---	---	3/8"	---	---	---		
MATERIAL GRAUO				4	---	---		---
Amostra total úmida (g)	---	---	10	---	---	---		
Solo seco ret # 10 (g)	---	---	40	---	---	---		
Solo úmido passado # 10 (g)	---	---	80	---	---	---		
Solo seco pass. # 10 (g)	---	---	200	---	---	---		
Amostra total Seca (g)	---	---						
MATERIAL FINO								
Peso da amostra úmida (g)	---	---						
Peso da amostra seca (g)	---	---						
RESULTADOS:								
ÍNDICES FÍSICOS								
LL	36,7							
LP	24,5							
IP	12,2							
GRANULOMETRIA								
# 10								
# 40	Não determinado							
# 200								
DADOS COMPLEMENTARES								
I G								
CLASSIFICAÇÃO HRB								
MATERIAL:								

APÊNDICE F – RELATÓRIO DE ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

PARÂMETROS DE ENSAIO DE ESTANQUEIDADE DOS PAINÉIS

Corpo de prova	CP - A	CP - B
Tempo de aparição da umidade (horas)	0:30	3
Tempo de aparição da primeira mancha (horas)	2:30	—
Área da mancha de umidade ao final do período (m ²)	< 0,12	—
Água inicial de entrada (m ³)	4856	4989
Água final coletada (m ³)	4989	5066

LEITURA DO HIDROMETRO NA SAÍDA DA CAIXA D'ÁGUA

Tempo aproximado de exposição	CP - A	CP - B
0 hora	4856	4989
½ hora	4867	4991
1 hora	4877 +5l	4996
1 ½ horas	4886	5001
2 horas	4896	5008
2 ½ horas	4905 +5l	5013
3 horas	4915	5021
3 ½ horas	4924 +2l	5025 +5l
4 horas	4936	5033
4 ½ horas	4943	5040
5 horas	4951	5045 +5l
5 ½ horas	4961	5051
6 horas	4970	5057 +5l
6 ½ horas	4979	—
7 horas	4989	5066

**ANEXO A – MÉTODO DE ENSAIO, EM LABORATÓRIO, DA ESTANQUEIDADE À
ÁGUA DE SVVE DO ANEXO C DA NORMA NBR 15.575 (ABNT, 2013)**

ABNT NBR 15575-4:2013

Anexo C (normativo)

Verificação, em laboratório, da estanqueidade à água de SVVE – Método de ensaio

C.1 Princípio

Este Anexo especifica um método para verificar a estanqueidade à água de sistemas de vedação vertical externo (SVVE), por meio de procedimentos de laboratório.

C.2 Diretrizes

O ensaio consiste em submeter, durante um tempo determinado, a face externa de um corpo de prova do SVVE a uma vazão de água, criando uma película homogênea e contínua, com a aplicação simultânea de uma pressão pneumática sobre essa face.

C.3 Corpo de prova

O corpo de prova é constituído pela parede, com ou sem pintura ou revestimento, incluindo juntas, quando for o caso. O corpo de prova deve ser plano e verticalmente no prumo, possuir largura e comprimento de no mínimo 105 cm e 135 cm, respectivamente. Não há restrições quanto à sua espessura. No caso de pintura, a tinta deve ser aplicada sobre a face externa da parede e suas superfícies adjacentes, exceto na face interna, de acordo com as recomendações do fabricante. O tempo de secagem da pintura, antes do início do ensaio, não pode ser inferior a sete dias.

Quando o SVVE é constituído por várias camadas, com câmaras de ar internas, como no caso de sistemas leves, deve também ser avaliado se a água penetra pela camada referente à face externa e fica depositada no interior da parede. Nestas situações, é necessária a execução de janelas de inspeção na face interna do corpo de prova, por ocasião do ensaio.

C.4 Aparelhagem

A aparelhagem necessária para a realização do ensaio, conforme mostrado esquematicamente na Figura C.1, é a seguinte:

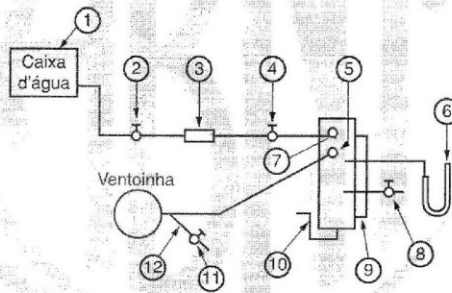
- a) câmara de formato prismático, de dimensões compatíveis com o corpo de prova, estanque e provida de:
 - abertura em uma das faces para fixação do corpo de prova;
 - orifício da saída de água na base, com um sifão que possibilite a formação de um fecho hídrico no interior da câmara;
 - orifício para ligação da alimentação de água, do sistema de aplicação de pressão, do manômetro e para saída de ar;

ABNT NBR 15575-4:2013

- b) sistema constituído por ventoinha, tubulação e registros reguladores de pressão que possibilitem a aplicação de pressão pneumática uniforme de até 50 Pa no interior da câmara durante o ensaio;

NOTA O ar deve ser introduzido no interior da câmara por uma de suas faces laterais, a fim de impedir a incidência direta do ar sobre o corpo de prova.

- c) equipamento para medição de pressão, instalado de maneira que a medição não seja afetada pela velocidade do ar e tenha resolução de 2 Pa;
- d) sistema constituído de reservatório de água, tubulações, registros e tubo com aspersores de água, que deve permitir a aplicação de vazão constante e igual a $3,0 \text{ dm}^3/\text{min}/\text{m}^2$ junto à parede superior da face externa, criando uma película homogênea e contínua;
- e) medidores de vazão que permitam seu controle durante o ensaio, como tubos venturís, rotâmetros e outros, com resolução igual a 1 % do fundo de escala;
- f) grampos para fixação do corpo de prova em número não inferior a seis para fixação do corpo de prova às bordas da abertura da câmara.



Legenda

- 1 boia sensível (para manutenção do nível de água)
- 2 registro de gaveta
- 3 equipamento para medida de vazão
- 4 registro tipo globo para ajuste da vazão
- 5 tubo injetor de ar DN 50 (faz a aspersão da água e pressuriza a câmara)
- 6 manômetro diferencial para controle da pressão dentro da câmara
- 7 tubo aspersor de água
- 8 registro de gaveta (ajuste fino da pressão de ar dentro da câmara)
- 9 corpo de prova
- 10 saída de água (sifonada)
- 11 registro de gaveta (ajuste de pressão)
- 12 sangradouro

Figura C.1 – Esquema de dispositivo para medição de vazão

ABNT NBR 15575-4:2013

C.5 Execução do ensaio

C.5.1 O corpo de prova é constituído pela parede, com ou sem pintura ou revestimento. O corpo de prova deve ser plano e verticalmente no prumo, possuir largura e comprimento de no mínimo 105 cm e 135 cm, respectivamente. Não há restrições quanto à sua espessura.

C.5.2 No caso de pintura, a tinta deve ser aplicada sobre a face externa da parede e suas superfícies adjacentes, exceto na face interna, de acordo com as recomendações do fabricante. O tempo de secagem da pintura, antes do início do ensaio, não pode ser inferior a sete dias.

C.5.3 O ensaio deve ser realizado em pelo menos dois corpos de prova preparados de maneira idêntica, conforme o procedimento descrito em C.5.3.1 a C.5.3.3.

C.5.3.1 O corpo de prova deve ser fixado à câmara de ensaio com sua face externa voltada para o interior da câmara. As áreas de contato entre o corpo de prova e a câmara devem ser vedadas por meio de guarnição esponjosa, empregando-se, onde necessário, cera de abelha ou similar (ver Figura C.2).

C.5.3.2 O sistema de aspersão de água deve ser acionado e deve ser estabelecida uma vazão igual a $(3,0 \pm 0,3) \text{ dm}^3/\text{min}/\text{m}^2$, que deve ser mantida constante durante o ensaio. Em seguida, aplica-se a pressão pneumática especificada, que deve ser mantida constante durante o ensaio.

C.5.3.3 A duração do ensaio é de 7 h. Após este período, a pressão pneumática deve ser anulada e a aspersão de água, interrompida.

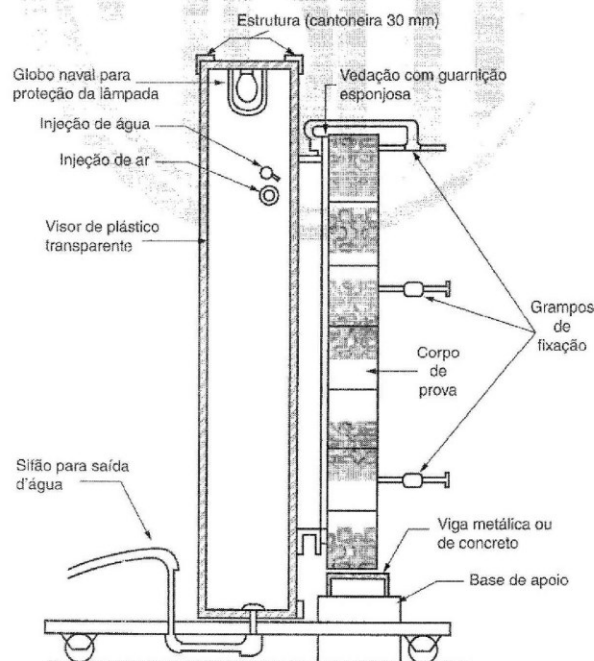


Figura C.2 – Esquema de montagem do corpo de prova para ensaio

C.6 Expressão dos resultados

Deve ser registrado para cada um dos corpos de prova o seguinte:

- a) o tempo de ensaio quando do aparecimento da primeira mancha de umidade na face interna, oposta à incidência da água e pressão, ou quando da penetração de água para o interior da parede, no caso de sistemas de múltiplas camadas, com espaços internos;
- b) a porcentagem da área da mancha de umidade ao final do ensaio em relação à área total da face interna, oposta à incidência da água sob pressão.

C.7 Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve apresentar as seguintes informações:

- a) identificação dos constituintes da parede, inclusive, se for o caso, da argamassa de assentamento;
- b) dimensões do corpo de prova;
- c) no caso de revestimento ou pintura, devem ser identificados:
 - os materiais ou produtos empregados no revestimento ou pintura, e respectivos fabricantes;
 - o modo de execução dos serviços de pintura ou de revestimento, explicitando o número de demãos ou camadas de cada produto, ferramentas empregadas, tempo de secagem entre demãos ou camadas, tempo de secagem antes do início do ensaio;
- d) características dos equipamentos utilizados para medida da pressão e da vazão;
- e) resultados conforme C.4;
- f) data do ensaio;
- g) referência a este Anexo.