

Clarissa Armando dos Santos

**CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL:  
PANORAMA, NORMATIZAÇÃO E PROTOTIPAGEM COM  
TERRA ENSACADA**

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

Florianópolis, 2015.



Clarissa Armando dos Santos

**CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL:  
PANORAMA, NORMATIZAÇÃO E PROTOTIPAGEM COM  
TERRA ENSACADA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora:

Profa. Dra. Eng. Lisiane Ilha Librelotto

Florianópolis, 2015.

dos Santos, Clarissa Armando  
CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL : PANORAMA,  
NORMATIZAÇÃO E PROTOTIPAGEM COM TERRA ENSACADA / Clarissa  
Armando dos Santos ; orientadora, Lisiane Ilha Librelotto  
- Florianópolis, SC, 2015.  
290 p.

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

Inclui referências

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Construção com terra  
crua. 3. Terra ensacada. 4. Abrigo emergencial. 5.  
Habitação de interesse social. I. Librelotto, Lisiane Ilha  
. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de  
Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Clarissa Armando dos Santos

**CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL:  
PANORAMA, NORMATIZAÇÃO E PROTOTIPAGEM COM  
TERRA ENSACADA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 22 de junho de 2015.

---

Fernando Barth, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Lisiane Ilha Librelotto, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Wilson Jesus da Cunha Silveira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina -  
UFSC

---

Cristine Mutti, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina  
- UFSC

---

Normando Perazzo Barbosa, Dr.  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

---

Soraya Nórr, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina  
- UFSC



Este trabalho é dedicado à minha querida família, aos amigos, orientadores e à esperança de que todos possam ter acesso a uma habitação de qualidade.





## AGRADECIMENTOS

Sonho que se sonha só é só um sonho que se sonha só,  
mas sonho que se sonha junto é realidade.

Raul Seixas

**Família.** Gostaria de agradecer aos meus pais, irmão, avós, tios e primos, que sempre acreditaram, incentivaram e viveram o trabalho honesto e as causas nobres: toda a família Armando dos Santos, em especial a José Ricardo Ruschel dos Santos, Laura Armando dos Santos, Luciano Armando dos Santos, Jorge Otávio de Carvalho Armando, Sonia Aguiar Silveira Armando, Maria Luiza Armando, Marta Cecato Armando, Marcio e Eliane Armando, Karin Ruschel dos Santos, Bernardo Mombelli Bicocchi, Raymundo Pacheco dos Santos e Iracy Lurdes Ficagna dos Santos que participaram ativamente, acreditaram, apoiaram, financiaram, abençoaram e curtiram este processo de aprendizagem, pesquisa e construção.

**Professores.** Gostaria de agradecer aos professores e orientadores Lisiane Ilha Librelotto e Cláudio Jacintho que me abriram as portas para o mundo acadêmico e que, mais que orientar, inspiram com sua dedicação e seus trabalhos voltados à construção de um mundo melhor. Ao professor Luís Fernando Martins Ribeiro e ao técnico Thiago do Amparo do Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília, por sua solicitude, seu espírito científico e colaborativo. E à Ana Maria Wisintainer Ramos por seu carinho e suas dicas imprescindíveis.

**Equipe.** Gostaria de agradecer à equipe que participou deste trabalho, acreditou, resolveu problemas, aprendeu junto e construiu o protótipo com tanto capricho que poderá servir de moradia: empreiteiro Raimundo Nonato da Silva Santos, Antônio Lopo, Idalton dos Santos Silva e seus ajudantes. E à Rosângela Alves por todas as limpezas e quitutes.

**Amigos.** Gostaria de agradecer aos meus amigos e colegas que participaram com incentivos, oportunidades, opiniões, ensinamentos, revisões, carinho, consideração e bons exemplos: Aniana Hoffmann; Aline de Melo Nascimento; Gabriel Neiva; Stephania Mercado Bascope; Eliara Porto; Ana Heloísa Moreno; Mayra Resende; Graziella Testa; Luc Clavier e família; Luciene Moreira; Patrícia Tuzimoto; Elizabeth Trindade; Luís Felipe Dias Bezerra; Bárbara Beutel; Caetano Rojas; Maria de los Angeles Fernandez; Fernando Marengo; Roberto Gonzáles; Thaís Ferreira Pinto; Cecília Prompt; Evelise Camargo Gomes; Gersa Salado; João Marcolan; Chris Rollins; Rowland Keable; Luciana Gonçalves; Camila Dias; Fernando, Marília, Danilo e Danilo Almeida; toda a família Borrhalho

Bacelar. E em especial a Vera, Jackson, seu Zé e dona Marlene Bacelar, Helena Borralho, Leopoldo Oliveira, Kildery Reis, que participaram com fretes, madeiras, andaimes, visitas e mão de obra entusiasmada.

**À Terra.** Por ser nossa casa em tantos sentidos e um material tão fácil de amar.

**À Energia da Vida** em todos os seus nomes, mistérios e manifestações.

E, claro, a você que vai ler este trabalho. Qualquer dúvida, estou à disposição: [clarissaarmando@gmail.com](mailto:clarissaarmando@gmail.com). Boa leitura e boa construção!

*Clarissa Armando dos Santos*

*Não há nada como o sonho para criar o futuro.*

Victor Hugo



## RESUMO

O presente trabalho buscou traçar um panorama sobre a construção com terra no Brasil e no mundo, reunir diretrizes de projeto para construção com terra crua compactada e as melhores práticas na aplicação de técnicas de construção em terra ensacada, incluindo melhorias na tecnologia e mecanização. Além da revisão da literatura, foi construído e avaliado um protótipo de 27,00 m<sup>2</sup> feito com terra ensacada em sacaria contínua de tela plástica de polietileno de alta densidade em malha Raschel (PEAD-MR), técnica também conhecida como “hiperadobe”. Desenvolveu-se um projeto de abrigo emergencial que pudesse ser desmanchado ou expandido e revestido para se tornar moradia permanente e assim atender às diferentes fases de recuperação pós-desastre. A construção do protótipo permitiu testar várias das recomendações encontradas e gerar outras. Aspectos da técnica foram registrados para o contexto da construção, como o tempo de construção, a produtividade das equipes, acesso aos materiais e os métodos de capacitação da mão de obra. Na avaliação de desempenho foram considerados requisitos gerais de segurança estrutural e habitabilidade da norma ABNT NBR 15.575:2012. Foi feita uma avaliação de custos conforme executado e outra após a experiência, considerando um novo orçamento foi feito pelo empreiteiro para a mão de obra treinada. Ambas resultaram em custos por volta de R\$30.000 ou R\$1.120/m<sup>2</sup>, um valor 12% menor do que o esperado para a região. O protótipo foi finalizado em fevereiro de 2014 e vem demonstrando desempenho satisfatório há mais de um ano. A aplicação da técnica de construção em terra ensacada em PEAD-MR, como realizada, ainda pode ser aprimorada, ao que ficam diversas sugestões, como realizar as fundações, vergas e cintas de amarração em concreto armado ou em solocimento com armação de bambu, devido ao melhor desempenho e ao custo benefício. As maiores dificuldades foram encontradas na contratação e no treinamento da mão de obra, dado o desconhecimento da técnica. Os trabalhadores consideraram a técnica de fácil apreensão, rápida, mas muito exigente em termos de esforço físico, restringindo sua execução de forma artesanal a situações onde se conte com muitas pessoas, bastante tempo ou com uma equipe com grande preparo físico. O proprietário relata satisfação, especialmente em relação aos custos e se nota apropriação da edificação por parte dos usuários. Acredita-se que a técnica da construção em terra ensacada possui grande potencial como tecnologia construtiva pela simplicidade de execução, baixo impacto dos materiais, baixo custo de construção e desempenho satisfatório.

**Palavras-chave:** Construção em terra; terra ensacada; construção em terra ensacada; abrigo emergencial; habitação de interesse social; HIS.

## ABSTRACT

This study sought to give an overview on earth building in Brazil and abroad; to gather design guidelines for construction with compressed raw earth and also the best practices on earthbag construction techniques, including technological improvements and mechanization. In addition to the literature review, a 27.00 m<sup>2</sup> prototype has been built and evaluated. It was made with earth bagged in tubular high density polyethylene plastic bags, sewed in Raschel mesh (HDPE-RM), also known as "hyperadobe". It was sought to develop a design plant for an emergency shelter that could be dismantled or, otherwise, be expanded and coated to become a permanent house. This would allow thus to meet the different phases of post-disaster recovery. The construction of the prototype allowed to test several recommendations and to provide some others. Some aspects of the technique were recorded, such as construction elapsed time, team productivity, access to materials and workforce training methods. In the performance evaluation there were considered some general requirements of structural safety and habitability indicated by the standard ABNT NBR 15,575: 2012. A cost evaluation was made considering the labor as executed. After the experience, a new estimate was made by the contractor, considering the efficiency of a trained workforce. Both resulted in around R\$ 30,000 or R\$ 1,120/m<sup>2</sup>, a value 12% lower than the expected for the region. The prototype was completed in February 2014 and has demonstrated satisfactory performance for over a year. The application of the construction technique of earth bagged in HDPE-MR, as performed, nonetheless, can be further enhanced, so, several suggestions are presented, such as building the foundations, spars and bond beams in reinforced concrete or soil-cement reinforced with bamboo, due to better performance and cost benefits. The greatest difficulties were found in hiring and training the workforce, given the novelty of the technique. The workmen considered the technique easy to understand, fast to execute, but very demanding in terms of physical effort, restricting the manual execution of the technique to situations where there would be a large amount of people and time, or a team with great fitness. The owner reports satisfaction, especially in relation to the cost and a sense of ownership is noted at the building users. It is believed that the earth bagged in HDPE-RM construction technique has great potential as a construction technology for its simplicity of implementation, the use of low impact materials, the low construction costs and its satisfactory performance.

**Keywords:** Earthbag building; superadobe; hyperadobe; emergency shelter; social housing.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da arquitetura de terra crua no mundo (hachurado) e 150 construções em terra inscritas na lista do patrimônio mundial (pontos). .....	36
Figura 2 - Painel do Inventário de Arquitetura em Terra, Programa Mundial de Patrimônio de Arquitetura em Terra, UNESCO.....	37
Figura 3 - Construções em terra ensacada nos cinco continentes.....	39
Figura 4 - Impactos relativos à produção de blocos cerâmicos e de concreto: consumo energético, consumo de água e emissão de CO2.....	45
Figura 5 - Exemplos de cursos de Bioconstrução no Brasil em 2014. ....	48
Figura 6 - Problemas registrados em construções de terra: rachaduras no reboco; deformações acentuadas e instabilidade estrutural; colapso da estrutura (antes e depois).....	49
Figura 7 - Construção com terra, um ciclo autossustentável. ....	52
Figura 8 - João-de-barro construindo. ....	59
Figura 9 - Formação dos solos. ....	60
Figura 10 - Diversos tipos de material granular na exposição <i>Grains de Batiment</i> promovida pelo laboratório CRA Terre, em ESPCI, Paris. ....	61
Figura 11 - Efeitos da estabilização granulométrica empírica em rebocos de terra sem aditivos. ....	68
Figura 12 – Mesquita em Mali. ....	72
Figura 13 – Castelo na Espanha.....	73
Figura 14 - Muralha da China. ....	73
Figura 15 - Difusão da construção com terra. ....	74
Figura 16 - <i>Haus Rath</i> , edifício de sete andares em terra não estabilizada..	75
Figura 17 - Arquitetura em terra tradicional na África. ....	76
Figura 18 - Castelo residencial em terra contemporâneo no Marrocos.....	77
Figura 19 - Arquitetura em terra contemporânea, Texas, EUA. ....	78
Figura 20 - Edifício em terra do Centro de Cultura Nk'Mip, Canadá.....	78
Figura 21 - Igreja mais antiga do Brasil.....	80
Figura 22 – Construções açorianas em terra e alvenaria de pedra em Florianópolis-SC. ....	81
Figura 23 - Casas bandeiristas do século XVIII. ....	81
Figura 24 - Construções em terra em Pirenópolis-GO.....	82
Figura 25 – Casa Duwe e Casa Rardt, em enxaimel e adobe. ....	82
Figura 26 - Arquitetura praieira no nordeste brasileiro. ....	83
Figura 27 - Técnicas de construção com terra. ....	88
Figura 28 - Construção com cobe.....	90
Figura 29 - Casa de <i>cordwood</i> em construção. ....	91

Figura 30 - Produção de adobe e casa de adobe.....	92
Figura 31 - Modelos de blocos de terra comprimida.....	93
Figura 32 - Tipos de prensa para blocos de terra comprimida: CINVA- RAM, manual e automatizada.....	94
Figura 33 - Casa feita com blocos de terra comprimida (BTC), o 'tijolo ecológico'.....	95
Figura 34 - Pau-a-pique (técnica mista) em construção.....	95
Figura 35 - Comunidade praieira construindo em pau-a-pique.....	96
Figura 36 - PET-a-pique.....	97
Figura 37 - Fabricação da taipa de pilão.....	98
Figura 38 - Sistema SIREWALL de isolamento, reforço e compactação da taipa; projeto residencial realizado em terra compactada.....	100
Figura 39 - Obras da empresa Taipal, Brasil.....	100
Figura 40 - Construção em terra ensacada em Gana.....	103
Figura 41 - Processo construtivo em terra ensacada (com sacos contínuos). .....	104
Figura 42 – Dois tipos de sacarias preenchidas, compactadas e ligadas por arame farpado.....	104
Figura 43 - Diversos elementos construtivos em terra ensacada.....	105
Figura 44 - Abrigos emergenciais de Khalili em <i>superadobe</i> .....	106
Figura 45 - <i>Superadobe</i> usado em campo de refugiados das Nações Unidas. .....	106
Figura 46 - Terra ensacada para controle de erosão.....	108
Figura 47 - Construção em terra ensacada para abrigo militar.....	108
Figura 48 - Método de CTE Dicker Stack Sack.....	110
Figura 49 - Instruções patenteadas do método Dicker Stack Sack.....	111
Figura 50 - Terra ensacada em experimentos da Universidade de Kassel. .....	112
Figura 51 - Registros do uso do <i>superadobe</i> no Brasil.....	113
Figura 52 - Edificações públicas em terra ensacada em Brasília-DF.....	114
Figura 53 - Terra ensacada em habitações rurais no interior de Santa Catarina.....	115
Figura 54 - Pavilhão em terra ensacada projetado por Sérgio Pamplona.....	115
Figura 55 - Restaurante de alta gastronomia construído com terra ensacada em SP.....	116
Figura 56 - Tecido plástico (PP-T) e tela plástica (PEAD-MR).....	117
Figura 57 - <i>Hiperadobe</i> em construção.....	118
Figura 58 - "Brickeradobe" ferramentas e parede em construção.....	119
Figura 59 - Construção em "brickeradobe".....	119
Figura 60 - Sacaria costurada de Anderton: corte e aplicação.....	120

Figura 61 – Sacaria pré-preenchida; cinta de amarração enformada pela sacaria costurada; processo construtivo.....	121
Figura 62 - Suporte para cano-funil da Biohabitata e de Owen Geiger. ..	121
Figura 63 - Maquinário para preencher os sacos.....	122
Figura 64 - Terra ensacada mecanizada. ....	123
Figura 65- Tecido plástico e tela plástica. ....	134
Figura 66 - Pontas dos sacos individuais. ....	135
Figura 67 – Arame farpado e linhas de nylon presas a tijolos.....	136
Figura 68 – Estande para arame e placa para evitar que o arame fure a sacaria ( <i>slider</i> ).....	136
Figura 69 - Laços de arame para prender a tela do reboco.....	137
Figura 70 - Compactadores utilizados na construção em terra ensacada. ....	141
Figura 71 - Fundação em terra ensacada. ....	143
Figura 72 - Concreto pronto para fundação ensacada. ....	144
Figura 73 - Detalhe da tubulação de espera deixada na fundação.....	144
Figura 74 - Sacaria escalonada. ....	145
Figura 75 - Placa-velcro. ....	146
Figura 76 – Vergas usuais na CTE.....	147
Figura 77 - Verga para futura janela. ....	147
Figura 78 – Cinta de amarração de concreto e desenho esquemático do madeiramento do telhado preso à cinta de amarração de concreto.....	148
Figura 79 - Cinta de amarração de concreto armado entre os vão da sacaria costurada. ....	149
Figura 80 - Cinta de amarração em madeira.....	149
Figura 81 - Acoplagem da caixa de tomada à parede. ....	150
Figura 82 - Igreja de São Francisco, Rancho de Taos. Má experiência com reboco de cimento e volta ao reboco de barro. ....	151
Figura 83 - Erros comuns na construção informal.....	152
Figura 84 - Consequência de paredes longas sem reforço.....	153
Figura 85 – Aparência dos defeitos de rebocos sobre construções com terra. ....	153
Figura 86 - Queda da estrutura por falha na fundação em terra ensacada. ....	154
Figura 87 - Cintas de amarração para as construções em terra. ....	159
Figura 88 - Reforço horizontal: contrafortes ou paredes inter cruzadas..	159
Figura 89 - Recomendações para vergas.....	160
Figura 90 - Recomendações para as quinas em terra.....	161
Figura 91 - Dimensões humanas e espaços necessários.....	163
Figura 92 - Recomendações contra insetos.....	172
Figura 93 - Projeto-tipo 1: o abrigo e suas possíveis expansões.....	184
Figura 94 - Maquete eletrônica do Projeto-tipo 1.....	185

Figura 95 - Modelo em escala reduzida.....	186
Figura 96 – Modelo em escala reduzida - Apresentação na SEPEX UFSC 2014.....	187
Figura 97 – Planta baixa do projeto-tipo 2, módulo A, abrigo emergencial.....	188
Figura 98– Projeto-tipo 2, módulo B, abrigo transitório.....	189
Figura 99 - – Projeto-tipo 2 completo: módulos A, B e C - moradia permanente.....	190
Figura 100 – Projeto-tipo 2: maquete eletrônica. Vista frontal- Janelas: 0,8x1,0m <sup>2</sup> e 0,5x 1,0m <sup>2</sup> , Porta padrão: 0,9x2,1m <sup>2</sup> .....	192
Figura 101 - Projeto-tipo 3.....	193
Figura 102 - Testes expeditos de caracterização de solo.....	196
Figura 103 - Testes expeditos de caracterização de solo.....	197
Figura 104 - Detalhes dos ensaios de caracterização de solos realizados.....	199
Figura 105 - Processo construtivo em terra ensacada: preenchimento da sacaria, amarração das pontas, compactação superior, compactação lateral.....	207
Figura 106- Módulos (A) e (B) - Detalhe da extensão da parede.....	208
Figura 107 - Processo construtivo visto de cima do nível das vergas.....	209
Figura 108 - Vergas em concreto leve das janelas.....	210
Figura 109 - Esquadrias de aço galvanizado.....	211
Figura 110 - Portais e marcos.....	211
Figura 111 Cinta de amarração em terra ensacada estabilizada.....	212
Figura 112 - Tubulação aparente.....	213
Figura 113 - Instalações elétricas embutidas no reboco.....	213
Figura 114 - Acabamento convencional: reboco e chapisco em cima da prateleira, emboço embaixo; massa corrida e tinta epóxi na sala; revest. cerâm. no banheiro.....	214
Figura 115 - Área da parede sem reboco, testemunho do processo construtivo.....	215
Figura 116 - Esperas das paredes ampliadas e transformadas em balcões.....	215
Figura 117 Produção da cola de farinha (grude). Mistura e cozimento até ficar translúcido.....	217
Figura 118 Reboco sendo misturado com os pés: antes, durante e depois.....	218
Figura 119 Produção da cola de leite.....	219
Figura 120 Evolução dos rebocos de terra.....	221
Figura 121 Pisos cerâmicos: sala/varanda/garagem, banheiro e dormitório.....	221
Figura 122 - Rampas para facilitar a acessibilidade.....	222

Figura 123 - Evolução da fachada.....	226
Figura 124 - Sala do protótipo.....	227
Figura 125 - Cozinha do protótipo.....	228
Figura 126 - Dormitório durante a tarde. ....	229
Figura 127 - Rebocos alternativos - vista geral e referências.....	230
Figura 128 - Rebocos de terra com colorações desuniforme. ....	230
Figura 129 - Banheiro do protótipo. ....	231
Figura 130 Instalações hidráulicas.....	232
Figura 131 - Fissuras nos acabamentos.....	234
Figura 132 Fissura da porta principal: causa, conserto e resultado. ....	235
Figura 133 Fissura da porta do dormitório: causa e conserto.....	236
Figura 134 - Defeito no preenchimento da sacaria. ....	249
Figura 135 - Engenhosidades sugeridas pelos trabalhadores. ....	250
Figura 136 - Trabalho em altura.....	253
Figura 137 - Processo construtivo visto no nível das vergas. ....	254
Figura 138 - Telhas de material reciclado refletindo a luz recebida. ....	255



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escalas granulométricas segundo ASTM, AASHTO, MIT e ABNT.....	64
Quadro 2 - Nomenclaturas não científicas das variações da técnica construtiva em terra ensacada.....	125
Quadro 3 - Fluxograma de decisões quanto aos materiais para CTE.....	138
Quadro 4 - Levantamento teórico: material adotado. ....	176
Quadro 5 - Etapas de projeto.....	181
Quadro 6 - Etapas da execução do protótipo.....	194





## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diagrama de classificação de solos. ....	64
Gráfico 2 – Gráfico para seleção do tipo de estabilizante, em função do Índice de Plasticidade (IP) e da granulometria da terra. ....	71
Gráfico 3 - Habitações em taipa no Brasil, segundo o Ministério da Saúde. ....	84
Gráfico 4 - Diagramas das granulometrias adequadas para blocos. ....	94
Gráfico 5 - Diagramas das granulometrias adequadas para taipa. ....	99
Gráfico 6 - Diagrama de classificação de solos. ....	200
Gráfico 7 - Diagramas das granulometrias adequadas para blocos e taipas. ....	201
Gráfico 8 - Determinação do tipo de estabilizante para a CT. ....	201



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Déficit habitacional no Brasil de 2007 a 2012.....	41
Tabela 2 - Produção de aço: emissões de efeito estufa no Brasil de 2011 a 2013.....	44
Tabela 3 - Partículas do solo.....	63
Tabela 4 - Testes de campo para a caracterização dos solos.....	66
Tabela 5 - Aditivos e estabilizantes comuns para a construção com terra.	69
Tabela 6 - Definições de técnica, método, processo e sistema construtivo. .....	86
Tabela 7 – Comparação entre a energia incorporada de diversos materiais de construção. ....	127
Tabela 8 - Estandes e funis para cada sacaria. ....	140
Tabela 9 - Normativas da construção com terra. ....	156
Tabela 10 - Normas que abordam a construção com terra crua compactada não estabilizada. ....	157
Tabela 11 – Recomendações da ASTM E2392 / E2392M - 10e1 usadas no projeto-tipo.....	158
Tabela 12– Necessidades e atividades humanas.....	162
Tabela 13 –Deslocamentos-limite para cargas permanentes e cargas acidentais em geral.....	166
Tabela 14 - Flechas máximas para vigas e lajes (cargas gravitacionais permanentes e acidentais).....	166
Tabela 15 - Características da região escopo.....	170
Tabela 16 - Áreas mínimas permitidas pelo CEDF.....	171
Tabela 17 – Relação entre objetivos específicos e procedimentos metodológicos.....	175
Tabela 18 –Áreas Projeto-tipo 2 completo e áreas mínimas permitidas pela CEDF.....	191
Tabela 19 - Ensaio e normas de caracterização de solos.....	198
Tabela 20 - Resultado da análise granulométrica.....	200
Tabela 21 - Especificações tela Biopack®.....	202
Tabela 22 - Especificações técnicas da telha de material reciclado Ecopreserve®.....	203
Tabela 23 Ferramentas utilizadas.....	203
Tabela 24 - Especificações do sistema construtivo.....	206
Tabela 25 Traço de <i>Fat plaster</i> (reboco gordo) adaptado ao SIU.....	217
Tabela 26 Traço IPEC para reboco.....	220
Tabela 27 - Desempenho do protótipo quanto aos requisitos gerais de segurança estrutural.....	233

Tabela 28 - Custos de execução do protótipo.....	238
Tabela 29 – Preços de itens reaproveitados do protótipo, segundo o SINAPI.....	240
Tabela 30 - Reavaliação do preço da MdO para a reprodução do protótipo. ....	240
Tabela 31 - Custos de execução do protótipo com o novo orçamento de MdO.....	241
Tabela 32 - Resultados da entrevista com a MdO.....	245

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	– Avaliação do Ciclo de Vida
ASTM	– Originalmente <i>American Society for Testing and Materials</i> [Sociedade Americana para Ensaios e Materiais]
BTC	– Bloco(s) de terra comprimido(s)
CAPES	– Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBCS	– Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CEB	– <i>Compressed earth block</i> [bloco(s) de terra comprimido(s)]
CEF	– Caixa Econômica Federal
CIB	– Conselho Internacional da Construção
CMMAD	– Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNUDS	– Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável
CNUMAD	– Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Construção com Terra
CTE	– Construção com Terra ensacada
CUB	– Custo Unitário Básico
CV	– Ciclo de Vida
DF	– Distrito Federal
DP	– Densidade de Paredes
ECO 92	– Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento 1992
ECO <sub>2</sub>	– Emissão de CO <sub>2</sub>
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	– Índice de Desenvolvimento Humano
iisBE	– <i>International Initiative for a Sustainable Built Environment</i>
IPCC	– <i>Intergovernmental Panel On Climate Change</i>
MdC	– Material de construção
MdO	– Mão de obra
MMA	– Ministério do Meio Ambiente
NBR	– Norma Brasileira
ONU	– Organização das Nações Unidas
P01	– Projeto-tipo 01
P02	– Projeto-tipo 02
P03	– Projeto-tipo 03
PAC	– Programa de Aceleração do Crescimento
PBQP-H	– Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PEAD-MR	– Polietileno de alta densidade em malha Raschel
PMCMV	– Programa Minha Casa Minha Vida
PNH	– Política Nacional de Habitação
PNUMA	– Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente
PósARQ	– Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
PP-T	– Polipropileno tecido
PVC	– <i>Polyvinyl chloride</i>

RIO+10	– Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável 2002
RIO+20	– Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável 2012
RIO+5	– Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável 1997
SC	– Santa Catarina
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
TCPO	– Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos
UFSC	– Universidade Federal de Santa Catarina
UN	– United Nations
UnB	Universidade de Brasília
UNESCO	– Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura.
ZB4	– Zona Bioclimática 4 – Brasília-DF

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>35</b>
1.1	<i>Contextualização da pesquisa.....</i>	<i>35</i>
1.2	<i>Problemática.....</i>	<i>40</i>
1.2.1	Déficit habitacional no Brasil.....	40
1.2.2	Desafios inerentes aos programas de financiamento habitacional vigentes e aos sistemas construtivos convencionais em termos de sustentabilidade .....	42
1.2.3	Desafios inerentes à construção com terra e à construção com terra ensacada.....	47
1.3	<i>Justificativa do tema .....</i>	<i>51</i>
1.4	<i>Perguntas de pesquisa .....</i>	<i>54</i>
1.5	<i>Formulação dos objetivos específicos.....</i>	<i>55</i>
1.6	<i>Objetivos .....</i>	<i>56</i>
1.6.1	Objetivo Geral.....	56
1.6.2	Objetivos Específicos.....	56
1.7	<i>Delimitações .....</i>	<i>57</i>
1.8	<i>Estrutura da dissertação.....</i>	<i>57</i>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO - CONSTRUÇÃO COM TERRA...59</b>	
2.1	<i>Terra, solo, barro.....</i>	<i>59</i>
2.2	<i>Estabilização, terra estabilizada e estabilizantes. ....</i>	<i>67</i>
2.3	<i>Arquitetura e Construção com Terra .....</i>	<i>72</i>
2.3.1	Arquitetura e Construção com Terra Tradicional .....	72
2.3.2	Arquitetura e Construção com Terra Moderna e Contemporânea 77	
2.3.3	Arquitetura e Construção com Terra no Brasil .....	80
2.4	<i>Técnica, método, processo e sistema construtivos .....</i>	<i>86</i>
2.4.1	Técnicas de construção com terra.....	88
2.5	<i>Encerramento do capítulo .....</i>	<i>101</i>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO - CONSTRUÇÃO COM TERRA ENSACADA.....</b>	<b>103</b>
3.1	<i>Apresentação.....</i>	<i>103</i>

3.2	<i>Histórico</i> .....	105
3.3	<i>Construção em terra ensacada no Brasil</i> .....	113
3.4	<i>Variações e melhorias</i> .....	116
3.4.1	Opções de sacaria.....	116
3.4.2	Ferramentas e automação.....	121
3.4.3	Discussão sobre a terminologia.....	124
3.5	<i>Desempenho da construção em terra ensacada</i> .....	125
3.5.1	Desempenho ambiental.....	126
3.6	<i>Resumo das vantagens e desvantagens das técnicas de construção com terra ensacada</i>	128
3.7	<i>Comparativo com outras técnicas de construção com terra</i> .....	128
3.8	<i>Encerramento do capítulo</i> .....	130
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO - PROCESSO CONSTRUTIVO EM TERRA ENSACADA</b> .....	<b>131</b>
4.1.1	Materiais para a construção de elementos em terra ensacada	132
4.1.2	Capacitação da mão de obra.....	138
4.1.3	Obtenção do material.....	139
4.1.4	Preenchimento, assentamento e compactação da sacaria	139
4.1.5	Execução de cada elemento construtivo em terra ensacada	142
4.1.6	Erros a serem evitados.....	152
<b>5</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO – EMBASAMENTO TEÓRICO PARA A CONCEPÇÃO DO PROTÓTIPO</b> .....	<b>155</b>
5.1	<i>Diretrizes de projeto para a construção em terra</i> .....	155
5.2	<i>Requisitos universais de projeto aplicáveis ao protótipo</i> .....	162
5.3	<i>Requisitos de desempenho de edificações habitacionais até cinco pavimentos</i>	163
5.4	<i>Sobre os abrigos pós-desastre</i> .....	167
5.4.1	Habitação de interesse social.....	168
5.5	<i>Dados da região da construção do protótipo</i> .....	170
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>173</b>



6.1	<i>Caracterização da pesquisa e procedimentos metodológicos</i> .....	173
6.2	<i>Metodologia para a composição do referencial teórico</i> .....	175
6.2.1	Pesquisa bibliográfica .....	177
6.2.2	Pesquisa documental .....	180
6.2.3	Coleta de dados .....	180
6.3	<i>Método de concepção e revisão do projeto-tipo</i> .....	181
6.3.1	Concepção do projeto-tipo .....	181
6.3.2	Modelagem eletrônica e em escala reduzida.....	184
6.3.3	Revisões do projeto-tipo.....	187
6.4	<i>Método de execução do protótipo</i> .....	194
6.4.1	Etapas de preparação para a execução do protótipo.....	195
6.4.2	Etapas de execução do protótipo .....	205
6.5	<i>Métodos de avaliação</i> .....	222
6.5.1	Método de avaliação do desempenho do protótipo ....	222
6.5.2	Método de avaliação da técnica de construção em terra ensacada	224
<b>7</b>	<b>RESULTADOS DA PROTOTIPAGEM E DAS AVALIAÇÕES</b>	<b>225</b>
7.1	<i>Resultados da prototipagem</i> .....	225
7.2	<i>Ambientes</i> .....	227
7.2.1	Sala.....	227
7.3	<i>Resultado da avaliação do desempenho do protótipo</i> .....	232
7.3.1	Segurança estrutural.....	232
7.3.2	Habitabilidade.....	237
7.4	<i>Resultado da avaliação dos custos</i> .....	238
7.4.1	Custos do protótipo como construído.....	238
7.4.2	Ajustes e aproximações dos custos do protótipo.....	239
7.4.3	Satisfação do usuário .....	241
7.5	<i>Resultado da avaliação da técnica de construção em terra ensacada</i> ....	243
7.5.1	Aspectos da técnica de construção em terra ensacada para o contexto	243
7.5.2	Opinião da mão de obra .....	244
7.5.3	Opinião do proprietário do protótipo.....	247
7.5.4	Impressões da pesquisadora.....	248
7.5.5	Apropriação pelos usuários .....	256
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>257</b>
8.1	<i>Considerações finais</i> .....	258

8.2	<i>Recomendações para trabalhos futuros.....</i>	258
9	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>259</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>259</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação possui como tema a construção com terra ensacada. Este capítulo busca orientar o leitor quanto ao conteúdo desta dissertação: primeiramente se faz uma breve contextualização da pesquisa, após são apresentados a problemática, a justificativa, a formulação dos objetivos, os objetivos, as limitações da pesquisa bem como a estrutura do trabalho.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

A construção com terra faz parte da cultura construtiva tradicional em todos os continentes (GONÇALVES E GOMES, 2012). Apesar ser difícil aferir quantas habitações em terra estejam em uso, diversos autores estimam que cerca de um terço da população mundial viva em casas de terra crua (CHIRAS, 2000; REEVES *ET AL.*, 2006; EVANS, SMILEY E SMITH, 2002; HALL, LINDSAY E KRAYENHOFF, 2012). Koch, Kunze e Seidl (2005) falam em 1,5 bilhão de pessoas. Minke (2001) corrobora esta informação e afirma ainda que, em países em desenvolvimento, as pessoas vivendo em casas de terra chegavam a representar 50% da população, em 2001.

Em 2012, o Inventário de Arquitetura em Terra do Programa Mundial de Patrimônio de Arquitetura em Terra da UNESCO mapeou inúmeras construções em terra distribuídas pelo globo, sendo que 150 delas encontram-se inscritas na lista do Patrimônio Arquitetônico Mundial (GANDREAU, DELBOY E JOFFROY, 2012). A Figura 1 mostra esta distribuição e a Figura 2 traz imagens de construções do acervo mundial.

Figura 1 - Distribuição da arquitetura de terra crua no mundo (hachurado) e 150 construções em terra inscritas na lista do patrimônio mundial (pontos).



Fonte: © CRA Terre (Earthen architecture in today's world, 2012).

Figura 2 - Painel do Inventário de Arquitetura em Terra, Programa Mundial de Patrimônio de Arquitetura em Terra, UNESCO.



Fonte: Gandreau, Delboy e Joffroy (2012).

A tecnologia relativa à construção com terra crua, que se desenvolvia juntamente com as culturas que a adotavam, sofreu praticamente uma interrupção em sua evolução com o aparecimento de novas tecnologias construtivas e novos materiais, especialmente o cimento e o aço. Com a industrialização dos processos construtivos, construir com terra passou a ser relacionado à falta de recursos e de acesso à tecnologia.

“O barro como material de construção perdeu a sua credibilidade devido ao desconhecimento de suas amplas possibilidades” (MINKE, 2001).

O desconhecimento leva ao emprego inadequado destas tecnologias. Segundo dados do Ministério da Saúde (2015), quase metade das casas de taipa registradas no Brasil não são revestidas com reboco ou emboço, promovendo o aninhamento de insetos nas paredes e a consequente proliferação de doenças. Este é um fator que comprometeu profundamente a imagem da terra como material de construção no Brasil, pois foi entendido como um problema do material e não da falta de educação da população, praticamente restringindo seu uso à população de baixa renda.

Desde a década de 1980, no entanto, com o aumento da busca por alternativas mais sustentáveis<sup>1</sup>, a terra como material de construção vem recebendo um crescente interesse, estimulando a realização de pesquisas e eventos e culminando na produção de normas construtivas em diversos países (CID, MAZARRON E GUERRERO, 2011). Jimenez Delgado e Cañas Guerrero (2007) afirmam que “a terra é cada vez mais valorizada como material de construção”. Assim, “as técnicas da terra crua têm hoje interesse não só no âmbito da conservação do patrimônio e da reabilitação habitacional, mas também da construção moderna”(GONÇALVES E GOMES, 2012). Dentro deste contexto favorável, as técnicas de construção com terra ensacada têm se tornado bastante populares por serem de fácil aprendizagem, adequadas a uma gama variada de tipos de solos e permitirem a confecção de fundações, paredes estruturais e coberturas com a mesma técnica (SANTOS, 2010).

A construção com terra ensacada é uma técnica de construção em terra caracterizada pela execução de elementos feitos com sacos preenchidos com terra estabilizada ou não, formando-se elementos verticais como fundações, paredes portantes, paredes de vedação, ou compondo coberturas em arco ou em cúpula (domo) (HUNTER E KIFFMEYER, 2004). As variações da técnica de Construção com Terra Ensacada (CTE) são conhecidas pelos nomes informais "superadobe" (KHALILI, 1999), "hiperadobe", "brickeradobe", "*earthbag building*". (HUNTER E KIFFMEYER, 2004) e "taipa ensacada" (PROMPT, 2012).

A técnica de Construção com Terra Ensacada (CTE) está entre as mais recentes e ainda pouco estudadas (CROFT, C. S., 2011), mas por aliar as vantagens da terra crua como material de baixo impacto ambiental às possibilidades de construção de estruturas portantes com flexibilidade de forma e baixa complexidade tecnológica, estas técnicas em suas variações estão sendo cada vez mais utilizadas, sendo que já existem registros de construções deste tipo em todos os continentes, como na Figura 3.

---

<sup>1</sup> Sustentável: algo economicamente viável, ambientalmente correto, socialmente justo (ELKINGTON, 2006).

Figura 3 - Construções em terra encuada nos cinco continentes.



Fonte: Earthbag Building (2015).

Acreditando-se no potencial da construção com terra ensacada como técnica construtiva de elementos verticais, buscou-se aprimorar seu entendimento, com vistas a contribuir para a resolução das problemáticas apresentadas a seguir.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Três problemas estimularam a execução deste trabalho: o déficit habitacional no Brasil, as dificuldades em eliminar esse déficit através de sistemas construtivos convencionais e os desafios inerentes à aplicação das técnicas de construção com terra, em especial as de construção com terra ensacada, objetos deste estudo.

### 1.2.1 Déficit habitacional no Brasil

Segundo a Caixa Econômica Federal (CEF) (2011), nas últimas décadas, o Brasil vem experimentando grandes transformações no aspecto habitacional, sendo que três fatores se destacam como causas dessas mudanças: a emigração da área rural para as cidades; o envelhecimento da população com modificações nas configurações familiares e o crescimento populacional. As migrações, a necessidade de terra e bens e os recursos naturais e financeiros insuficientes contribuem para que aumente o número de pessoas sem abrigo e de habitações inadequadas (BUDDENHAGEN, 2003). O custo elevado de produção, aliado ao alto preço da terra urbana dificulta a conquista de um domicílio digno e seguro, especialmente para a população de menor renda. (CEF, 2011).

Assim, o déficit habitacional no Brasil de 2007 a 2012 comportou-se de acordo com na Tabela 1:



Tabela 1 - Déficit habitacional no Brasil de 2007 a 2012.

Especificação	ANO				
	2007	2008	2009	2011	2012
<b>Déficit Total Absoluto</b>	<b>6.102.414</b>	<b>5.686.703</b>	<b>6.143.226</b>	<b>5.889.357</b>	<b>5.792.508</b>
Déficit Total Relativo	10,8	9,8	10,4	9,5	9,1
Total de Domicílios	56.338.622	58.180.644	59.252.675	62.116.819	63.766.688
<b>COMPONENTES</b>					
<b>Habitação Precária</b>	<b>1.264.414</b>	<b>1.158.801</b>	<b>1.088.634</b>	<b>1.187.903</b>	<b>883.777</b>
Improvisados	109.421	101.100	69.432	130.905	85.550
Rústicos	1.154.993	1.057.701	1.019.202	1.056.998	798.227
<b>Coabitação Familiar</b>	<b>2.481.128</b>	<b>2.211.276</b>	<b>2.511.541</b>	<b>1.916.716</b>	<b>1.865.457</b>
Cômodos	200.094	175.366	216.924	221.546	170.926
Famílias Conviventes	2.281.034	2.035.910	2.294.617	1.695.170	1.694.531
<b>Ônus Excessivo com Aluguel</b>	<b>1.965.981</b>	<b>1.928.236</b>	<b>2.143.415</b>	<b>2.388.316</b>	<b>2.660.348</b>
<b>Adensamento Excessivo</b>	<b>390.891</b>	<b>388.390</b>	<b>399.636</b>	<b>396.422</b>	<b>382.926</b>

Fonte: Ibge (2007-2012) *in* (FJP, 2014).

Soma-se a estes dados uma população de rua estimada em 0,6 a 1% da população urbana. O número de pessoas em situação de rua pode ser estimado em até 1,8 milhões de pessoas, o que acresce significativamente o número de residências a serem construídas para atender a demanda (LIMA, 2014).

As unidades residenciais, no entanto, geralmente são produzidas pela iniciativa privada de forma independente ou através de associações com programas de governo (CEF, 2011). Neste contexto, as políticas públicas habitacionais são fundamentais para facilitar o acesso da população à moradia, principalmente as famílias que enfrentam dificuldades para arcar com os custos de financiamento imobiliário em condições normais de mercado (CEF, 2011). No entanto, os programas habitacionais no Brasil fazem uso de sistemas construtivos convencionais, que também apresentam desafios.

### 1.2.2 **Desafios inerentes aos programas de financiamento habitacional vigentes e aos sistemas construtivos convencionais em termos de sustentabilidade**

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

A maneira com que se está tentando dissipar o déficit habitacional no Brasil tem sido através da construção de habitações de interesse social aplicando sistemas construtivos convencionais. Considerando-se a construção de elementos verticais à exceção de esquadrias, os materiais usados atualmente são altamente industrializados, como cimento, aço e blocos cerâmicos e de concreto.

O programa habitacional Minha Casa Minha Vida (PMCMV), instituído pela Lei nº 11.977, em sete de Julho de 2009 (BRASIL, 2009b) é atualmente o maior programa de financiamento imobiliário no país, tendo contratado 3,45 milhões de casas e entregue 1,7 milhão até outubro de 2014. Este programa até novembro de 2012 financiava pelo Banco do Brasil "apenas casas de alvenaria" (BB, 2012).

Mesmo muitos dos sistemas construtivos inovadores de construção a seco que estão sendo financiados pela Caixa Econômica Federal têm como base materiais cimentícios. A título de exemplo, a parceria entre as empresas Brasilit, Isover e Placo usa placas cimentícias, sistema estrutural constituído por perfis leves de aço, produtos para isolamento térmico e acústica em lâ de vidro e placas de gesso acartonado (*drywall*) (PEREZ, 2013); a empresa Tecverde usa chapas cimentícias, placas estruturais de madeiras, estrutura em madeira tratada, placas de gesso acartonado e mantas de isolamento térmico e acústico (FERNANDES, 2013). Muitas outras utilizam o concreto, como a empresa Inpar, que usa paredes constituídas de painéis pré-moldados de concreto armado e as empresas Sulbrasil e Tenda que edificam com paredes de concreto armado moldadas no local (SILVA E PICCHI, 2011).

O uso da madeira, um material abundante no país, captador de carbono e completamente renovável, só foi oficialmente aceito para construção e reforma de habitação em junho de 2014, e ainda assim, somente no âmbito do Programa Nacional de Habitação Rural – PNHR, exclusivamente para Grupo de renda 1 e na região Norte do país. (ALVES, 2014; BRASIL, 2014).

Um dos problemas do emprego indiscriminado de materiais altamente industrializados como cimento, aço e blocos cerâmicos, para mencionar os mais usados, é seu alto impacto ambiental durante seu ciclo de vida, caracterizado por uma alta energia incorporada e altas taxas de emissão de carbono e outros poluentes. O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável afirma que a construção de edifícios da forma convencional consome grande volume de recursos naturais, gera grande quantidade de resíduos e poluição em todo o ciclo de vida da edificação, desde a extração de matérias primas até a demolição (CBCS 2007).

O cimento é o principal componente do concreto, o segundo material mais consumido do planeta, entre 21 e 31 bilhões de toneladas anuais (ABCP, 2010). Para a fabricação de uma tonelada de cimento, são necessários de 60 a 130 kg de combustível e 110 kWh de energia elétrica (WBCSD, 2002). Assim, a produção de cimento é responsável por 7% das emissões mundiais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), um dos gases que mais contribui para as alterações climáticas por acentuar o efeito estufa<sup>2</sup> (ALI, SAIDUR E HOSSAIN, 2011).

Além das emissões de CO<sub>2</sub> durante do processo de fabricação do cimento também são emitidos contaminantes, tais como: materiais particulados, óxidos de enxofre e nitrogênio, fluoretos, cloretos, cianetos, metais pesados, mercúrio, chumbo, materiais voláteis e semi-voláteis, dioxinas e furanos, entre outros. (ABCP, 2010).

A indústria do aço no Brasil, apesar de iniciativas como a certificação ISO 50.001, certificação florestal, a mineração *a seco*, a utilização de navios de grande porte e a utilização do processo de mineração sem caminhões, ainda responde pelo consumo de mais de treze milhões de toneladas (13,0 x 10<sup>6</sup> t) de carvão mineral e pela emissão anual de aproximadamente cinquenta milhões de toneladas (50 x 10<sup>6</sup> t) de CO<sub>2</sub>, segundo dados divulgados pelo Instituto Aço Brasil (IAB, 2014), conforme Tabela 2:

---

<sup>2</sup> Efeito estufa: "fenômeno natural de aquecimento térmico da terra, essencial para manter a temperatura do planeta em condições ideais de sobrevivência", mas que está sendo potencializado pela emissão de poluentes, culminando em mudanças climáticas e desastres (consequências) naturais (FIEMG E FEAM, 2013).

Tabela 2 - Produção de aço: emissões de efeito estufa no Brasil de 2011 a 2013.

EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA	2011	2012	2013
Emissão absoluta (10 <sup>9</sup> t CO <sub>2</sub> )	49.472	49.779	50.763
Emissão específica (t CO <sub>2</sub> / t aço bruto)	1,7	1,7	1,7

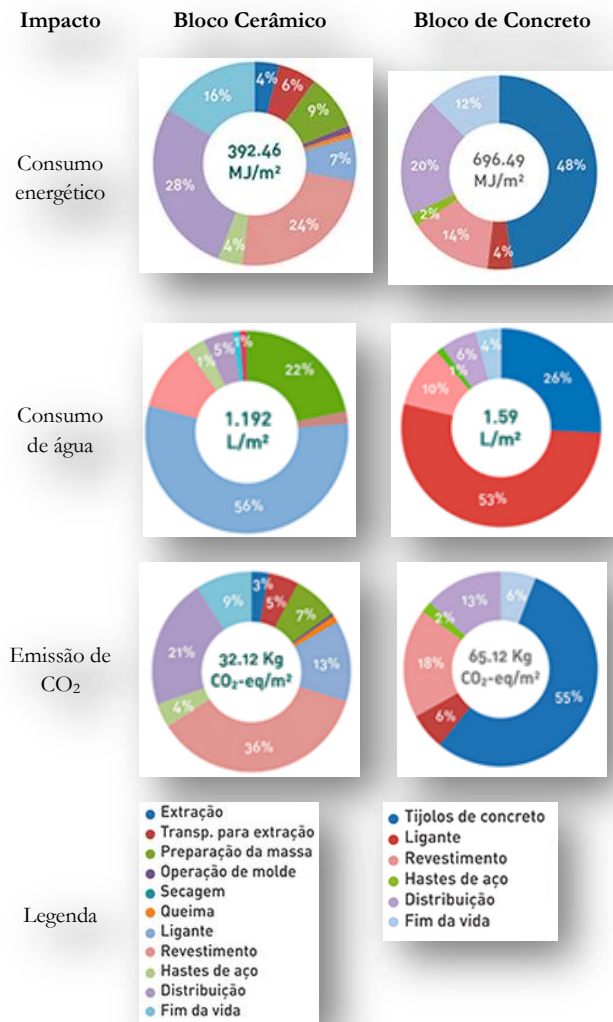
Fonte: (IAB, 2014).

Quanto aos blocos construtivos convencionais, em 2014, um estudo realizado pela empresa canadense Qualis e financiado pela Associação Nacional da Indústria Cerâmica realizou um comparativo entre a *avaliação do ciclo de vida*<sup>3</sup> de blocos cerâmicos e de blocos de concreto (ANICER E FUNDACER, 2014) em termos de emissão de gases de efeito estufa e consumo de água, dentre outros aspectos. Os resultados mais relevantes podem ser vistos na Figura 4.

---

<sup>3</sup> Avaliação do Ciclo de Vida: A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica empregada na avaliação dos aspectos ambientais e dos potenciais impactos associados ao ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, considerando a extração de matérias-primas, transporte, produção, distribuição e utilização até seu descarte final (ANICER E FUNDACER, 2014).

Figura 4 - Impactos relativos à produção de blocos cerâmicos e de concreto: consumo energético, consumo de água e emissão de CO<sub>2</sub>.



Fonte: Adaptado de Anicer e Fundacer (2014).

Percebem-se o alto consumo energético e a alta emissão de dióxido de carbono de ambos os produtos, mas o bloco de concreto com impacto superior.

Assim, considerando a construção civil de maneira geral, Fernandes (2013) afirma que "a indústria da Construção Civil é responsável pelo consumo de 50 a 75% dos recursos naturais do planeta, por 40% do consumo de energia e pela produção de 40% das emissões mundiais de CO<sub>2</sub>". Ao que cabe o questionamento de Librelotto *et al.* (2012):

Por que a construção civil, ao invés de se posicionar atrás da máquina industrial, não pode aproveitar o momento de motivação para melhoria e liderar a corrida para a sustentabilidade, já que suas atividades têm um grande impacto ambiental, social e econômico? (LIBRELOTTO *ET AL.*, 2012).

A busca por mitigar estes e outros problemas relacionados ao impacto das atividades humanas teve como marco inicial a Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano (*United Nations Conference on the Human Environment*), realizada em 1972 em Estocolmo (SEQUINEL, 2002). Desde então o conceito de sustentabilidade foi definido no Relatório Brundtland em 1987, no documento *Our common future* (Nosso futuro comum) (CMMAD, 1991) e sua importância tem sido amplamente divulgada, através de eventos como a ECO 92 (SEQUINEL, 2002) e relatórios como o do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), em 2007 (IPCC, 2007). Essas iniciativas culminaram em acordos mundiais de cumprimento de metas de sustentabilidade.

No entanto, estas instituições buscam primeiramente soluções dentro do padrão construtivo estabelecido. Segundo Fernandes (2013) "se mantivermos o padrão atual de construção com a alvenaria convencional, não conseguiremos alcançar as metas propostas no Protocolo de Kyoto e no Acordo de Copenhague", dois acordos internacionais que estipulam metas para a redução de emissões e consumo de recursos não renováveis, entre outras metas.

Em termos de sustentabilidade, podem-se discutir também os aspectos socioeconômicos das construções convencionais, uma vez que essas tecnologias, para serem adquiridas em seus padrões mínimos por uma grande parte da população brasileira, precisam ser financiadas por 20 ou 30 anos, suscitando o questionamento se podem ser consideradas economicamente viáveis ou socialmente justas. Ao analisar os desafios mencionados e ainda outros, Hoffmann, A. B. (2014) afirma que existe a

necessidade de revisão de seus sistemas, técnicas e materiais para se atingir a sustentabilidade.

Dentro deste contexto, a construção com terra crua aparece como alternativa por utilizar materiais recicláveis de baixa energia incorporada e poder ser mais sustentável dependendo do contexto, mas sua sustentabilidade depende da superação dos desafios inerentes a este tipo de construção.

### 1.2.3 **Desafios inerentes à construção com terra e à construção com terra ensacada**

Possivelmente o maior desafio a ser enfrentado quanto ao desenvolvimento da construção com terra no Brasil é o fato que a grande maioria das pessoas ainda desconhece as vantagens das construções com terra e a considera como símbolo de precariedade, relacionando-a com a falta de recursos e a doença de Chagas (SANTOS, LIBRELOTTO E JACINTHO, 2013c). Dentro deste grupo encontram-se mesmo pessoas que ocupam edificações deste tipo, mas que almejam edificações convencionais, por ansiarem por qualidade construtiva.

Esta postura é compreensível, visto que apesar de a construção com terra crua ser milenar e possuir regulamentação em diversos países (CID, MAZARRON E GUERRERO, 2011), no Brasil não existem normas para a construção com terra não estabilizada. O uso da terra como material de construção não é ensinado em cursos universitários, resultando em poucos profissionais capacitados para projetar e construir em terra.

Mesmo assim, no Brasil como no mundo, os processos construtivos em terra e outros materiais de construção com baixa energia incorporada, têm sido amplamente divulgados por O.N.G. (Organizações Não Governamentais) e grupos relacionados à Permacultura<sup>4</sup>, sob o nome de construção natural, ou, mais comumente, Bioconstrução<sup>5</sup>.

Atraídas pela possibilidade de construir de forma mais sustentável e independente, muitas pessoas procuram a construção com terra como alternativa (SANTOS, LIBRELOTTO E JACINTHO, 2013c). Segundo Soares (2015), mais de 10.000 pessoas frequentaram cursos de construção com

---

4 Permacultura: filosofia que propõe a busca por formas de viver (cultura) que promovam a permanência humana no planeta (MOLLINSON, 1999).

5 Bioconstrução: “construção de ambientes sustentáveis por meio do uso de materiais de baixo impacto ambiental, adequação da arquitetura ao clima local e tratamento de resíduos” (PROMPT, 2008).

terra crua e outras técnicas de bioconstrução que são oferecidos regularmente, como ilustra a Figura 5:

Figura 5 - Exemplos de cursos de Bioconstrução no Brasil em 2014.



Fonte: Google Imagens, (2014).



O notável número de cursos denota um aumento na consciência ambiental e a busca por estilos de vida mais sustentáveis. No entanto, para fazer bom uso desse material, é preciso conhecer suas propriedades e seus modos de utilização. O problema inerente a essa explosão de cursos é que a divulgação das técnicas está sendo feita muitas vezes sem embasamento técnico-científico, mas com forte estímulo à autoconstrução<sup>6</sup>. Os resultados esperados dessa combinação são a ocorrência de um alto índice de falhas<sup>7</sup> e patologias<sup>8</sup> construtivas e até mesmo o colapso de algumas estruturas, arriscando a segurança e os investimentos dos usuários<sup>9</sup>, como mostra a Figura 6:

Figura 6 - Problemas registrados em construções de terra: rachaduras no reboco; deformações acentuadas e instabilidade estrutural; colapso da estrutura (antes e depois).



Fonte: Dos Santos, Librelotto e Jacintho (2014); Prompt (2012); Marigoni e Timmermann (2011).

<sup>6</sup> Auto-construção é a ação de construir a própria edificação ou a construção feita pelas pessoas que dela irão usufruir.

<sup>7</sup> Falha: "ocorrência que prejudica a utilização do sistema ou do elemento, resultando em desempenho aquém do requerido" (ABNT, 2013a).

<sup>8</sup> Patologia: "não conformidade que se manifesta no produto em função de falhas no projeto, na fabricação, na instalação, na execução, na montagem, no uso ou na manutenção bem como problemas que não decorram do envelhecimento natural" (ABNT, 2013a).

<sup>9</sup> Usuário: "pessoa que ocupa a edificação habitacional" (ABNT, 2013a).

A respeito da construção com terra ensacada, por se tratar de um processo construtivo relativamente recente, a CTE enfrenta os desafios mencionados inerentes à CT e alguns outros.

Dentre as mais de 50 normativas sobre construção em terra disponíveis atualmente, somente uma dentre as investigadas neste trabalho menciona a construção com terra ensacada diretamente (CID, MAZARRON E GUERRERO, 2011; ASTM, 2010).

Ainda são insuficientes os trabalhos científicos baseados em ensaios que poderiam validar a CTE como sistema construtivo e permitir o desenvolvimento de uma norma específica para seu uso. Os poucos trabalhos encontrados tratam somente do tipo de sacaria mais comum, a sacaria em tecido plástico de polipropileno (VADGAMA, 2010; CROFT, C. S., 2011; PELLY, 2009). Mas este material apresenta dificuldades na fixação do reboco e quanto à aderência entre as fiadas, exigindo o uso de arame farpado (KHALILI, 1999; HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

Uma variação que usa a terra em sacos feitos de tela plástica de polietileno de alta densidade em malha Raschel (PEAD-MR), conhecida como *Hiperadobe*, desenvolvida pelo engenheiro brasileiro Fernando Pacheco, parece trazer soluções para estes problemas. Geiger (2011) afirma que os tubos de tela plástica são mais fáceis de preencher e custam significativamente menos do que os sacos ou tubos de tecido plástico e, por isto, têm ainda grande possibilidade de utilização.

No entanto, encontrou-se até o momento somente um registro formal de como se construir para obter qualidade construtiva e nenhuma avaliação científica a respeito de seu desempenho. Também faltam registros sobre outras informações sobre a técnica, importantes para se basear a escolha por esta técnica em detrimento de outras, como o tempo de construção, o acesso aos materiais, como se pode capacitar a mão de obra os custos envolvidos em absoluto e em comparação com o custo de uma construção convencional, dentre outros.

Na revisão sistemática no site Portal Capes, o termo "*earthbag*" evoca 26 artigos em periódicos no Portal Capes, sendo 7 deles revisado por pares, desses, somente 2 realmente abordavam como tema principal construção com terra ensacada:

- *Earthbag housing: Structural behaviour and applicability in Sri Lanka* [Habitação em terra ensacada: comportamento estrutural e aplicabilidade no Sri Lanka] (DAIGLE, HALL E MACDOUGALL, 2011);
- *Design of sustainable relief housing in Ethiopia: an implementation of cradle to cradle design in earthbag construction* [Projeto para

habitação de alívio pós-desastre na Etiópia: implementação do início ao fim de uma construção em terra ensacada] (BARNES *ET AL.*, 2009).

O termo "superadobe" tem 4 referências, sendo 2 revisadas por pares e uma que trata do tema:

- *Low-cost solutions for Martian base* [Soluções de baixo custo para uma base em Marte] (KOZICKA, 2008).

O termo "*sandbag*" não traz referências que tratem da construção com terra ensacada de habitações, somente de diques.

Os termos "terra ensacada", "*tierra ensacada*", "taipa ensacada" "hiperadobe", "*hyperadobe*" e "brickeradobe" não obtiveram resultados.

No portal Infohab nenhum dos termos obteve resultado, evidenciando a falta de conhecimento científico sobre o tema no Brasil.

Apesar das dificuldades inerentes, a construção com terra possui diversas qualidades que a justificam como objeto de pesquisa e podem ter utilidade para a solução das problemáticas apresentadas.

### 1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA

O desenvolvimento deste trabalho justifica-se, de maneira abrangente, pela necessidade de se combater o déficit habitacional de maneira mais sustentável do que tem sido feito até o momento e a construção com terra, incluindo a técnica de construção em terra ensacada possui potencial para ser uma opção mais sustentável em vários aspectos, segundo o relatado por vários autores.

Kennedy (2009) afirma que "a maneira mais eficiente de oferecer casas confortáveis e baratas é fazer o uso de materiais de baixo custo disponíveis localmente". De maneira geral, Minke (2009) afirma que a terra ou barro, é um material frequentemente disponível nas proximidades das obras, acessível economicamente, que não apresenta efeitos danosos à saúde, que é agradável à pele e não apresenta riscos ao se manusear, diferente de materiais como o cimento e a cal. O barro também armazena e libera calor e umidade e pode balancear o clima no interior da construção.

Em termos ambientais, o uso da terra gera impacto no momento de sua extração, enquanto atividade de mineração:

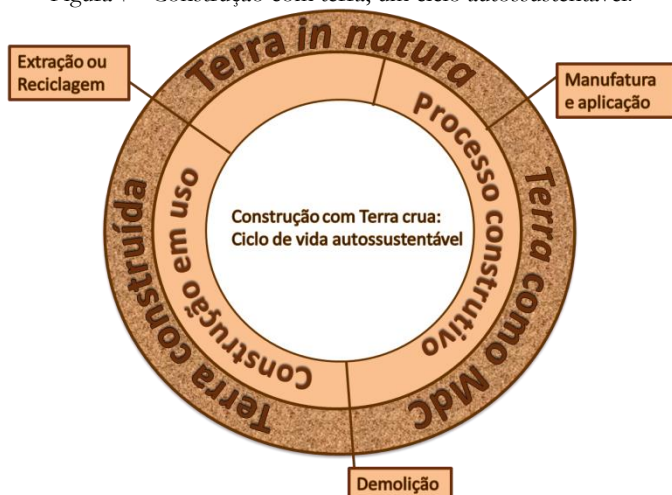
(...) erosão, assoreamento, contaminação das águas superficiais e subterrâneas, impactos sobre a flora e fauna, instabilidade de taludes e encostas, mobilização de terra, poluição do ar, sonora e

visual, (...) vibração do terreno (...). BRAGA (1996)  
in BACCI, LANDIM e ESTON (2006).

Mesmo assim, Minke (2009) afirma que a terra apresenta vantagens em relação a outros materiais de construção. Segundo ele, o uso do barro quase não produz contaminação ambiental em comparação com os materiais de construção industrializados. Para preparar, transportar e trabalhar a terra no local necessita-se somente 1-5% da energia requerida para a produção de cimento em seu uso em concreto armado e em paredes de alvenaria.

Em termos de emissões, Weimer (2005) identifica como vantagens do uso da terra crua na construção a possibilidade da extração local, economizando-se em transporte na obtenção do material e também na destinação final após demolição, uma vez que a terra crua como Material de Construção (MdC) possui um ciclo de vida autossustentável, no sentido que as construções em terra podem ser demolidas e reconstruídas com o mesmo material. Mesmo que algumas técnicas consumam um grande volume de terra, esta pode ser reutilizada ilimitadamente, sendo necessário somente destorroá-la (MINKE, 2013b), sem gerar resíduo, sem precisar de processamento termoquímico ou da incorporação de novos materiais, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 - Construção com terra, um ciclo autossustentável.



Fonte: adaptado de Schroeder, Röhlen e Volhard (2007).

Segundo a ASTM (2010),<sup>10</sup> a fabricação de materiais para a construção em terra é substancialmente mais eficiente energeticamente por unidade de volume do que a fabricação de blocos cerâmicos de produtos à base de cimento, como alvenaria de concreto, concreto pré-moldado, ou concreto moldado *in loco*.

Quanto ao potencial de eliminar o déficit habitacional, os responsáveis pelo Programa Mundial de Patrimônio Histórico de Arquitetura em Terra da UNESCO afirmam:

Arquitetura de terra é uma das expressões mais originais e poderosas de nossa capacidade de criar um ambiente construído com recursos prontamente disponíveis (...). A disponibilidade e qualidade econômica do material significam que ele tem grande potencial para contribuir para a redução da pobreza e para o desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2012) (tradução livre).

Tratando especificamente da CTE, Prompt (2012) avaliou seu uso em habitações de interesse social em unidades agrícolas familiares e concluiu que a técnica é adequada para o contexto rural. Folz *et al* (2010) corroboram ao afirmarem que a população rural possui materiais locais disponíveis que podem ser utilizados para a construção.

Quanto ao seu uso para construções emergenciais, Carvalho, Lopes e Matos (2010) afirmam que as construções em terra são adequadas para situações onde haja restrição de recursos e necessidade de soluções rápidas. A CTE já foi usada por Khalili em parceria com a ONU para a construção para atendimento de desalojados na Síria (CAL-EARTH, 2014).

Dos Santos, Librelotto e Jacintho (2014) registraram três edificações em terra ensacada na região do Distrito Federal que tiveram custo de construção em média 52,48% menor do que o CUB da região à época da construção das mesmas, apontando para uma maior sustentabilidade econômica em relação à construção convencional.

Acerca da satisfação dos usuários, (SANTOS, LIBRELOTTO E JACINTHO, 2013b) entrevistaram cinco construtores que utilizaram as técnicas de CTE no Distrito Federal e estes se disseram satisfeitos. Já

---

<sup>10</sup> *ASTM International*, originalmente conhecida como *American Society for Testing and Materials*, é um órgão estadunidense de normalização. A ASTM desenvolve e publica normas técnicas para uma ampla gama de materiais, produtos, sistemas e serviços.

Prompt (2008) entrevistou oito famílias autoconstrutoras em TE ou CTE em Santa Catarina e também registrou satisfação na pesquisa pós-ocupação. A autora enfatiza:

A terra é um material abundante, (...) existe em grande quantidade e em diferentes locais. Pode ser usada de diversas formas, como paredes de taipa, adobe, entre muitas outras. As construções de terra crua compõem ambientes agradáveis, pois controlam a entrada e saída de calor e a umidade. Além disso, têm um impacto ambiental baixíssimo e proporcionam a possibilidade de construções belíssimas.

Dentro deste contexto, pode-se afirmar que a construção com terra ensacada possui um grande potencial para contribuir para a solução das problemáticas deste trabalho, contribuindo para a redução do déficit habitacional, para a redução do impacto ambiental da construção civil, para a melhoria da habitação de interesse social e rural (PROMPT, 2012) e para a agilidade da construção em recuperação pós-desastre (VADGAMA, 2010).

Tendo em vista a escassez de conhecimento científico sobre as edificações em terra ensacada, foram definidas as perguntas de pesquisa.

#### 1.4 PERGUNTAS DE PESQUISA

As perguntas de pesquisa foram:

- Quais as principais recomendações para a construção com terra ensacada?
- Como as edificações em terra ensacada devem ser projetadas?
- Como as edificações em terra ensacada devem ser executadas?
- Como se comportam, se executadas de acordo com as recomendações? Atingem padrões mínimos de desempenho?
- Essa técnica tem realmente potencial para se usada em habitações de interesse social em termos de viabilidade econômica?

Com base nestas perguntas foram formulados os objetivos deste trabalho.

## 1.5 FORMULAÇÃO DOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Segundo Abiko (2003), "tecnologia é a incorporação do conhecimento científico ao domínio das técnicas". Conhecimento científico, por sua vez, é obtido através da aplicação do método científico, onde se pressupõe uma hipótese ou se formula uma teoria que deve ser verificada por meio de um experimento organizado.

Para se contribuir para o desenvolvimento tecnológico da técnica de construção com terra ensacada, objetivo geral deste trabalho, uma opção seria aplicar os requisitos<sup>11</sup> e critérios<sup>12</sup> apontados em normas de desempenho construtivo em terra (conhecimento científico) às boas práticas recomendadas pelos principais autores e construtores (domínio da técnica).

Para isto, seria necessário testar sua aplicação na concepção e execução de um projeto-tipo (experimento organizado).

Para se executar o projeto-tipo concebido, seria necessário levantar teorias (conjuntos de recomendações) sobre como se construir em terra ensacada; eleger as mais interessantes de acordo com o contexto e aplicá-las.

Para avaliar as teorias aplicadas, gerando mais conhecimento científico para dar continuidade ao desenvolvimento tecnológico da técnica de construção em terra ensacada em futuros trabalhos, seria necessário avaliar o desempenho final da edificação de acordo com os parâmetros mensuráveis no contexto.

---

<sup>11</sup> Requisitos de desempenho: condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer as exigências do usuário (ABNT, 2013a).

<sup>12</sup> Critérios de desempenho: especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados (ABNT, 2013a).

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 **Objetivo Geral**

Reunir recomendações sobre as boas práticas construtivas para o desempenho das construções em terra ensacada, aplicá-las em um projeto, testá-las em um protótipo e avaliar seu desempenho.

### 1.6.2 **Objetivos Específicos**

- A. Reunir informações sobre o estado da arte <sup>13</sup> e recomendações sobre as boas práticas a respeito da construção com terra ensacada;
- B. Reunir requisitos e critérios normativos acerca do projeto de edificações em terra;
- C. Aplicar os requisitos reunidos na concepção de um projeto-tipo em terra ensacada;
- D. Aplicar as recomendações obtidas na construção de um protótipo;
- E. Registrar informações sobre o processo construtivo em terra ensacada;
- F. Analisar o desempenho do protótipo em terra ensacada segundo os requisitos avaliáveis no contexto e
- G. Analisar qualitativamente a técnica de construção em terra ensacada como executada no protótipo.

---

<sup>13</sup> Estado da arte: "estágio de desenvolvimento de uma capacitação técnica em um determinado momento, em relação a produtos, processos e serviços, baseado em descobertas científicas, tecnológicas e experiências consolidadas e pertinentes" (ABNT, 2013a).



## 1.7 DELIMITAÇÕES

Por questões de tempo e recursos, a aplicação prática dos processos construtivos em terra ensacada através da construção do protótipo ficou limitada à aplicação da técnica de construção com terra ensacada em sacos contínuos de PEAD em malha Raschel, conhecido como "Hiperadobe" por apresentar várias vantagens e ser a variação menos estudada.

Embora tenha sido construído o protótipo completo, o interesse do estudo é apenas o uso desta técnica para a execução de elementos verticais à exceção de esquadrias e suas interfaces com os demais elementos.

Em função da disponibilidade de interesse e financiamento, a construção do protótipo foi realizada na cidade de Brasília-DF. Assim, certos aspectos da técnica (como o tempo de construção, o volume de material usado e a capacitação da mão de obra, dentre outros) podem ser comparados aos de outras construções, mas outros aspectos (como o acesso aos materiais, custos e desempenho em termos de conforto) são inerentes à realidade da região, o que deve ser considerado ao se fazerem comparações.

## 1.8 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em oito capítulos.

O primeiro capítulo faz introdução ao assunto, apontando as problemáticas que motivaram a pesquisa, sua justificativa, os objetivos e delimitações.

O referencial teórico abarca os capítulos dois, três, quatro e cinco.

No segundo capítulo são apresentados os principais conceitos abordados; o panorama da construção com terra em geral e da construção com terra ensacada no mundo, considerando a história e o atual estado da arte e uma breve descrição de técnicas amplamente divulgadas de construção em terra.

O terceiro capítulo apresenta a técnica de construção em terra ensacada em sua história, diversos usos e variações construtivas. Ao final são apresentadas as vantagens e desvantagens da técnica e um comparativo com outras técnicas de construção com terra crua.

O quarto capítulo traz a descrição do processo construtivo em terra ensacada e suas boas práticas, segundo os principais autores.

O quinto capítulo trata dos requisitos normativos para projeto de edificações em terra crua e outros requisitos e conceitos que foram usados para a concepção e o desenvolvimento do protótipo.

No sexto capítulo é descrita a metodologia utilizada para o desenvolvimento do protótipo desde a fase de concepção (projeto,

modelagem e revisões de projeto), passando pela obtenção dos materiais, capacitação da mão de obra até a execução do protótipo, com a aplicação das recomendações obtidas do levantamento teórico, avaliação de aspectos da construtibilidade e desempenho.

O capítulo sete traz os resultados da prototipagem e as avaliações realizáveis no contexto.

No capítulo oito são apresentadas as conclusões acerca dos resultados da pesquisa e expõe novas recomendações e as sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO - CONSTRUÇÃO COM TERRA

Nesta seção, buscou-se abordar os seguintes temas relacionados à construção com terra:

1. O que é a terra, quais suas características e como certos aditivos melhoram sua qualidade como material de construção;
2. O que é "arquitetura e construção com terra", suas origens e atualidade no mundo e no Brasil;
3. Quais as principais técnicas de construção com terra divulgadas no Brasil, tradicionais e modernas e suas particularidades.

### 2.1 TERRA, SOLO, BARRO.

Eu sou a terra, eu sou a vida.  
Do meu barro primeiro veio o homem.  
De mim veio a mulher e veio o amor.  
Veio a árvore, veio a fonte.  
Vem o fruto e vem a flor.  
Cora Coralina, 1983.

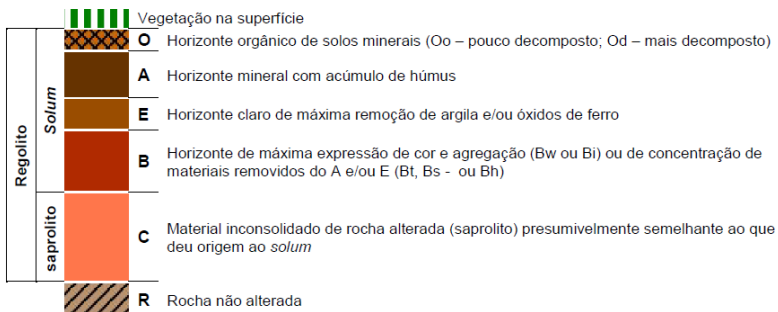
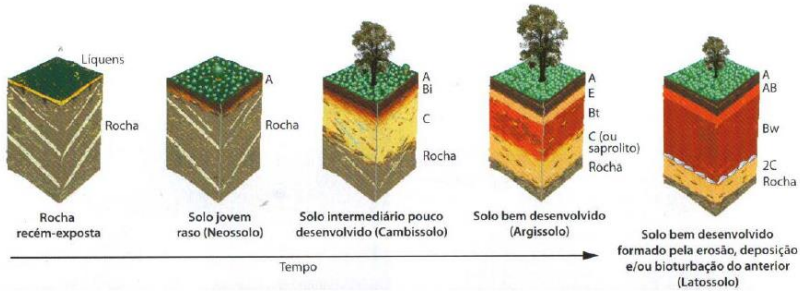
Figura 8 - João-de-barro construindo.



Fonte: Soares (2013).

O solo, ou terra, é usado como material de construção de durabilidade significativa mesmo por animais como pássaros (joão-de-barro) e insetos (formigas e cupins) (Figura 8). Segundo Houben e Guillaud (1994), o solo é o material resultante da erosão das rochas e de sua evolução físico-química (Figura 9).

Figura 9 - Formação dos solos.



Fonte: Neves e Faria (2011) adaptado de Lepsch (2010).

Para a construção com terra, utiliza-se solo dos horizontes B e C (NEVES ET AL., 2009). A rocha de origem e as condições climáticas são os fatores que determinam o tipo de solo, o que resulta em grande variedade de cores e características que servem ao preparo de acabamentos e pinturas (Figura 10).



invés de "material para construções em terra", o termo preferido é o "material de construção cuja base é solo"<sup>14</sup> (AUGARDE, 2014).

Dada a diversidade encontrada na literatura, neste trabalho três termos serão usados, uma vez que descrevem o mesmo material em seus diferentes estados de tratamento: *solo*, quando se tratar do material a ser ensaiado; *barro*, quando se tratar do solo úmido usado em acabamentos e *terra*, quando se tratar de material para a construção, mesmo quando se tratar de terra arenosa. Estes termos foram preferidos por estarem de acordo com o adotado pelas associações brasileiras e por manter relação com os termos em inglês *earthbag building* (construção com sacos de terra) e *rammed earth* (terra compactada, ou taipa-de-pilão), as duas técnicas de maior proximidade com as técnicas de terra ensacada estudadas.

Terra, solo ou barro são compostos por materiais granulares de dimensões diferentes (pedregulhos, areia, silte e argila) e seu comportamento varia de acordo com as quantidades de matéria orgânica, ar, umidade e agentes estabilizantes presentes entre estes materiais granulares. Segundo (NEVES ET AL., 2009), o solo pode receber as seguintes classificações:

- Classificação granulométrica<sup>15</sup>: arenoso, argiloso, siltoso;
- Classificação pedológica: horizontes – superficial, subsolo e rocha-mãe;
- Classificação genética: solo pedogenético, solo saprolítico, solo transportado;

A classificação granulométrica é a mais usada para a construção com terra. No Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da norma ABNT/NBR 6502/95 -Terminologia - Rochas e Solos, define:

- Bloco de rocha – Fragmentos de rocha transportados ou não, com diâmetro superior a 1,0 m.
- Matacão – fragmento de rocha transportado ou não, comumente arredondado por intemperismo ou abrasão, com uma dimensão compreendida entre 200 mm e 1,0 m.
- Pedregulho – solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0 e 60,0 mm. Quando arredondados ou semi-arredondados, são

---

<sup>14</sup> *Soil-based construction materials* (SBCM), em tradução livre.

<sup>15</sup> Granulometria: medida da dimensão dos grãos (FERREIRA, 1986). É expressa em termos do maior diâmetro da partícula. Apesar de as partículas não serem esféricas, essa é a dimensão que faz com que os grãos fiquem retidos nas diferentes peneiras, gerando sua classificação (DAIGLE, 2008).

denominados cascalhos ou seixos. Divide-se quanto ao diâmetro em: pedregulho fino – (2 a 6 mm), pedregulho médio (6 a 20 mm) e pedregulho grosso (20 a 60 mm).

- Areia – solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm. As areias de acordo com o diâmetro classificam-se em: areia fina (0,06 mm a 0,2 mm), areia média (0,2 mm a 0,6 mm) e areia grossa (0,6 mm a 2,0 mm).
- Silte – solo que apresenta baixa ou nenhuma plasticidade, baixa resistência quando seco ao ar. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração silte. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm.
- Argila – solo de graduação fina constituída por partículas com dimensões menores que 0,002 mm. Apresentam características marcantes de plasticidade; quando suficientemente úmido, molda-se facilmente em diferentes formas, quando seco, apresenta coesão suficiente para construir torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos. Caracteriza-se pela sua plasticidade, textura e consistência em seu estado e umidade naturais (ABNT, 1995).

Em resumo (Tabela 3):

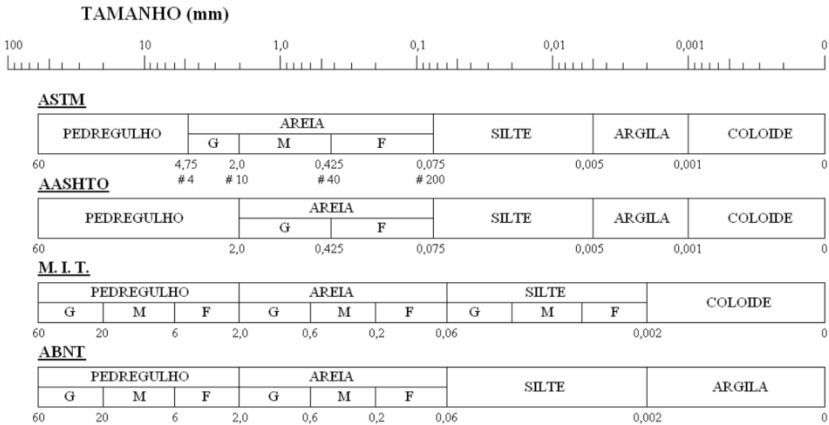
Tabela 3 - Partículas do solo.

Nomenclatura e dimensão das partículas (mm)
20,0 < Pedregulho grosso < 60,0
6,0 < Pedregulho médio < 20,0
2,0 < Pedregulho fino < 6,0
0,6 < Areia grossa < 2,0
0,2 < Areia média < 0,6
0,06 < Areia fina < 0,2
0,002 < Silte < 0,06
Argila < 0,002

Fonte: (ABNT, 1984b).

Além da escala granulométrica da ABNT, existem escalas estabelecidas por outras instituições, como ilustrado no Quadro 1:

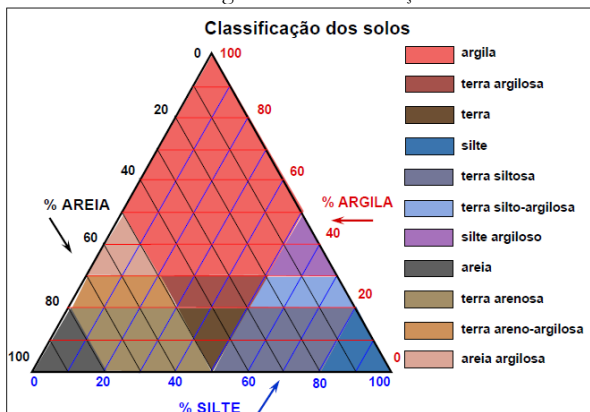
Quadro 1 - Escalas granulométricas segundo ASTM, AASHTO, MIT e ABNT.



Fonte: Pimenta Filho (2013).

Partículas com mais de 2,0 mm não são mais consideradas solo (MINKE, 2001; ABNT, 1984b). Assim, a classificação granulométrica de solos é dada de acordo com as proporções de argila, silte e areia, conforme o Gráfico 1:

Gráfico 1 - Diagrama de classificação de solos.



Fonte: adaptado de Moran (1984) por Neves *et al.* (2009).



Quanto à construção com terra, cada partícula exerce um tipo de influência. A argila faz o papel de ligante natural: ela está para uma parede de terra assim como o cimento está para o concreto. Tipicamente, as argilas mais adequadas para a construção são as lateríticas e caolinitas. Para a construção com terra podem-se usar solos com 5-30% de argila. Siltes são partículas estruturalmente inertes, mas uma quantidade muito grande de silte pode enfraquecer a construção. Já a areia oferece à parede de terra resistência à compressão e estabilidade (HOUBEN E GUILLAUD, 1994)

As principais propriedades dos solos são: textura ou granulometria; plasticidade, capacidade de compactação e coesão (HOUBEN e GUILLAUD, 1994). A plasticidade é a capacidade de o solo ser deformado sem que se rompa ou se desintegre. Segundo seu grau de umidade, o solo pode ser líquido, plástico ou sólido (NEVES *ET AL.*, 2009). A capacidade de compactação se refere a quanto o solo pode ser compactado sob certa pressão e certo grau de umidade (PROMPT, 2012). A coesão se refere à capacidade de um solo manter suas partículas unidas, através de ligações iônicas entre as partículas. As argilas são as partículas responsáveis pela coesão do solo, por sua carga iônica. Segundo Neves *et al.* (2009), "a argila possui forte coesão, sem estabilidade volumétrica, expande na presença de água; apresenta propriedades físicas e químicas bastante variadas segundo sua origem".

Segundo Neves e Faria (2011), não se tem notícia de uma subárea da pedologia<sup>16</sup> dedicada especialmente ao estudo do solo como material de construção. Como nem todos os solos são adequados para a produção de materiais de construção e outros são adequados apenas para determinadas técnicas, é de grande necessidade e importância para quem se interessa pela arquitetura e construção com terra conhecer a origem dos solos, características, comportamentos e procedimentos de identificação.

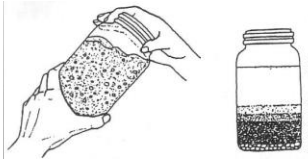


Assim, o reconhecimento do tipo de solo disponível é fundamental para a construção com terra (PROMPT, 2012), uma vez que somente testes poderão dizer se o solo é adequado para a construção (HOUBEN E GUILLAUD, 1989) e qual a técnica mais adequada para o uso (NEVES E FARIA, 2011).

A caracterização pode ser feita através de ensaios em laboratório ou através de aproximações feitas em testes de campo (Tabela 4).

---

<sup>16</sup> Estudo dos solos (FERREIRA, 1986).

Tabela 4 - Testes de campo para a caracterização dos solos.

Teste de campo	Propriedade estimada	Imagem
Teste do pote	Granulometria	 <p>(MINKE, 2009)</p>
Teste da bola	Umidade ótima	 <p>(MINKE, 2009)</p>
Teste do rolo	Plasticidade	 <p>(NEVES ET AL., 2009)</p>

O teste do pote é um teste simples para determinar a proporção de argila e areia no solo a ser usado. Três amostras do solo devem ser retiradas de abaixo do nível da superfície, sem matéria orgânica ou detritos. Estas amostras devem ser colocadas em um pote até a metade e a outra metade completa com água. Deve-se misturar bem e deixar o solo decantar por uma noite ou até que a água fique clara. A camada superior, de argila e silte deve ter um terço a um quarto da espessura total (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

Esse teste pode não dar resultado quando a argila cria tensões iônicas, deixando a mistura "como uma gelatina" que impede que as outras partículas (areia e silte) sedimentem (FARIA E CARVALHO, 2014). Esse fenômeno acontece somente para alguns tipos de argila.

O teste da bola consiste em amassar, com a mão, uma amostra de solo umedecido até formar uma bola e deixá-la cair da altura do ombro. Se a amostra mantiver o formato de bola, mas apresentar rachaduras, a umidade estará adequada para a construção com terra compactada (MINKE, 2009).

Segundo Neves *et al.* (2009), o teste do rolo consiste em tomar uma porção de terra, umedecida e amassada, deslizar sobre uma superfície plana (de borda arredondada), até a obtenção de um cordão com 200 mm de comprimento e diâmetro de 25 mm. Deslizar suavemente o cordão para fora da superfície, de forma que o rolo fique em balanço. Quando ocorrer a ruptura do segmento em balanço, avaliar. Se romper o cordão com:

- menos de 80 mm, não há argila suficiente;
- entre 80 mm e 120 mm, a quantidade de argila é a ideal;
- acima de 120 mm há argila em excesso.

Outros testes de campo podem ser encontrados em (NEVES *ET AL.*, 2009). As metodologias de caracterização de solos em laboratório utilizadas neste estudo serão descritas em detalhe na seção Ensaio laboratoriais, pg. 197.

A partir do conhecimento das propriedades do solo, é possível verificar a umidade ótima de compactação e é necessário algum aditivo para a estabilização do solo (NEVES *ET AL.*, 2009).

## 2.2 ESTABILIZAÇÃO, TERRA ESTABILIZADA E ESTABILIZANTES.

Houben e Guillaud (1994) definem a estabilização de solos como a modificação das propriedades de um sistema que compreende o solo, a água e o ar com o objetivo de obter propriedades de durabilidade que sejam compatíveis com uma aplicação em particular.

O objetivo da estabilização é melhorar as características físico-mecânicas das edificações em terra, como resistência à compressão e à ação abrasiva de ventos, chuvas e contato; impermeabilização e durabilidade em geral.

A estabilização pode ser granulométrica, procedimentos em que se alteram as proporções de argila ou areia (NEVES E FARIA, 2011). Dependendo do solo, o efeito é muito significativo, como no exemplo da Figura 11, realizado durante as oficinas de rebocos de terra do congresso Terra Brasil de 2014.

Figura 11 - Efeitos da estabilização granulométrica empírica em rebocos de terra sem aditivos.



Fonte: Autoral, 2014.

A estabilização pode ser mecânica, através de compressão estática ou dinâmica (compactação) (HOUBEN E GUILLAUD, 1989). Estabilização mecânica é conseguida por compactação ou compressão de uma mistura de terra plástica, ou contendo-se a terra em fôrmas permanentes, tais como sacos (ASTM, 2010).

A terra a ser estabilizada mecanicamente deve estar úmida. Cada solo possui uma umidade ótima, de acordo com a taxa de compactação que vai receber. Para a execução de estradas a serem compactadas por rolos compressores, a umidade ótima de compactação é determinada pelo ensaio de compactação de Proctor, descrito na norma brasileira ABNT NBR 7182:1968 - Ensaio de Compactação (ABNT, 1986b). Apesar de a taxa de compactação manual ser inferior, a umidade ótima determinada pelo ensaio de Proctor pode servir como fator de comparação entre solos.

Quanto aos estabilizantes, existem os naturais e químicos. Minke (2001) apresenta vários estabilizantes (aditivos) naturais, tradicionais, convencionais e alternativos para se alcançar melhores características para o uso do solo na construção, como: resistência a fissuras, à ação da água, coesão e resistência à compressão. Os materiais utilizados para estabilizar os sistemas de construção de barro, como emulsão de asfalto e cimento, podem aumentar significativamente a resistência e durabilidade, mas alteram os solos e sua adequação para usos agrícolas (ASTM, 2010). Dá-se destaque também para a baba de cupim sintetizada desenvolvida pela empresa Dynasolo (CORRÊA, 2014) e para o silicato de potássio usado em tintas (Kröten Ecotintas, 2015), por não tirarem as propriedades biológicas do solo (Tabela 5).

Tabela 5 - Aditivos e estabilizantes comuns para a construção com terra.

Classificação por origem	Aditivos	Observações	Referências
Vegetais	* Fibras secas	Podem ser de várias espécies: de coco, siral, grama, feno, celulose, casca de arroz, etc.	Minke, 2013.
	Sumo de plantas oleosas	Podem ser de várias espécies: de agáveas, mandacarus, cactos. Deixam-se pedaços das folhas suculentas de molho em água por alguns dias até fermentar, criando um líquido.	Marigoni e Trimmermann, 2015.
	* Óleo de linhaça	Existe o puro (comestível) e o sintético, com solvente químico, para tratamento de madeira. Testes de erosão com 4-6% de óleo de linhaça no reboco resultaram muito satisfatórios.	Minke, 2013.
	* Cola de farinha	Liga resultante do cozimento da farinha de trigo com água.	Minke, 2013.
	* Caseína	Proteína extraída do leite. É vendida comercialmente, mas pode ser extraída em casa.	Minke, 2013.
Animais	* Esterco	O esturco é a mistura natural entre as fibras e o sumo de plantas fermentado. Melhora a plasticidade dos rebocos. Pode ser usado fresco, fermentado ou seco e peneirado. O seco não tem odor. O esturco de vaca é melhor do que o de cavalo.	Minke, 2013.
	Urina	Usada misturada com cal. A de cavalo é a mais comum.	Minke, 2013.
Minerais	Silicato de sódio	Bom estabilizante para solos argilosos, mas deve ser diluído em água em proporções de 1:2 até 1:8. Pode ser usado como pintura.	Minke, 2013.
	Silicato de potássio	Tem sido usado para tintas.	Krotten, 2015
	* Cimento	Reage melhor com argilas lateríticas. Deve ser usado de 5-10%, porque menos do que isso na verdade reduz a resistência do reboco, porque o cimento isola as partículas de argila, bloqueando suas propriedades aglutinantes. Assim, quanto mais argila no solo, mas cimento deve ser colocado.	Minke, 2013.
Sintéticos e industrializados	* Cal	Reage melhor com as argilas montmorilonitas. A cal extinta em pasta é a melhor para rebocos, e para pinturas, é melhor se aplicarem várias camadas finas, para melhorar a absorção.	Minke, 2013.
	Cal e cimento	Como muitos solos têm os dois tipos de argila, o melhor é se usar ambos cimento e cal, na proporção de 4-6% de cada.	Minke, 2013.
	Gesso	O gesso é um bom estabilizador de solos arenosos, melhorando a resistência e acelerando a secagem. Por ser produzido a temperaturas inferiores, utiliza cerca de 14% da energia necessária para a produção de cimento e 20% da energia para a cal. Usa r 10% de gesso com 2% de cal.	Geiger, 2011
	Emulsão asfáltica	Promove alta impermeabilização para rebocos de barro: 4% em rebocos de base e 8% em rebocos de acabamento.	Minke, 2013.
	Baba de cupim	É um produto sintético desenvolvido no Brasil e usado para estabilizar leitos de estradas. Teve bom desempenho como estabilizador de adobes.	Corrêa, 2014.
	Resinas sistéticas, solovane, silicone, etc.	São as opções mais caras entre as citadas e resultam em rebocos e selantes impermeáveis, mais usados nas paredes exteriores.	Minke, 2013.

Fonte: adaptado de Minke (2013b); Corrêa (2014); (Krotten Ecotintas, 2015).

Os aditivos marcados com um asterisco foram usados neste trabalho e seu modo de utilização encontram-se nos METODOLOGIA, pg. 173.

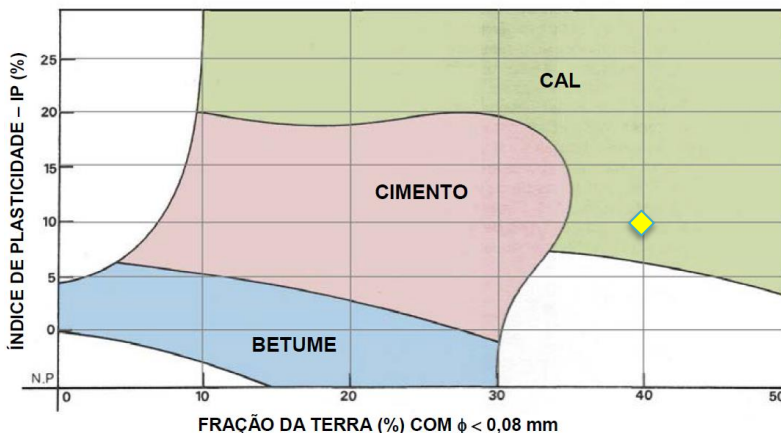
Quanto à necessidade, Houben e Guillaud (1994) afirmam que há muitos casos em que o solo pode ser utilizado sem ser estabilizado quimicamente e comentam a tendência atual à estabilização dos solos mesmo quando não há real necessidade, sendo que os métodos empregados podem ocasionar um aumento de 30 a 50% no custo da obra. Além disso, a estabilização com produtos químicos faz com que a terra utilizada deixe de ser agriculturável, perca a possibilidade de ser reciclada ou devolvida ao meio, assim, neste trabalho dar-se-á prioridade aos estabilizantes naturais, sempre que possível.

Quando o solo é usado para fundações, cintas de amarração ou vergas, é recomendado que este seja estabilizado quimicamente para aumentar sua impermeabilização e sua resistência. Como mencionado na Tabela 5, o cimento é melhor aglutinante para as areias e argilas lateríticas, já a cal reage melhor com as argilas montmorilonitas. Minke (2013b) afirma que o melhor é usar 4-6% de cada para rebocos, mas há metodologias para se determinar se um solo precisa ser estabilizado quimicamente e qual o estabilizante é o mais adequado. Esses procedimentos, que se encontram detalhados no capítulo METODOLOGIA, pg. 173, passam pelas seguintes etapas:

1. Identificação ou caracterização do solo através de ensaios de análise granulométrica para se descobrir os teores de argila, silte e areia;
2. Estabilização granulométrica com outro solo conhecido;
3. Levantamento dos limites de consistência através de ensaio pertinente para se obter o índice de plasticidade do solo resultante (estabilizado granulometricamente).

Este procedimento gerará os dados necessários para se consultar o Gráfico 2:

Gráfico 2 – Gráfico para seleção do tipo de estabilizante, em função do Índice de Plasticidade (IP) e da granulometria da terra.



Fonte: Houben e Guillaud (1989) adaptado por (NEVES ET AL., 2009).

No exemplo, um solo com índice de plasticidade de 10% e com 40% por cento das partículas de diâmetro menores que 0,08 mm, representado pelo losango amarelo, deve ser estabilizado com cal.

O betume, ou emulsão asfáltica, no entanto, é um hidrocarboneto derivado do petróleo, com alto potencial poluente e prejudicial à qualidade do ar interior em função da emissão de compostos orgânicos voláteis (ASTM, 2010). Por isto seu uso é fortemente rejeitado por alguns autores, como Hunter e Kiffmeyer (2004). O gesso (6%) adicionado de 2% de cal é uma solução sugerida por Geiger (2011) para substituir o betume na estabilização de solos arenosos.

Já a cal é tida por alguns pesquisadores como o melhor estabilizante para solos que contenham argila, porque a cal gera ligações por covalência, através da troca com a hidroxila das argilas, promovendo ligações cerâmicas, eliminando a água. Como o barro retém ionicamente a água, com a cal a água não é mais retida. Pode-se usar a cal em solos com até 50% de argila. O volume de cal a ser utilizado na estabilização pode ser determinado por meio da medição do pH do solo, onde o pH 12 é o objetivo (SILVEIRA, 2015).

## 2.3 ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA

A definição adotada pela Rede Terra Brasil (associação dos profissionais envolvidos em construção com terra no Brasil), traz em suas publicações que Arquitetura e Construção com Terra é a "denominação dada a toda produção arquitetônica que emprega o solo como o principal material de construção" (NEVES E FARIA, 2011).

Possivelmente o termo mais usado no Brasil para se descrever a construção com terra é *taipa*, termo genérico que descreve mais de uma técnica. Segundo o dicionário Aurélio, *taipa* é a "parede feita de barro ou de cal e areia com enxaiméis e fasquias de madeira"; *taipar* é construir com taipas; calcar (o barro ou a cal) na taipa (FERREIRA, 1986).

### 2.3.1 Arquitetura e Construção com Terra Tradicional

Segundo estes autores, registros de arquitetura e construção com terra remontam a mais de cinco mil anos. Prompt e Borella (2010) afirmam que vestígios de fundações feitas em terra (taipa de pilão) de aproximadamente 9.000 a.C. foram encontrados na Palestina. O guia normativo da ASTM (2010) menciona as ruínas do muro de Jericó, de 8.300 a.C..

Alguns exemplares centenários ainda estão em uso, como a mesquita de *Djénne*, em Mali (1280 d.C.), atualmente a maior construção em terra do mundo (em adobe)(Great Mosque of Djénne, 2015); o Castelo de *Baños de la Encina*, na Espanha (968 d. C.)(Castillo de Bury al-Hammam, 2015) e a Muralha da China (220 a.C.)(UNESCO, 2015) (Figura 12).

Figura 12 – Mesquita em Mali.



Fonte: Williams (2011)



Figura 13 – Castelo na Espanha.



Fonte: Vazquez (2003).

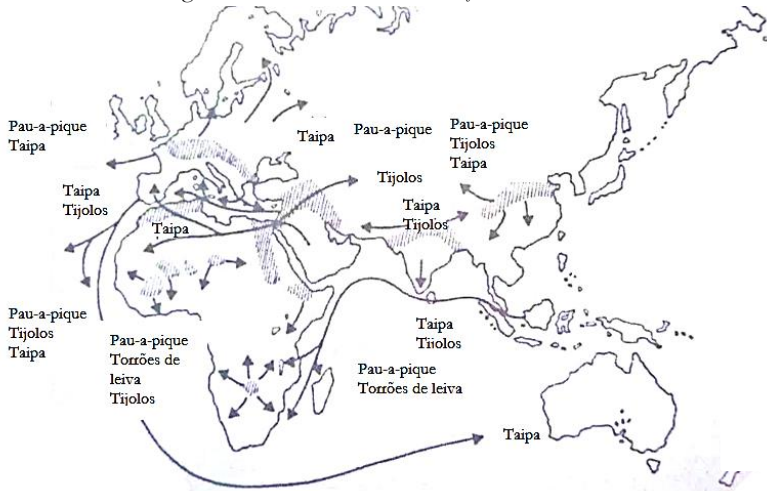
Figura 14 - Muralha da China.



Fontes: Kim (2013).

Há registros de construção com terra em todos os continentes habitados (PROMPT E BORELLA, 2010). Houben e Guillaud (1989) trazem que a arquitetura e construção em terra surgiram na Ásia e na África, difundindo-se pelo mundo (Figura 15).

Figura 15 - Difusão da construção com terra.



Fonte: adaptado de Houben e Guillaud (1989)(tradução livre).

Na Europa, as construções de terra passaram a receber mais atenção com o avançar da destruição das florestas, quando a madeira se tornou um material mais escasso. Construir certas paredes em terra entre as casas passou a ser obrigatório em algumas capitais depois de grandes incêndios (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

Na Alemanha pós-guerra surgiram as primeiras normas de construção com terra, por ser a terra um material barato e acessível para a reconstrução das cidades atingidas. Na Alemanha também se encontra o mais alto prédio de terra não estabilizada já construído, com sete andares, em uso até hoje, o emblemático *Haus Rath*, de Weilburg (WALKER ET AL., 2005)(Figura 16).

Figura 16 - *Hans Rath*, edifício de sete andares em terra não estabilizada.



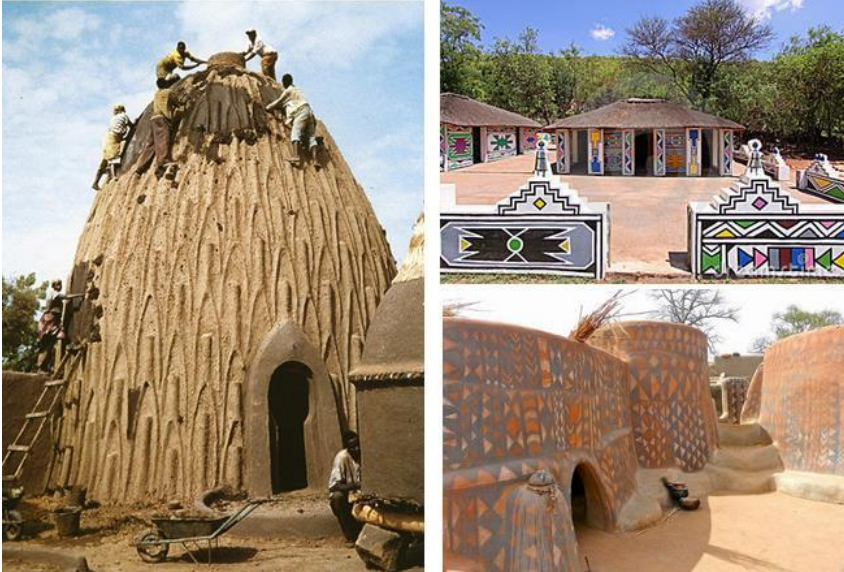
Fonte: Jaquin (2008).

Essa notável construção data de 1826 e está em uso até hoje. Situada na cidade de Weilburg, possui sete andares na parte da frente, com quase 20 metros de altura. É feita de terra compactada sendo que as paredes dos andares inferiores possuem 75 centímetros de espessura e as dos andares superiores, 30 centímetros (GÜNTZEL, 1988).

A partir do século XIX, a terra foi cedendo espaço a outros materiais de construção, mas nunca deixou de ser utilizada. Exemplos da arquitetura tradicional ainda em uso na África encontram-se nas vilas de

*Musgum* em Camarões, de *Botsbabelo Ndebele*, na África do Sul e de *Tiébélé* em Burkina Faso (Figura 17, sentido horário).

Figura 17 - Arquitetura em terra tradicional na África.



Fonte: Tomás (2014), Imagem © Cité des science et de l'industrie, Paris; Cooper; Willaert (2009).

Em Mendonza, Argentina, por exemplo, em 2001, mais de 80 por cento da população rural segue construindo suas casas com adobe. Esse fenômeno se deve aos custos elevados do concreto armado e dos tijolos cozidos (MINKE, 2001).

Já em países de clima seco e influência árabe, a arquitetura com terra continua tendo destaque, como na execução deste castelo residencial em terra recém-construído em Ouarzazate, Marrocos (Figura 18).

Figura 18 - Castelo residencial em terra contemporâneo no Marrocos.



Fonte: (RÖTH, 2012)

Essa sobrevivência secular e a renovação de interesse se dão pela abundância da matéria-prima, pelo baixo custo da construção, pelas características bioclimáticas e pela sua harmonia com o ambiente em que se desenvolve (NEVES E FARIA, 2011).

### 2.3.2 **Arquitetura e Construção com Terra Moderna e Contemporânea**

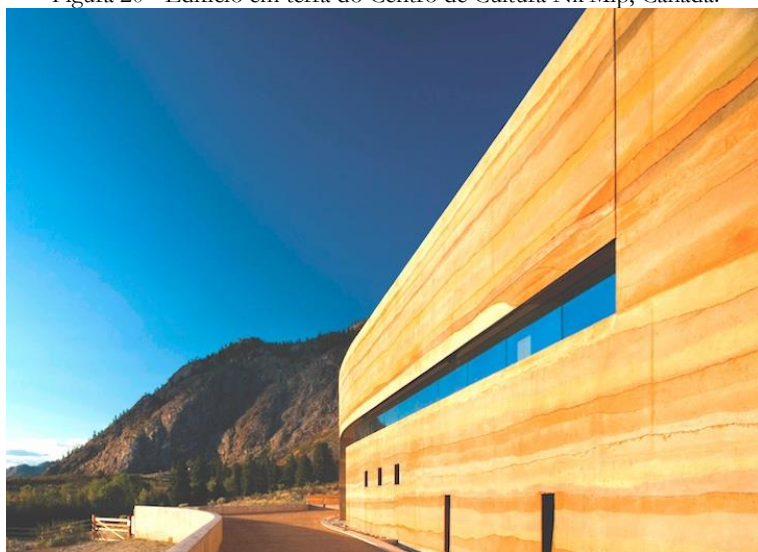
Conforme mencionado, com o aumento da consciência ambiental e da busca por alternativas mais sustentáveis de construção, a terra vem ganhando destaque como material de construção (SCHROEDER, RÖHLEN E VOLHARD, 2007). Seu uso vem ganhando espaço na arquitetura contemporânea, tanto para a estrutura de edifícios como para interiores, como pode ser visto nos trabalhos dos arquitetos Furman e Keil dos Estados Unidos (Figura 19), e de Brady Dunlop, do Canadá (Figura 20).

Figura 19 - Arquitetura em terra contemporânea, Texas, EUA.



Fonte: Furman e Keil (2010).

Figura 20 - Edifício em terra do Centro de Cultura Nk'Mip, Canadá.



Fonte: Krayenhoff (2007a) e (Nk'Mip Desert Cultural Centre, 2015).

Uma série de instituições e empresas compreende a construção com terra como uma opção mais sustentável, fazendo com que nos últimos anos houvesse progressos na recuperação de dados históricos e geração de conhecimento científico sobre as edificações em terra (NEVES E FÁRIA, 2011).

Na França, por exemplo, desde 1979, a equipe do laboratório CRATerre – *Cultures Constructives et Développement Durable* – da ENSAG, Escola Nacional Superior de Arquitetura de Grenoble <sup>17</sup>, vem trabalhando para atualizar os conhecimentos técnicos e científicos sobre a construção em terra crua, tendo publicado inúmeros livros, incluído um extenso tratado de construção com terra e parceiro da UNESCO na identificação e preservação do patrimônio histórico de edificações em terra (UNESCO, 2012).

A ENSAG é um dos colaboradores de projeto *Amàco*, que, unindo forças com a escola de Física e Química de Paris (*ESPCI Paris*<sup>18</sup>) e de Engenharia de Lyon (*INSA Lyon* <sup>19</sup>), procura meios de tornar o conhecimento sobre as propriedades dos materiais (de construção) mais acessível e didático, de forma a incluir a terra como uma opção de material de construção logo no início da formação dos arquitetos. Eles também organizam o congresso *Terra*, um dos maiores sobre o assunto, que reúne em cada edição mais de 800 trabalhos de pesquisadores de diversos países.

Nos Estados Unidos, o *Adobe in action*<sup>20</sup> é um dos grupos atuantes de divulgação, pesquisa e formação em construção com terra. Este grupo contribui para a organização do congresso americano de construção com terra *EarthUSA* e desenvolveu um curso completo para formação de adobeiros, com material didático para alunos e professores.

Na Inglaterra, a Universidade de Bath tem promovido diversos estudos sobre a construção com terra, com trabalhos sobre a melhoria da qualidade do ar interior e testes estruturais de novas tecnologias, incluindo a construção com terra ensacada.

---

<sup>17</sup> *École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble.*

<sup>18</sup> *École Nationale Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de Paris.*

<sup>19</sup> *Institut National de Sciences Appliquées de Lyon.*

<sup>20</sup> Adobe em ação, em tradução livre.

### 2.3.3 Arquitetura e Construção com Terra no Brasil

Segundo Prompt e Borella (2010), a construção com terra foi amplamente utilizada no Brasil durante o período colonial. As construções em terra mais antigas registradas no Brasil datam das décadas subsequentes ao descobrimento. Considerada a igreja mais antiga do Brasil ainda em funcionamento, a Igreja dos Santos Cosme e Damião, foi erguida originalmente em taipa em 1535 na região metropolitana de Recife (DIAS, 2015)(Figura 21).

Figura 21 - Igreja mais antiga do Brasil.



Fonte: Noblat (2011). Foto: Arquivo Editora Abril.

O estilo luso-brasileiro aparece em várias cidades litorâneas, como Salvador, Paraty. Em Florianópolis encontram-se em uso casarios e grandes igrejas construídas com taipa, adobe e pedras, pintadas com cal e estabilizadas com resíduo de óleo de baleia, como as igrejas Nossa Senhora das Necessidades da década de 1750 (Figura 22 à esquerda) e Nossa Senhora da Lapa, de 1806 (Figura 22 à direita) (DE SOUZA, 1992):



Figura 22 – Construções açorianas em terra e alvenaria de pedra em Florianópolis-SC.



Fonte: Santo Antônio de Lisboa (2014); Comim (2013).

As casas grandes e casas bandeiristas, outras manifestações típicas da arquitetura colonial brasileira, tinham frequentemente estrutura em taipa de pilão e divisórias em taipa de mão. Muitas ainda estão em uso, entre elas a sede da Chácara do Rosário, de 1726, à época chamada Engenho Grande. Esta sesmaria chegou a produzir a maior parte do açúcar da província de São Paulo (BENINCASA, 2010) (Figura 23).

Figura 23 - Casas bandeiristas do século XVIII.



Fonte: Fazendas Paulistas (2015).

No centroeste do país, dois exemplares ainda em uso são a Igreja Nossa Senhora do Rosário, construída originalmente em taipa-de-pilão entre 1728 e 1732 (Pirenópolis, 2015), e o cinema de Pirenópolis, de 1919, feito em adobe (SOARES, 2008) (Figura 24).

Figura 24 - Construções em terra em Pirenópolis-GO.



Fonte: Cruz (2015); Cidades históricas de Goiás (2015).

Na região sul, imigrantes alemães e italianos mesclaram as tecnologias construtivas usadas na Europa com os recursos locais (PROMPT E BORELLA, 2010). Exemplares da arquitetura em terra típica da colonização alemã, com estrutura em enxaiméis de madeira e preenchimento com adobe ou técnicas mistas, ainda podem ser apreciados em cidades como Pomerode-SC (IPHAN, 2007) (Figura 25).

Figura 25 – Casa Duwe e Casa Rardt, em enxaimel e adobe.



Fonte: Vale Europeu (2015), foto do acervo da Fundação Indaialense de Cultura; Vem pra Pomerode (2012).

Como ocorre em comunidades tradicionais em diversos países, no Brasil a terra ainda é usada como material de construção também por populações de baixo poder aquisitivo. Em 2010 foi estimado que houvesse mais de 70.000 casas de terra no estado do Ceará e 339.097 no Maranhão, onde as casas de terra representavam 79,9 % das edificações em áreas rurais (MELQUIADES JÚNIOR, 2010). Lima Júnior (2007) percorreu mais de 13.000 km pelo litoral nordestino em 2006 e faz um inventário sobre a arquitetura praieira ilustrando que a arquitetura em terra ainda é bastante utilizada (Figura 26).

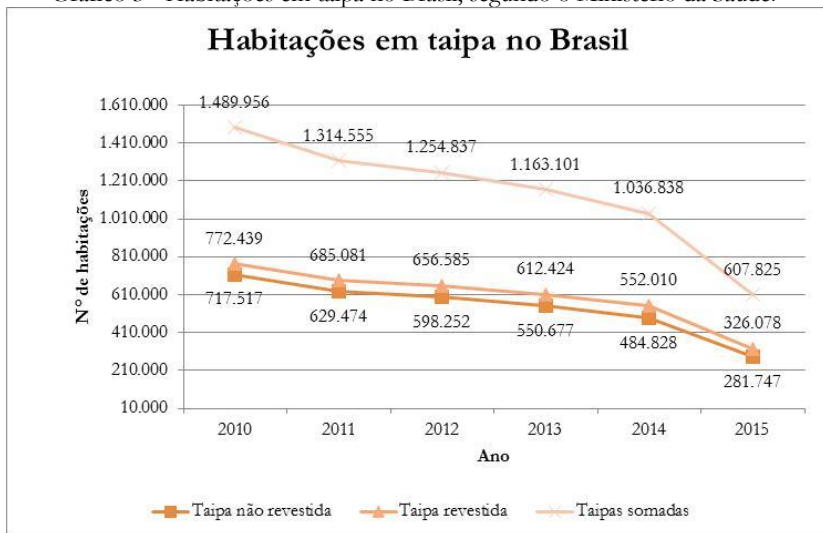
Figura 26 - Arquitetura praieira no nordeste brasileiro.



Fonte: Lima Júnior (2007).

Como se pode observar, o reboco, elemento tão importante para manter a higiene dos espaços, prevenir a instalação de insetos e a proliferação de doenças, como a doença de Chagas, ainda não é prática constante. Em dados divulgados pelo Ministério da Saúde, percebe-se que as casas de taipa não revestidas por reboco ou emboço são quase a metade das casas de taipa somadas (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Habitações em taipa no Brasil, segundo o Ministério da Saúde.



Fonte: Ministério da Saúde (2015).

Este levantamento, intitulado Situação de Saneamento, é realizado anualmente desde 1998 por profissionais do Sistema de Informação da Atenção Básica (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015). O gráfico mostra que ainda há um grande número de habitações feitas com terra (607.825 em fevereiro de 2015), evidenciando a necessidade de estudos e difusão de conhecimentos que promovam a qualidade da construção em terra.

Segundo Prompt (2012), as pesquisas acadêmicas na área da arquitetura de terra vêm ganhando força no Brasil. As investigações abrangem áreas como: conservação de patrimônio histórico, tecnologia, comportamento ambiental das edificações, capacitação e educação.

A respeito da formação e transferência de conhecimento em construção com terra no Brasil, sabe-se que os profissionais que atuam hoje, em geral, aprenderam praticando. Centros educativos e universidades raramente contemplam a arquitetura e construção contemporânea de terra como uma disciplina regular. Existem cursos de especialização, formais e regulares nas escolas de nível técnico e nas universidades na área de conservação do patrimônio, mas, quanto à arquitetura contemporânea, as atividades de formação e capacitação são irregulares, pontuais e informais (NEVES E FARIA, 2011).

Como mencionado, esta formação tem sido promovida por institutos de Permacultura, mas também por entidades dedicadas à Arquitetura e Construção com terra. Destacam-se aqui aquelas cujas publicações foram acessadas neste trabalho:

- Rede Iberoamericana PROTERRA - rede de intercâmbio para o desenvolvimento e a transferência da tecnologia em arquitetura e construção com terra através de quatro linhas de ação: pesquisa, educação formal, oficinas e difusão;
- Rede Terra Brasil – rede que congrega profissionais, entidades de classe e a sociedade interessada no debate sobre arquitetura e construção com terra no Brasil, através da disseminação de conhecimentos e transferência de tecnologia, para o desenvolvimento científico e tecnológico no país;
- ABMTENC – Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais é uma instituição que tem contribuído muito para a divulgação da construção com terra e outros materiais naturais e não convencionais, valorizando o estudo aprofundado dos materiais, assim como as aplicações construtivas. Esta instituição colabora com a organização do congresso *NOCMAT*, que reúne em suas publicações trabalhos de mais de 27 países e inúmeras universidades.

Entre os institutos de Permacultura, os mais atuantes são o Tibá e o IPEC – Instituto de Permacultura e Ecovilas do Cerrado. Em institutos como estes são oferecidos cursos informais de construção com terra que já foram assistidos por milhares de pessoas (SOARES, 2015). Já o fundador do Tibá, Johan Van Lengen é autor do livro *Manual do Arquiteto Descalço*, muito referenciado em trabalhos sobre Bioconstrução, que tem o intuito de promover de maneira acessível aos leigos e autoconstrutores um maior entendimento sobre princípios de projeto e construção sustentáveis (LENGEN, 2004).

## 2.4 TÉCNICA, MÉTODO, PROCESSO E SISTEMA CONSTRUTIVOS

Por se tratar de um estudo sobre alternativas construtivas, considerou-se importante consultar as definições de técnica, método, processo e sistema construtivos. Sabbatini, 1989, define-as segundo a Tabela 6.

Tabela 6 - Definições de técnica, método, processo e sistema construtivo.

TERMOS	CONCEITUAÇÃO	EXEMPLOS
TÉCNICA CONSTRUTIVA	É um conjunto de operações empregadas por um particular para produzir parte de uma construção	Elevar uma parede de alvenaria; montar uma forma de madeira para moldar uma viga de concreto; pintar uma parede etc.
MÉTODO CONSTRUTIVO	É o conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de uma parte de uma edificação.	Método construtivo para se fazer uma estrutura reticulada de concreto armado etc.
PROCESSO CONSTRUTIVO	É um organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizados na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro).	Processo construtivo de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos; de paredes maciças de concreto etc.
SISTEMA CONSTRUTIVO	É um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.	—

Fonte: Sabbatini (1989).

Considerou-se que o termo *técnica construtiva* seria o mais adequado, uma vez que este trabalho se aterá à maneira de se elevar paredes, portantes ou não. Esta opção é corroborada pelo fato de que muitos autores usam a expressão *técnica construtiva* para abordar a construção com terra:

- "As técnicas de construção de terra fazem uso de terra não cozida como um material para a construção de paredes" (JIMENEZ DELGADO e CAÑAS GUERRERO, 2007);

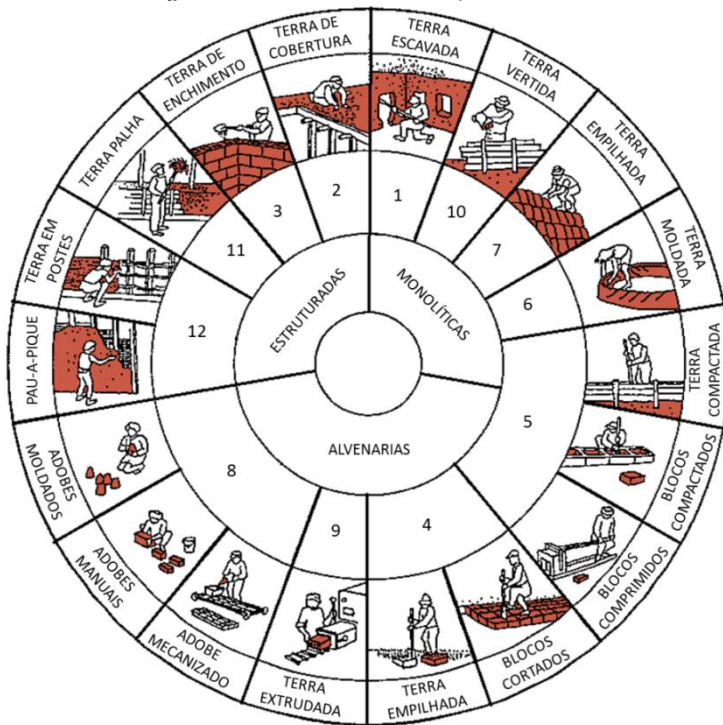
- “A técnica construtiva mais utilizada no sul (de Portugal) é a taipa” (VARUM, MARTINS E VELOSA, 2005);
- “A taipa e o adobe são as principais técnicas utilizadas” (LOURENÇO, 2002).

O termo é o mais utilizado mesmo em outras línguas, como o francês, o espanhol e o inglês. Assim, manter-se-á a relação.

2.4.1 Técnicas de construção com terra

As técnicas de construção com terra surgiram em quase todas as civilizações, cada uma com suas particularidades e nomenclaturas (NEVES E FARIA, 2011). Assim, existem diversas técnicas construtivas de Arquitetura e Construção com Terra (ACT). Houben e Guillaud (1989) diferenciam-nas de acordo com a forma que a terra é trabalhada (Figura 27).

Figura 27 - Técnicas de construção com terra.



Legenda:

1	CAVAR	4	CORTAR	7	EMPILHAR	10	VERTER
2	COBRIR	5	COMPRIMIR	8	MOLDAR	11	ENFORMAR
3	PREENCHER	6	ESCULPIR	9	EXTRUDAR	12	GUARNECER

Fonte: Adaptado de Houben e Guillaud (1989) (Tradução livre).

As técnicas praticadas hoje usam a sabedoria tradicional, mas também equipamentos elétricos e materiais sintéticos. A escolha por qual



técnica usar depende diretamente do tipo de solo disponível (NEVES *ET AL.*, 2009) e da cultura construtiva de cada região (NEVES E FARIA, 2011).

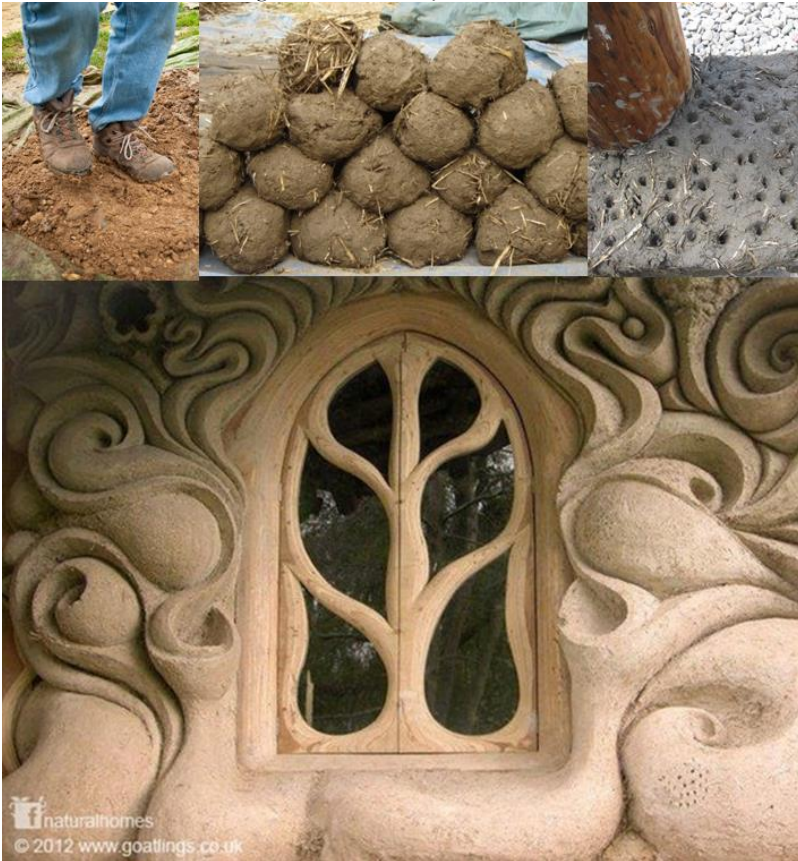
Houben e Guillaud (1989) destacam que três dessas técnicas são as mais divulgadas e pesquisadas: adobe, terra compactada/comprimida e blocos comprimidos. Em seguida, em grau de utilização, estariam a terra-palha, pau-a-pique (técnica mista), terra-moldada e terra-empilhada (cobe). No Brasil, são muito usadas as técnicas de adobe e pau-a-pique (técnicas mistas), com destaque também para terra compactada (taipa de pilão) e mais atualmente, os blocos de terra comprimida (NEVES E FARIA, 2011).

Em sendo técnicas antigas e muito utilizadas, já existem estudos, literatura e normas a cerca de estratégias para o melhor desempenho destas técnicas que puderam ser aproveitados para este trabalho. Assim, na próxima sessão será feita uma descrição sucinta de algumas destas técnicas, em suas utilizações tradicionais e modernizações, a fim de apresentá-las e permitir um comparativo de vantagens e desvantagens em relação à técnica de construção com terra ensacada, descrita em detalhe no próximo capítulo.

#### **2.4.1.1 Cob e Cordwood**

*Cob* ou *cobe* é um nome genérico para as técnicas de construção onde as paredes são levantadas sem formas ou moldes. Edifícios feitos em *cobe* ainda sobrevivem e continuam a ser ocupados em muitos países europeus, incluindo França, Itália, Alemanha, Bélgica, República Checa e Inglaterra, onde seu uso é centenário (WATSON E MCCABE, 2011). Nesta técnica o conteúdo e a consistência da 'massa' de terra desempenham um papel importante. Considerando que as características de cada solo variam de local para local, a fim de construir, é preciso verificar as proporções de argila do solo e areia antes de começar. O solo pode ter proporção volumétrica de até oitenta e cinco por cento (85%) de areia e quinze por cento (15%) de argila (SANTOS, LIBRELOTTO E JACINTHO, 2013a) (Figura 28).

Figura 28 - Construção com cobe.



Fontes: Edwards e Eve (2015); Bobby (2012); Kristen (2011); Jensen *et al.* (2012).

A mistura para *cob* é feita com solo peneirado (16 partes), água (3 partes), os resíduos agrícolas ricos em sílica, tais como palhas e cascas de arroz (para secar), e outros aditivos, como a seiva de cactos e estrume (para dar liga), quando disponível. Esta mistura (até agora chamado 'mistura de terra' ou 'barro') deve ser feita em cima de uma lona resistente. Uma maneira eficaz é misturar os elementos com os pés. Fãs da técnica chamam esse procedimento de "a dança do cobe". A mistura está pronta quando, puxando num lado da lona, a mistura dobrada mantém duas camadas distintas. As paredes são feitas deixando-se cair punhados de massa terra ao longo da parede. Quando eles batem na parede, devem-se enfiar os dedos, fazendo buracos, para que a próxima camada possa preencher os

buracos e se aderir ao anterior (BEE, 1997). Essa técnica escultórica, que possibilita formas orgânicas (PROMPT, 2012).

Para ser maleável, a mistura deve estar úmida e se deve esperar a secagem de uma fiada antes de aplicar a próxima.

*Cordwood*<sup>21</sup>, ou parede de lenha, é feita colocando-se toras curtas de madeira empilhadas e usando como argamassa uma massa de terra similar à usada no cobe (SANTOS, LIBRELOTTO E JACINTHO, 2013a) (Figura 29).

Figura 29 - Casa de *cordwood* em construção.



Fonte: Abel (2012).

#### **2.4.1.2 Adobe e BTC**

Adobe é uma das formas mais antigas de construção com terra. Construções com adobe ainda estão em uso em todos os continentes habitados.

---

<sup>21</sup> Também chamado *cordwood masonry* (alvenaria de lenha) *stackwall construction* (construção de parede empilhada) ou *stackwood construction* (construção de madeira empilhada) (DEVON, 2015).

O adobe é o nome dado ao bloco de terra (tijolo) seco ao sol, feitos em fôrmas de madeira ou metal, a partir de uma terra maleável, frequentemente adicionada de palha para ficar mais resistente (FERREIRA, 1986). Originalmente estes tijolos eram feitos à mão, atualmente, podem ser feitos com o auxílio de maquinário (HOUBEN E GUILLAUD, 1989).

A terra empregada deverá conter, no mínimo, 10% de argila, mas o ideal são 20%. Em caso de subsolo rico em areia, deve ser utilizada uma porção de calcário (cal). Depois de preparado, o adobe é deixado ao sol para secar, o que em geral leva de 15 a 20 dias, dependendo da região e do clima. O trabalho de construção com o adobe é semelhante ao realizado com o tijolo convencional, porém, em vez de se assentar com argamassa industrial, utiliza-se argamassa de terra (BRASIL, 2005a) (Figura 30).

Figura 30 - Produção de adobe e casa de adobe.



Fontes: Ipec (2013a); Iturra (2011).

"É um método de construção natural muito econômico, resistente e de grande durabilidade, desde que um bom teto proteja as paredes da umidade e da chuva" (BRASIL, 2005a). Como desvantagem, aponta-se o longo tempo que leva para ser confeccionado (BRASIL, 2005a).

Existem diversas normas de construção internacionais que abordam o adobe. No Brasil, um projeto de norma já foi encaminhado à ABNT e está em processo de aprovação (BARBOSA E NEVES, 2014).

Já os blocos de terra comprimidos (BCT), ou blocos prensados são um tipo relativamente recente de construção com terra. Trata-se de uma mistura ideal de argila, areia e água colocada em um prensa manual ou automatizada, com desmolde imediato (HUNTER E KIFFMEYER, 2004) (NEVES E FARIA, 2011). Os blocos podem ser feitos em vários formatos, de acordo com o uso pretendido:

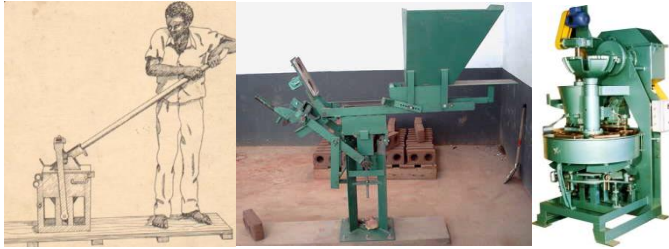
Figura 31 - Modelos de blocos de terra comprimida.



Fonte: (NEVES E FARIA, 2011); (GEIGER, 2015b).

Este método passou a ser utilizado na década de 1950, após a criação uma prensa manual para fabricação de tijolos CINVA-RAM desenvolvida pelo pesquisador Colombiano, G. Ramires (BARBOSA, MATTONE E MESBAH, 2002). Atualmente existem diversos tipos de prensas manuais e automatizadas (Figura 32).

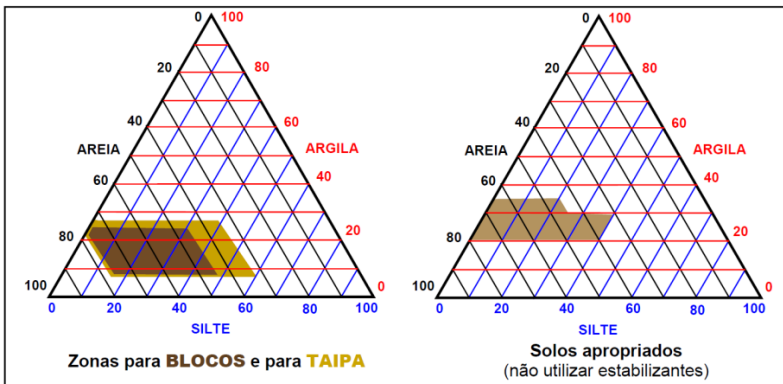
Figura 32 - Tipos de prensa para blocos de terra comprimida: CINVA-RAM, manual e automatizada.



Fonte: Barbosa, Mattone e Mesbah (2002); (NEVES E FARIA, 2011).

Os solos adequados para blocos são os indicados em marrom escuro no diagrama de Ferret do Gráfico 4:

Gráfico 4 - Diagramas das granulometrias adequadas para blocos.



Fonte: Hartkopf (1981) e Moran (1984) adaptados por (NEVES ET AL., 2009).

O bloco de terra comprimida também é conhecido pelo nome 'tijolo ecológico', uma vez que não precisa ser queimado. O formato e os encaixes contribuem para se manter o controle do prumo. Já os blocos estabilizados não necessitam revestimento, gerando economia (Figura 33).

Figura 33 - Casa feita com blocos de terra comprimida (BTC), o 'tijolo ecológico'.



Fonte: (Fotos de casas de tijolo ecológico, 2011).

Devido à praticidade, essa tecnologia tem sido muito usada para habitações de interesse social. Hunter e Kiffmeyer (2004) afirmam que muitas comunidades do terceiro mundo foram tiradas da pobreza e do desabrigo pela introdução desta técnica.

#### ***2.4.1.3 Pau-a-pique e PET-a-pique (técnicas mistas)***

O pau-a-pique é uma técnica construtiva de paredes de vedação que consiste em preencher com terra e palha um entramado de galhos, preso a uma estrutura de madeira. Os galhos e a madeira podem ser substituídos por bambu (Figura 34).

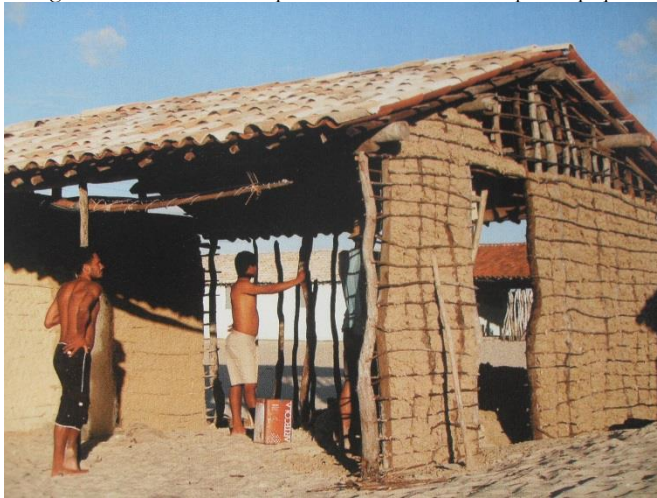
Figura 34 - Pau-a-pique (técnica mista) em construção.



Fonte: Lotufo e Pinheiro (2007). Fotos: Lígia Pinheiro.

Segundo o dicionário, *pau-a-pique* é a parede feita de ripas ou varas entrecruzadas e barro; taipa. *Taipa de mão* é a taipa de barro atirado com a mão (FERREIRA, 1986), ambas as terminologias descrevem a mesma técnica. Conhecido por inúmeros nomes, como taipa-de-mão, taipa-de-sopapo, estuque, *quincha* (espanhol), *torchis* (francês) e *wattle-and-daub* (inglês), esta técnica é usada no Brasil desde a colonização, sendo ainda usual, sobretudo no nordeste (Figura 35).

Figura 35 - Comunidade praiaira construindo em pau-a-pique.



Fonte: Lima Júnior (2007).

Por se tratar de uma técnica que combina a terra com estruturas vegetais (madeira e bambu), o pau-a-pique é chamado técnica mista pela Rede Ibero-americana:

A técnica mista consiste em uma estrutura portante, de madeira, unida por entramados reticulados de madeira ou varas e coberta com uma massa plástica de terra. Em geral, os efeitos da retração da massa de enchimento muito pronunciados exigem um revestimento posterior à secagem, para deter o efeito desagregador (NEVES E FARIA, 2011).

O pau-a-pique pode ser feito com entramado duplo, para aumentar a espessura da parede e o isolamento. Uma variação do pau-a-pique duplo é o chamado PET-a-pique (MARIGONI E TIMMERMANN, 2011). Nesta variação, o espaço entre os entramados é preenchido com a mistura de terra crua e garrafas de plástico PET (tereftalato de polietileno) limpas e



secas. Além da reciclagem, o uso dessas garrafas reduz o uso de terra mistura, cria paredes mais leves e proporciona isolamento térmico e acústico superior a uma parede de entramado único (DOS SANTOS, LIBRELOTTO E JACINTHO, 2014). Após um período de secagem variável, as paredes podem ser revestidas com reboco e tintas (Figura 36).

Figura 36 - PET-a-pique.



Fonte: Riciardi (2007); Marigoni e Timmermann (2011).

#### 2.4.1.4 *Terra compactada/comprimida entre fôrmas*

As técnicas de terra compactada/comprimida entre fôrmas são conhecidas pelos termos *taipa*, *tierra apisionada* ou *taipal* (espanhol), *pisé* (francês), *rammed earth* (inglês), *terra battuta* (italiano), dentre outros (WALKER ET AL., 2005) (PIGNAL, 2005) (CID, MAZARRON E GUERRERO, 2011) (NEVES E FARIA, 2011). No Brasil, o termo mais comum para descrever a terra compactada entre fôrmas é *taipa de pilão*, a taipa de cascalho e barro socados. Já *taipal* é cada uma das tábuas entre as quais se calca o barro, na construção das taipas (FERREIRA, 1986).

Figura 37 - Fabricação da taipa de pilão.



Fonte: Coutant (2013).

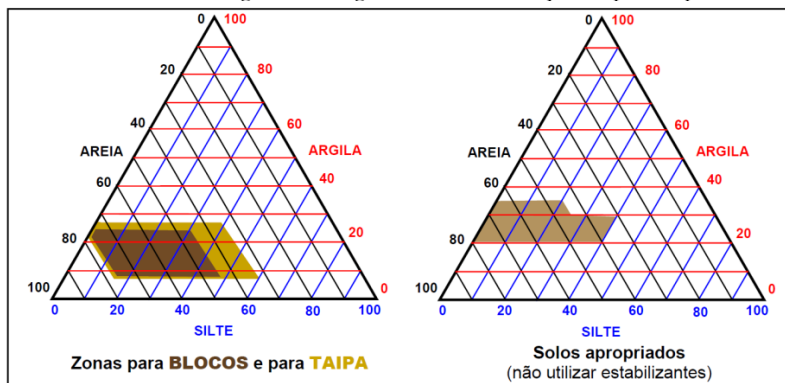
No processo construtivo, a terra é colocada em camadas entre as fôrmas e comprimida dinamicamente com o auxílio de pilões:

A taipa de pilão (*pisé*) é um processo pelo qual se podem construir casas com terra, sem o apoio de qualquer peça de madeira, e sem misturar palha ou cascas. Consiste em se compactar, camada por camada, entre pranchas de madeira, à espessura das paredes comuns, terra preparada para este efeito. Assim batida, a terra liga-se, toma consistência e forma uma mistura homogênea que pode ser elevada a todas as alturas usuais para habitações Cointeraux (1796) *in* (PIGNAL, 2005).

A taipa de pilão foi trazida para a Europa pelos romanos, tendo sido utilizada a pelo menos 2000 anos. O período de maior uso, no entanto, foi no início do século XIX, seguindo um renovado interesse promovido por François Cointeraux (WALKER *ET AL.*, 2005). Na França do século XVIII, François Cointeraux era um defensor do *pisé* (pronunciado "pizê"), uma técnica provincial em que se compacta a terra pura até que se tornem pedras artificiais. Econômico e robusto, o *pisé* poderia ser usado para uma variedade de construções rurais, de abrigos a silos (LEE, 2007).

O solo ideal para o preenchimento deve ter até 30% de argila (HOFFMANN, MINTO E HEISE, 2011), mas a técnica aceita uma gama específica de solos, como indicam Hartkopf (1981) e Moran (1984) (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Diagramas das granulometrias adequadas para taipa.



Fonte: Hartkopf (1981) e Moran (1984) adaptados por (NEVES ET AL., 2009).

Após o advento dos estabilizantes químicos e dos compactadores pneumáticos, a taipa tornou-se uma das técnicas de construção com terra mais utilizadas na arquitetura contemporânea. Além de permitir a confecção de paredes portantes, seu apelo estético tem sido um fator significativo para o renovado interesse nesta técnica (KAPFINGER, 2001).

A confecção das fôrmas é algo que requer atenção especial, pois estas devem ser resistentes para resistir até o fim da obra, o que gera custo e trabalho. Fôrmas especiais devem ser feitas para paredes curvas. Fôrmas em tamanhos-padrão já podem ser alugadas em países como Austrália, Estados Unidos, Canadá e Reino Unido. Heise (2004) afirma que o preparo da terra e as atividades de montagem e desmontagem da forma são as que consomem maior tempo.

No Canadá, a taipa de pilão foi adaptada para melhorar seu desempenho térmico e sísmico pela empresa SIREWALL, que desenvolveu o sistema de mesmo nome, SIRE (*Stabilized Insulated Rammed Earth*<sup>22</sup>), em que uma camada de espuma isolante e vergalhões de 4" são colocados dentro das fôrmas, que depois são preenchidas com terra estabilizada com 5-10% de cimento. A terra estabilizada é então

<sup>22</sup> Terra pilada estabilizada e isolada (tradução livre).

compactada com um compactador elétrico (KRAYENHOFF, 2007b) (Figura 38).

Figura 38 - Sistema SIREWALL de isolamento, reforço e compactação da taipa; projeto residencial realizado em terra compactada.



Fonte: Suzuki (2010); (KRAYENHOFF, 2007b)

A terra compactada estabilizada também é usada pela empresa brasileira Taipal, que tem investido no aprimoramento das fôrmas e das dinâmicas de trabalho e já realizou diversas edificações (Figura 39).

Figura 39 - Obras da empresa Taipal, Brasil.



Fonte: Heise (2015).

A taipa também pode ser feita com fôrma perdida, ou seja, usando-se a fôrma uma única vez e deixando-a como parte integrante da parede. Esta é uma técnica razoavelmente flexível, podendo ser feita com formas retas ou curvas.

## 2.5 ENCERRAMENTO DO CAPÍTULO

Como foi visto, a construção em terra é milenar e amplamente difundida em função da abundância do material. Inúmeras técnicas foram desenvolvidas para o aproveitamento das propriedades dos solos disponíveis, sendo que cada uma possui características que a tornam mais ou menos adequadas, de acordo com o contexto.

A construção com terra ensacada aparece como uma nova opção por reunir a simplicidade e a sustentabilidade das técnicas tradicionais com as tecnologias atuais de materiais e automação, aumentando o espectro de possibilidades de usos da construção com terra.

Nos próximos capítulos será tratada a construção em terra ensacada em suas variações, processo construtivo, requisitos de desempenho. Ao final do capítulo é traçado um comparativo entre as técnicas apresentadas, a fim de auxiliar na tomada de decisão de futuros construtores (Comparativo com outras técnicas de construção com terra: pág. 128).



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO - CONSTRUÇÃO COM TERRA ENSACADA

#### 3.1 APRESENTAÇÃO

O termo *terra ensacada* engloba todas as técnicas construtivas que usam sacos como fôrmas para conter a terra antes, durante e depois da compactação (Figura 40).

Figura 40 - Construção em terra ensacada em Gana.



Fonte: Yoneda (2010).

O processo construtivo é bastante simples e envolve preencher sacos de tamanho padronizado (individuais ou contínuos) com terra (estabilizada ou não) e compactá-los onde se deseja formar um elemento construtivo (Figura 41).

Figura 41 - Processo construtivo em terra ensacada (com sacos contínuos).



Fonte: Brandão (2009).

Os sacos podem ser de diversos tamanhos e materiais, Dependendo do tipo de saco e do projeto, é recomendado o uso de arame farpado entre as fiadas, para aumentar o atrito entre as fiadas e a resistência à tração (Figura 42).

Figura 42 – Dois tipos de sacarias preenchidas, compactadas e ligadas por arame farpado.



Fonte: Geiger (2011).



O solo ideal para o preenchimento deve ter até 30% de argila, mas a técnica aceita uma gama variada de granulometrias (HUNTER E KIFFMEYER, 2004). Os estabilizantes químicos são necessários para estabilizar a terra das fundações, cintas de amarração, domos, arcos e vergas. Nas paredes, a estabilização química só é fundamental se o solo tiver menos de 5% de argila (HOUBEN E GUILLAUD, 1989; WALKER *ET AL.*, 2005).

Com a terra ensacada se podem fazer fundações, muros de arrimo, paredes portantes ou de vedação, e coberturas em domo ou arco, ou mesmo toda a edificação com esta mesma técnica (Figura 43).

Figura 43 - Diversos elementos construtivos em terra ensacada.



Fonte: Earth Home Builder (2014).

A seguir se tratarão a origem e evolução da terra ensacada, seus usos, terminologias e variações. Especificações e recomendações detalhadas para a execução de cada um destes elementos, assim como interfaces e instalações serão abordados no capítulo Histórico

A popularização e a repercussão da CTE devem-se em grande parte ao arquiteto iraniano Nader Khalili, que, nos anos 1980, utilizou sacos longos em forma de tubo entremeados com arama farpado e o chamou *superadobe* (GONÇALVES e GOMES, 2012) (Figura 44).

Figura 44 - Abrigos emergenciais de Khalili em *superadobe*.



Fonte: Cal-Earth (2014).

Khalili tornou-se conhecido mundialmente por propor o uso da construção com terra como alternativa para a construção na Lua e em Marte em trabalho publicado no simpósio da NASA intitulado "Bases lunares e atividades espaciais do século 21"<sup>23</sup>, em 1984 (KHALILI, 1989). Ele foi consultor da NASA e das Nações Unidas (ONU), trabalhando entre outros projetos, para o atendimento humanitário na criação de alojamento em campos de refugiados (CAL-EARTH, 2014)(Figura 45).

Figura 45 - *Superadobe* usado em campo de refugiados das Nações Unidas.



Fonte: Cal-Earth (2014).

<sup>23</sup> Original: "Lunar Bases and Space Activities of the 21<sup>st</sup> Century".

As inovações que Khalili promoveu - como o uso dos sacos contínuos, facilitando a construção, e do arame farpado, aumentando a capacidade estrutural - foram muito significativas para a disseminação da técnica, assim como seu trabalho conduzido em seu instituto em comprovar o desempenho deste tipo de construção segundo os critérios do *Unified Building Code*<sup>24</sup>. Em testes de carga foi comprovado o desempenho estrutural satisfatório dessas estruturas, mesmo para áreas de risco sísmico (HUNTER E KIFFMEYER, 2004). Khalili patenteou o sistema, exigindo licença para uso comercial, mas permitindo o uso livre para os menos favorecidos (CAL-EARTH, 2014; KHALILI, 1999).

Além do extensivo trabalho e de sua capacidade de divulgação e de alcance, Khalili destacou-se por alinhar competência técnica, inovação, formas orgânicas e um forte senso espiritual. Em uma publicação científica sobre opções para a construção na Lua, recomenda:

Temos de aprender com o conhecimento humano acumulado da arquitetura em terra, que abrigou os seres humanos nas condições mais adversas. Cada pessoa que for à Lua, independentemente de seu trabalho, deve estar ciente de tais princípios e técnicas fundamentais para participar na criação de uma arquitetura indígena para formar suas comunidades, não só por causa do benefício econômico, mas também por causa da recompensa espiritual. Como diz um velho ditado persa, "Todo homem e mulher nasce um médico e um construtor - Para se curar e se abrigar" (KHALILI, 1989).

Esta postura aparece diversas vezes em suas declarações, assim como o cunho social e poético: "Arquitetura existe no ponto em que a poesia se cristaliza na estrutura" (KHALILI E KHALILI, 1990). Observa-se que esta postura fez com que o *superadobe* se tornasse um símbolo de uma ideologia de sustentabilidade, de uma filosofia de vida. Atualmente o *superadobe* é um dos carros-chefes dos cursos de Bioconstrução promovidos por institutos de Permacultura, contribuindo para a divulgação das técnicas de construção com terra não só como mais sustentáveis, mas como modernas e inteligentes, explicando sua ampla disseminação.

Mas muito antes de Khalili, a terra ensacada já tinha sido usada com propósitos arquitetônicos. A técnica construtiva terra ensacada na verdade evoluiu das técnicas de construção de barragens, trincheiras e diques militares temporários, sendo usado para abrigos de construção rápida e

---

<sup>24</sup> Código Unificado de Construção (tradução livre) – uma das normas de desempenho construtivo norte-americanas.

como alternativa arquitetônica (GONÇALVES E GOMES, 2012) (PROMPT, 2012) (Figura 46).

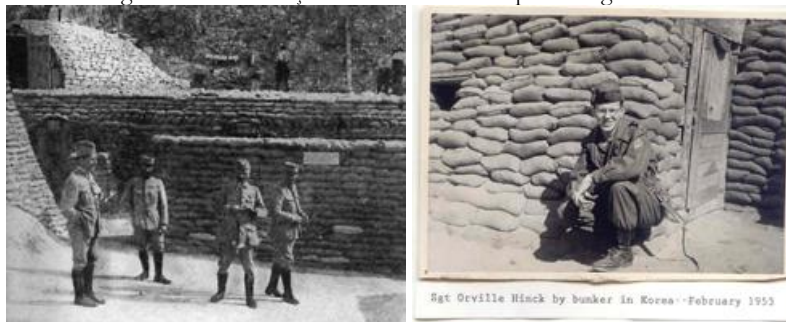
Figura 46 - Terra ensacada para controle de erosão.



Fonte: Houston (2013), Foto: Ken Irwin.

Os registros mais antigos do uso da CTE para abrigo humano a que se teve acesso datam do início do século XX. Tratam de seu uso como abrigos militares, como nos exemplos da Figura 47, respectivamente de 1916, na França, e 1955, na Coreia (Ионина (2002) *in* Сражение на Сомме (2015); (GEIGER, 2015d):

Figura 47 - Construção em terra ensacada para abrigo militar.



Fonte: Сражение на Сомме (2015); Geiger (2015d).

Segundo texto do jornal que continha a foto de 1955: "O *bunker* em que o sargento Orville Hinck e seus camaradas viviam era feito de antigos

dormentes de ferrovias e de sacos de areia, que podiam dar alguma segurança em caso de explosões de granadas da artilharia inimiga" (GEIGER, 2015d).

Nos Estados Unidos, encontraram-se relatos de seu uso na década de 1960:

Embora grande parte do trabalho superadobe seja creditada a Nader Khalili, outro sistema, o *Dicker Stack Sack*, apareceu no início da década de 1960. É utilizado cimento como aglutinante. Há um edifício sem telhado na área de Espanola, Novo México, EUA, que ainda está de pé (WILSON, 2013).

Esta técnica apareceu sob o nome de *Stack-sack*<sup>25</sup>. A Figura 48 ilustra a construção usando a técnica, lê-se:

Um sistema construtivo completamente novo não é visto com muita frequência, mas *Stack-sack* é exatamente isso. Sacos de estopa são preenchidos com uma mistura de concreto e empilhados. Vergalhões são colocados através do saco e a parede é encharcada com água para deixá-la rígida. Reboco ou estuque são usados para o acabamento (MCLINTOCK, 1976)(tradução livre).

---

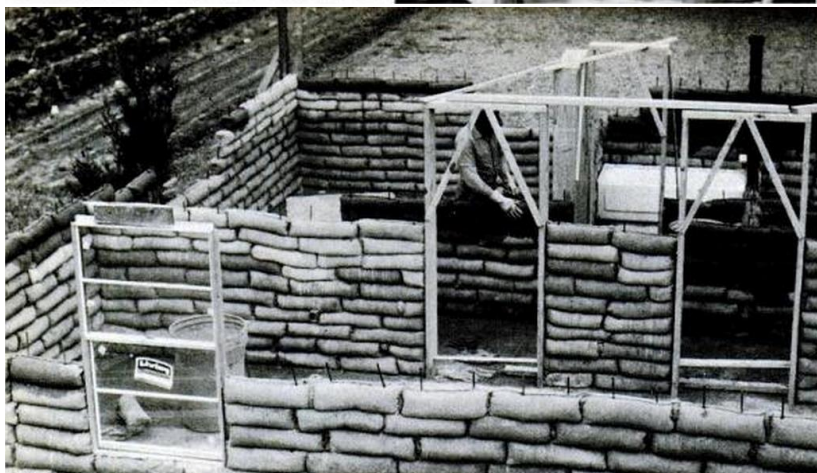
<sup>25</sup> Sacos empilhados (tradução livre).

Figura 48 - Método de CTE Dicker Stack Sack.

**Stack-Sack**

An entirely new building system doesn't come along too often, but **Stack-Sack** is just that. Burlap bags are filled with concrete mix and stacked,

Reinforcing rods are driven through sacks; wall is soaked with water to make it rigid; stucco or plaster used for finishing. □ Dicker **Stack-Sack**, 2600 Fairmont St., Dallas, Tex. 75201.



Fonte: McClintock (1976).

Tratava-se de um sistema bastante sofisticado de construção com solo-cimento ensacado mecanicamente a seco. Os sacos eram fechados com alfinetes, empilhados escalonados, presos longitudinalmente com vergalhões e depois molhados para ativar a reação do cimento. Reboco ou estuque são usados para o acabamento.

Antes de assentar os sacos, são assentadas sapatas de concreto para as paredes portantes; instalados painéis de portas e janelas do chão ao teto;

instalados encanamento para hidráulica e elétrica e só então se preenchem os espaços vazios das paredes com sacos de estopa de concreto empilhados. Segundo McClintock (1976), seis trabalhadores sem treinamento podem construir uma casa de dois quartos em 14 dias. Edward Dicker patenteou este método em 1975 (Figura 49). Atualmente, a *Dicker Stack-Sack International* está licenciando este método em todo mundo para uso de construtores locais.

Figura 49 - Instruções patenteadas do método Dicker Stack Sack.

U.S. Patent Dec. 2, 1975 Sheet 1 of 4 3,922,832

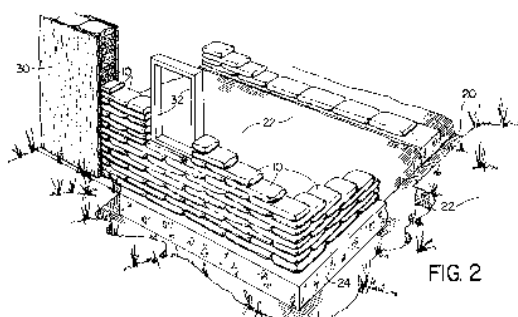


FIG. 2

FIG. 12

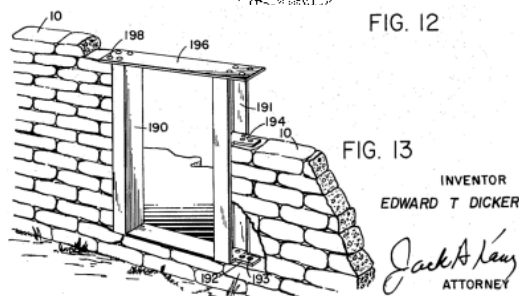


FIG. 13

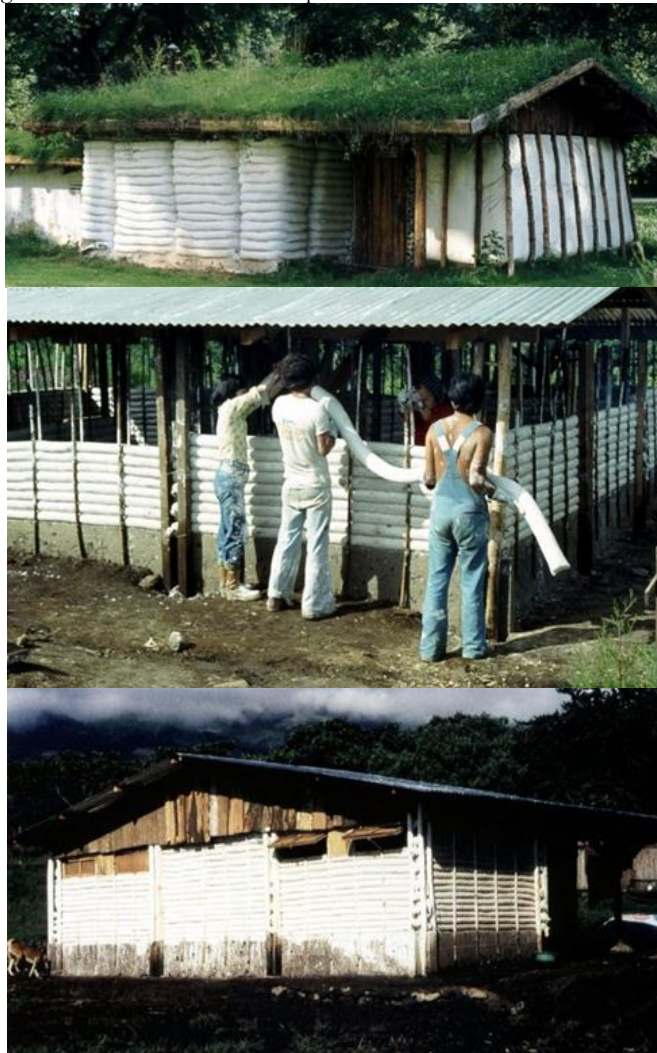
INVENTOR  
EDWARD T. DICKER

*Jack A. Key*  
ATTORNEY

Fonte: Dicker (1975).

Quanto aos primeiros estudos acadêmicos, Gernot Minke realizou edificações demonstrativas na Universidade de Kassel no final da década de 1970. Com a proposta de serem edificações antissísmicas, os protótipos foram feitos com sacos de areia como vedação e estrutura de madeira, em 1978 (Figura 50).

Figura 50 - Terra ensacada em experimentos da Universidade de Kassel.



Fonte: Minke (2009); Minke (2015).

Kaki Hunter e Donald Kiffmeyer aprenderam com Khalili, mas trabalharam mais com sacos individuais de PP-T por serem mais baratos se obtidos com a impressão errada. Eles testaram e desenvolveram métodos e ferramentas que proporcionaram uma maior precisão e eficiência no uso de sacos individuais (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).



Owen Geiger é um construtor bastante ativo e grande promotor da CTE. Em sua página na internet, juntamente com seu parceiro Kelly Hart, divulga a terra ensacada, seus usos e estudos de desempenho, promove debates e oferece avaliações sobre novas tecnologias. Seu livro é um dos poucos dedicados exclusivamente à terra ensacada, junto com o de Hunter e Kiffmeyer e de Paulina Wojciechowska, referências para este trabalho. (GEIGER, 2011; HUNTER E KIFFMEYER, 2004; WOJCIECHOWSKA, 2001). Em outro endereço eletrônico, ele oferece plantas e projetos direcionados para a CTE de abrigos, habitações e mesmo prédios, castelos e fortificações (GEIGER, 2015a).

### 3.2 CONSTRUÇÃO EM TERRA ENSACADA NO BRASIL

No Brasil, há relatos de uso de solo estabilizado ensacado desde a década de 1980:

Tive conhecimento da técnica de construção denominada solo-cimento ensacado nos idos de 1980s, largamente usada em Juiz de Fora, MG, pela Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal. Nesta época, foram construídas diversas proteções de taludes e cabeceiras de pontes com sucesso. A ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - atuou como principal divulgadora da técnica na época, inclusive com a publicação de um informe técnico (NEVES, 2014).

Atualmente existem edificações em terra ensacada em diversos países e dezenas no Brasil. Segundo Vital (2014), o *superadobe* foi introduzido no Brasil em 2008 pelo IPEC, mas Santos (2010) possui registro de edificações de 2006 a 2009 (Figura 51).

Figura 51 - Registros do uso do *superadobe* no Brasil.



Fotos: Autoral, 2009, e cortesia de Walter Leonardo Vasconcelos, 2009.

Uma publicação do Exército Brasileiro de 2005 já o mencionava:

Superadobe - É um novo método de construção rápido, econômico e que pode ser realizado em qualquer local. Consiste na utilização de sacos do tipo sacaria, nos quais irá se empregar o material natural do local, seja terra, seja areia, sem distinção da composição (rico ou pobre em argila). Depois de estar cheio, o superadobe (saco) é pilado, feita por feira. A cada três feiras, intercala-se arame farpado. É uma construção rápida, que oferece grandes vantagens em relação aos outros recursos naturais, principalmente pela rapidez de feitura e por não exigir qualidade do material empregado no enchimento do saco. Outra vantagem é que na base pode ser usada uma mistura de areia e cimento, na proporção de nove por um, o que poderá evitar a umidade natural proveniente do solo. (BRASIL, 2005b).

A terra ensacada foi usada na construção de edificações de órgãos públicos, como a sede do Parque de Uso Múltiplo da Asa Sul (Figura 52 à esquerda) e na Estação de Permacultura do Jardim Botânico de Brasília (Figura 52 à direita), através do trabalho de Cláudio Jacintho e do IPOEMA:

Figura 52 - Edificações públicas em terra ensacada em Brasília-DF.



Fonte: Parque da Asa Sul (2009). Foto: César Moura; Jardim Botânico (2013).

No estado de Santa Catarina, que sedia esta pesquisa, as construções com terra já receberam financiamento através de uma cooperativa de crédito, A CRESOL. Graças ao financiamento, oito famílias construíram com terra ensacada, com acompanhamento da arquiteta Cecília Prompt (PROMPT, 2012)(Figura 53).

Figura 53 - Terra encxada em habitações rurais no interior de Santa Catarina.



Fonte: Prompt (2012).

Em Brasília também, tem-se o trabalho do arquiteto Sérgio Pamplona. Um de seus projetos é o centro para eventos da Figura 54, notável pela sua altura e pela inserção do madeiramento do telhado na parede em terra encxada:

Figura 54 - Pavilhão em terra encxada projetado por Sérgio Pamplona.



Foto: Cortesia de Arthur Nanni, 2015.

Em 2009, o arquiteto Marcelo Rosebaum usou terra encxada para construir algumas paredes do restaurante de alta gastronomia Dalva e Dito, no bairro Jardins, em São Paulo, capital. Na entrada, um recorte na parede expõe a técnica construtiva, com queima da sacaria (Figura 55).

Figura 55 - Restaurante de alta gastronomia construído com terra encuada em SP.



Fonte: (ATALA E POLETTI, 2015); (ALMEIDA, 2009).

### 3.3 VARIAÇÕES E MELHORIAS

A construção com terra encuada vem recebendo alterações e melhorias, algumas desenvolvidas no Brasil.

#### 3.3.1 Opções de sacaria.

Em 2006 o engenheiro brasileiro Fernando Soneghet Pacheco, em parceria com a empresa Citropack©, alterou o tipo de sacaria, substituindo os sacos contínuos de polipropileno tecido (PP-T) por sacos contínuos de tela de polietileno de alta densidade em malha Raschel (PEAD-MR) (Figura 56).

Figura 56 - Tecido plástico (PP-T) e tela plástica (PEAD-MR).



Fonte: PP woven bag (2015); Biopack (Hiperadobe) (2015).

O polietileno e o polipropileno são obtidos pela polimerização na presença de catalisadores, sob determinadas condições de temperatura e pressão, dos gases eteno (etileno  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ) e propeno (propileno  $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CH}_3$ ), respectivamente. Ambos são hidrocarbonetos olefinicos, obtidos através do *cracking* da nafta do petróleo e possuem apenas hidrogênio e carbono na sua molécula. O etileno pode, no entanto, ser obtido da desidratação catalítica do álcool etílico (FGS Brasil, 2015).

O PEAD é menos rígido, menos resistente a altas temperaturas e um pouco mais denso do que o PP (0,941 a 0,965  $\text{g}/\text{cm}^3$  (PEAD) contra 0,90 a 0,92  $\text{g}/\text{cm}^3$  (PP)). No entanto os tubos de PP tecido têm densidade maior do que os de tela de PEAD em malha Raschel.

Assim, essa mudança permitiu a redução do uso de plástico, bem como a dispensa do arame farpado e uma melhor fixação do reboco (GEIGER, 2011). Também resolveu o problema de a técnica não ser considerada construção com terra por comunidades que consideram CT somente aquelas que usam argila como ligante, já que a argila se comunica através das fiadas. Pacheco batizou esta técnica de *hiperadobe*, fazendo menção ao *superadobe* de Khalili (Figura 57).

Figura 57 - *Hiperadobe* em construção.

Fonte: Earthbag Building (2015); Pacheco (2012).

Outra variação desenvolvida por Pacheco foi o *brickeradobe*, uma técnica onde a terra misturada com fibras de sisal é colocada com auxílio de copos medidores em sacos individuais de tela de PEAD em malha Raschel e compactada em fômas. O resultado se assemelha ao BTC, mas a compactação é dinâmica e os blocos são largos, formando paredes portantes e a tela facilita a aderência do reboco (Figura 58).

Figura 58 - "Brickeradobe" ferramentas e parede em construção.



Fonte: Ecoflutuante (2013).

O formato impresso pela fôrma de compactação dispensa a compactação lateral posterior e é de grande utilidade no controle do prumo e da uniformidade das fiadas. Segundo Pacheco, F. (2013), "este é seu grande benefício, além do que o trabalho pesado - que é o de apiloar a terra - é feito sempre no chão, muito mais confortável do que em cima da parede como no hiperadobe".

Figura 59 - Construção em "brickeradobe".



Fonte: (PACHECO, F. S., 2013).

O reboco se adere facilmente à tela, como no *hiperadobe*, mas a quebra de continuidade da tela faz com que ela não mais sirva como elemento de resistência à tração, característica útil em áreas sísmicas.

Pacheco divulga estas técnicas em cursos e vídeos (PACHECO, 2012). As únicas referências encontradas que mencionam essa inovação foram o livro de Geiger (GEIGER, 2011) e a dissertação de Prompt (PROMPT, 2012). Não foram encontrados registros de patologias ou trabalhos sobre seu desempenho.

Outro formato interessante de uso da sacaria considerado interessante foi o da Figura 60, onde sacos unitários de PP-T são costurados longitudinalmente duas vezes e a terra é colocada preenchendo as duas cavidades de fora e depois entre os vãos:



Fonte: Geiger (2013); Anderton (2007).

Esta forma de utilização foi desenvolvida e patenteada pelo Dr. Johnny Anderton da empresa *Eternally Solar/EarthBagBuild*. Owen Geiger considera-a como "um grande passo à frente" porque:

- os sacos são fáceis de carregar e podem ser preparados com antecedência;
- resulta em fiadas de tamanho constante;
- aumenta o intertravamento horizontal;
- dispensa o uso de arame farpado e
- os vãos podem ser preenchidos com argamassa de cimento e vergalhões para formar vergas e cintas de amarração (GEIGER, 2013).

Como ilustrado na Figura 61:



Figura 61 – Sacaria pré-preenchida; cinta de amarração enformada pela sacaria costurada; processo construtivo.



Fonte: Anderton (2007).

Não foram encontradas especificações de utilização para este formato que não as idênticas aos sacos unitários, salvo a necessidade de se preencher o vão com terra solta antes da compactação.

### 3.3.2 Ferramentas e automação

Desde o seu início, diversas inovações vêm tornando a CTE mais viável no atendimento às necessidades do contexto, da autoconstrução à automação. Para facilitar o preenchimento manual, o escritório de arquitetura Biohabitate tem usado peneiras elétricas e desenvolveu um suporte para o cano-funil que facilita para o operador. Owen Geiger também desenvolveu um modelo (Figura 62).

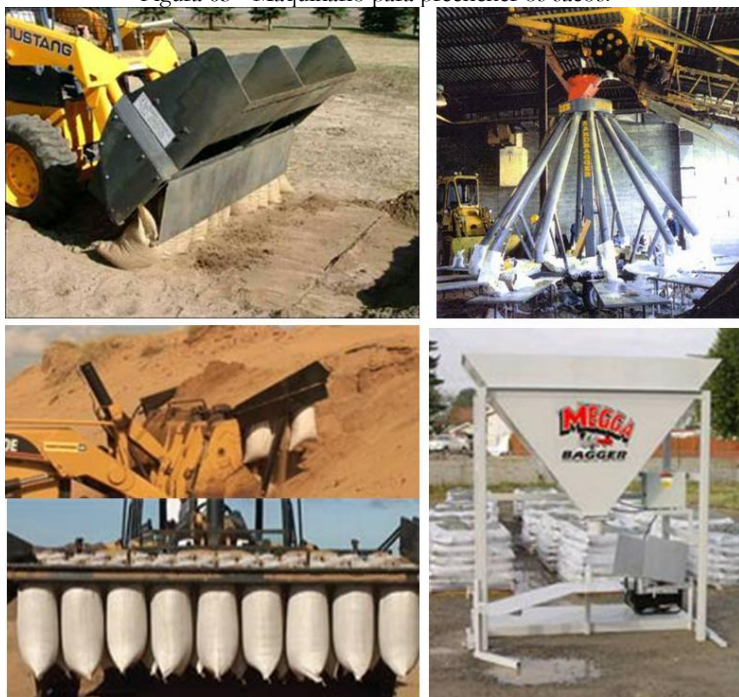
Figura 62 - Suporte para cano-funil da Biohabitate e de Owen Geiger.



Fonte: Duarte e Azevedo (2015); (GEIGER, 2011).

Para o preenchimento em larga escala, estratégias industriais para preenchimento de sacos de grãos e sacos de materiais de construção já foram propostas para serem usadas na CTE (GEIGER, 2015c)(Figura 63).

Figura 63 - Maquinário para preencher os sacos.



Fonte: Hortelano (2015).

A estratégia que parece mais eficiente até o momento é a da empresa *Progressive Inventions*, que desenvolveu uma pá de carregadeira especialmente para a construção em terra ensacada, chamada *Earth Home Builder*<sup>TM 26</sup> (Figura 64).

---

<sup>26</sup> Construtor de lares de terra, em tradução livre.

Figura 64 - Terra ensacada mecanizada.



Fonte: Earth Home Builder (2014).

Neste processo, uma carregadeira com a pá adaptada ergue a terra, que passa através de uma peneira e escorre por um cano acoplado à pá, onde a sacaria fora colocada. Dentro desse cano, uma carregadeira de rosca movida à bateria empurra a terra controladamente para dentro da sacaria.

A carregadeira é manobrada de forma a andar acompanhando o desenho da parede, de forma lenta, com frenagens súbitas para escoar a terra acumulada na pá. Um funcionário posiciona o saco, fazendo controle do prumo e depois compacta as fiadas prontas, com auxílio de um compactador pneumático. Todo o processo pode ser feito com dois a quatro funcionários, como ilustrado.

Segundo o site da empresa, a edificação ilustrada foi feita sem cimento adicionado ao material de preenchimento e sem arame farpado, sendo que o reforço foi feito com vergalhões de classe 5 e ½" atravessando a parede verticalmente.

A pá custa atualmente US\$ 12.500 (em 2015) e a taxa de construção chega a ser de 400 pés (122 m) por hora. (Progressive Innovations, 2015).

Estas inovações permitem um atendimento de um espectro mais de contextos, permitindo edificar com as vantagens da terra crua de forma mais rápida e em larga escala.

### 3.3.3 Discussão sobre a terminologia

As técnicas de construção com terra ensacada são relativamente tão recentes que não há um acordo sobre qual seria a nomenclatura científica correta em português para o conjunto de técnicas nem para cada variação.

Como termo genérico para descrever a técnica em todas as suas variações, Prompt (2012) cunhou o termo *taija ensacada*. Considera-se um termo bastante descritivo e apropriado para os contextos brasileiros e lusófonos, no entanto, neste trabalho optou-se por usar o termo *terra ensacada* como termo genérico, a fim de se manter uma correspondência com o termo em inglês *earthbag building*, uma vez que os países de língua inglesa são atualmente os maiores promotores e desenvolvedores destas técnicas.

Quanto às variações da técnica, os termos especificadores *superadobe*, *hiperadobe* e *brickeradobe* têm gerado divergência e desconforto em grupos e eventos de construção com terra. Por um lado, estes termos não descrevem seu produto com acurácia, uma vez que as técnicas não guardam relação ou superioridade com o adobe, que é feito de maneira completamente diferente, e por isso não são aceitos pela comunidade científica brasileira (PROMPT, 2012). Por outro lado, estes termos, cunhados pelos desenvolvedores das variações da técnica, remetem à construção com terra (adobe), são termos concisos, simples, pronunciáveis em diversas línguas e amplamente divulgados, já tendo um significado popular e mesmo referências em trabalhos científicos publicados.

Assim, neste trabalho, apesar de se priorizar o termo terra ensacada, considerado tecnicamente mais apropriado, considerar-se-á que as variações *superadobe*, *hiperadobe* e *brickeradobe* facilitam a visualização do tipo de sacaria utilizado, especialmente para os leigos. Esses termos serão utilizados eventualmente ao longo do trabalho destacados, aproveitando sua concisão, mas evidenciando sua origem não técnica:

Quadro 2 - Nomenclaturas não científicas das variações da técnica construtiva em terra ensacada.

Sacaria	Individuais	Contínuos
Polipropileno tecido	Terra ensacada 	"Superadobe" 
Malha Raschel	"Brickeradobe" 	"Hiperadobe" 

Fonte: Santos, Librelotto e Hoffmann (2014).

As diferenças nos processos construtivos poderão ser encontradas no capítulo REFERENCIAL TEÓRICO - PROCESSO CONSTRUTIVO EM TERRA ENSACADA, pg. 133.

### 3.4 DESEMPENHO DA CONSTRUÇÃO EM TERRA ENSACADA

Segundo Hunter e Kiffmeyer (2004), Khalili demonstrou a integridade estrutural de seus domos de terra ensacada não estabilizada (com apenas 5% de argila) sob ensaios de carga estática simulando ação de ventos, cargas de neve e forças sísmicas. Os testes excederam às exigências do Código Uniforme de Edificações (*Uniform Building Code*) em 200 por cento. Estes testes foram realizados sobre a supervisão de inspetores do ICBO (*International Conference of Building Officials*<sup>27</sup>) e monitoradas por engenheiros independentes da empresa *Inland Engineering Corporation*. Não foram observadas deflexões na superfície e os testes foram continuados até

<sup>27</sup> Congresso Internacional de Inspectores de Edificações, em tradução livre.

que os aparelhos começaram a dar sinais de falência. Os autores trazem também que o sistema de construção em terra ensacada já provou ser resistente a incêndios, inundações, furacões, cupins e a dois terremotos de intensidade maior do que 6 e 7 na escala Richter.

### 3.4.1 Desempenho ambiental

O desempenho ambiental de uma técnica de construção pode ser avaliado pelo consumo de matérias-primas, pela energia incorporada desses materiais, pela sua capacidade de ser renovados ou reciclados, pelas emissões geradas durante sua produção e transporte e pela eficiência energética das edificações resultantes.

Uma vez que seu processo de demolição gera resíduos recicláveis, os impactos ambientais exclusivos da construção com terra ensacada não mecanizada são relativos à obtenção e transporte dos materiais: terra, sacaria e arame farpado, quando usado.

Como mencionado na introdução, a extração de terra gera impactos semelhantes aos da mineração descritos por Braga (1996) *in Bacci, Landim e Eston (2006)*:

(...) erosão, assoreamento, contaminação das águas superficiais e subterrâneas, impactos sobre a flora e fauna, instabilidade de taludes e encostas, mobilização de terra, poluição do ar, sonora e visual, (...) vibração do terreno (...).

Esses impactos ocorrem em menor ou maior escala, de acordo com o volume extraído e a fragilidade do ambiente e devem ser mitigados pelo explorador. O que ocorre frequentemente em relação à obtenção da terra é que em obras de saneamento, estradas ou nivelamentos de terreno com recorte de encostas, o impacto das movimentações de terra já tem previsão de mitigação pelas condicionantes das licenças de operação das obras e a terra que sobra é um resíduo a ser descartado em local apropriado. Não raramente a terra é conseguida pelo preço do transporte do material. Nestes casos, o uso da terra em construções pode ser considerado um serviço ambiental ao invés de um impacto. Caso contrário, as atividades de pesquisa e extração mineral devem ser licenciadas (CONAMA, 1990).

A sacaria plástica e o arame farpado remetem a uma alta emissão de carbono e têm alta energia incorporada comparada com outros materiais (Tabela 7).

Tabela 7 – Comparação entre a energia incorporada de diversos materiais de construção.

Material	Energia incorporada (MJ/kg)	Emissão de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> / kg)
Concreto	0,99	2,546
Bloco cerâmico	3,0	14,885
Madeira serrada tratada	7,4	4,060
Gesso	1,8	0,218
Taipa de pilão	0,45	Dado não encontrado
Argila sem cozer	Dado não encontrado	0,69
Polipropileno tecido	99,2	Dado não encontrado
PEAD	103	3,447
Arame farpado de aço	1,5	0,526

Fonte: Adaptado de Alcorn (2003); Hammond e Jones (2006).

Estes valores são amenizados pelo fato de serem materiais de alta durabilidade e que são usados em pouca quantidade comparativamente. O valor da energia incorporada da taipa de pilão e a emissão de carbono da argila sem cozer permite uma estimativa quanto ao impacto da terra ensacada, que acusa ser baixo.

Segundo a ASTM (2010), o processo de manufatura (extração e transporte) de materiais de construção de terra é substancialmente mais eficiente energeticamente por unidade de volume do que a fabricação de alvenaria cerâmica, terracota ou telhas cerâmicas, ou do que o fabrico de sistemas à base de cimento, como alvenaria de concreto, concreto pré-moldado. Materiais em terra estabilizada que usam cimento Portland, cal, emulsão asfáltica ou gesso calcinado são menos eficientes em termos energéticos por unidade de volume do que os materiais não estabilizados.

Já os impactos da CTE mecanizada incluem também o consumo do equipamento em uso, seu transporte até o local e o tempo de utilização. Como esta ainda não é uma prática corrente no Brasil, esses aspectos são de difícil estimativa e não serão abordados.

Quanto à eficiência energética, os sistemas construídos em terra possuem grande capacidade de manter calor (grande massa térmica e calor específico), mas oferecem pouco isolamento. Em climas onde a temperatura interior desejada está entre as temperaturas exteriores diárias máximas e a mínimas, as paredes exteriores de terra podem atrasar a transferência de calor e ajudar a manter as temperaturas internas estáveis. Em climas onde ambas as máximas e mínimas diárias forem acima ou abaixo das temperaturas interiores desejadas por muitos dias, semanas ou meses paredes externas de terra podem reduzir o conforto térmico por

umentar a condução de calor. Nesses climas a construção com terra pode melhorar a eficiência energética somente se for instalado um sistema de isolamento (ASTM, 2010).

### 3.5 RESUMO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA ENSACADA

Segundo Hunter e Kiffmeyer (2004), as principais vantagens da CTE são: tecnologia já se provou adaptável às regiões sísmicas, não é preciso adicionar palha, não é necessário esperar a camada de baixo secar, permite parâmetros de umidade mais amplos, e menos especificidade no tipo de mistura de solo. Outras vantagens dessas técnicas são a possibilidade de construir fundações, paredes e telhados com uma mesma técnica; desnecessidade de mão de obra especializada; rapidez de aplicação; uso de materiais locais e baratos; o conforto térmico em zonas de temperaturas amenas e proteção sísmica (BRASIL, 2005b; ISOLDI, SATTLER E GUTIERREZ, 2006; TRIVEDI, 2002).

As desvantagens mencionadas por autoconstrutores são: utilização de grande volume de terra, perda de espaço no terreno devido à largura das paredes, grande esforço físico (SANTOS, 2010).

### 3.6 COMPARATIVO COM OUTRAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA

As vantagens da terra ensacada em comparação com as técnicas mais usadas de construção com terra foram debatidas por Hunter e Kiffmeyer (2004) e serão apresentadas nesta seção.

Quanto ao solo usado, os autores afirmam que a construção com terra ensacada não exige taxas específicas de argila e areia e a adição de alteradores como esterco e palha não é necessária. Daigle (2008) traz que, quando absolutamente necessário, pode ser usada areia pura para o preenchimento dos sacos, como para atendimento pós-desastre.

Isto representa uma vantagem em relação ao cobe e ao adobe, que precisam de palha e solos dentro de certa granulometria. Além disso, em comparação com a CTE, os tijolos de adobe não podem ser usados até que estejam completamente curados e cada camada do cobe precisa de tempo para assentar e secar antes da próxima aplicação, para que o peso das camadas superiores não deforme as camadas inferiores ainda úmidas. Isto



torna esses processos mais lentos do que a CTE, que pode ser construída em toda a altura da parede de uma vez e mesmo com chuva, o trabalho pode continuar sem afetar negativamente os resultados.

Comparando-se com a taipa de pilão, os sacos da CTE funcionam como formas e dispensam a fabricação, o transporte e a manipulação de fôrmas de madeira ou metal. Além disso, as formas para taipa são retilíneas, sendo que as paredes curvas necessitam de fôrmas feitas sob medida. A CTE permite fazer curvas com facilidade, oferecendo mais opções ao projetista. Outro óbice da taipa de pilão inexistentes na CTE são as interfaces entre os painéis e amarração dos cantos que precisam ser feitas antes da cura da porção anterior.

Quanto ao pau-a-pique, a CTE permite a execução de paredes portantes, mais resistentes, mais térmicas e à prova de balas.

A CTE por sua vez gera paredes espessas e necessita de grande volume e movimentação de terra, o que implica grande esforço físico ou mecanização dos processos. Essas características podem torná-la mais lenta e dispendiosa, de acordo com o contexto. Cabe ao responsável pela obra a decisão pela melhor opção.

### 3.7 ENCERRAMENTO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentadas as origens e vários usos da construção em terra ensacada. Também foram apresentadas as variações e melhorias encontradas em nível mundial.

No próximo capítulo será abordado o processo construtivo em suas várias etapas, segundo o recomendado por diversos autores. Dentro do possível essas recomendações foram enriquecidas com os resultados de trabalhos científicos que abordam o desempenho das estruturas em terra ensacada, com as diretrizes encontradas em normas internacionais de construção com terra crua.

Será priorizado o processo construtivo não mecanizado por esta ser a prática predominante no Brasil e por não haver ainda trabalhos que tratam da CTE mecanizada, mas muitos dos princípios apresentados aplicam-se a esta prática também.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO - PROCESSO CONSTRUTIVO EM TERRA ENSACADA

Conforme mencionado, com a técnica construtiva terra ensacada podem-se edificar fundações, paredes (estruturais, de vedação e de contenção), arcos e domos. Nesta seção serão apresentadas as recomendações encontradas para a edificação de elementos verticais em terra ensacada e suas possíveis interfaces com aberturas, cobertura, instalações e acabamentos.

Outras etapas e elementos do projeto e da construção, como preparação do terreno, aplicação de revestimentos, instalações elétrica, hidráulica e telefônica, dentre outros seguem os mesmos requisitos da construção convencional e não serão abordados, cabendo as decisões pertinentes ao profissional (arquiteto ou engenheiro) responsável pela construção<sup>28</sup>.

Neste capítulo serão considerados:

- a escolha dos materiais;
- a execução de cada elemento construtivo em terra ensacada (fundação, paredes e cobertura) e

---

### <sup>28</sup> Nota aos autoconstrutores:

Sabe-se que muitas das construções em terra ensacada sendo realizadas no país são construções autônomas, feitas por autoconstrutores. Apesar de se valorizar a autonomia e a iniciativa destas pessoas, é preciso sempre alertar para os riscos envolvidos em se construir estruturas sem o acompanhamento de um profissional da construção (arquiteto ou engenheiro).

Acredita-se que uma construção só é mais sustentável se tiver qualidade e durabilidade. Assim, mesmo que haja vontade de se construir com as próprias mãos, recomenda-se terminantemente que se contratem profissionais credenciados para executar ou revisar o projeto e acompanhar a execução da edificação, pois somente estes têm responsabilidade legal sobre a qualidade de uma construção. Durante a execução deste trabalho encontraram-se vários casos tristes de edificações em terra de baixa qualidade e estruturas que caíram, arriscando a segurança de seus usuários e desperdiçando recursos por falta de noções básicas e de experiência (que serão discutidas em Erros a serem evitados, pg. 143).

Gostar-se-ia de esclarecer, portanto, que as recomendações e critérios de desempenho abordados aqui têm o objetivo de servir de orientação a profissionais da construção (arquitetos e engenheiros) e instruir seus clientes sobre o que exigir em termos de qualidade construtiva, para o bem de todos.

- as soluções encontradas para as interfaces com outros elementos construtivos (aberturas, instalações, fundações e coberturas convencionais, *etc.*).

#### 4.1.1 Materiais para a construção de elementos em terra ensacada

Os materiais para a construção de elementos em terra ensacada são a sacaria, o arame farpado, quando usado, e o material de preenchimento, normalmente o solo.

##### 4.1.1.1 *Materiais de preenchimento*

O material de preenchimento mais indicado para a construção com terra, segundo Hunter e Kiffmeyer (2004) é o solo com até 30% de argila, similar ao usado na taipa de pilão (EASTON, 2007). Estes autores fazem uso de rejeito de mineração, um material sem matéria-orgânica, de fácil acesso para transporte, que pode ser caracterizado antes da compra e já tem os impactos regulados.

É sempre recomendável visitar a fonte do solo e levar alguns baldes para coletar o solo e testar antes de encomendar. A caracterização e estabilização seguem os mesmos procedimentos descritos em REFERENCIAL TEÓRICO - CONSTRUÇÃO COM TERRA, pg. 59 e detalhados em METODOLOGIA, pg. 173.

A terra a ser colocada nos sacos deve estar úmida. Como mencionado, cada solo possui uma umidade ótima de compactação, determinada pelo ensaio de compactação de Proctor, descrito na norma brasileira ABNT NBR 7182:1968 - Ensaio de Compactação (ABNT, 1986b).

No caso da construção com terra ensacada, Hunter e Kiffmeyer (2004) explicam que o teor de umidade pode ser maior do que os 10% considerados ideais para a taipa. Surpreendentemente, quando a terra é compactada com maior teor de umidade, há um alinhamento das partículas da argila, que promove uma maior interação iônica e conseqüentemente maior resistência após a secagem. Na taipa, não se pode aproveitar dessa característica dos solos argilosos, pois uma maior umidade faz com que a terra adira ao equipamento, comprometendo a compactação. Minke (2009) também descreve este fenômeno. Jaquin *et al.* (2009) concluíram de seus experimentos que a resistência da terra compactada é resultante de uma força de sucção.

No caso da impossibilidade de ensaio em laboratório, o teste da bola pode ser feito para determinar a umidade ideal, mas o que se espera é que a amostra não se parta, mas tenha fissuras (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

A particularidade da terra ensacada é que esta aceita granulometrias variadas. Mesmo areia pura, brita, pozolanas, entulho fragmentado e plásticos podem ser usados (WOJCIECHOWSKA, 2001), tomados os devidos cuidados, mas somente em último caso, já que o uso destes materiais leva a um desempenho é inferior.

Materiais de superfície áspera como a brita e o entulho fragmentado devem ser embalados com dois sacos de tecido plástico de polipropileno, um dentro do outro. Assim podem ser usados em áreas alagadiças, mas somente para as primeiras fiadas, já que quanto mais alta a pilha, mais pressão sobre os sacos (DAIGLE, 2008).

Quanto à adição de fibras, Hoffmann, Minto e Heise (2011) afirmam que não se devem acrescentar materiais elásticos ou que apresentem baixa densidade como fibras vegetais ou sintéticas na taipa de pilão. Pacheco, F. S. (2013), para o "brickeradobe", no entanto, utiliza fibra de sisal misturada à terra.

#### **4.1.1.2 Sacaria**

Podem ser usados sacos de diferentes tamanhos e materiais, dependendo da disponibilidade, da finalidade e do tipo de preenchimento a ser usado. Os materiais mais comuns são os plásticos e as fibras naturais. Os sacos plásticos são os mais utilizados, por sua resistência, durabilidade e padronização, mas muitas pessoas preferem materiais naturais por serem menos impactantes (HUNTER E KIFFMEYER, 2004). Segundo Hart (2015), os sacos de fibras naturais são mais resistentes à incidência solar que os plásticos, mas menos resistentes à umidade. Mas tudo depende do material de preenchimento:

Se os sacos forem preenchidos com um solo úmido (como o para adobe) ou com solo estabilizado, então não importa se os sacos vão se degradar, pois a estrutura permanece sólida. Se os sacos forem preenchidos com um material mais solto, então você deve usar sacos de polipropileno tecido, ao invés de estopa ou juta, porque eles não vão se degradar com o tempo. Você precisa ter cuidado para mantê-los protegidos da luz do sol, tanto quanto possível e recolocá-los para protegê-los dos raios UV (HART, 2015).

Assim, os sacos de materiais naturais são mais adequados para climas secos e edificações temporárias. Uma opção ao plástico são os sacos de fibra natural tratada, mas os produtos conservantes muitas vezes também são impactantes (hidrocarbonetos), não agradando aos que buscam opções naturais (HUNTER E KIFFMEYER, 2004; GEIGER, 2011).

Os chamados sacos plásticos são na verdade sacos de tecido plástico ou tela plástica (polipropileno ou PEAD, respectivamente), que permitem que o vapor de água atravesse as fiadas (Figura 65).

Figura 65- Tecido plástico e tela plástica.



Fonte: PP woven bag (2015); Biopack (Hiperadobe) (2015).

Ao se usar sacaria plástica, é preciso muito cuidado com a exposição solar. A resistência dos plásticos aos raios ultravioleta é baixa tanto para o PEAD quanto para o PP-T (Dynalab Corp, 2015; HUNTER E KIFFMEYER, 2004). Segundo Wilson (2013), "edifícios de superadobe sem telhado ou reboco tendem a se deteriorar drasticamente quando a luz solar destrói o material do saco". Existem tratamentos para aumentar a resistência U.V., mas é importante cobrir a construção sempre que não se estiver trabalhando.

A escolha do material é influenciada pelo tipo de material de preenchimento desejado. Brita e areia já foram usadas em sacos de PP-T, mas não há registros em PEAD-MR, nem pura nem com estabilizantes.

O PP-T é mais resistente a enchentes e aceita uma maior gama de materiais, mas obriga o uso do arame farpado entre as fiadas e de tela plástica para armar o reboco (HUNTER E KIFFMEYER, 2004; MINKE, 2013a). A matéria têxtil de polipropileno foi testada por Daigle (2008) segundo os procedimentos de ensaio da norma americana ASTM D 4595, considerada mais apropriada para os materiais para CTE do que a internacional ISO 13934, já que usa tiras de 200 mm, em oposição a 50 mm. Os resultados dos testes para a tração do material na direção da máquina e em direção cruzada foram similares. A média de resistência de

ruptura foi de 6,7 kN/m e o alongamento médio na ruptura foi de 29%. Mas o estudo de Daigle apontou grande perda de resistência entre amostras de um mês em comparação com as de uma semana, indicando que o material se degrada mesmo sem a incidência da luz. Assim, não se deve contar com as propriedades da sacaria de PP-T comum como elemento de resistência, e sim com a capacidade coesiva do material de preenchimento. Caso seja necessário, uma sacaria especial deve ser providenciada. Geiger (2011) afirma que algumas sacarias são capazes de conter o preenchimento de maneira permanente.

Quanto ao formato, como visto, os sacos podem ser individuais (unitários) ou contínuos (tubulares). Cada formato tem suas particularidades e ferramentas de utilização, como será demonstrado em REFERENCIAL TEÓRICO - PROCESSO CONSTRUTIVO EM TERRA ENSACADA, pg. 133.

Assim, a escolha pelo tamanho dos sacos depende da disponibilidade na região da sacaria almejada e das ferramentas necessárias, mais do que do tipo de solo.

Os sacos individuais têm a vantagem de poderem ser preenchidos no chão ou no topo das paredes, enquanto os sacos contínuos só podem ser preenchidos sobre a parede. Os sacos individuais de PP-T que possuem costura simples terminam em pontas que dificultam o reboco. Soluções possíveis são a inversão dos sacos ou se esconder a ponta, como recomendam Hunter e Kiffmeyer (2004) (Figura 66).

Figura 66 - Pontas dos sacos individuais.



Fontes: Hunter e Kiffmeyer (2004); Earthbag Building (2015) e Hunter e Kiffmeyer (2004).

#### **4.1.1.3 Arame farpado**

O arame farpado, apelidado "argamassa-velcro" (HUNTER E KIFFMEYER, 2004), serve para conectar as fiadas feitas com sacos de polipropileno tecido e aumentar a resistência à tração da construção. Por isso, devem ser feitos "colares" fechados e deve ser usado arame galvanizado, um material de qualidade que não vai enferrujar dentro das

paredes (GEIGER, 2011). O arame é perigoso de ser manipulado, por isso é recomendável o uso de luvas, óculos de proteção e ferramentas afiadas. Para desenrolá-lo é comum se fazer um estande. Para mantê-lo no lugar são usados pesos ou tijolos amarrados com linhas de nylon que também oferecem reforço à parede. (Figura 67).

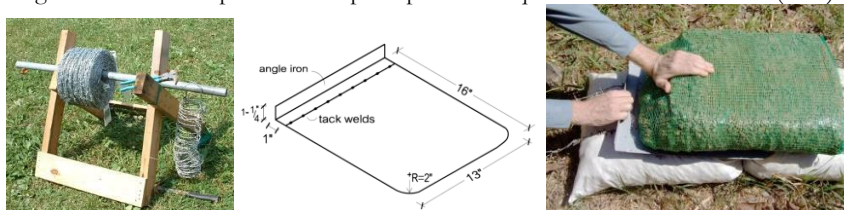
Figura 67 – Arame farpado e linhas de nylon presas a tijolos.



Fonte: Hunter e Kiffmeyer (2004).

Na construção com sacos individuais de polipropileno tecido, uma placa metálica (*slider*) pode ser usada para permitir o assentamento do próximo saco sem que este seja rasgado pelo arame (Figura 68).

Figura 68 – Estande para arame e placa para evitar que o arame fure a sacaria (*slider*).



Fonte: Geiger (2011).

O arame é necessário em todas as cúpulas (domos) para aumentar sua resistência à tração. Arame farpado, tela de arame ou outro reforço geotêxtil pode servir como reforço tanto para edifícios de parede verticais em áreas neutras quanto para áreas de risco (GEIGER, 2011).

O arame farpado pode servir de apoio para laços de arame que servirão para amarrar a tela que dará aderência ao reboco sobre os sacos de PP-T, especialmente em vãos em arco (HUNTER E KIFFMEYER, 2004)(Figura 69).



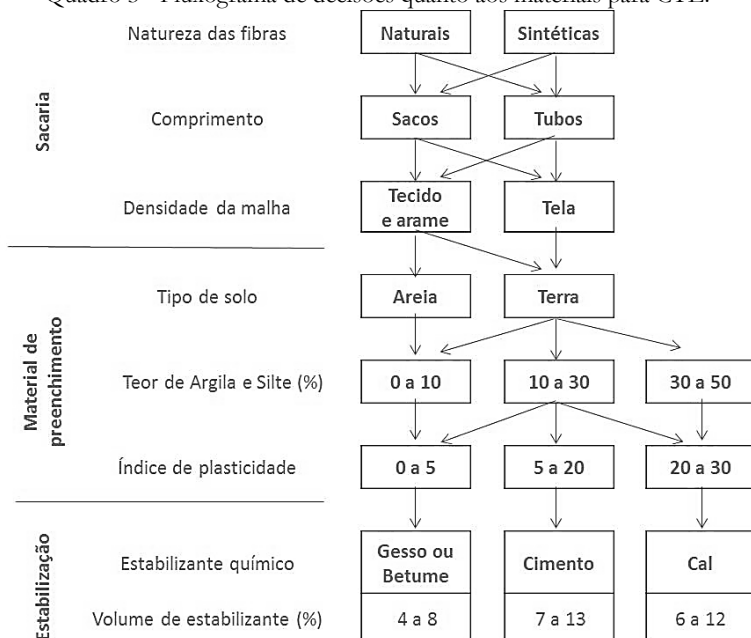
Figura 69 - Laços de arame para prender a tela do reboco.



Fonte: Hunter e Kiffmeyer (2004).

Assim, as escolhas em relação aos materiais seguem o fluxograma do Quadro 3.

Quadro 3 - Fluxograma de decisões quanto aos materiais para CTE.



Fonte: Autoral, 2014, adaptado de Houben e Guillaud (1989); Geiger (2011) e Minke (2013b).

#### 4.1.2 Capacitação da mão de obra

Como a maioria dos livros de construção em terra encadada é direcionado à autoconstrução, não foi encontrada nenhuma referência no que tange a capacitação da mão de obra contratada.

Kennedy (2009) trata do treinamento de comunidades e diz que se deve valorizar tanto a teoria quanto a prática e deve enfatizar o aprendizado colaborativo. Em seu programa de treinamento, uma aula típica inclui debates e material didático visual, como slides e apostilas. "Exercícios interativos e demonstrações no local da construção encorajam os participantes a começar imediatamente a aplicar o que eles aprenderam" (KENNEDY, 2009). Voluntários da comunidade também são encorajados a participarem dos treinamentos. Segundo o autor, "esse auxílio adicional acelera o processo construtivo, diminui os custos e empodera a comunidade local diretamente".

#### 4.1.3 **Obtenção do material**

Para a obtenção do solo, Hunter e Kiffmeyer (2004) afirmam que o ideal é buscar conhecer a jazida e caracterizar o solo durante o planejamento da obra. Estes autores não consideram que a terra depois de compactada vai ter um volume menor do que quando transportada e calculam as quantidades diretamente, mas apontam que uma estrutura de 58 metros quadrados pode facilmente utilizar 45-73 toneladas métricas de material e por isso eles preferem comprá-lo.

Já Hoffmann, Minto e Heise (2011) trazem que para a taipa de pilão, o volume necessário de terra transportada é 1,67 vezes o volume da parede almejada.

Em laboratório, a taxa de compactação pode ser estimada através do ensaio Proctor (ABNT, 1986b).











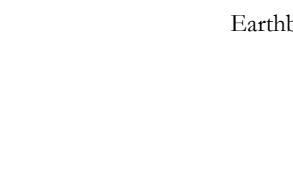

Neves *et al.* (2009) recomendam que "os volumes da mistura devem ser suficientes para não provocar interrupções no trabalho".

#### 4.1.4 **Preenchimento, assentamento e compactação da sacaria**

Em todas as variações da CTE, a terra precisa ser colocada nos sacos, estes apoiados ao chão ou à fiada inferior e compactados.

Para cada tipo de sacaria foram sendo desenvolvidas ferramentas de preenchimento, como estandes e funis, como pode ser visto na (Tabela 8).

Tabela 8 - Estandes e funis para cada sacaria.

Material da sacaria		PEAD/MR		PP-T			
Variação		"Hyperadobe"					
		Funil ou estande		Funil em estande e copo dosador		Funil ou estande	Nenhuma ou estande
		Funil ou estande		Funil ou estande	Funil ou estande	Funil ou estande	Funil ou estande
		Funil ou estande		Funil ou estande	Funil ou estande	Funil ou estande	Funil ou estande
		Funil ou estande		Funil ou estande	Funil ou estande	Funil ou estande	Funil ou estande
		Funil ou estande		Funil ou estande	Funil ou estande	Funil ou estande	Funil ou estande
Ferramenta de endimento							

Fonte:

Segundo Hunter e Kiffmeyer (2004), para o preenchimento da sacaria são necessárias pelo menos três pessoas. Uma para segurar o cano com o saco, sacudir para assentar a terra e caminhar para trás à medida que o saco é preenchido; uma segunda para receber as latas com terra e despejar no cano; uma terceira para receber as latas vazias, enchê-las de terra e entregar para a segunda pessoa. Já Soares (2008) afirma que são necessárias pelo menos cinco pessoas para manter um bom fluxo de trabalho.

Ao preencher os sacos com terra é mais fácil elevar pequenas latas de terra a grandes baldes. Ao fim de cada parede, o tubo (saco contínuo) deve ser cheio cinco centímetros a mais, extremidade do tubo preenchido deve ser pilada na horizontal para reforçar (eliminando os 5cm) e a sobra pode ser enrolada e dobrada para baixo da fiada. Em seguida, deve-se apiloar a parte superior da ponta novamente. Os sacos podem ser dobrados, fechados com um nó ou com um lacrador industrial. "Nós gostaríamos de deixar os sacos bem firmes. Sacos mais grossos significam menos fiadas" (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

Os compactadores, ou pilões podem ser de vários pesos e modelos, ficando a critério dos usuários. São comuns os pilões de concreto, de madeira e de metal. Para o "brickeradobe", o compactador faz parte do kit e encaixa na fôrma (compactador vermelho). É bastante comum o uso de compactadores mecanizados como na taipa de pilão. Como o trabalho não é feito dentro de fôrmas, o compactador de placa é considerado mais adequado por ser mais largo (Figura 70).

Figura 70 - Compactadores utilizados na construção em terra ensacada.



Fonte: Pacheco (2012); (GEIGER, 2011; PACHECO, F. S., 2013) Soluções industriais (2015).

Como na taipa de pilão, a terra a ser compactada deve estar úmida. A umidade ideal varia para cada solo, mas para a CTE é entre 10 e 20% (HUNTER E KIFFMEYER, 2004). A compactação deve ser feita a cada nova fiada, deve ter força e impacto constantes e cada trecho deve ser compactado até que se ouça um ruído seco. No uso de pilões de madeira

em sacaria de tela de plástico, o pilão deve ser protegido para não rasgar a sacaria.

A compactação lateral com marreta de borracha é uma opção quando se deseja dar às paredes um acabamento liso, mas afrouxa a lateral dos sacos. Para a construção com sacos individuais de PP-T, é recomendado usar um pilão menor para compactar o fundo dos sacos que ficarão nas pontas das ficadas (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

Quando se usa o arame farpado, um elemento facilitador é o barbante preso a um tijolo. À medida que o arame farpado vai sendo apoiado na fiada, o barbante tensionado ajuda a manter o arame no lugar, além de dar uma contribuição para a estabilidade lateral da parede (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

#### 4.1.5 Execução de cada elemento construtivo em terra ensacada

Nesta seção será explicada em detalhe execução de elementos verticais em terra ensacada (fundação, paredes e arcos).

##### 4.1.5.1 Fundações

Antes de se fazerem as fundações, é preciso se fazer a preparação do terreno. A preparação do terreno segue os mesmos critérios da construção convencional e, como explicado, deve ser orientada por um profissional. Especificamente, as edificações devem ser construídas em terreno plano, com um mínimo de três metros (3,0 m) entre a casa e a encosta mais próxima (DAIGLE, 2008; MINKE, 2001).

Em torno da obra, um dreno francês pode ser feito para escoar água percolada para longe da construção: uma vala é aberta e coberta com areia; em seguida são colocados na vala uma manta geotêxtil (como as da marca Bidin©), um tubo de dreno em toda a lateral e pedras britadas ou pedregulhos sobre o tubo. As sobras da manta são dobradas sobre as pedras e mais pedras são colocadas. É importante ter vegetação em volta para que os sedimentos do solo não entupam o dreno (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

A CTE pode ser feita sobre diversos tipos de fundação. Concreto ou pedras argamassadas podem ser necessários em terrenos instáveis ou alagadiços. Em terreno estável e bem drenado, as fundações de edificações de um ou dois andares podem ser feitas em terra ensacada (Figura 71). Esta decisão, crucial para o bom desempenho da edificação também deve ser orientada por um profissional (arquiteto ou engenheiro).

Figura 71 - Fundação em terra ensacada.



Fonte: Cullins (2013).

Em se usando solo argiloso ou arenoso, a terra deve ser estabilizada para evitar que a água do solo ascenda por capilaridade e atinja as paredes. Muitos autores mencionam o uso de sacos de PP-T cheios de brita levemente compactados (HUNTER E KIFFMEYER, 2004; GEIGER, 2011). Esta opção evita que a água ascenda e é recomendada também para terrenos alagáveis (WOJCIECHOWSKA, 2001). No entanto, as arestas da brita podem cortar os sacos sobre alta pressão.

Daigle (2008) realizou testes de resistência à compressão em pilhas de três sacos de PP-T preenchidos com britas e com solo e o mesmo solo acrescentado de areia. Os sacos de brita tiveram desempenho muito inferior, rompendo com 358 kN, sendo que os outros não romperam com a pressão máxima do equipamento (840 kN).

Uma maneira rápida de se fazer uma fundação ensacada é utilizando mistura para concreto ensacada. Diversas marcas no Brasil vendem o concreto pronto (*Quickcrete* nos Estados Unidos). Os produtos embalados em sacos plásticos não servem, mas, para os embalados em papel ou PP-T, basta assentar os sacos, molhar e esperar a cura (Figura 72).

Figura 72 - Concreto pronto para fundação ensacada.

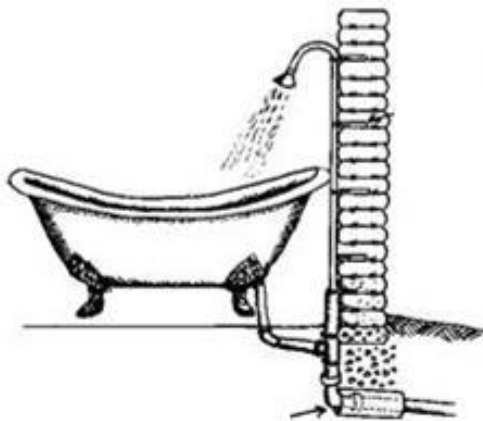


Fonte: Sem Limites (2013); Earthbag Building (2015).

A fundação deve ter parte enterrada e parte acima do nível do solo. As fundações em TE normalmente são feitas com duas fiadas enterradas e duas acima do nível do solo (JACINTHO, 2010).

O topo da fundação deve ser impermeabilizado, especialmente em áreas alagadiças ou de alta pluviosidade. É importante também deixar uma ou mais saídas na fundação com proteção de verga ou tubulação de concreto para suportar o peso da parede para as tubulações e a fiação, como no detalhe da Figura 73.

Figura 73 - Detalhe da tubulação de espora deixada na fundação.



Fonte: Hunter e Kiffmeyer (2004).



### 4.1.5.2 Paredes

A execução de paredes em terra ensacada envolve alocar e compactar os sacos em fiadas umas sobre as outras até atingir o pé direito desejado. Os sacos individuais devem ser alocados com juntas amarradas (desencontrados) em relação aos da fiada abaixo. Os sacos contínuos devem ser alocados de maneira alternada nas quinas e deve-se evitar que as emendas fiquem alinhadas verticalmente:

Figura 74 - Sacaria escalonada.



Fonte: (Earthbag Building, 2015); autoral, 2009.

A aplicação de arame farpado entre as fiadas e a compactação lateral não são necessárias nas sacarias em malha Raschel e em PP-T costurado, mas estima-se que possa ser usado em todas para aumentar a resistência à tração.

Durante a execução das paredes, é muito importante prever e preparar as interfaces.

### 4.1.5.3 Interfaces

As interfaces dizem respeito à interação dos elementos construtivos. Para a CTE, uma estratégia que promove uma melhor fixação de elementos à parede é a instalação de "placas-velcro" (HUNTER E KIFFMEYER, 2004) (Figura 75).

Figura 75 - Placa-velcro.



Fonte: À esquerda: Geiger (2011). À direita: autoral, 2010. Desenho: Miguel Tomazini.

As placas-velcro consistem em placas de madeira ou metal que são aparafusadas às paredes durante a sua execução, ficando embutidas, mas permitindo que futuros elementos como prateleiras, esquadrias e degraus sejam presos a elas (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

#### **4.1.5.4 Aberturas**

As aberturas podem ser feitas com vergas em arco ou retilíneas. As aberturas em arco são feitas com o apoio de fôrmas de madeira (WOJCIECHOWSKA, 2001). Já as vergas retas podem ser de madeira, concreto armado. Arcos e vergas podem ser feitos em terra ensacada estabilizada e reforçada com vergalhões. Em todos os casos, é importante que a verga seja maior do que a abertura pelo menos 30,0 cm para cada lado. Também é comum o uso de manilhas como fôrma perdida, mas há relatos de que o peso da parede acima quebra a manilha, travando a janela (JACINTHO, 2010) (Figura 76).

Figura 76 – Vergas usuais na CTE.

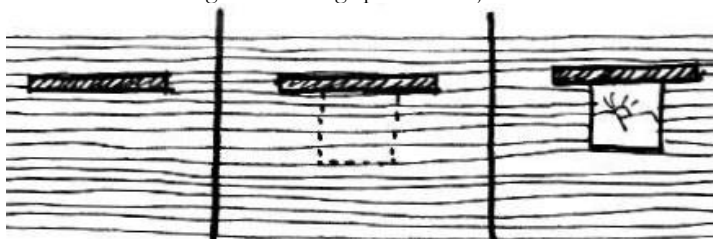


Fonte: Earthbag Building (2015), autoral, 2009, Ipec (2013b).

Observam-se as placas-velcro instaladas dentro do arco de sacos unitários da Figura 76.

Prompt (2008) sugere que sejam deixadas vergas onde sejam previstas futuras aberturas, conforme ilustra a Figura 77:

Figura 77 - Verga para futura janela.



Fonte: Prompt (2008).

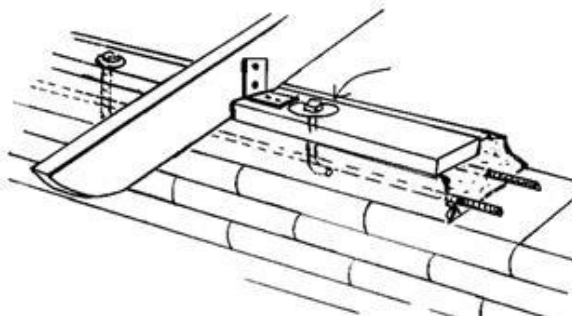
Segundo Prompt (2012), a execução das esquadrias deve observar a questão do peso das paredes e da cobertura para se usar marcos e vergas suficientemente resistentes. É também importante que as contravergas tenham pingadeira, para afastar a água da chuva das paredes (GEIGER, 2011). Vãos máximos e proximidade entre as aberturas serão discutidos no

capítulo REFERENCIAL TEÓRICO – EMBASAMENTO TEÓRICO  
PARA A CONCEPÇÃO DO PROTÓTIPO, pg. 155. Cinta de amarração

A cinta de amarração é um elemento fundamental para a sanidade da edificação. Ela interconecta as paredes, serve de âncora para o telhado e distribui seu peso uniformemente.

A cinta mais comum é a de concreto armado (Figura 78).

Figura 78 – Cinta de amarração de concreto e desenho esquemático do madeiramento do telhado preso à cinta de amarração de concreto.



Fonte: Hunter e Kiffmeyer (2004); (GEIGER, 2011).Foto: E. Bellany.

A cinta de amarração pode ser feita com duas fiadas em terra ensacada estabilizada, se usados os sacos contínuos, ou, nos vãos da sacaria costurada. Para a sacaria costurada, Anderton (2007) recomenda que sejam feitas várias camadas como a da figura e buracos nos sacos para que o concreto leve se comunique (Figura 79).

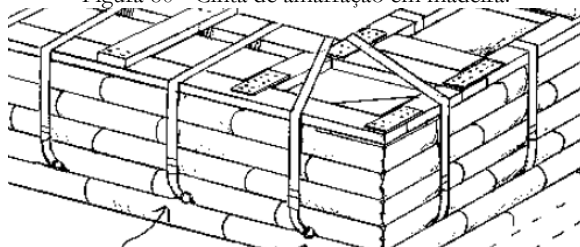
Figura 79 - Cinta de amarração de concreto armado entre os vãos da sacaria costurada.



Fonte: Anderton (2007).

Em casos onde o telhado é leve, os ventos são moderados e não se queira/possa usar cimento, pode-se usar este modelo de cinta-escada de madeira, presa a quatro fiadas da parede com tiras plásticas (Figura 80).

Figura 80 - Cinta de amarração em madeira.



Fonte: Hunter e Kiffmeyer (2004).

Outra opção é a cinta em solocimento, a qual deve ser feita com armação de bambu, madeira ou plástico, uma vez que o aço requer ambiente alcalino.

#### ***4.1.5.5 Instalações hidráulicas, elétricas e telefônicas***

Segundo Hunter e Kiffmeyer (2004), as tubulações podem ser colocadas também entre as fiadas, ou seja, no interior da parede, mas o mais recomendável é que sejam dispostas na face interior das paredes, e acomodadas na posição da junção entre os sacos e cobertas com o reboco.

Esconder as tubulações com *shafits* ou atrás de balcões ou bancos pode ser útil para evitar o perigo de vazamentos.

As caixas de elétricas podem ser presas a placas-velcro ancoradas. Esses conjuntos são colocados entre as fiadas, à altura adequada. O mesmo deve ser feito para o quadro de luz (Figura 81).

Figura 81 - Acoplagem da caixa de tomada à parede.



Fonte: Geiger (2011).

Enquanto as paredes estão 'verdes', é possível amassar com um martelo um canal onde os conduites possam ser colocados. Depois das paredes curadas, é possível abrir caminho nos sacos, deixar as tubulações aparentes ou cobri-las com reboco (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

#### **4.1.5.6 Revestimentos**

Como a terra crua é um material expansível, é considerado inadequado o uso de reboco de cimento e areia em construções em terra. Minke (2013b) exemplifica com a Igreja de São Francisco de Assis, em Rancho de Taos, feita de adobe em 1815. A igreja em 1967 foi rebocada com cimento e areia. O reboco de cimento descolou das paredes por ser mais rígido e não acompanhar as movimentações da terra e também se fissurou, permitindo a infiltração de água e comprometendo a edificação. O autor traz que o reboco de barro é mais elástico e por isso menos suscetível a fissuras (Figura 82).

Figura 82 - Igreja de São Francisco, Rancho de Taos. Má experiência com reboco de cimento e volta ao reboco de barro.



Fonte: Tirloni (2014).

A norma ASTM (2010) traz que o reboco de cimento retém o vapor de água dentro das paredes, causando saturação de umidade e dissolução das mesmas.

Apesar das contraindicações, a aplicação de rebocos de cimento e areia é uma prática frequente em construções em terra ensacada. Khalili e Vittore (1998) usaram e recomendaram, Geiger (2011) afirma que tanto rebocos de cimento quanto de cal e de terra funcionam bem sobre as CTE. Pacheco, F. (2013) afirma que prefere porque são mais práticos e mais resistentes que os de terra.

A aplicação de reboco sobre o tecido de PP-T exige que seja colocado uma tela para armar o reboco. Por esse motivo, muitos construtores rasgam ou queimam os sacos quando o solo compactado é coeso. Minke (2013a) recomenda que a tela usada não seja de metal e sim plástica. Os sacos de PEAD-MR podem receber o reboco diretamente.

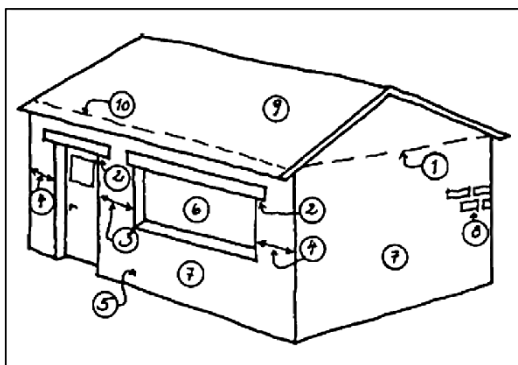
Para a confecção dos rebocos de terra vários aditivos naturais podem ser incorporados ao barro para melhorar suas características. A confecção de rebocos foge ao tema principal da pesquisa, mas teve que ser considerado para a execução do protótipo, que não poderia ser avaliado sem o revestimento. As duas receitas (traços) de reboco de terra usadas podem ser encontradas em METODOLOGIA, pg. 173. Outras receitas e

aditivos encontram-se em Minke (2013b) e em (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

#### 4.1.6 Erros a serem evitados

A construção com terra ensacada, enquanto técnica usada na autoconstrução, é sujeita a erros comuns às edificações que podem ser evitados, como os apresentados por Minke (2001) (Figura 83).

Figura 83 - Erros comuns na construção informal.



Fonte: Minke (2001).

Legenda:

- 1) Não há cinta de amarração no topo das paredes;
- 2) As vergas não estão suficientemente inseridas na alvenaria;
- 3) A distância entre aberturas é muito pequena;
- 4) A distância entre aberturas e as quinas é muito pequena;
- 5) Não há rodapé;
- 6) A janela é muito larga em relação à sua altura;
- 7) A parede é estreita em relação à altura (esbeltez);
- 8) A qualidade da argamassa é baixa, as juntas verticais não estão bem preenchidas ou as horizontais estão muito espessas (mais de 15 mm);
- 9) O telhado é muito pesado;
- 10) O telhado não está fixado adequadamente às paredes.



Outro erro comum são as paredes longas sem o reforço de vergalhões ou contrafortes (Figura 84).

Figura 84 - Consequência de paredes longas sem reforço



Fonte: Prompt (2012).

Erros comuns no reboco são o uso de solo muito argiloso sem aditivos e o uso do reboco de cimento e areia (rígido) sobre a parede de terra (expansível). A aplicação camada grossa de reboco para disfarçar imperfeições na parede também é comum, mas seu sobrepeso pode acarretar em descolamento (Figura 85).

Figura 85 – Aparência dos defeitos de rebocos sobre construções com terra.



Fonte: (MARIGONI E TIMMERMANN, 2011; PROMPT, 2012).

A terra ensacada não pode ser usada como fundação em terrenos alagadiços, em terrenos íngremes ou próximos de declives. Erros nesta etapa podem comprometer toda a estrutura, como na Figura 86:

Figura 86 - Queda da estrutura por falha na fundação em terra ensacada.



Fonte: Marigoni e Timmermann (2011).

Na construção acima, além da proximidade com o declive, pode-se observar que não foram feitos beirais ou calhas que direcionassem a água da chuva para longe da estrutura, pelo contrário, o formato do telhado direcionava a água diretamente para os alicerces.

Esses e outros erros podem ser evitados observando-se as recomendações recolhidas neste capítulo e os requisitos de desempenho relativos à construção com terra que serão apresentados no próximo capítulo.

## 5 REFERENCIAL TEÓRICO – EMBASAMENTO TEÓRICO PARA A CONCEPÇÃO DO PROTÓTIPO

Além dos requisitos e recomendações para construção em terra e em terra ensacada, foram abordadas também diretrizes de projeto para a construção em terra crua, levantados em normas internacionais e requisitos universais de projeto, como ergonomia, acessibilidade e funcionalidade dos ambientes.

Em se tratando de um abrigo emergencial com possibilidade de expansão para habitação permanente, algumas recomendações sobre estes tipos de construção também foram estudadas.

Por fim, foram levantados alguns dos requisitos de desempenho de edificações habitacionais até cinco pavimentos, constantes na norma brasileira ABNT NBR 15.757:2012, que serviram tanto à elaboração do projeto quanto à avaliação de desempenho do protótipo.

### 5.1 DIRETRIZES DE PROJETO PARA A CONSTRUÇÃO EM TERRA

Como ainda não se dispunha de normas de construção com terra crua não estabilizada no Brasil, observou-se o disposto na norma ABNT NBR 15.575:2012-1, que diz: "na ausência de Normas Brasileiras prescritivas para sistemas, podem ser utilizadas Normas Internacionais prescritivas relativas ao tema" (ABNT, 2013a).

Assim, foram levantadas as normas internacionais que tratam da construção com terra crua. Até o momento desta pesquisa tinham sido encontrados os documentos relacionados na Tabela 9 por data de publicação.

As normas encontradas normalmente reúnem as finalidades de especificação, processo de fabricação e métodos de ensaios. Não é comum encontrar normas e regulamentos que abarquem a construção com terra na sua totalidade, sendo que a maioria se refere a somente uma ou duas técnicas (CID FALCETO, RUIZ MAZARRON e CAÑAS GUERRERO, 2011).

Tabela 9 - Normativas da construção com terra.

Ano	País	Normas
1979	Peru	NTP 331.201; 331.202; 331.203
1980	Índia	IS 2110
1982	Índia	IS 1725
1985	Turquia	TS 537; 2514; 2515
1986	Brasil	NBR 8491; 8492
1989	Brasil	NBR 10832; 10833
1990	Brasil	NBR 12025
1992	Brasil	NBR 12023; 12024
1993	Índia	IS 13827
1994	Brasil	NBR 10834; 10835; 10836
1996	Brasil	NBR 13554; 13555; 13553
	Regional África	ARS 670-683
	Tunísia	NT 21.33; 21.35
1997	Nigéria	NIS 369
1998	Nova Zelândia	NZS 4297; 4298
1999	Nova Zelândia	NZS 4299
	Quênia	KS 02-1070
2000	Peru	NTE E 0.80
2001	França	XP P13-901
	Zimbábue	SAZS 724
2004	Colômbia	NTC 5324
	EUA	NMAC 14.7.4
	Itália	Ley nº 378, 2004
2006	Itália	L. R. 2/06
2008	Espanha	UNE 41410
2009	Sri Lanka	SLS 1382-1; 1382-2; 1382-3
2010	EUA	ASTM E2392 M-10

Fonte: adaptado de Cid , Mazarron e Guerrero (2011).

Apesar de a estabilização não ser sempre imprescindível, já que muitos solos podem alcançar o comportamento satisfatório sem necessidade de nenhum estabilizante, algumas normas têm como objeto de normalização exclusivamente a terra estabilizada (CID FALCETO, RUIZ MAZARRON e CAÑAS GUERRERO, 2011). A maior parte das normas relativas à construção com terra, inclusive as brasileiras, trata exclusivamente do uso da terra estabilizada. Dentre as normas que tratam de construções com terra crua não estabilizada, algumas tratam exclusivamente de blocos de terra moldados (adobe) ou comprimidos

(BTC). Foram selecionadas para estudo as normas que abordam diversas técnicas, que mencionam a terra ensacada (*earthbag*) ou que tratam da taipa-de-pilão (*rammed earth*), uma vez que esta é técnica que mais se assemelha à terra ensacada em malha Raschel. Assim, as normas de CT consideradas relevantes para este trabalho encontram-se na Tabela 10:

Tabela 10 - Normas que abordam a construção com terra crua compactada não estabilizada.

Projeto									
Construção	x								x
Fabricação									
Ensaio	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Requisitos dos produtos	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Seleção de solos	x								x
Campo de aplicação	Regulamento de construção	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Guias para o projeto, construção e ensaios para estruturas de taipa.
	Guia para construção de sistemas com terra	1	2004	NIMAC, 14.7.4, 2004	Estados Unidos da América				
	Projeto estrutural e durabilidade das edificações com terra.	2	2011	ASTM E2392 M-10	América				
	Caracterização dos materiais e especificações de construção para o uso da terra crua. Procedimentos de ensaios.	3	1998	NZS 4297	Nova Zelândia				
		4	1998	NZS 4298	Nova Zelândia				
	Requisitos de projeto e construção para adobes blocos comprimidos ou taipa que não necessitem de projeto específico #	5	1999	NZS 4299	Nova Zelândia				
	Guias para o projeto, construção e ensaios para estruturas de taipa.	6	2001	SAZS 724	Zimbábue				

Fontes: 1) Cid (2004) 2) ASTM (2010) 3) SNZ (1998a) 4) SNZ (1998b) 5) SNZ (1999) 6)SAZ (2001). Quadro adaptado de Cid , Mazarron e Guerrero (2011).

Dessas, somente o guia normativo da ASTM menciona a construção em terra ensacada diretamente (ASTM, 2010). Portanto, foram priorizadas as diretrizes de projeto nele mencionadas.

O guia normativo ASTM E2392 / E2392M - 10e1 traz diversas recomendações acerca da construção com terra crua. Nesta seção serão transcritas somente as que foram usadas para o projeto-tipo (Tabela 11).

Tabela 11 – Recomendações da ASTM E2392 / E2392M - 10e1 usadas no projeto-tipo.

<b>Quesito</b>	<b>Recomendação</b>
Altura das paredes	Altura das paredes de terra deve ser limitada a oito vezes sua espessura <sup>29</sup> .
Desenho da planta	O desenho da planta das paredes deve ser robusto - tão regular e simétrico quanto for possível e ser interconectadas firmemente.
Cinta de amarração	A cinta de amarração deve transferir as cargas do telhado para a parede. As ancoragens entre a cinta de amarração devem ser espaçadas não mais do que seis vezes a espessura da parede.
Vergas	As vergas sobre as aberturas na parede devem ser projetada para suportar o peso da parede acima, adicionado da carga tributária do telhado. Em todos os casos a verga deve ter pelo menos 30 centímetros inseridos na parede terra em ambos os lados da abertura.

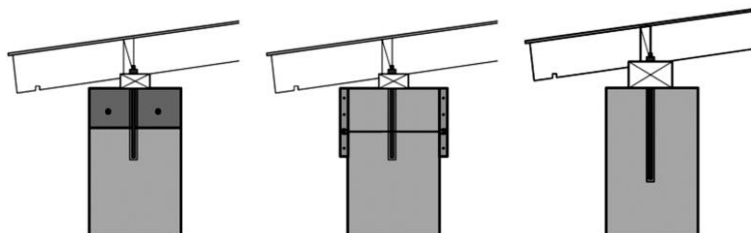
Fonte: ASTM (2010).

O guia traz que o reforço do topo da parede é a medida de reforço mais importante e pode ser atingida através da execução de cinta de amarração firmemente ancorada, tanto no topo da parede quanto na estrutura do telhado. A cinta de amarração deve ser suficientemente flexível para manter a resistência dúctil. Na Figura 87, à esquerda, têm-se exemplos que satisfazem aos requisitos, como a cinta de amarração em concreto armado; ao centro, placas de amarração para construções

<sup>29</sup> No caso da terra ensacada em PEAD-MR, cuja espessura média da parede é de 35 cm, o pé direito máximo recomendado pela ASTM E2392 / E2392M - 10e1 é de 2,80 m.

existentes; à direita, uma madeira pesada é ancorada a parede com vergalhões, com profundidade ao menos igual à espessura da parede (Figura 87).

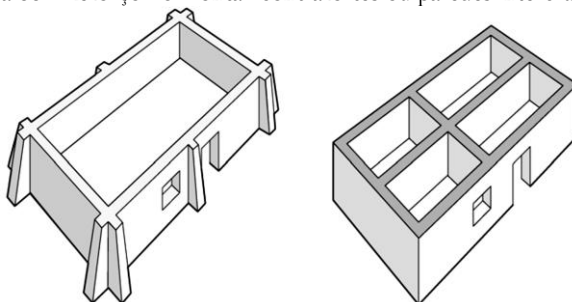
Figura 87 - Cintas de amarração para as construções em terra.



Fonte: ASTM (2010).

Para reforço horizontal, contrafortes devem ser construídos projetando-se para o exterior da edificação, com comprimento pelo menos igual à espessura da parede nas quinas e em pontos intermediários, com proteção da cobertura do telhado e apoio nas fundações. Alternativamente pode se limitar o comprimento de parede livre cruzando-se outras paredes. Em ambos os casos, esses elementos devem ser do mesmo material da parede, estar interligado com ela e não estar espaçados a mais do que 15 vezes a espessura da parede <sup>30</sup> (ASTM, 2010)(Figura 88).

Figura 88 - Reforço horizontal: contrafortes ou paredes inter cruzadas.

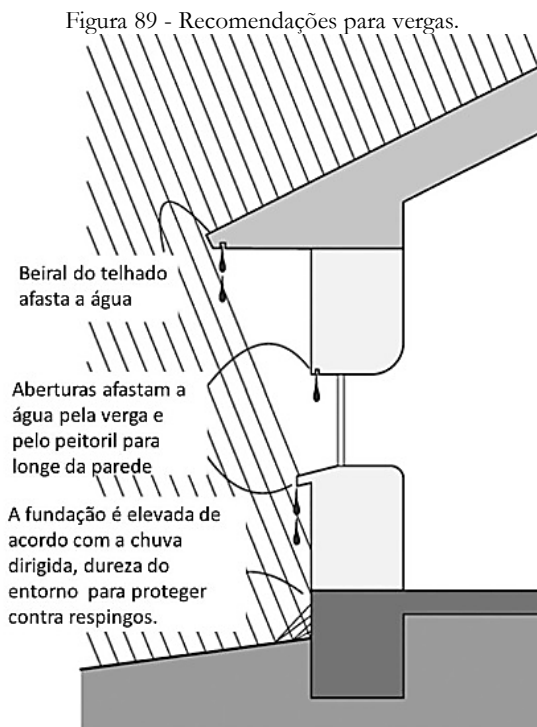


Fonte: ASTM (2010).

<sup>30</sup> No caso da terra ensacada em PEAD-MR, cuja espessura média da parede é de 35 cm, o comprimento de parede livre máximo recomendado pela ASTM E2392 / E2392M - 10e1 é de 5,25 m.

Os telhados e outras estruturas apoiadas às paredes de terra devem ser mantidos tão leves quanto possível e devem ser presas seguramente ao topo da parede.

A respeito das vergas, a ASTM (2010) recomenda que haja pingadeiras no beiral, na verga e no peitoril das aberturas para afastar a água (Figura 89).



Fonte: ASTM (2010), tradução livre.

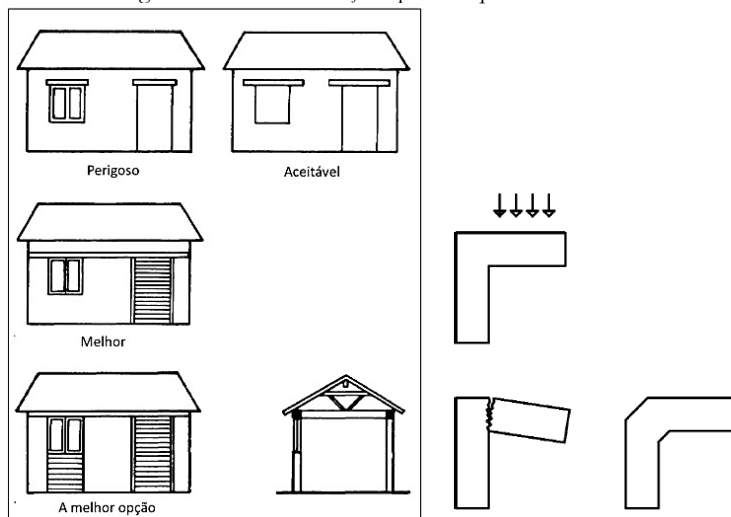
Quanto à espessura da parede, a norma neozelandesa traz que "paredes de terra deve ser um mínimo de 250 mm de espessura, exceto para as paredes de tijolos CINVA que pode ser de 130 mm de espessura" SNZ (1998a) (tradução livre). A norma traz também que a taxa de esbeltez máxima para paredes portantes sem reforço em área de risco sísmico



menor que 0,6 deve ser de  $10^{31}$ . Esta norma permite uma esbeltez maior para o tipo de parede mencionado, mas detalha e restringe para outros.

A norma zimbabuana de terra compactada determina que as paredes não devem ter menos de 300 mm de espessura e que seu índice de esbeltez para paredes sem estabilização varia de 1:8 para paredes sem restrição a 1:12 para paredes com restrição, onde uma parede é considerada restrita ou contida quando é “reforçada pelo menos por fiadas alternadas imbricadas a uma parede e/ou coluna lateral de não menos de 450 mm de comprimento, em ambas as extremidades”; ou melhor, onde a parede lateral é construída continuamente com isso. Quanto às aberturas, esta norma traz que o número, a dimensão ou posição das aberturas ou vãos em uma parede de terra compactada não devem ser tais que venham a comprometer a estabilidade das paredes, sendo que aberturas em qualquer parede não devem constituir mais de metade do comprimento da parede. Quanto às fundações, traz que podem ser em terra compactada estabilizada, se protegidos da umidade. (SAZ, 2001). Sobre as quinas de edificações em terra, Minke (2001) recomenda que sejam feitas chanfradas para aumentar a estabilidade, como na Figura 90:

Figura 90 - Recomendações para as quinas em terra.



Fonte: Minke (2001).

<sup>31</sup> No caso da terra ensacada em PEAD-MR, cuja espessura média da parede é de 35 cm, o pé direito máximo recomendado pela NZS 4297:1998 é de 3,50 m.

## 5.2 REQUISITOS UNIVERSAIS DE PROJETO APLICÁVEIS AO PROTÓTIPO

Os requisitos universais de projeto observados na concepção do protótipo foram o atendimento às necessidades humanas quanto à habitação, à ergonomia e à acessibilidade.

Foram consideradas as necessidades humanas relativas ao habitar descritas por Silva (1982)(Tabela 12).

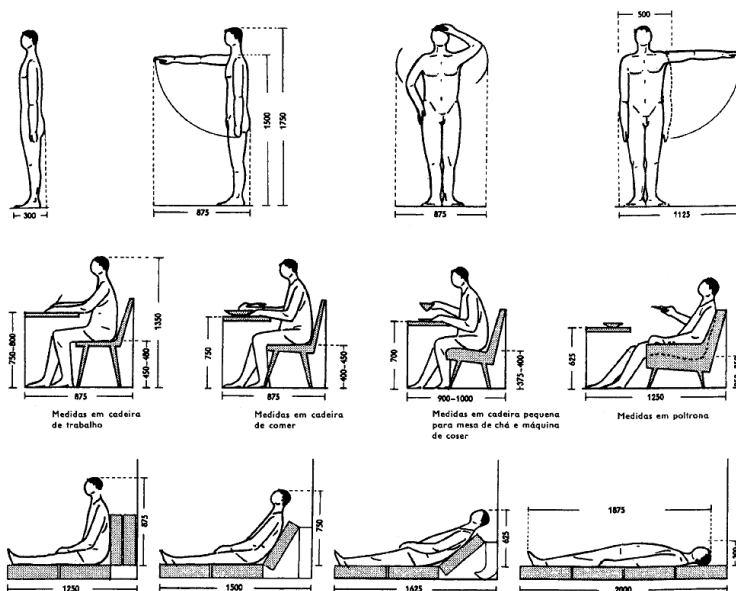
Tabela 12– Necessidades e atividades humanas

<b>Necessidade humana</b>	<b>Atividades</b>
Descanso	Dormir, descansar.
Interação familiar e social	Fazer refeições conjuntamente.
Nutrição	Cozinhar, comer, lavar e guardar a louça e instrumentos de cozinha.
Higiene pessoal	Banho, lavar mãos e rosto, barbear-se, escovar os dentes, usar o banheiro.
Estudo	Ler, fazer deveres de casa.
Lavanderia	Lavar, secar e passar roupas.
Armazenamento	Guardar materiais de manutenção doméstica, material escolar, materiais de uso pessoal.

Fonte: adaptado de Silva (1982).

E as medidas humanas, como indicam Neufert e Neufert (2004), (Figura 91).

Figura 91 - Dimensões humanas e espaços necessários.



Fonte: Neufert e Neufert (2004).

Quanto à acessibilidade, Santos, Santos e Ribas (2005) indicam premissas de projeto universal visando contemplar usuários com mobilidade reduzida: largura mínima de 0,80 m para os vãos das portas e circulações, e pontos de mudança de direção com 1,50 m<sup>2</sup> de espaço livre para manobra.

### 5.3 REQUISITOS DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS ATÉ CINCO PAVIMENTOS

Os requisitos de desempenho de edificações habitacionais até cinco pavimentos são regidos pela norma brasileira vigente, a norma “NBR ABNT 15575:2012 - Edificações habitacionais — Desempenho” (ABNT, 2013a). Esta norma está dividida nas seguintes partes:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;

- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Segundo a norma, o desempenho de edificações habitacionais está vinculado à capacidade da edificação em atender às exigências do usuário quanto à segurança, à habitabilidade e à sustentabilidade.

As exigências do usuário relativas à segurança são expressas pelos seguintes fatores: segurança estrutural; segurança contra o fogo; segurança no uso e na operação.

As exigências do usuário relativas à habitabilidade são expressas pelos fatores: estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropodinâmico.

Já as exigências do usuário relativas à sustentabilidade são expressas pelos fatores: durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

Os fatores que dizem respeito ao desempenho de elementos verticais em terra ensacada enquanto elemento estrutural e de vedação são:

- Segurança: segurança estrutural; segurança contra o fogo;
- Habitabilidade: estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; conforto tátil;
- Sustentabilidade: durabilidade; manutenibilidade; impacto ambiental.

Quanto à segurança estrutural, os requisitos gerais de desempenho para a edificação habitacional são:

- a) não ruir ou perder a estabilidade de nenhuma de suas partes;
- b) prover segurança aos usuários sob ação de impactos, choques, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis na época do projeto;
- c) não provocar sensação de insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação, admitindo-se tal exigência atendida caso as deformações se mantenham dentro dos limites estabelecidos nesta Norma;
- d) não repercutir em estados inaceitáveis de fissuração de vedação e acabamentos;
- e) não prejudicar a manobra normal de partes móveis, como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento normal das instalações em face das deformações dos elementos estruturais;

f) cumprir as disposições das ABNT NBR 5629, ABNT NBR 11682 e ABNT NBR 6122 relativamente às interações com o solo e com o entorno da edificação.

As deformações ou estados de fissuração do sistema estrutural não devem ocasionar deslocamentos ou fissuras excessivas aos elementos de construção vinculados ao sistema estrutural, levando-se em consideração as ações permanentes e de utilização, nem impedir o livre funcionamento de elementos e componentes da edificação, tais como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento das instalações.

O critério utilizado é que os componentes estruturais sob a ação de cargas gravitacionais, de temperatura, de vento, de recalques diferenciais das fundações, etc. não apresentem:

- fissuras com aberturas maiores que os limites indicados nas ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 9062 , ou outra norma específica para o método construtivo adotado ou abertura superior a 0,6 mm em qualquer situação;
- deslocamentos maiores que os estabelecidos nas normas de projeto estrutural (ABNT NBR 6118, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 10837 e ABNT NBR 14762) ou, na falta de Norma Brasileira específica, usar as Tabelas 1 ou 2.

A título de informação, as tabelas mencionadas são (Tabela 13 e Tabela 14).

Tabela 13 –Deslocamentos-limite para cargas permanentes e cargas acidentais em geral.

Razão da limitação	Elemento	Deslocamento-limite	Tipo de deslocamento
Visual/insegurança psicológica	Pilares, paredes, vigas, lajes (componentes visíveis)	$L/250$ ou $H/300^{(1)}$	Deslocamento final incluindo fluência (carga total)
Destacamentos, fissuras em vedações ou acabamentos, falhas na operação de caixilhos e instalações	Caixilhos, instalações, vedações e acabamentos rígidos (pisos, forros etc.)	$L/800$	Parcela da flecha ocorrida após a instalação da carga correspondente ao elemento em análise (parede, piso etc.)
	Divisórias leves, acabamentos flexíveis (pisos, forros etc.)	$L/600$	
Destacamentos e fissuras em vedações	Paredes e/ou acabamentos rígidos	$L/500$ ou $H/500^{(1)}$	Distorção horizontal ou vertical provocada por variações de temperatura ou ação do vento, distorção angular devida ao recalque de fundações (deslocamentos totais)
	Paredes e acabamentos flexíveis	$L/400$ ou $H/400^{(1)}$	

$H$  é a altura do elemento estrutural  
 $L$  é o vão teórico do elemento estrutural  
<sup>(1)</sup> Para qualquer tipo de solicitação, o deslocamento horizontal máximo no topo do edifício deve ser limitado a  $H_{total} / 500$  ou 3 cm, respeitando-se o menor dos dois limites.  
 NOTA Não podem ser aceitas falhas, a menos daquelas que estejam dentro dos limites previstos nas normas prescritivas específicas.

Fonte: ABNT (2013b).

Tabela 14 - Flechas máximas para vigas e lajes (cargas gravitacionais permanentes e acidentais).

Parcela de carga permanente sobre vigas e lajes		Flecha imediata <sup>1)</sup>			Flecha final (total) <sup>3)</sup>
		$S_{gk}$	$S_{qk}$	$S_{gk} + 0,7 S_{qk}$	$S_{gk} + 0,7 S_{qk}$
Paredes monolíticas, em alvenaria ou painéis unidos ou rejuntados com material rígido	Com aberturas <sup>2)</sup>	$L/1\ 000$	$L/2\ 800$	$L/800$	$L/400$
	Sem aberturas	$L/750$	$L/2\ 100$	$L/600$	$L/340$
Paredes em painéis com juntas flexíveis, divisórias leves, gesso acartonado	Com aberturas <sup>2)</sup>	$L/1\ 050$	$L/1\ 700$	$L/730$	$L/330$
	Sem aberturas	$L/850$	$L/1\ 400$	$L/600$	$L/300$
Pisos	Constituídos e/ou revestidos com material rígido	$L/700$	$L/1\ 500$	$L/530$	$L/320$
	Constituídos e/ou revestidos com material flexível	$L/750$	$L/1\ 200$	$L/520$	$L/280$
Forros	Constituídos e/ou revestidos com material rígido	$L/600$	$L/1\ 700$	$L/480$	$L/300$
	Forros falsos e/ou revestidos com material flexível	$L/560$	$L/1\ 600$	$L/450$	$L/260$
Laje de cobertura impermeabilizada, com inclinação $i \geq 2\%$		$L/850$	$L/1\ 400$	$L/600$	$L/320$
Vigas calha com inclinação $i \geq 2\%$		$L/750$	-	-	$L/300$

$L$  é o vão teórico  
<sup>1)</sup> Para vigas e lajes em balanço, admitem-se deslocamentos correspondentes a 1,5 vez os respectivos valores indicados.  
<sup>2)</sup> No caso do emprego de dispositivos e detalhes construtivos que absorvam as tensões concentradas no contorno das aberturas das portas e janelas, as paredes podem ser consideradas "sem aberturas".  
<sup>3)</sup> Para a verificação dos deslocamentos na flecha final, reduzir a rigidez dos elementos analisados pela metade.

Fonte: ABNT (2013b).

Conforme mencionado, a NBR 15.575:2012 traz que, quando não houver norma brasileira específica, normas internacionais podem ser utilizadas. As normas específicas para construção em terra crua da Nova Zelândia e do Zimbábue abordam a questão das fissuras. A norma do Zimbábue traz que “as fendas (...) não devem ter mais de 3,0 mm de largura e 75 mm de comprimento, e não devem ser mais de vinte por cada metro quadrado. Todas as fendas de contração devem ser reparadas ou a parede rebocada” (SAZ, 2001). Já a norma neozelandesa indica que “rachaduras que não afetem a integridade estrutural podem ser rebocadas” (SNZ, 1998a).

A norma NZL 4297:1998 diz também que: “assentamentos de longo prazo não devem prejudicar a manutenção da superestrutura por rachaduras ou movimento” (SNZ, 1998a). Assim, as causas das fissuras podem ser identificadas.

#### 5.4 SOBRE OS ABRIGOS PÓS-DESASTRE

Os abrigos emergenciais servem ao atendimento de desabrigados, vítimas de desastres naturais ou antrópicos. No cenário pós-desastre os abrigos estão diretamente relacionados com a sobrevivência humana, pois são responsáveis pela garantia da segurança pessoal e proteção contra as condições climáticas, bem como pela dignidade humana, convívio em família e comunidade, permitindo que a população afetada recupere-se das consequências do desastre (VALENCIO, 2009).

Segundo Birch e Watcher (2006), existem três tipos de abrigo pós-desastre:

- Abrigos emergenciais – abrigos temporários, normalmente coletivos, como instalações em escolas, ginásios e galpões.
- Abrigos transitórios ou transicionais (*Transitional shelter* ou *T-shelter*) – abrigos temporários unifamiliares, onde os desalojados podem viver até reestabelecer sua moradia permanente, um período de três a cinco anos (HIRANO, 2012);
- Abrigos permanentes – moradia definitiva, depois da recuperação.

Segundo Santos *et al.* (2013b), a CTE pode ser uma opção interessante para a construção de abrigos emergenciais, dadas as suas características:

- Uso de material local (terra);
- Volume reduzido de materiais externos (bobina de tela);
- Baixa tecnologia necessária à construção;
- Caráter estrutural das paredes;
- Possibilidade de se construir fundações, vedações e cobertura com a mesma técnica;
- Placas metálicas e de madeira podem ser inseridas entre as camadas que formam as paredes, permitindo a inclusão de prateleiras, mesas, pias e outros;
- Baixa quantidade de resíduos após a demolição e
- Possibilidade de aplicação de acabamentos para se obter uma moradia definitiva, servindo aos três tipos de abrigo.

Mendes e Barbosa (2012) expõem que habitações transitórias são aquelas "construídas primeiramente como temporárias, tendo um baixo/médio grau de complexidade num primeiro momento, mas que permitem reformas graduais, podendo se transformar em casas permanentes". A CTE atende a esse requisito.

A CTE também atende às diretrizes de redução do impacto ambiental de sistemas construtivos inovadores propostas por Klein, Klein e Lima (2004):

- redução do desperdício de construção,
- redução do entulho, reaproveitamento de materiais,
- redução de insumos naturais,
- redução do consumo energético.

E permite a opção por construção com autoajuda (autoconstrução) e o uso de "materiais locais com vida útil prolongada, reutilizáveis ou, no mínimo, recicláveis e com baixo conteúdo energético" - itens apontados por Krügger (1998), como requisitos para a qualidade de habitação de interesse social (HIS).

#### 5.4.1 **Habitação de interesse social**

O abrigo permanente é tratado no Brasil como um tipo de habitação de interesse social, tendo os desabrigados pós-desastre prioridade em programas habitacionais, como o Minha Casa, Minha Vida. A lei nº 11.977, de 7 de julho 2009, que dispõe sobre o programa Minha Casa, Minha Vida e a regularização fundiária de assentamentos localizados



em áreas urbanas, prevê no Art. 3º, inciso III, prioridade de atendimento às famílias residentes em áreas de risco ou insalubres ou que tenham sido desabrigadas (BRASIL, 2009b).

A habitação de interesse social é uma unidade domiciliar econômica, definido pelo Código de Edificações do Distrito Federal (CEDF) como "conjunto de compartimentos ou ambientes interdependentes, de uso privativo em habitação, destinados a estar, repouso, preparo de alimentos, higiene pessoal e serviços de lavagem e limpeza, caracterizados pelo baixo custo dos materiais e acabamentos aplicados, com área máxima de sessenta e oito metros quadrados" (BRASIL, 2009a).

Os ambientes de uma HIS foram descritos por Martins (2009). Segundo ela, a cozinha é o local onde ocorrem as reuniões familiares diárias, e é também o cômodo onde são recebidas as visitas mais íntimas. A autora afirma que nos projetos arquitetônicos disponibilizados pelos programas habitacionais, a sala e a cozinha são conjugadas, mas que as famílias percebem esse ambiente conjugado como uma grande cozinha, estando a casa incompleta. Prompt (2012) constatou em seu estudo sobre CTE no interior do estado de Santa Catarina a intenção das famílias em repartir os ambientes, separando a cozinha da sala. Esta autora também constatou que a ampliação da área da cozinha e construção de um dormitório para visitas são os itens mais recorrentes em casos de reforma.

Os quartos são ambientes privados permeáveis somente ao grupo familiar. As portas dos quartos constituem barreiras visuais para a proteção destes ambientes íntimos (MARTINS, 2009). O banheiro é o local onde se liberam as impurezas do corpo e também onde são deixadas as roupas sujas com as quais se entra em casa. A autora observa uma preferência em se manter os banheiros distantes da cozinha, mesmo quando localizados dentro da casa. Prompt (2012) afirma que a localização próxima a entrada de serviço é a mais funcional.

Segundo o Código de edificações do Distrito Federal, varanda é o "espaço sob cobertura situada no perímetro de uma edificação, que se comunica com seu interior, provido ou não de guarda-corpo" Distrito\_Federal (1998). Castells (2001) destaca a importância da varanda para o cotidiano das famílias que vivem no meio rural e em assentamentos da reforma agrária, mesmo nas habitações de caráter provisório. As varandas são usadas para a recepção de visitantes mediando o interior e o exterior da casa e mantendo resguardados os ambientes mais íntimos das moradias (CASTELLS, 2001).

Nos estudos de Prompt, 2012, a varanda esteve presente em todas as moradias, resultando em elemento importante para a vida cotidiana por

ser um ambiente de descanso, contemplação, onde as famílias recebem visitas e observam a vida da comunidade (PROMPT, 2012).

Já o terraço é descrito como o local centralizador da convivência trabalho, família, comunidade em comunidades de baixa renda de tradição construtiva em terra (LIMA JÚNIOR, 2007).

## 5.5 DADOS DA REGIÃO DA CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

A construção foi possível devido ao interesse de um particular e sua disponibilidade de terreno e recursos para a construção, que serviria de depósito e apoio para obras no mesmo terreno. Por este motivo, a construção do protótipo foi feita no Distrito Federal brasileiro. Algumas das características dessa região que podem ser relevantes para futuros trabalhos podem ser contempladas na Tabela 15.

Tabela 15 - Características da região escopo.

Unidade da Federação	Distrito Federal
Capital	Brasília
Região administrativa	Park Way
Localização aproximada	Latitude: 15.78 S Longitude: 47.93 W
Zona bioclimática	4
Altitude:	1.172 m <sup>2</sup>
Temperatura média anual:	21°C
Clima	Tropical de altitude
Pluviosidade	1.400 – 1600 mm
Vento predominante	Norte
Solos predominantes	Latossolo vermelho e latossolo amarelo (areno-argilosos)

Fonte: (IBGE, 2013) (BRASIL, 2006).

Quanto às áreas e dimensões mínimas permitidas para moradias permanentes, foi consultado o Código de Edificações do Distrito Federal (CEDF) (Tabela 16).

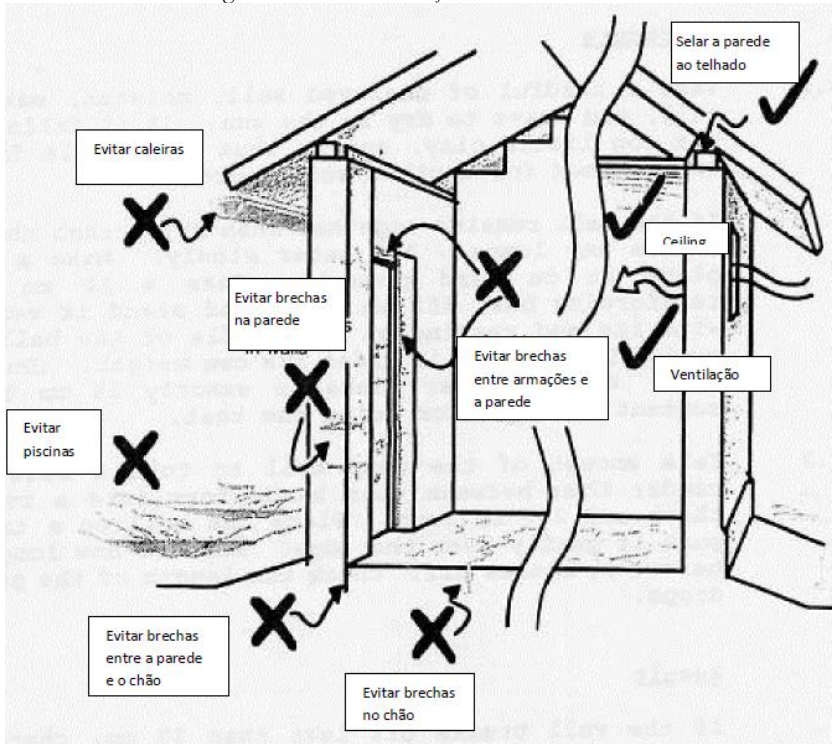
Tabela 16 - Áreas mínimas permitidas pelo CEDF.

<b>Espaços</b>	<b>Mínimos permitidos</b>
Área construída	-
Área útil	50 m <sup>2</sup>
Área de paredes	-
Dormitório principal	10 m <sup>2</sup>
Banheiro principal	1,10 m de diâm. livre
Dormitório secundário	9 m <sup>2</sup>
Sala de estar/TV/jantar	12 m <sup>2</sup>
Copa/cozinha	5 m <sup>2</sup>
Banheiro secundário	1,2 m <sup>2</sup>
Circulação	0,8 m de largura
Área de serviço	Se há dep.de empregados: 4 m <sup>2</sup> . Se não: 5 m <sup>2</sup> .
Garagem	2,25 m de pé direito

Fonte: BRASIL (2009a).

As Paredes e os pisos devem ser construídos de modo a evitar a possibilidade de lugares de abrigo para insetos e predadores artrópodes (Figura 92).

Figura 92 - Recomendações contra insetos.



Fonte: SAZ (2001).

## 6 METODOLOGIA

Neste capítulo está descrita a metodologia utilizada na execução deste trabalho, a qual pode ser dividida em seis partes:

- Metodologia de composição do referencial teórico;
- Metodologia de concepção e revisão do projeto-tipo;
- Metodologia de execução do protótipo;
- Metodologia de registro de informações sobre o protótipo;
- Metodologia de avaliação do desempenho do protótipo;
- Metodologia de avaliação da técnica de CTE.

Foi feita também a caracterização da pesquisa e dos procedimentos metodológicos.

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Gil (1991) *in* Da Silva e Menezes (2005), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com um problema para torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Os procedimentos metodológicos utilizados para este fim são o levantamento teórico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão.

A presente pesquisa é exploratória quando visa explicitar a falta de informação técnica e os problemas do uso informal da construção com terra ensacada no Brasil. O levantamento para este trabalho foi realizado através dos procedimentos técnicos: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e coleta de dados (GIL, 1991).

Segundo Da Silva e Menezes (2005), a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

Assim, trata-se também de uma pesquisa aplicada, pois, buscou-se gerar conhecimento para a aplicação prática das técnicas construtivas em terra ensacada para se solucionar seu uso sem informação técnica no Brasil, fruto da falta de informação sobre a construção em terra ensacada em geral, mas especialmente em língua portuguesa.

A pesquisa é experimental em função da aplicação na CTE de uma sacaria ainda não explorada cientificamente e a observação de sua influência no processo construtivo e no desempenho da edificação. Esta etapa da pesquisa foi realizada por meio do procedimento metodológico de prototipagem. Para avaliação estrutural do protótipo foi adotada uma abordagem observatória, para a avaliação da facilidade de construção foi adotada uma abordagem exploratória, com observação participativa.

Assim, esta é uma pesquisa aplicada, de abordagem observatória, exploratória e experimental, de caracteres quantitativo e qualitativo, cujo levantamento informacional foi realizado através dos instrumentos metodológicos levantamento teórico em canais formais, coleta de dados em canais informais e prototipagem, a fim de alcançar os objetivos da pesquisa, conforme a Tabela 17.

Tabela 17 – Relação entre objetivos específicos e procedimentos metodológicos.

		Procedimentos metodológicos				
		Pesquisa	Coleta dados	Concepção do projeto-tipo	Execução do protótipo	Avaliação
Objetivos específicos	Reunir informações sobre o estado-da-arte da CTE	x	x			
	Reunir recomendações sobre as boas práticas a respeito do processo construtivo com terra ensacada	x	x			
	Levantar requisitos de projeto acerca do projeto de edificações em terra crua	x				
	Aplicar os requisitos de projeto reunidos na concepção de um projeto-tipo em terra ensacada			x		
	Aplicar as recomendações sobre as boas práticas construtivas obtidas na construção de um protótipo				x	
	Registrar informações e aspectos relativos ao processo construtivo em terra ensacada.		x			x
	Analisar o desempenho da construção com terra ensacada segundo os parâmetros mensuráveis no contexto.		x			x
	Analisar qualitativamente a técnica de construção em terra ensacada como executada no protótipo.					x

Fonte: autoral, 2015.

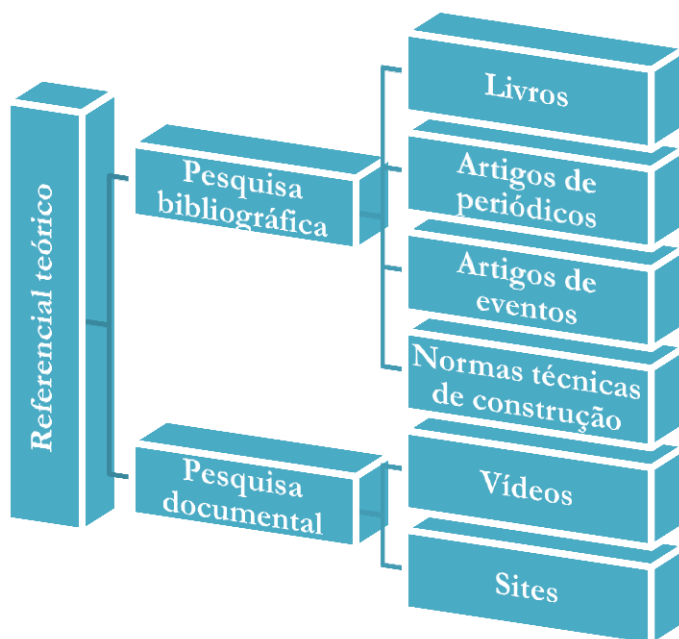
## 6.2 METODOLOGIA PARA A COMPOSIÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa foram reunidas informações sobre o estado-da-arte da CTE, as recomendações sobre as boas práticas a respeito do processo construtivo com terra ensacada e os requisitos normativos acerca do projeto de edificações em terra crua.

Buscou-se fazer uma compilação crítica e retrospectiva de várias publicações, demonstrando o estágio de desenvolvimento do tema da pesquisa e estabelecendo um referencial teórico para dar suporte ao desenvolvimento do trabalho, como recomenda Azevedo (1998).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, de acordo com Gil (1991), para a composição do referencial teórico foram realizadas pesquisa bibliográfica (a partir de material já publicado: livros, normas técnicas, artigos de periódicos e de congressos em meio físico e disponibilizado online pela Internet) e pesquisa documental (elaborada a partir de materiais sem tratamento analítico, como vídeos e endereços eletrônicos (*sites*)), conforme a Quadro 4:

Quadro 4 - Levantamento teórico: material adotado.



Fonte: autoral, 2014.



### 6.2.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica abordou os principais livros, artigos e normas sobre o tema.

Dentro da literatura encontrada, as publicações mais significativas foram:

- *Earhbtbag building: the tools, tricks and techniques* [Construindo com terra ensacada: as ferramentas, manhas e técnicas] (HUNTER E KIFFMEYER, 2004);
- *Building with earth: a guide to flexible-form earthbag construction* [Construindo com terra: um guia para a construção com terra ensacada em formas flexíveis] (WOJCIECHOWSKA, 2001);
- *Earthbag Building Guide: Vertical Walls Step-By-Step* [Guia de construção em terra ensacada: paredes verticais passo a passo] (GEIGER, 2011);
- *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture* [Construindo com terra: projeto e tecnologia para uma arquitetura sustentável] (MINKE, 2009).

Foram também acessadas as apostilas disponíveis no site da Rede ProTerra: Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo (NEVES ET AL., 2009); e Técnicas de construção com terra (NEVES E FARIA, 2011).

Utilizaram-se como referência os anais dos seguintes eventos que divulgam trabalhos científicos sobre a construção com terra:

- TERRABRASIL 2014 e 2012: Congresso de Arquitetura e Construção com terra no Brasil;
- EARTHUSA 2013: *Seventh International Earthbuilding Conference* [7º Congresso de Construção em Terra];
- NOCMAT 2013: *14th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies* [Congresso Internacional de Materiais e Tecnologias Não-convencionais];
- EARTHEN STRUCTURES 2007: *International Symposium on Earthen Structures* [Simpósio Internacional de Estruturas em Terra].

Os periódicos acessados foram os encontrados através do sistema de buscas dos sites Google Acadêmico e Portal Capes. Na revisão sistemática no site Portal Capes, o termo "*earthbag*" evoca 26 artigos em periódicos no Portal Capes, sendo 7 deles revisado por pares, desses, somente 2 realmente abordavam como tema principal construção com terra ensacada:

- *Earthbag housing: Structural behaviour and applicability in Sri Lanka* [Habitação em terra ensacada: comportamento estrutural e aplicabilidade no Sri Lanka] (DAIGLE, HALL E MACDOUGALL, 2011);
- *Design of sustainable relief housing in Ethiopia: an implementation of cradle to cradle design in earthbag construction* [Projeto para habitação de alívio pós-desastre na Etiópia: implementação do início ao fim de uma construção em terra ensacada] (BARNES ET AL., 2009).

O termo "superadobe" tem 4 referências, sendo 2 revisadas por pares e uma que trata do tema:

- *Low-cost solutions for Martian base* [Soluções de baixo custo para uma base em Marte] (KOZICKA, 2008).

O termo "*sandbag*" não traz referências que tratem da construção com terra ensacada de habitações, somente de diques.

Os termos "terra ensacada", "terra ensacada", "taipa ensacada" "hiperadobe", "*hyperadobe*" e "brickeradobe" não obtiveram resultados.

Também foram abordadas normas técnicas brasileiras e internacionais. As normas utilizadas para a caracterização do solo foram:

- ABNT NBR 7181:1984 Versão Corrigida: 1988, que prescreve o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento (ABNT, 1984b);
- ABNT NBR 6459:1984, norma que prescreve o método para determinação do limite de liquidez dos solos (ABNT, 1984a);
- ABNT NBR 7180:1984 Versão Corrigida: 1988, que prescreve o método para a determinação do limite de plasticidade e para cálculo do índice de plasticidade dos solos (ABNT, 1984c).

Na ausência de uma norma brasileira específica para a construção com terra crua, fez-se necessário atender aos requisitos da norma “NBR ABNT 15575:2012 - Edificações habitacionais — Desempenho” (ABNT, 2013a). Esta norma está dividida nas seguintes partes:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Para este trabalho, foram acessadas as partes 1, 2 e 4.

Como não se dispõe de normas de construção com terra crua não estabilizada, observou-se também o disposto na norma ABNT NBR 15.575-1, que diz: "na ausência de Normas Brasileiras prescritivas para sistemas, podem ser utilizadas Normas Internacionais prescritivas relativas ao tema" (ABNT, 2013a). Assim, foram abordadas normas internacionais.

Foram selecionadas para estudo as normas que abordam diversas técnicas de construção em terra crua compactada não estabilizada, já apresentadas na Tabela 10.

Quanto a trabalhos acadêmicos, utilizaram-se a dissertação de Cecília Prompt "Arquitetura de terra em unidades agrícolas familiares: estudo de caso no oeste catarinense" que trata de oito construções em terra ensacada realizadas por famílias em área rural no estado de Santa Catarina, Brasil, e sua opinião pós-ocupação (PROMPT, 2012) e as dissertações de mestrado em Arquitetura e Engenharia Civil da Universidade de Bath:

- *A Material and Structural Analysis of Earthbag Housing* [Uma análise material e estrutural da habitação em terra ensacada] (VADGAMA, 2010);
- *Structural Resistance of Earthbag Housing Subject to Horizontal Loading* [A resistência estrutural de uma habitação em terra ensacada sujeita a cargas horizontais] (CROFT, C., 2011).
- *Plastic limit analysis of earthbag structures* [Análise do limite plástico de estruturas em terra ensacada] (PELLEY, 2009)

### 6.2.2 Pesquisa documental

Como se trata de um assunto muito recente, mas amplamente divulgado na internet (NEVES E FARIA, 2011), como fonte de dados para a pesquisa documental foram usadas informações de endereços eletrônicos (*sites*) de instituições reconhecidas, como universidades e órgãos públicos, e também sites de autores e construtores de renome, como por exemplo:

- Cal-Earth (CAL-EARTH, 2014);
- Earthbag Building (GEIGER, 2015a);
- Universidade de Duhram (AUGARDE, 2014);
- CRATerre (ENSAG, 2014);
- UNESCO (2012);
- Caixa Econômica Federal (CEF, 2011); etc.

Os vídeos usados como referência foram os explicativos quanto ao processo construtivo, de autoria dos institutos:

- Cal-earth de Nader Khalili (KHALILI, 2005);
- Ecoflutuante de Fernando Pacheco (PACHECO, 2012).

Outras referências foram usadas para figuras e informações complementares.

### 6.2.3 Coleta de dados

Para complementar as informações recolhidas, foram realizadas coletas de dados com autores, construtores, proprietários e disseminadores da tecnologia. Tratou-se de entrevistas presenciais não estruturadas com os representantes considerados mais ativos na construção com terra no Brasil, com base na sua filiação com entidades promotoras desses processos construtivos. Foram realizadas entrevistas presenciais e eletrônicas não estruturadas com os principais autores consultados:

- Gernot Minke;
- Fernando Pacheco;
- Célia Neves;
- André Soares
- Jorge Timmermann e Suzana Marigoni,
- Chris Rollings;
- Quentin Wilson.

Os argumentos recolhidos nestas entrevistas sobre a construção com terra foram incorporados diretamente ao referencial teórico como entrevista pessoal, sob o nome de cada autor.

### 6.3 MÉTODO DE CONCEPÇÃO E REVISÃO DO PROJETO-TIPO

O projeto-tipo passou pelas seguintes fases de concepção e aprimoramento (Quadro 6).

Quadro 5 - Etapas de projeto.



Nesta seção, os projetos-tipo alcançados são apresentados por serem considerados parte do processo de produção do protótipo.

#### 6.3.1 Concepção do projeto-tipo

A primeira fase da concepção do projeto-tipo foi a escolha da finalidade da edificação. Consideraram-se as limitações de tempo e recursos, que apontavam para uma edificação pequena. Foram consideradas também as linhas de pesquisa já existente no PósARQ/UFSC. Dentre elas está a linha de pesquisa em intervenção e recuperação pós-desastre, abordada através do desenvolvimento da logística humanitária e da concepção de abrigos. Assim, contemplando-se a

possibilidade de que esta pesquisa pudesse fornecer informações também para esta importante causa, o partido arquitetônico adotado foi o de abrigo pós-desastre, uma vez que a CTE já foi usada para este fim.

Na etapa de concepção as recomendações e boas práticas reunidas no referencial teórico foram aplicadas na concepção de um projeto-tipo em terra ensacada, buscando-se atender aos requisitos para abrigo emergencial, dentro das possibilidades construtivas da técnica de CTE, também abordados no referencial teórico.

Visando atender às necessidades dos usuários da edificação proposta nos três momentos distintos (abrigo emergencial, abrigo transitório e moradia permanente), considerou-se adequada a opção por moradia tipo embrião, com possibilidades de futuras ampliações, também recomendado por Krügger (1998).

O projeto visou também à incorporação de mobiliário embutido, aproveitando as características da CTE.

Para escolher entre as técnicas de construção em terra ensacada, foram acessadas as vantagens e desvantagens das mesmas, apontadas nas referências pesquisadas. Neste primeiro momento do desenvolvimento do projeto, escolheu-se a técnica "superadobe" (terra ensacada em tecido plástico) por ser atualmente a técnica mais divulgada.

Quanto ao formato, apesar das formas arredondadas, em domo e catenárias terem forte apelo estético e conferirem estabilidade à construção com terra ensacada, optou-se por trabalhar tipologias ortogonais pelos seguintes motivos:

- Maior facilidade na instalação de aberturas e tubulações;
- Maior adaptação aos móveis disponíveis no mercado;
- Maior facilidade na inserção de madeiramento para os móveis embutidos;
- Maior facilidade na instalação do telhado convencional;
- Maior compatibilidade com a arquitetura, os terrenos e os costumes do local de escopo.

Essa escolha condiz também com a cultura construtiva predominante no Brasil e com o recomendado por Krügger (1998), que indica o uso de "paredes retas, sem curvas", como uma medida para racionalização da construção.

Estudaram-se os ambientes normalmente constantes em HIS descritos por Martins (2009). Escolheu-se incluir no abrigo transicional os ambientes: cozinha conjugada, quarto, banheiro e varanda.

A expansão prevê a construção de mais quartos e uma sala, isolando a cozinha. O quarto é fechado para que a área privada da casa pudesse ser

separada da área comum por meio de uma porta, criando dois ambientes e permitindo que a cozinha seja usada como quarto durante a noite (para as crianças) na fase de abrigo transitório.

O banheiro foi colocado de maneira distante da cozinha, para que atenda ao espaço íntimo durante a primeira ocupação e, após a ampliação, tenha acesso facilitado para a área de serviço e pátio.

Optou-se que a varanda fosse virada para o terraço. E projetou-se a expansão para que a cobertura construída para a varanda tivesse serventia na futura sala.

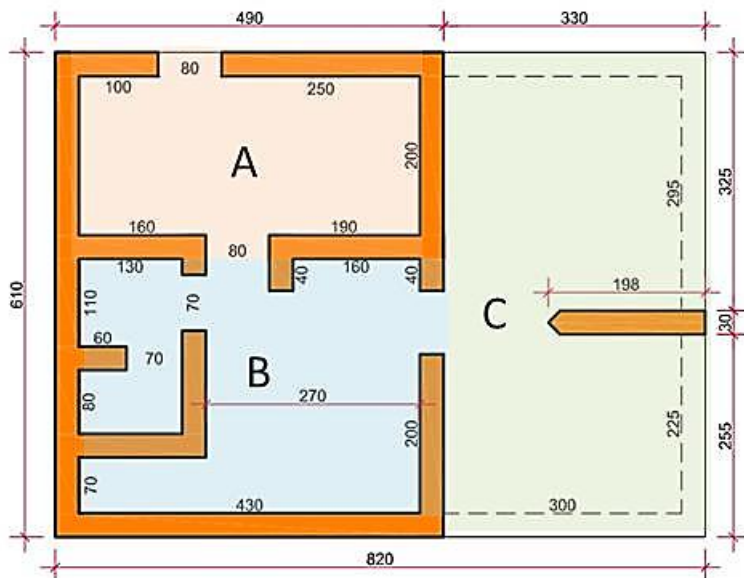
O projeto-tipo 1 foi desenvolvido baseado nas medidas dos móveis a embutir nas paredes. Foram incluídas prateleiras, camas, pias, mesa de estudo, mesa e bancos de cozinha. Outra preocupação foi que a ocupação do primeiro módulo não comprometesse a futura expansão da casa. Considerou-se não ser interessante incluir um banheiro no primeiro momento, em função da necessidade de que a região possuísse infraestrutura de saneamento básico para a coleta de esgoto.

Assim, o projeto-tipo foi elaborado com o auxílio técnico da arquiteta Aniara Hoffmann para ser construído em três momentos:

- A. No primeiro momento, o módulo (A) pode ser usado como abrigo emergencial. Trata-se de uma cozinha reversível em quarto, que prevê pia e balcão, prateleiras e uma cama de casal reversível em mesa e bancos de cozinha.
- B. No segundo momento de expansão, o módulo (B), concebido como um abrigo transitório, dois novos cômodos serão inseridos: banheiro e sala/quarto, que inclui mesa de estudos, estante para televisão, sofá-cama e um conjunto de prateleiras que pode ser usado como guarda-roupa.
- C. No terceiro momento, o módulo (C), concebido como uma moradia permanente, prevê a construção de dois dormitórios.

O projeto-tipo 1 pode ser visto na Figura 93.

Figura 93 - Projeto-tipo 1: o abrigo e suas possíveis expansões.



Fonte: autoral, 2012. Desenho em AutoCAD: Aniara Hoffmann, 2013.

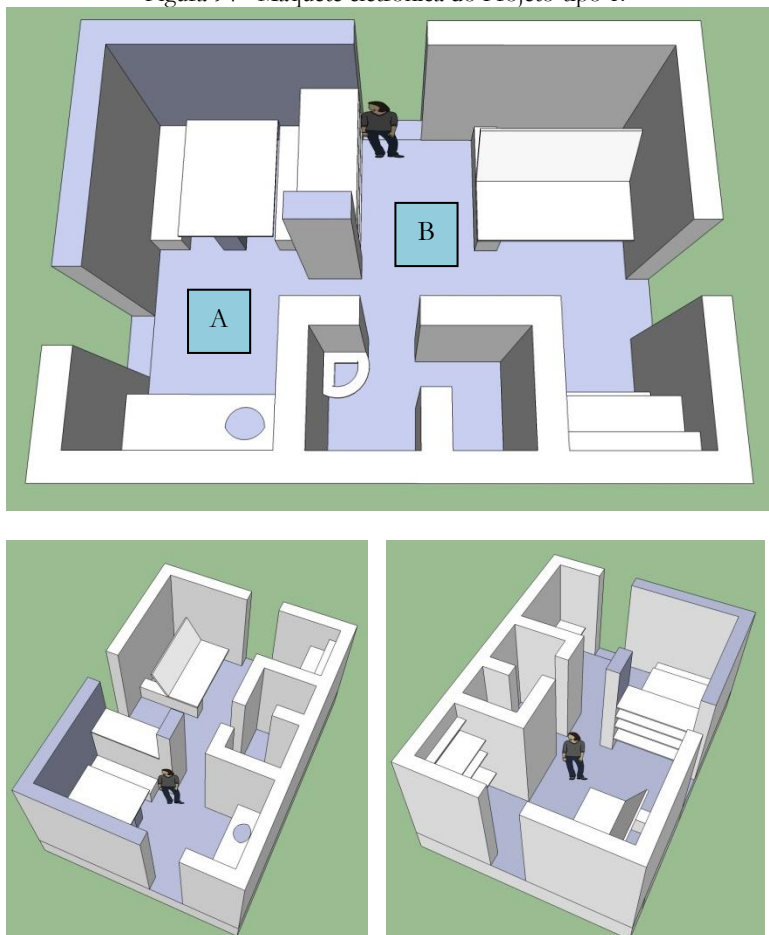
### 6.3.2 Modelagem eletrônica e em escala reduzida

Para representação do projeto-tipo 1, foi feita uma maquete eletrônica com a ferramenta GoogleSketchUp®

Vistas da maquete eletrônica em corte transversal a 2,6 m de altura com detalhes dos móveis embutidos encontram-se na Figura 94:



Figura 94 - Maquete eletrônica do Projeto-tipo 1.



Fonte: autoral, 2012.

Um modelo em escala reduzida foi feito em vista em corte transversal a 1,10 m de altura, em escala 1:10. Sua confecção foi financiada pela FAPESC e contou com o auxílio da arquiteta Aniara Hoffmann e da professora Lisiane Librelotto.

No modelo em escala reduzida, definiu-se que seriam usados sacos de polipropileno tecido, similares ao usado em construções, cortados e costurados à máquina. Para o suporte do modelo foi reaproveitada uma divisória descartada. Para as primeiras quatro fiadas, relativas à fundação estilo sapata corrida, foi utilizada uma mistura de cimento e solo, na

proporção 1:4. O aterro foi feito com solo compactado e o contrapiso com argamassa de cimento e areia, na proporção 1:3.

Para a confecção das paredes, como a terra não tinha fluidez suficiente para entrar na sacaria reduzida, foi usada areia lavada. Para fechar os sacos foram usados grampos. Na falta de um arame farpado em escala reduzida, para simular a conexão gerada por este entre os sacos foi utilizada uma camada de cola vinílica aplicada a cada duas fiadas. Nas pontas de paredes não amarradas ficou clara a necessidade de amarração vertical, o que foi feito com alfinetes de costura, simulando vergalhões.

Para representar a madeira dos móveis embutidos nas paredes, foi usado papel Paraná. Os outros móveis e as janelas de madeira foram comprados prontos, em escala 1:10.

O modelo em escala reduzida pode ser visto na Figura 95:

Figura 95 - Modelo em escala reduzida.



Fonte: autoral, 2012.

As ferramentas usadas foram: tesouras, estiletes, funis, pilão (garrafa de vidro) e grampeador.

O resultado do modelo em escala reduzida foi apresentado na Semana de Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Santa Catarina (*SEPEX/UFSC 2012 e 2013*) e encontra-se na Figura 96.

Figura 96 – Modelo em escala reduzida - Apresentação na SEPEX UFSC 2014.



Fonte: autoral, 2014.

As observações feitas no modelo embasaram a revisão da escolha da técnica e do projeto-tipo.

### 6.3.3 Revisões do projeto-tipo

As revisões do projeto-tipo foram feitas segundo as observações resultantes da modelagem em escala reduzida; segundo os requisitos estabelecidos pela ASTM, descritos no referencial teórico e segundo as condições bioclimáticas do local onde seria construído o protótipo, que foram abordados no referencial teórico.

Percebeu-se com a confecção do primeiro modelo a falta de aderência dos sacos de polipropileno tecido entre si e com o contrapiso. Percebeu-se também o trabalho extra gerado pelo excesso de paredes curtas no projeto e necessidade de se usarem tamanhos-padrões de madeira para otimização do processo construtivo, o que poderia ser feito

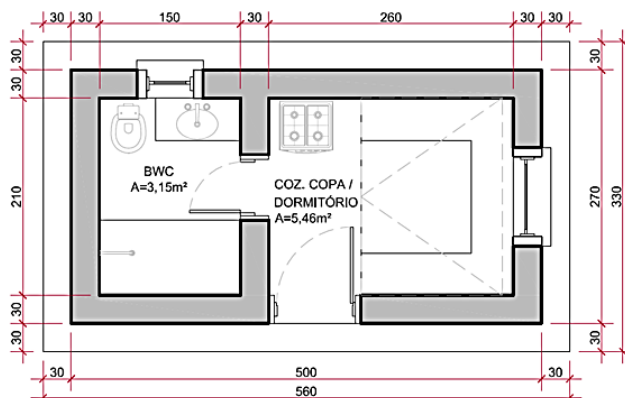
usando-se portas de tamanho padrão, material de fácil acesso, novo ou reaproveitado.

Sobre a técnica, além das observações feitas no primeiro modelo, durante o 14º NOCMAT - *14th International Conference on Non Conventional Construction Materials and Technologies* - foi possível discutir sobre a aplicação das técnicas estudadas com diversos pesquisadores da área de materiais não convencionais. Foi feita uma entrevista aberta com o pesquisador Gernot Minke, autor de *Building with Earth*, livro referenciado neste trabalho. Em entrevista, Minke reforçou os depoimentos encontrados em Santos (2010), apontando as dificuldades da aplicação da técnica superadobe, como a necessidade de aplicação de camada dupla de reboco armado com tela plástica (MINKE, 2013).

Optou-se então por trabalhar com a técnica “hiperadobe” pelas vantagens relatadas quanto à aplicação do reboco e dispensa do arame farpado; por demandar menos tempo para construir do que com sacos individuais e por ter menos referências que o “superadobe”. O “brickeradobe” não foi considerado porque à época ainda não tinha sido desenvolvido. Considerou-se interessante prever instalações sanitárias, pois, mesmo que o sistema de coleta não estivesse ativo num primeiro momento, poderiam ser projetadas instalações temporárias, como banheiro químico ou sanitário seco para tratamento de águas negras e sistema alternativo de tratamento de águas cinzas, à escolha do usuário.

Este projeto-tipo também foi concebido em módulos. O primeiro módulo (A - Abrigo emergencial) prevê um banheiro e um quarto para uma cama de casal, com prateleiras sobre a cama (Figura 97).

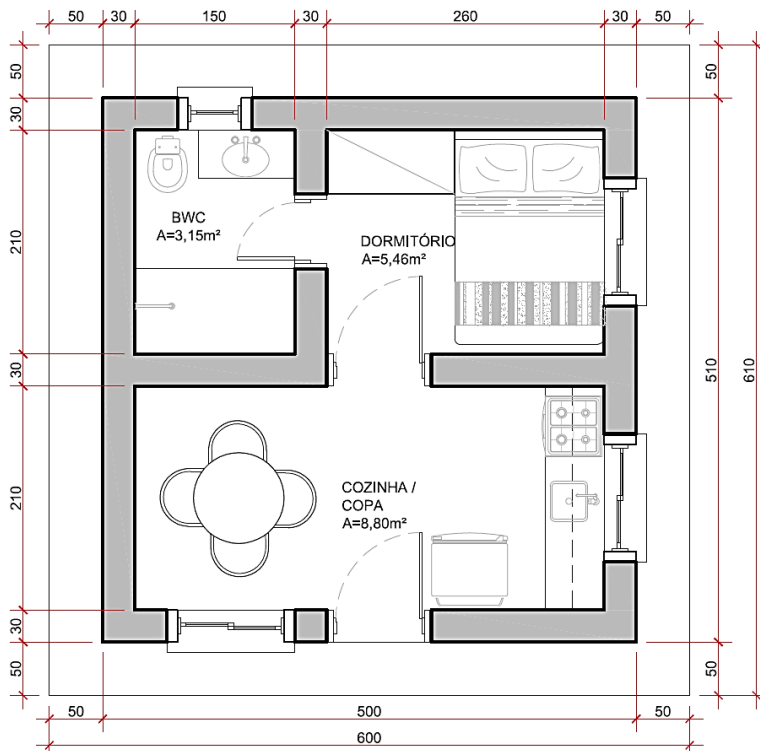
Figura 97 – Planta baixa do projeto-tipo 2, módulo A, abrigo emergencial.



Fonte: autoral, 2013. Desenho: Aniara Hoffmann, 2013.

O segundo módulo (B - Abrigo transitório) prevê a adição da cozinha conjugada (Figura 98).

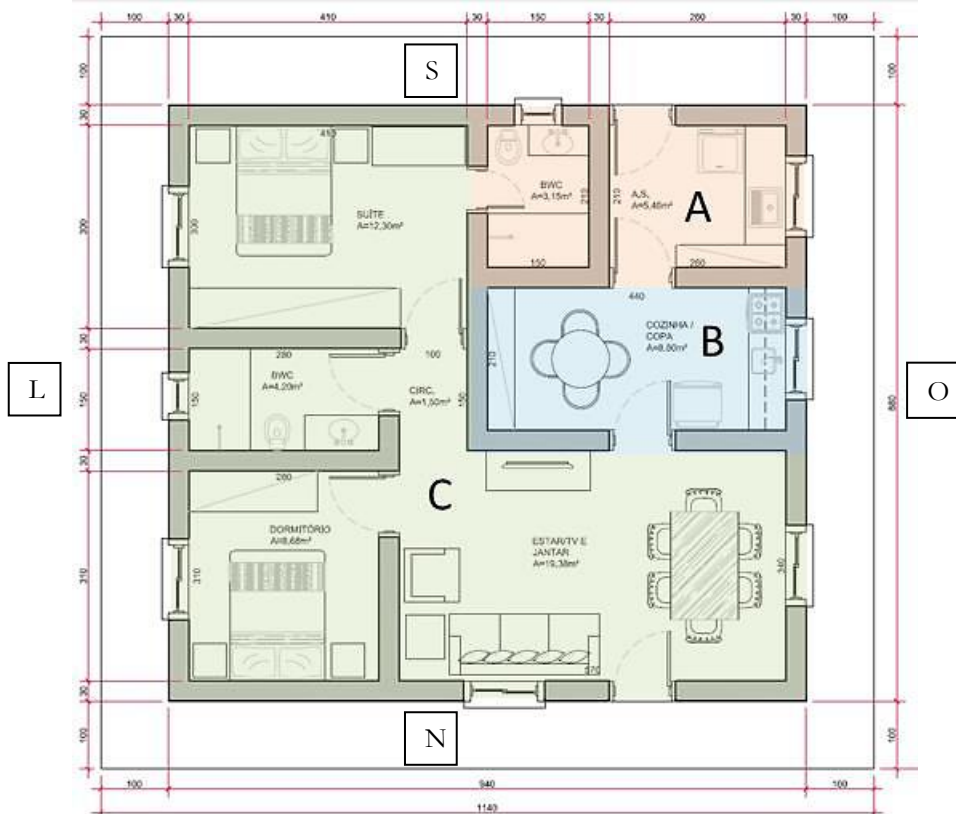
Figura 98– Projeto-tipo 2, módulo B, abrigo transitório.



Fonte: autoral, 2013. Desenho: Aniara Hoffmann, 2013.

O terceiro módulo (C - Moradia permanente de dois quartos) prevê a adição de uma sala, dois quartos e mais um banheiro, permitindo reverter o primeiro banheiro *en suite* (Figura 99).

Figura 99 -- Projeto-tipo 2 completo: módulos A, B e C - moradia permanente.



Fonte: autoral, 2013. Desenho: Aniana Hoffmann, 2013.

Este módulo atende às áreas e dimensões mínimas permitidas pelo Código de Edificações do Distrito Federal (CEDF).

Tabela 18 –Áreas Projeto-tipo 2 completo e áreas mínimas permitidas pela CEDF.

<b>Espaços</b>	<b>Mínimos permitidos</b>	<b>Módulo C (m<sup>2</sup>)</b>
Área construída	-	82,72
Área útil	50 m <sup>2</sup>	63,47
Área de paredes	-	19,25
Dormitório principal	10 m <sup>2</sup>	12,30
Banheiro principal	1,10 m de diâm. livre	3,15
Dormitório secundário	9 m <sup>2</sup>	9,00
Sala de estar/TV/jantar	de 12 m <sup>2</sup>	19,38
Copa/cozinha	5 m <sup>2</sup>	8,80
Banheiro secundário	1,2 m <sup>2</sup>	4,20
Circulação	0,8 m de largura	1,50
Área de serviço	Se há dep.de empregados: 4 m <sup>2</sup> . Se não: 5 m <sup>2</sup> .	5,46
Garagem	2,25 m de pé direito	5,46

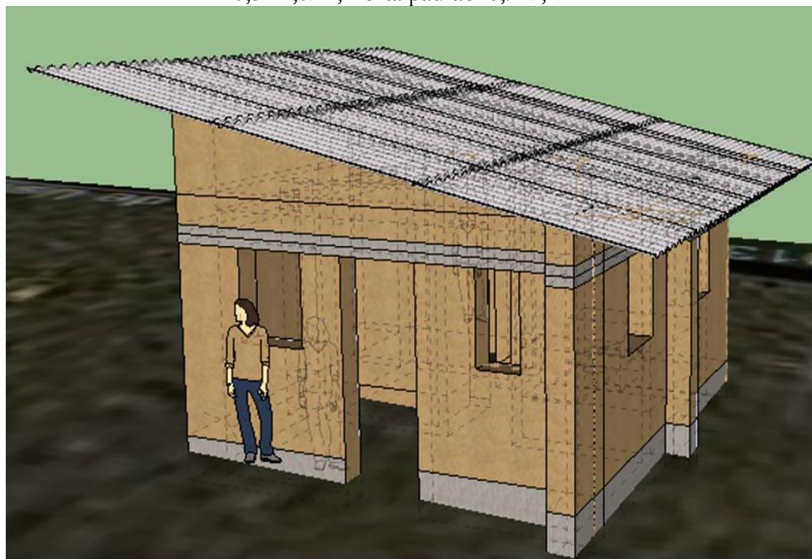
Fonte: autoral, 2014 e BRASIL (2009a).

Neste momento, considerou-se a colocação de contrafortes para aumentar a estabilidade das paredes com mais de 5,25 m, segundo recomendado pelo guia normativo da ASTM (ASTM, 2010). Para a construção, considerou-se, junto ao proprietário, que é engenheiro civil, que a amarração promovida pelas paredes internas seria suficiente.

O telhado teria uma única água com caimento para oeste, para que, com a construção dos próximos módulos, a moradia permanente tivesse duas águas de telhado.

Foi feita uma segunda maquete eletrônica no programa computacional Google SketchUp© representando o projeto-tipo 2 (Figura 100).

Figura 100 – Projeto-tipo 2: maquete eletrônica. Vista frontal- Janelas:  $0,8 \times 1,0 \text{m}^2$  e  $0,5 \times 1,0 \text{m}^2$ , Porta padrão:  $0,9 \times 2,1 \text{m}^2$ .



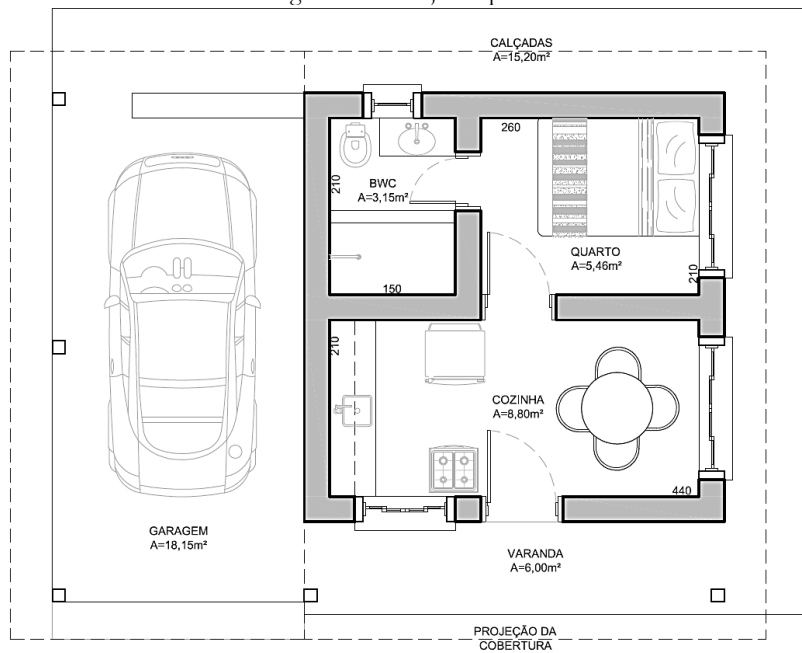
Fonte: autoral, 2013.

Foram consideradas as características bioclimáticas da região descritas na seção Dados da região , pg. 170, como ventos predominantes, chuva dirigida e a orientação solar, com auxílio da segunda maquete eletrônica. Foram consideradas também a posição da construção dentro do lote, as preferências do usuário quanto à vista e à vegetação existente. Acrescentou-se uma área coberta para abrigo de veículo e proteção contra sol e chuvas a leste e eliminou-se uma das janelas da sala para não exceder à taxa de vãos.

No projeto 3, resultante das revisões dos projetos-tipo, a água do telhado foi inclinada para o norte, no sentido quarto-sala, protegendo a construção da chuva dirigida e criando um ambiente de convivência dirigido para o terraço. Por preferência dos usuários, o quarto e a sala têm vista para o pôr-do-sol, o que não seria recomendável em função da insolação no período da tarde, mas a insolação é amenizada pela massa térmica da parede e pela vegetação, uma grande árvore caducifolia de folhagem densa. O projeto 3 foi denominado "Aconchego" e consta na Figura 101.



Figura 101 - Projeto-tipo 3.



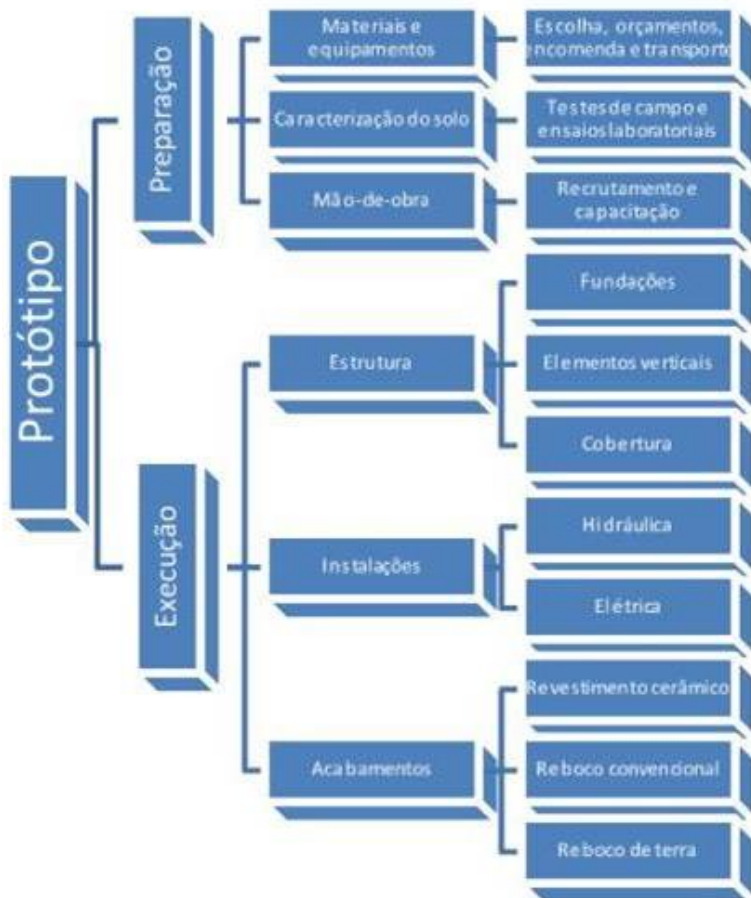
Fonte: autoral, 2014. Desenho: Aniana Hoffmann, 2014.

O projeto-tipo 3 foi usado para a construção do protótipo.

## 6.4 MÉTODO DE EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO

A execução do protótipo seguiu as seguintes etapas (Quadro 6).

Quadro 6 - Etapas da execução do protótipo.



Fonte: autoral, 2015.

Cada etapa fica descrita a seguir.

## 6.4.1 Etapa de preparação para a execução do protótipo

Nesta etapa foram feitas a seleção, orçamento e encomenda do material, dos equipamentos e a capacitação da mão de obra.

### 6.4.1.1 *Materiais e equipamentos*

Nesta seção são descritos os critérios de escolha e a forma de obtenção dos principais materiais usados para a estrutura: solo, sacaria, estabilizantes, madeiramento e telhas de material reciclável.

Foram realizados três orçamentos para cada item comprado e priorizado o mais barato, garantidas as mesmas condições de qualidade. Para as instalações, revestimentos e acabamentos foram usados materiais convencionais, podendo as discriminações de materiais e de custos serem apreciadas no Apêndice A. Informações sobre o processo de encomenda e transporte estão presentes quando relevantes.

O solo foi caracterizado por testes de campo e ensaios de laboratório. Nesta seção, resultados dos ensaios alcançados são apresentados por serem considerados parte do processo de produção do protótipo.

#### 6.4.1.1.1 Solo – obtenção, caracterização e estabilização.

Para a construção foram usados diversos tipos de solo. Areia média e brita 2 para calçamentos e areia fina para rebocos; saibro para os rebocos de terra e solo areno-argiloso para a construção das fundações e das paredes.

O solo para a construção das paredes foi obtido primeiramente através de contato com empresas que forneciam terra. Notou-se que ao se encomendar pelo telefone não era possível escolher um exato tipo de terra, já que as características do solo não eram conhecidas pelos vendedores, sendo restrita sua qualificação comercial em “terra para aterro” (uma terra de subsolo que se mostrou excessivamente argilosa e pouco maleável para ser usada nos sacos, mas útil para o aterro e nivelamento do terreno) e “terra para grama”, de características mais adequadas para a construção, ou seja, mais arenoso, mas sem matéria orgânica.

Para um segundo carregamento, identificou-se uma escavação para instalação de rede de esgoto com grande movimentação de terra no bairro, avaliou-se empiricamente o solo retirado. A identificação visual indicava solo do tipo latossolo vermelho escuro, solo areno-argiloso, característico

da região. Sendo um solo de características adequadas, encomendou-se terra dessa jazida.

Foram encomendados 16,00 m<sup>3</sup> de solo na primeira leva e mais 12,00 m<sup>3</sup> de "terra para grama" e depois mais dois carregamentos de aproximadamente 12 m<sup>3</sup> cada da jazida escolhida, totalizando 52,00 m<sup>3</sup> de solo. A maior parte deste solo (40,00 m<sup>3</sup>) foi usada na confecção das paredes, outra parte para o reboco interno (1,0 m<sup>3</sup>), mais uma parte para aterro e nivelamento do contrapiso.

Como a terra tem um custo baixo <sup>32</sup>, relativo somente ao custo de carregamento e transporte, uma vez que muitos construtores precisam justamente descartar esse material, preferiu-se manter o recurso em sobra durante a obra, já que o custo de ter a mão de obra parada não compensa e que a terra pode ser espalhada depois, com contribuição ao paisagismo.

Para a caracterização do solo, foram realizados testes em campo e ensaios em laboratório. Com os resultados desta análise, foram identificados a adequação do solo e o melhor aglomerante para a estabilização.

#### 6.4.1.1.1 Testes de campo

Para verificar a adequação do solo disponível para a construção com terra, foram aplicados os testes de campo (testes expeditos) sugeridos por (MINKE, 2009) e (NEVES *ET AL.*, 2009): teste do copo e teste da bola, descritos no referencial (Figura 103 e Figura 104).

Figura 102 - Testes expeditos de caracterização de solo.



Fonte: autoral, 2013.

---

<sup>32</sup> Preço entre R\$15,00/m<sup>3</sup> e R\$20,00/m<sup>3</sup> em outubro de 2013, para a região.

Figura 103 - Testes expeditos de caracterização de solo.



Fonte: autoral, 2013.

O teste do copo não permitiu a visualização nítida das diferentes camadas de partículas como esperado. Acredita-se que a argila criou um ambiente "gelatinoso", como descrito por (FARIA E CARVALHO, 2014). De toda a forma, foi possível ver que não havia matéria orgânica, pois não havia sedimentos em flutuação.

O teste da bola permitiu se avaliar empiricamente a qualidade favorável do solo e a umidade ótima de compactação antes de cada turno de trabalho.

#### **6.4.1.1.2 Ensaios laboratoriais**

Foram realizados ensaios laboratoriais de caracterização do solo por meio da parceira com o Laboratório de Geotécnica da Universidade de Brasília<sup>33</sup>. Os ensaios foram realizados segundo as especificações das normas brasileiras dispostas na Tabela 19.

---

<sup>33</sup>, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, com o apoio do Prof. Dr. Luís Fernando Martins Ribeiro e dos Técnicos de Laboratório Thiago do Amparo Espíndola, Jonas Silva de Freitas e João Batista.

Tabela 19 - Ensaio e normas de caracterização de solos.

<b>Ensaio</b>	<b>Normas ABNT</b>
Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização	NBR 6457:1986 (ABNT, 1986a)
Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio	NBR 16097:2012 (ABNT, 2012)
Solo — Análise granulométrica	NBR 7181:1984 (ABNT, 1984b)
Solo - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio sedimentométrico comparativo - Ensaio de dispersão SCS - Método de ensaio	NBR 13602:1996 (ABNT, 1996)
Solo — Limites de consistência de Atterberg; Limites de Liquidez e Plasticidade.	NBR 6459:1984 e NBR 7180:1984 respectivamente (ABNT, 1984a; 1984c).

Na Figura 104 podem-se ver outros detalhes dos ensaios de caracterização de solos realizados:

Figura 104 - Detalhes dos ensaios de caracterização de solos realizados.



Preparação das amostras: destorroar e peneirar



Ensaio para se determinar o de limite de liquidez



Ensaio para se determinar o de limite de plasticidade

Ensaio sedimentométrico comparativo  
e densimetria computadorizada.

Fonte: autoral, 2014.

A granulometria sem defloculante resultou na (Tabela 20).

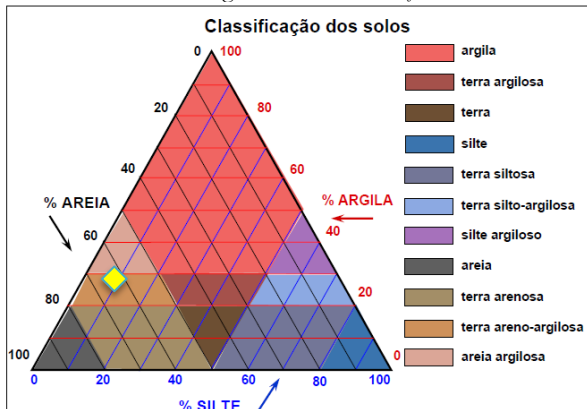
Tabela 20 - Resultado da análise granulométrica.

MATERIAL	(%)
20,0<Pedregulho grosso<60,0	0,0
6,0<Pedregulho médio<20,0	0,0
2,0<Pedregulho fino<6,0	0,0
0,6<Areia grossa<2,0	26,7
0,2<Areia média<0,6	20,9
0,06< Areia fina <0,2	23,3
0,002 < Silte < 0,06	6,9
Argila < 0,002	22,2

Foram calculados os limites de consistência (limites de liquidez e plasticidade) para o solo a ser usado. O índice de plasticidade encontrado foi de 13%.

Considerando-se um total de areias de 70,9%, o material estava de acordo com o especificado para a taipa pelo CRATerre, o qual deve apresentar baixa quantidade de silte, pouca matéria orgânica, e teor em torno de 30% de argila e 70% de areia (HOUBEN E GUILLAUD, 1989) (Gráfico 6 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Gráfico 6 - Diagrama de classificação de solos.

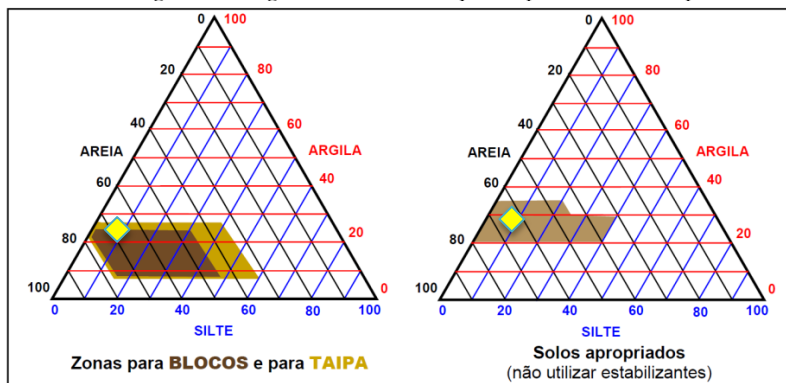


Fonte: adaptado de Moran (1984) por Neves *et al.* (2009).



Com o resultado dos ensaios, foi avaliado se o solo disponível era adequado para a construção em terra compactada, segundo as especificações para a taipa do Gráfico 7, onde o losângulo amarelo representa o solo utilizado:

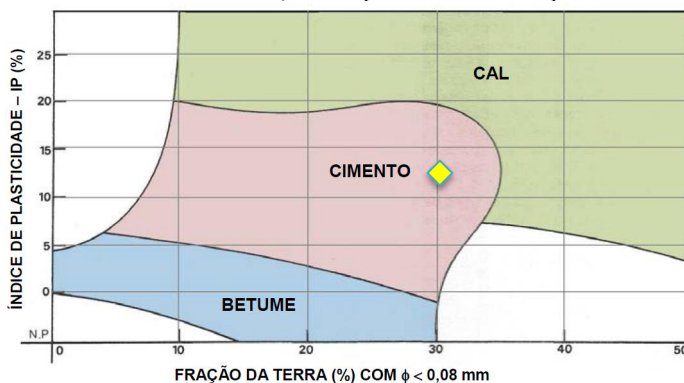
Gráfico 7 - Diagramas das granulometrias adequadas para blocos e taipas.



Fonte: Hartkopf (1981) e Moran (1984) adaptados por (NEVES *ET AL.*, 2009).

Para determinar qual seria o melhor estabilizante para as fundações e cinta de amarração, foi usado o Gráfico 8, considerando-se 29,1% das partículas inferiores a 0,08mm. O losângulo amarelo representa o solo utilizado.

Gráfico 8 - Determinação do tipo de estabilizante para a CT.



Fonte: Neves *et al.* (2009).

Conforme o enquadramento do solo, definiu-se que o estabilizante usado para as fundações seria o cimento.

#### 6.4.1.1.2 Sacaria

Optou-se por se usar a sacaria em tela plástica PEAD-MR de nome comercial Biopack®, desenvolvida pela empresa Citropack para este fim. Para esta construção, foi encomendada uma bobina de 1000 m de saco contínuo em tela de PEAD, malha Raschel, tipo Biopack®, na cor branca, da empresa paulista Citropack Ltda., especificado na Tabela 21:

Tabela 21 - Especificações tela Biopack®.

Tela Biopack®	Especificações
	Matéria prima: PEAD
	Tipo de malha: Raschel
	Comprimento: até 1000 m lineares
	Largura: 0,35 m
	Cor: Variável
	Preço (em 2013) R\$ 850,00 (+frete)

Fonte: Citropack (2012).


#### 6.4.1.1.3 Madeiramento

Foi usada madeira certificada para toda a obra. Foram usadas tábuas de pinus para as fôrmas e madeira de angelim, jatobá e amargoso para as vergas das portas. O madeiramento usado encontra-se no Apêndice A, discriminado com os outros materiais e seus custos.

#### 6.4.1.1.4 Telhas

Com o intuito de se usarem túneis de luz e melhorar o desempenho lumínico do protótipo, para a cobertura optou-se pelo uso de telhas de material reciclado, mais especificamente de recortes de embalagens de pasta de dente unidos por resina. O material aproveita resíduos não recicláveis e pode ser serrado (Tabela 22).

Tabela 22 - Especificações técnicas da telha de material reciclado Ecopreserve®.

Telha Ecopreserve®	Especificações técnicas	
	Matéria prima:	Recorte de embalagem
	Espessura:	6,0 mm
	Comprimento:	2,20 m
	Largura:	0,96 m
	Cor:	Variável
	Peso	12,5 kg

Fonte: Ecopreserve (2012).

Segundo o fabricante, este tipo de telha é resistente aos raios UV, a fungos, a granizo, a trincas e a quebras; pode ser serrado ou furado, suporta até 150 kg/cm<sup>2</sup>, é 100% impermeável e não possui celulose; é inodora, leve e 60% mais isolante que telhas de amianto (ECOPRESERVE, 2012).

#### 6.4.1.2 Equipamentos

Foram adquiridas ou emprestadas para o uso na obra as seguintes ferramentas (Tabela 23).

Tabela 23 Ferramentas utilizadas.

Ferramentas	Qtd	Ferramentas	Qtd	Ferramentas	Qtd
Alicate de corte	1	Funil	1	Pilão	2
Balde	4	Furadeira	1	Serra circular	1
Bandeja de pintura	2	Martelo de borracha	2	Régua de reboco (perfil de alumínio)	1
Barbante (rolo)	1	Lápis	1	Prumo	1
Carrinho de mão	1	Luvas	1	Rolo de pintura	2
Colher de pedreiro	3	Martelo	1	Protetores auriculares	5
Desempenadeira	3	Furadeira	1	Serra tico-tico	1
Enxada	2	Nível	1	Lixadeira	1
Faca	1	Pá	2	Soquete	1
Fita métrica	1	Peneira	2	Trena de 20m	1

Fonte: autoral, 2014.

Foram produzidos os seguintes instrumentos em madeira:

- Compactadores (pilões);
- Caixas para misturar o reboco;
- Fôrmas para a as vergas das janelas;
- Cavaletes para desenrolar a bobina de sacaria.

Foram oferecidos aos trabalhadores equipamentos de proteção individual (EPI) como óculos escuros, luvas, protetor solar, auricular e botas.

Ademais, foram alugados andaimes para acessar o topo das paredes, à medida que estas iam sendo construídas e para servir de apoio para o corte de madeiras.

### **6.4.1.3 Mão de obra**

Foram feitos o recrutamento e a capacitação da mão de obra, segundo as orientações de Kennedy (2009): usar estímulos visuais e vídeos; estimular a participação e as perguntas; incentivar a comunidade e os voluntários.

#### **6.4.1.3.1 Recrutamento de mão de obra.**

Como se trata de um sistema construtivo recente, não foram encontradas equipes que oferecessem o serviço de construção com terra ensacada.

Em um primeiro momento, na tentativa de economizar, contratou-se mão de obra (MdO) por diária. Evidenciou-se que era uma tentativa em vão, uma vez que esses funcionários não possuíam compromisso com o resultado da obra, frequentemente faltando e obrigando à administração a achar e treinar funcionários na última hora, sem conseguir formar uma equipe.

Em um segundo momento, foi contratada mão de obra por empreitada (primeira equipe). A falta de experiência com a técnica levou o empreiteiro a cobrar um valor muito inferior ao necessário. Como consequência, o empreiteiro tentou levar o trabalho a cabo com somente dois funcionários, que naturalmente consideraram a construção extenuante, necessitando de muito esforço físico. Uma vez revisto o valor, constatou-se que mesmo assim a empresa não teria condições de transportar mais funcionários para o local da obra, o que obrigou a quebra de contrato, causando significativo atraso (3 meses).

No terceiro momento foi contratado outro empreiteiro. Contando com mais experiência e equipe consolidada e cordata (segunda equipe), foi possível concluir a obra com tranquilidade e troca de experiências.

#### **6.4.1.3.2 Capacitação de mão de obra**

A capacitação da segunda equipe de MdO fez-se primeiramente através da exibição do projeto do protótipo e do vídeo 'Hiperadobe' da Ecoflutuante (ECOFLUTUANTE, 2013). As perguntas que surgiram foram respondidas antes do início do trabalho, economizando tempo e alinhando as ações.

A segunda parte foi prática, com a tentativa de construir as fiadas já no local onde seriam as paredes.

Para o decorrer da obra, no tocante à mão de obra seguiram-se as premissas filosóficas de:

- Patton: "Nunca diga às pessoas como fazer as coisas. Diga-lhes o que deve ser feito e elas surpreenderão você com sua engenhosidade";
- Paulo Freire: "Nenhum homem é um copo vazio";
- Carl Jung: "Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana".

Assim, foi mantido um diálogo aberto tanto com o empreiteiro quanto com a mão de obra. Seguidamente se abriu espaço para saber se eles tinham sugestões para resolver problemas ou melhorar processos.

#### **6.4.2 Etapa de execução do protótipo**

Como mencionado, a construção foi possível devido ao interesse de um particular e sua disponibilidade de terreno e recursos para a construção, que serviria de depósito e apoio para obras no mesmo terreno. Por este motivo, a construção do protótipo foi feita no Distrito Federal brasileiro. Algumas das características dessa região relevantes para o trabalho foram descritas na seção Dados da região, pg. 170.

Para a construção do protótipo, elegeram-se os módulos A e B do projeto 3. Foram feitas as especificações do sistema construtivo adotado conforme a Tabela 24.

Tabela 24 - Especificações do sistema construtivo.

<b>Elemento</b>	<b>Discriminação</b>
Fundações	Sapata corrida em hiperadobe estabilizado química e mecanicamente: quatro fiadas de terra ensacada com adição de estabilizante (cimento) proporção 4:1, compactadas.
Contrapiso	Concreto, traço 1:2:3 (cimento: areia lavada média: brita 2)
Estrutura e vedação	Elemento vertical em hiperadobe estabilizado mecanicamente.
Instalações hidrossanitárias	Tubulação em PVC, instalações hidráulicas aparentes.
Instalações elétricas	Eletrodutos e quadro de distribuição em PVC, fiação de cobre de 2,5; 4,0 e 6,0 mm.
Amarração	Cinta de amarração em hiperadobe estabilizado granulométrica, química e mecanicamente.
Vergas e contravergas	Moldura em madeira para as portas e em concreto armado para as janelas.
Esquadrias	Janelas de aço galvanizado e portas de madeira.
Pisos	Cerâmico.
Revestimento áreas molhadas	Azulejo até 1,50m de altura na parede do balcão da cozinha e até o teto no banheiro.
Revestimento quarto	Rebocos de terra.
Revestimento cozinha conjugada	Chapisco e reboco de cimento e areia (1:4), tinta acrílica à base de água.
Mobiliário embutido	Bancadas de granito, pias de aço inox, prateleiras de madeira.
Cobertura	Telha de material reciclado (recortes de tubo de pasta de dente).

Fonte: autoral, 2013.

A construção do protótipo passou pelas etapas de preparo do terreno, execução da estrutura (fundações, vedações, vergas e cobertura), das instalações (hidráulicas e elétricas) e dos acabamentos (chapisco, emboço, reboco, massa corrida e pintura). Algumas etapas da execução do protótipo foram registradas em imagens e são apresentadas nesta seção, a fim de ilustrar os métodos usados.

#### **6.4.2.1 Preparação do terreno**

Na primeira fase da obra foram feitos manualmente aterro, nivelamento do solo, compactação do solo e locação da obra.

#### **6.4.2.2 *Processo construtivo em terra ensacada***

O processo construtivo foi feito com preenchimento e compactação manuais da sacaria. Esta opção se deu por ser a mais provável onde se tem necessidade de abrigo pós-desastre, por usar ferramentas simples, energia humana e favorecer à autoconstrução.

Considerou-se a locação de um compactador de solo (sapo) ou de uma betoneira, mas concluiu-se que não valeria a pena, uma vez que o preço de locação por dia é equivalente ao dia de trabalho de um auxiliar de pedreiro. No caso preferiu-se investir em pessoas a máquinas e manter os dados de produtividade para a execução manual. Além disso, emissões com transporte e consumo de energia elétrica foram poupados.

Os procedimentos seguiram o indicado no referencial para a sacaria em tela plástica (PEAD-MR), como pode ser visto na Figura 105:

Figura 105 - Processo construtivo em terra ensacada: preenchimento da sacaria, amarração das pontas, compactação superior, compactação lateral.



Fonte: autoral, 2013.

#### 6.4.2.2.1 Fundação e contrapiso

Para a fundação foi cavada manualmente uma vala de 30 cm de profundidade, onde foram preenchidas as primeiras quatro fiadas com uma mistura de solo-cimento na proporção volumétrica de um para quatro (1:4), para conter a umidade vinda do solo por capilaridade. Foram construídas as paredes até a altura de 40 cm.

Apesar de a literatura apontar valores muito inferiores de cimento, seguiu-se a recomendação de Cláudio Jacintho de usar o traço de 1:4 (cimento e terra), que teve bons resultados com a técnica na região escopo, já que o terreno é bem drenado, mas uma estação é muito chuvosa (JACINTHO, 2010).

Além das paredes, foram construídas as extensões de paredes para servirem de ancoragem para as paredes do módulo C.

Figura 106- Módulos (A) e (B) - Detalhe da extensão da parede.



Fonte: autoral, 2013.

Uma camada impermeabilizante poderia ter sido colocada entre a fundação estabilizada e as paredes de terra crua. Infelizmente o primeiro empreiteiro ignorou esta orientação e o balde de impermeabilizante foi encontrado cheio depois que a segunda equipe já tinha concluído a construção das paredes.

O solo foi nivelado e compactado manualmente para a aplicação do contrapiso, que foi feito de maneira convencional, com concreto leve,



traço 1:2:3 (cimento: areia lavada média: brita 2). Antes da aplicação do contrapiso foram deixadas as esperas para a fiação e as saídas de esgoto.

#### 6.4.2.2 Vedação

As paredes foram feitas com terra crua, uma vez que a terra disponível respondeu positivamente aos testes e ensaios de solo já descritos.

Considerou-se usar a saliva de cupim sintetizada para a estabilização das paredes e o reboco, para tanto, entrou-se em contato com a empresa fabricante do DS-328, em São Paulo, a Dynasolo. Conforme advertido pela pesquisadora Andréa Corrêa, o volume de produto a ser usado é mínimo e a empresa vende em quantidades de no mínimo um tonel de 200L, que custaria R\$2.750,00 mais o valor do frete. Apesar dos resultados positivos apontados pela pesquisa de Corrêa e de o produto ter validade de 15 anos, se bem acondicionado, mesmo aberto, esse valor extrapolava as intenções de gastos (CORRÊA, 2014).

À medida que as paredes foram sendo erguidas, andaimes foram instalados para facilitar o acesso e aumentar a segurança para o trabalho em altura. Notou-se a dificuldade de se utilizarem equipamentos de proteção individual (EPI). Segundo os trabalhadores, as botas acumulavam barro, ficando escorregadias, o que tornava seu uso perigoso. Investigou-se a possibilidade de se usar equipamentos de segurança para trabalho em altura, mas não havia ponto de apoio.

Prateleiras de madeira foram instaladas na cozinha, na sala e no dormitório durante a produção das paredes. Este e outros detalhes podem ser vistos na Figura 107.

Figura 107 - Processo construtivo visto de cima do nível das vergas.



Fonte: autoral, 2014.

#### 6.4.2.3 Aberturas

Para as janelas foram usadas molduras de concreto armado leve, a fim de se evitar que eventuais assentamentos da parede de terra pudessem comprometer a abertura das janelas. As molduras de concreto foram feitas com agregado leve vermiculita, traço 1:3, em fôrmas de madeira, com encaixe macho e fêmea; com a contraverga mais larga que a parede e com um friso na face inferior, de modo que ficasse saliente e servisse de pingadeira. (Figura 108).

Figura 108 - Vergas em concreto leve das janelas.



Fonte: autoral, 2014.

Já para as esquadrias, foram eleitas as de aço galvanizado por terem maior custo-benefício e já serem gradeadas, uma vez que a região é isolada.

As esquadrias foram pintadas com spray para metais, depois do término da obra, foram instalados os vidros (Figura 109).

Figura 109 - Esquadrias de aço galvanizado.



Fonte: autoral, 2014.

As portas usadas foram de madeira, com portais convencionais inseridos em marcos e vergas superiores da largura da parede também de madeira (Figura 110). Durante a construção das paredes, os portais foram mantidos abertos por tábuas. Frisa-se a importância de que elas sejam pregadas conforma a Figura 110, sinalizadas ou embaladas em material macio para evitar acidentes:

Figura 110 - Portais e marcos.



Fonte: autoral, 2014.

#### **6.4.2.4** *Cinta de amarração*

A cinta de amarração foi feita com concreto ensacado na mesma tela (PEAD-MR). Traço: 1 carrinho de mão (rente) de terra, 1 carrinho de mão (rente) de areia média lavada e 1 saco de cimento. A cinta de amarração serviu como verga da porta principal, uma vez que a madeira comprada para este fim foi cortada inadvertidamente (Figura 111).

Figura 111 Cinta de amarração em terra ensacada estabilizada.



Fonte: autoral, 2014.

#### **6.4.2.5** *Cobertura*

Como mencionado, para a cobertura optou-se pelo uso de telhas de material reciclado, confeccionadas com recortes de tubo de pasta de dente e resina. Formas seguidas as especificações para o uso das telhas conforme o manual de instruções (ECOPRESERVE, 2012). Es telhas foram recortadas para permitir a entrada de luz, através da instalação de pedaços de telhas transparentes de acrílico.

#### **6.4.2.6** *Instalações*

Foram feitas instalações hidráulica e elétrica de maneira convencional. Optou-se por manter as tubulações das instalações hidráulicas aparentes, para prevenir que eventuais vazamentos pudessem vir a comprometer a integridade das paredes de terra (Figura 112).

Figura 112 - Tubulação aparente.



Fonte: autoral, 2014.

Para recebimento do esgoto, foi construída uma fossa séptica com oito manilhas de 0,90 m de diâmetro por 0,5 m de profundidade, totalizando 4,00 m.

As instalações elétricas foram embutidas no reboco (Figura 113).

Figura 113 - Instalações elétricas embutidas no reboco.



Fonte: autoral, 2014.

### 6.4.2.7 *Revestimentos e Acabamentos*

Foram usados revestimentos e acabamentos convencionais (cimento como aglomerante) e rebocos de terra (argila e cal como aglomerante).

#### 6.4.2.7.1 **Acabamentos convencionais**

Por opção do dono da propriedade, como pode ser visto na Figura 114, o acabamento e o revestimento das faces externas das paredes, da sala e das áreas molhadas (cozinha e banheiro) foi feito de maneira convencional:

- Chapisco e emboço de cimento Portland e areia lavada média 1:4;
- Reboco de cimento Portland e areia lavada fina.

As áreas molhadas receberam argamassa colante e revestimento cerâmico, já as faces externas e a sala receberam massa corrida e tinta epóxi.

Figura 114 - Acabamento convencional: reboco e chapisco em cima da prateleira, emboço embaixo; massa corrida e tinta epóxi na sala; revest. cerâm. no banheiro.



Fonte: autoral, 2014.

Na sala, foi deixada um testemunho no acabamento para mostrar a técnica de terra ensacada usada (Figura 115).

Figura 115 - Área da parede sem reboco, testemunho do processo construtivo.



Fonte: autoral, 2014.

Com a dificuldade de se dar acabamento nas esperas das paredes, foi aceita a sugestão do empreiteiro/mestre de obras de que fossem transformadas em balcões (Figura 116).

Figura 116 - Esperas das paredes ampliadas e transformadas em balcões.



Fonte: autoral, 2014.

Tais traços propiciaram testar o comportamento do revestimento menos flexível mediante a possibilidade de expansão das paredes em TE.

#### 6.4.2.7.2 Acabamentos alternativos

“O conhecimento nos faz responsáveis”.  
Che Guevara

Apesar do estudo de rebocos alternativos não estar incluído no plano inicial da pesquisa, muitas referências acessadas durante o levantamento teórico indicavam as vantagens desse tipo de reboco e as

consequências positivas para a saúde da edificação e também os relatos do fracasso de rebocos convencionais de argamassa de cimento em edificações de terra (MINKE, 2013b; HUNTER E KIFFMEYER, 2004; WOJCIECHOWSKA, 2001; ASTM, 2010).

Assim, foram dedicadas mais duas semanas à fabricação de acabamentos (rebocos) e revestimentos (pinturas) alternativos para o dormitório. Acredita-se que ter a face interna das paredes "respirando" possa favorecer o fluxo de umidade e contribuir para que as patologias mencionadas não venham a ocorrer.

Márcio Hoffmann da Rede ProTerra defende que devem ser feitos diversos testes para se definir o melhor traço para o revestimento (HOFFMANN, M., 2014), no entanto, como já se havia caracterizado o solo, optou-se por partir de experiências consolidadas de rebocos alternativos sobre terra ensacada. Usaram-se os traços de Hunter e Kiffmeyer (2004), por trazerem opções sem aditivos industrializados (doravante chamados "traços EBB") e de Soares (2008) por ser um autor da região, sugerindo maior adaptabilidade ao clima local (doravante chamados "traços IPEC").

Quanto aos traços EBB, fez-se o possível para se reproduzirem as medidas descritas no sistema imperial de unidades e traduzi-las corretamente do Sistema Imperial para o Sistema Internacional de Unidades (SIU). Além disso, alguns dos materiais recomendados tiveram de ser substituídos por materiais similares disponíveis na região escopo. A palha picada, mais disponível em áreas rurais, foi substituída por serragem. A celulose de papel, material comumente usado para isolamento térmico nos países frios teve que ser substituída por jornal picado, uma vez que era muito cara. A tabela a seguir traz o traço adaptado e as substituições que tiveram que ser realizadas, estando as recomendações originais entre parênteses (Tabela 25).



Tabela 25 Traço de *Fat plaster* (reboco gordo) adaptado ao SIU.

Quantidade	Unidade	Ingrediente
13	L	Água
5,6	L	Serragem (palha picada)
5,6	L	Aparas de grama
11,2	L	Jornal picado (celulose de papel)
6	Pás	Argila peneirada
18	Pás	Areia peneirada
2,8	L	Cola de farinha
0,25	L	Bórax
262,61	L	Total

Fonte: adaptado de Hunter e Kiffmeyer (2004).

A cola de farinha foi feita segundo recomendações dos mesmos autores (Figura 117).

Figura 117 Produção da cola de farinha (grude). Mistura e cozimento até ficar translúcido.



Fonte: autoral, 2014.

Esses traços foram usados na parede do fundo do dormitório, um sobre o outro, conforme recomendado na literatura. Como havia muita serragem, o reboco se tornava difícil de misturar com a enxada. Os trabalhadores foram convidados a fazer a mistura da maneira tradicional,

pisando o barro com os pés descalços. Os trabalhadores aceitaram, resultando num dos momentos mais interativos e agradáveis da obra (Figura 118).

Figura 118 Reboco sendo misturado com os pés: antes, durante e depois.



Fonte: autoral, 2014.

Para o traço subsequente, o "reboco magro", (*fut-free plaster*) foi usado o mesmo traço do "reboco gordo" sem a adição das fibras. Para o acabamento desta segunda camada foi aplicada um traço de cola de leite, ou cola de caseína. Em alguns países é possível comprar a caseína diretamente. No Brasil, a caseína foi encontrada na forma de suplemento alimentar para atletas, a um preço elevado. Assim, foi necessário produzir a cola ou ligante de leite (*milk binder*), o que foi feito segundo recomendações dos mesmos autores (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

Foi feito um traço, segundo o referencial, com:

- 4 L de leite desnatado;
- 1/2 xícara de vinagre;
- 1/3 xícara de bórax;
- 1 L de água para diluir depois.
-

Para a cola de leite (de caseína) foi feita a mistura e cozimento com vinagre até separar o soro, coagem para retenção do queijo e adição de bórax (antifúngico) (Figura 119).

Figura 119 Produção da cola de leite.



Fonte: autoral, 2014.

Na parede que divide dormitório e sala foi usado o traço para reboco do IPEC (Tabela 26).

Tabela 26 Traço IPEC para reboco.

Quantidade	Unidade	Ingrediente
2	baldes	terra peneirada
2	baldes	areia peneirada
2	baldes	cal hidratada
1	balde	esterco de gado peneirado
½	balde	saibro (aproximadamente)
900	ml	óleo de linhaça
6	baldes	água (aproximadamente)

Fonte: Soares (2008).

Como esta receita dava certas medidas em "baldes", entrou-se em contato com o instituto IPEC a fim de se determinar o volume do balde referido. A resposta demorou a vir e os trabalhos estavam parados, então se resolveu aplicar na parte da parede abaixo da prateleira embutida o traço para reboco do IPEC, assumindo-se o volume do balde padrão de construção civil de 12,5 L (12L se não preenchido completamente para não derramar). O contato com o autor mais tarde veio a trazer que o balde a ser usado devia ser de 20,0 L. A alteração fez com que este reboco tivesse mais óleo de linhaça. A receita correta foi aplicada na parte da parede acima da prateleira e na parede da janela.

Este traço mostrou-se mais fácil de preparar, por esta razão usou-se o mesmo traço para a parede da janela.

As únicas dificuldades deste traço foram a dificuldade em se achar o saibro (material de construção em desuso) e o fato de não se encontrar óleo de linhaça puro com preço acessível no mercado do Distrito Federal. A opção de óleo puro, de uso comestível é extremamente cara. Usou-se a versão para tratamento de madeiras que possui solvente de base fóssil.

Após o emboço e o desempenho, foi feito um acabamento por fricção com uma pedra arredondada em todas as paredes. (Figura 120).

Figura 120 Evolução dos rebocos de terra.

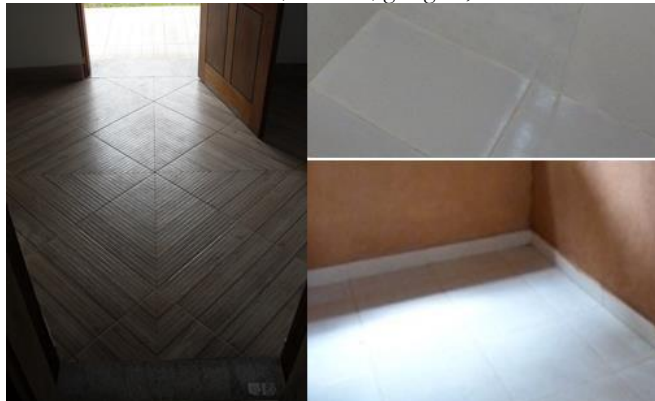


Fonte autoral, 2014.

#### 6.4.2.8 Piso

Foi usado piso cerâmico em toda a obra (Figura 121).

Figura 121 Pisos cerâmicos: sala/varanda/garagem, banheiro e dormitório.



Fonte: autoral, 2014.

Foram acrescentados acessos em rampa à construção, para fins de acessibilidade (Figura 122).

Figura 122 - Rampas para facilitar a acessibilidade.



Fonte: autoral, 2014.

## 6.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Foi avaliado o desempenho do protótipo em termos de seu desempenho em termos de segurança estrutural, habitabilidade, custos e satisfação do usuário.

Também foi avaliada a técnica de construção em terra ensacada em PEAD-MR para o contexto e a maneira em que foi executada através do registro da opinião da mão de obra, do proprietário da edificação e impressões da pesquisadora.

### 6.5.1 Método de avaliação do desempenho do protótipo

O protótipo foi avaliado após um ano da construção segundo alguns dos requisitos descritos pela norma ABNT NBR 15.575, partes 1, 2 e 4 pertinentes aos elementos verticais em terra ensacada abordados no referencial. Os requisitos abordados foram os requisitos gerais de desempenho quanto à segurança estrutural para a edificação habitacional:

- a) não ruir ou perder a estabilidade de nenhuma de suas partes;
- b) prover segurança aos usuários sob ação de impactos, choques, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis na época do projeto;
- c) não provocar sensação de insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação, admitindo-se tal exigência atendida, caso as deformações se mantenham dentro dos limites estabelecidos nesta Norma;

d) não repercutir em estados inaceitáveis de fissuração de vedação e acabamentos;

e) não prejudicar a manobra normal de partes móveis, como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento normal das instalações em face das deformações dos elementos estruturais.

E os requisitos de habitabilidade: estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; conforto tátil.

Esses requisitos foram avaliados de maneira qualitativa, segundo observações no local e segundo relatos dos usuários.

A durabilidade do sistema não pôde ser avaliada, pois, segundo a norma, "do ponto de vista da durabilidade, as avaliações de campo só devem ser aceitas se a construção ou instalação tiver ocorrido há pelo menos dois anos" (ABNT, 2013a).

Outros fatores da exigência do usuário pertinentes a elementos verticais em terra ensacada não foram abordados por limitações de tempo, assim, esclarece-se que não se esgotou o tema.

Para se verificar se vinha ocorrendo o fenômeno descrito pela ASTM (2010), em que o reboco de cimento retém o vapor de água, causando saturação de umidade nas faces das paredes e dissolução das mesmas, foram inspecionadas todas as paredes em pontos espaçados para se conferir se não havia um som oco, denunciando o descolamento do reboco.

Foi feita uma avaliação dos custos do protótipo, através da comparação ilustrativa com os custos esperados para a construção convencional para a região escopo, a partir do CUB (Custo Unitário Básico) em reais. Os custos do protótipo foram registrados com base nas notas fiscais recolhidas durante a obra e nos pagamentos feitos aos empreiteiros. A avaliação foi feita usando-se os custos da execução do protótipo e os custos estimados pelo empreiteiro para se repetir a mesma construção, agora com a mão de obra treinada.

Outra avaliação de desempenho foi quanto à satisfação do usuário. Para obter essas informações e outras, a opinião do proprietário foi registrada através de entrevista não estruturada realizada pessoalmente ao fim da construção do protótipo.

### 6.5.2 Método de avaliação da técnica de construção em terra ensacada

Foi feita a avaliação da técnica de construção em terra ensacada para o contexto através das impressões da pesquisadora a respeito de cada etapa da execução do protótipo, através da opinião da mão de obra, da opinião do proprietário e de aspectos da técnica de construção em terra ensacada para o contexto:

- o tempo total de construção;
- a produtividade da mão de obra;
- a facilidade de acesso aos materiais;
- dentre outros.

O tempo total de construção foi considerado somando-se o tempo trabalhado pela primeira e pela segunda equipe.

A produtividade da mão de obra foi medida em termos de medida linear de fiada construída por tempo e pelo número de fiadas construídas por dia.

Opinião da mão de obra foi registrada através de entrevista semiestruturada realizada pessoalmente ao fim da construção do protótipo com os três trabalhadores que participaram do processo construtivo do início ao fim: Raimundo Nonato da Silva Santos, Antônio Lopo, Idalton dos Santos Silva.

Estes trabalhadores foram questionados sobre o número de pessoas ideal para o trabalho; sobre em quantos dias seria possível realizar o mesmo projeto (estrutura e telhado, sem acabamentos nem instalações); sobre o que fariam de diferente em uma próxima construção; sobre o que seria útil no caso de múltiplas edificações; sobre os pontos fortes e fracos do processo construtivo em terra ensacada.

Também foram solicitados a dar notas de 1 a 5 para os quesitos rapidez, esforço e facilidade de se aprender o processo construtivo, sendo que 1 representava pouco e 5 representava muito.

A opinião do proprietário sobre o tema foi registrada na mesma entrevista realizada para a avaliação do protótipo.



## 7 RESULTADOS DA PROTOTIPAGEM E DAS AVALIAÇÕES

Este capítulo traz os resultados da prototipagem, da avaliação de seu desempenho e da avaliação da técnica de construção em terra encuada.

### 7.1 RESULTADOS DA PROTOTIPAGEM

A evolução da construção e seu resultado podem ser vistos na Figura 123.



Fonte: autoral, 2014.

Figura 123 - Evolução da fachada.



Fonte autoral, 2014.

## 7.2 AMBIENTES

### 7.2.1 Sala

Na sala podem-se perceber o recorte no reboco para servir como testemunho sobre a técnica usada, a iluminação natural e a árvore oferecendo proteção contra a insolação oeste (Figura 124).

Figura 124 - Sala do protótipo.



Fonte: autoral, 2014.

## 7.2.2 Cozinha

A cozinha recebeu armários aparafusados às paredes de terra e recebe iluminação zenital natural durante o dia (Figura 125).

Figura 125 - Cozinha do protótipo.



Fonte: autoral, 2014.

### 7.2.3 Dormitório

O dormitório, com as paredes com reboco de terra sem pintura pode ser visto na Figura 126:

Figura 126 - Dormitório durante a tarde.



Fonte: autoral, 2014.

De maneira geral, os resultados dos rebocos de terra foram satisfatórios (Figura 127). Os rebocos alternativos executados de acordo com os traços estudados são realmente resistentes à água e à abrasão, não soltam partículas e não mancham as roupas ou a pele, como se temia. O melhor desempenho quanto a este quesito foi do reboco "traço IPEC" recomendado por Soares (2008). Supõe-se que os diferentes tamanhos de

fibras comprometeram a mistura uniforme do "traço EBB". O acabamento rústico pode ser usado, se propositalmente, mas se considera que a pintura com tintas minerais seria mais recomendável, ou mesmo a caiçãõ.

Figura 127 - Rebocos alternativos - vista geral e referências.



Fonte: autoral, 2014.

No entanto, a coloração obtida não foi uniforme, ao que se espera resolver com uma camada de tinta de cal, o que também contribuirá para a iluminação do ambiente (Figura 128).

Figura 128 - Rebocos de terra com colorações desuniforme.



Fonte: autoral, 2014.

#### 7.2.4 Banheiro

Com o revestimento até o teto, o banheiro ficou com aspecto convencional (Figura 129).

Figura 129 - Banheiro do protótipo.



Fonte: autoral, 2014.

As tubulações hidráulicas em geral tiveram bom desempenho, não dando sinais de deformação ou vazamento (Figura 130).

Figura 130 Instalações hidráulicas.



Fonte autoral, 2014.

## 7.3 RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROTÓTIPO

### 7.3.1 Segurança estrutural

O protótipo foi avaliado após um ano da construção segundo alguns dos requisitos gerais de desempenho quanto à segurança estrutural para a edificação habitacional descritos pela norma ABNT NBR 15.575:2012, partes 1, 2 e 4 relativos aos elementos verticais em terra encuada:



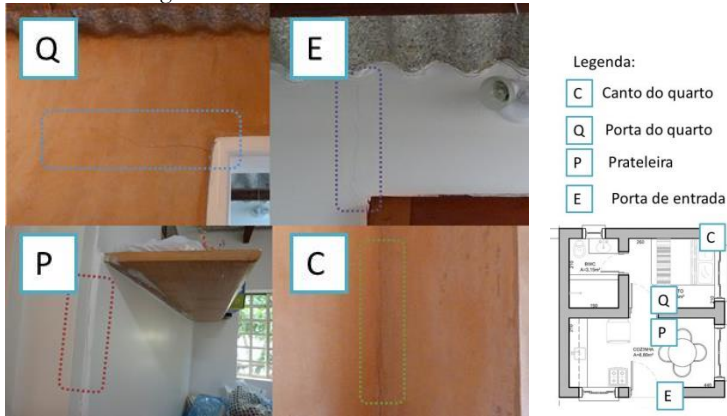
Tabela 27 - Desempenho do protótipo quanto aos requisitos gerais de segurança estrutural.

Requisitos gerais de segurança estrutural segundo a norma ABNT NBR 15.575:2012.	Desempenho do protótipo no requisito até a data de avaliação (04/2015)
a) não ruir ou perder a estabilidade de nenhuma de suas partes;	Atende ao requisito.
b) prover segurança aos usuários sob ação de impactos, choques, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis na época do projeto;	Atende ao requisito.
c) não provocar sensação de insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação, admitindo-se tal exigência atendida, caso as deformações se mantenham dentro dos limites estabelecidos nesta Norma;	Atende ao requisito.
d) não repercutir em estados inaceitáveis de fissuração de vedação e acabamentos;	Atende ao requisito com ressalvas.
e) não prejudicar a manobra normal de partes móveis, como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento normal das instalações em face das deformações dos elementos estruturais.	Atende ao requisito com ressalvas.
f) cumprir as disposições das ABNT NBR 5629, ABNT NBR 11682 e ABNT NBR 6122 relativamente às interações com o solo e com o entorno da edificação.	Não foi avaliado.

Fonte: ABNT (2013a).

O item "d" foi atendido com ressalvas, pois foram identificadas fissuras no protótipo. As patologias que ocorreram foram diminutas e já eram esperadas: rachaduras no reboco sobre as portas de entrada e do quarto (E e Q), devido a imperícias na execução das vergas, uma fissura abaixo da prateleira embutida (P) e uma fissura no canto da parede do quarto (C), da extensão do pé direito, entre duas camadas de reboco que tiveram que ser aplicadas em momentos diferentes (Figura 131).

Figura 131 - Fissuras nos acabamentos.



Fonte: autoral, 2015.

A fissura do canto do quarto deu-se por terem sido usados dois tipos diferentes de reboco, não no mesmo dia. Isso fez com que eles se retraíssem em taxas e momentos diferentes. O correto neste caso seria fazer todo o reboco de uma só vez. Mas o inconveniente da rachadura foi compensado pela experimentação dos diferentes tipos de reboco.

A fissura sobre a porta da sala ocorreu principalmente devido a um erro de comunicação. Conforme mencionado, a verga de madeira de angelim de  $0,08 \times 0,30 \times 2,00 \text{ m}^3$  (R\$152,00) comprada para ser colocada sobre a porta de entrada foi serrada ao meio indevidamente, sendo colocada na soleira e no marco superior da porta. Como a carga da parede de cima da porta não foi distribuída como o planejado, ocorreu a fissura no reboco. Na Figura 132 tem-se a verga cortada (causa) e o conserto com fita crepe e massa corrida:

Figura 132 Fissura da porta principal: causa, conserto e resultado.



Fonte: autoral, 2014.

Percebe-se que a fissura ocorreu somente de um lado da porta. Atribui-se esse fato à presença da verga de concreto da janela que distribuiu a carga. O correto, neste caso, teria sido comprar outra peça de madeira ou fazer uma verga de concreto na altura e comprimento corretos, apesar do prejuízo econômico.

A fissura sobre a porta do quarto ocorreu porque a moldura do marco, já com a verga ( $0,04 \times 0,30 \times 1,50 \text{ m}^3$ ), foi fixada antes da construção das paredes, para servir de apoio. A parte da parede imediatamente abaixo da sobressalência da verga, no entanto, não pôde ser suficientemente compactada, gerando uma região menos resistente que

cedeu ao peso do telhado, gerando a rachadura no reboco. O correto, neste caso, teria sido: instalar o marco sem a verga, construir a parede até a altura do marco, fixar a verga ao marco e então continuar a construção da parede.

Figura 133 Fissura da porta do dormitório: causa e conserto.



Fonte: autoral, 2014.

Este evento também foi observado somente de um dos lados do marco. Imagina-se que a junção com a parede do banheiro seja mais resistente.

Acredita-se que a fissura mais preocupante seja aquela a abaixo da prateleira embutida. O momento gerado pela carga sobre a prateleira parece estar forçando o reboco para baixo, rumo ao descolamento. Seu uso é desaconselhável por não cumprir a norma NZL 4297:1998 que diz: “assentamentos de longo prazo não devem prejudicar a manutenção da superestrutura por rachaduras ou movimento” (SNZ, 1998a). As prateleiras embutidas já haviam se mostrado inadequadas durante a execução das paredes, por impedirem a aproximação dos andaimes este evento contribui para que seu uso seja considerado desaconselhável.

As fissuras descritas são consideradas aceitáveis pela norma do Zimbábue que diz que “as fendas (...) não devem ter mais de 3 mm de largura e 75 mm de comprimento, e não devem ser mais de vinte por cada metro quadrado. Todas as fendas de contração devem ser reparadas ou a parede rebocada” (SAZ, 2001). Assim, elas foram rebocadas, segundo recomenda a norma neozelandesa: “Rachaduras que não afetem a integridade estrutural podem ser rebocadas” (SNZ, 1998a).

Mesmo que as fissuras encontradas estão de acordo com o permitido pela norma e parecem ter causas conhecidas e limitadas às imperícias na execução, mas como os requisitos devem ser atendidos durante toda a vida útil de projeto<sup>34</sup> da edificação, considera-se que seja um

<sup>34</sup> Vida Útil de Projeto (VUP): Período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos na norma referida. A Vida útil de projeto mínima para edificações habitacionais é de 50 anos.

aspecto a ser observado, uma vez que pode sinalizar um recalque na fundação ou deformação da parede.

O item "e" também foi atendido com ressalvas, pois a porta de entrada da casa apresenta dificuldades para abrir. Este é um acontecimento comum na região pela grande diferença de umidade entre as estações. Manter-se-á a observação até o fim da seca, pois este também pode ser um indício de recalque da fundação.

Quanto à indicação encontrada no referencial de que o reboco de cimento pode causar retenção de vapor e avarias na parede de barro, a inspeção sonora não apontou nenhum descolamento até o momento.

### 7.3.2 Habitabilidade

O protótipo teve bom desempenho nos requisitos de habitabilidade: estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; conforto tátil. Durante o ano em que o protótipo foi observado, não foram identificadas infiltrações de nenhuma ordem. Já os requisitos de desempenho térmico foram avaliados pelo proprietário, que declara em entrevista:

É uma casa confortável, uma casa que mantém uma temperatura totalmente compatível (com o clima), inclusive muito mais isolada termicamente que qualquer construção que eu já tenha visto.

Sobre a cobertura:

As telhas de material reciclado deram resultado até bastante surpreendente com relação ao isolamento térmico, porque eu imaginava que a casa ia ficar muito quente porque ela não tem forro e ainda assim ela não absorve calor e mantém uma temperatura agradável pra quem tá dentro da casa.

Registra-se aqui a frase do funcionário Antônio Lopo sobre a construção: "esta casa é uma geladeira".

Quanto ao conforto tátil, o proprietário afirma: "o reboco de terra não solta partícula, está bem firme, (...) ele ficou perfeito, (...) ele é talvez menos abrasivo até do que o outro".

## 7.4 RESULTADO DA AVALIAÇÃO DOS CUSTOS

"Em Deus nós confiamos. Todos os outros precisam trazer dados."  
W. Edwards Deming

Nesta seção foram levantados os custos do protótipo como executado, adicionando-se os custos dos materiais que foram recebidos como doação e se considerando também um novo orçamento para a mão de obra após o treinamento.

### 7.4.1 Custos do protótipo como construído

O custo da construção do protótipo como construído foi de aproximadamente R\$ 30.700,00. O custo por área construída ficou entre os valores de habitação popular e de habitação simples estimados para a região para o mês, como pode ser visto na Tabela 28:

Tabela 28 - Custos de execução do protótipo

<b>Custos</b>	<b>Valores</b>
Material	R\$ 14.703,45
Mão de obra até a cobertura	R\$ 7.000,00
Mão de obra instalações e acabamentos	R\$ 9.000,00
Mão de obra total	R\$ 16.000,00
Custo total	R\$ 30.703,45
Custo por área construída, sem varandas (R\$/m <sup>2</sup> ).	<b>1126,80</b>
CUB da região RP1-Q 03/2014 (R\$/m <sup>2</sup> ) c/ des.	1043,18
CUB da região R1 03/2014 (R\$/m <sup>2</sup> ) c/ des.	1278,15

Fonte: autoral, 2014, e Sinduscon (2014).

Como mencionado, o trabalho realizado pela autora (pesquisa, projeto, gestão e supervisão da obra) foi promovido pela CAPES, através de bolsa. Todos os outros custos da construção do protótipo (aquisição e manutenção do terreno, aquisição de materiais e ferramentas, mão de obra, etc.) foram cobertos pelo dono do terreno, a quem pertence à construção.

O levantamento discriminado de todos os custos relativos aos materiais da obra foi organizado em um relatório que se encontra no Apêndice A.

A comparação com o CUB é ilustrativa, já que se trata de projetos e materiais muito diferentes, mas pode servir de orientação para futuras construções.

#### 7.4.2 Ajustes e aproximações dos custos do protótipo

O custo do protótipo como construído difere de uma construção real por uma série de fatores. Por um lado, o custo é subestimado, uma vez que o trabalho da pesquisadora de projeto, treinamento de mão de obra, supervisão de obra e aquisição de materiais não foi considerado nos custos, bem como o de outras técnicas envolvidos na pesquisa <sup>35</sup>. Esses fatores puderam ser excluídos na comparação com o CUB, uma vez que não entram no seu cálculo. Outro fator que torna o preço da obra inferior ao real foi o reaproveitamento de alguns elementos, cujos custos foram suprimidos do levantamento total. Os custos dos materiais comprados por sua vez podem ter sido superestimados considerando-se que a falta de experiência tenha levado ao desperdício, especialmente de reboco, já que a edificação apresentou irregularidades de prumo e alinhamento. A falta de experiência da equipe também levou à superestimação dos custos de mão de obra.

A fim de se tentar estimar os custos da execução do mesmo projeto sem essas interferências, foram considerados os preços dos materiais reaproveitados segundo o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para o mês de referência e foi solicitado um novo orçamento por parte do mesmo empreiteiro, considerando a mão de obra capacitada. O custo dos serviços de orçamentos, escolha e compra dos materiais foi desconsiderado, uma vez que "culturalmente" é feito pelos donos da construção. O custo dos serviços de projeto, treinamento e supervisão da obra foram computados como uma porcentagem do valor da obra, segundo (CAU/BR, 2013). O custo do desperdício não pôde ser avaliado.

A Tabela 29 traz os preços dos itens reaproveitados, segundo o SINAPI.

---

<sup>35</sup> A professora orientadora e o dono da edificação, ambos engenheiros civis, e da arquiteta Aniana Hoffmann

Tabela 29 – Preços de itens reaproveitados do protótipo, segundo o SINAPI.

Área	Item	Dimensões	Item SINAPI	Preço SINAPI 03/2014 (R\$)
Cozinha	Porta de madeira maciça	0,8 x 2,10 m <sup>2</sup>	PORTA MADEIRA MACICA REGIONAL MEXICANA 80 X 210 X 3CM	356,27
	Bancada de granito e cuba de pia	0,8 x 2,2 m <sup>2</sup>	BANCA C/ CUBA - MARMORITE/GRANILITE OU GRANITINA - 200 X 60CM P/ PIA COZINHA	155,89
	Prateleira	0,3 x 2,0m <sup>2</sup>	TABUA DE PINUS 1A QUALIDADE 30 X 300CM	27,79
	Granito rodapé do móvel	0,10 x 2,2m <sup>2</sup>	RODAPE GRANITO 10 X 2CM	65,82
	Granito soleira porta	0,15 x 2,2m <sup>2</sup>	SOLEIRA GRANITO 25 X 3CM	
Quarto	Prateleira	0,3 x 2,0m <sup>2</sup>	TABUA DE PINUS 1A QUALIDADE 30 X 300CM	27,79
	Porta de madeira	0,8 x 2,10 m <sup>2</sup>	PORTA MADEIRA COMPENSADA LISA PARA PINTURA 80 X 210 X 3,5CM	64,53
Banheiro	Porta de madeira	0,6 x 2,10 m <sup>2</sup>	PORTA MADEIRA COMPENSADA LISA PARA PINTURA 60 X 210 X 3,5CM	62,73
	Bancada de granito	0,4 x 0,8 m <sup>2</sup>	BANCA GRANITO PRETO 100 X 60CM, E = 2CM, C/1 ABERTURA	226,49
	Cuba de pia	-	CUBA ACO INOXIDAVEL NUM 1 (46,5X30,0X11,5) CM	49,77
	Vaso sanitário de louça	-	BACIA SANITARIA (VASO) CONVENCIONAL DE LOUCA BRANCA	92,57
	Janela de alumínio basculante	0,3 x 0,6 m <sup>2</sup>	JANELA ALUMINIO BASCULANTE 80 X 60 CM (AXL)	211,91
	Granito soleira porta	0,15 x 0,8m <sup>2</sup>	SOLEIRA GRANITO 15 X 3CM	53,85
Abriço de veículo	Tanque de louça	-	TANQUE LOUCA BRANCA C/COLUNA - 22L OU EQUIV	168,94
<b>Total:</b>				<b>1564,35</b>

Fonte: SINAPI (CEF, 2014).

Para estimar o preço da mão de obra para o mesmo projeto, do início ao fim, o empreiteiro considerou necessária uma equipe de cinco colaboradores trabalhando por 25 dias (Tabela 30).

Tabela 30 - Reavaliação do preço da MdO para a reprodução do protótipo.

Colaborador	Nº	Diária (R\$)	1 dia (R\$)	25 dias (R\$)
Mestre-de-obras	1	120	120	3000
Pedreiro	1	100	100	2500
Auxiliares	3	80	240	6000
<b>Totais</b>	<b>5</b>	<b>300</b>	<b>460</b>	<b>11500</b>

Fonte: Santos (2015).

Os custos ajustados podem ser vistos na Tabela 31.



Tabela 31 - Custos de execução do protótipo com o novo orçamento de MdO.

<b>Custos</b>	<b>Valores</b>
Materiais (comprados e aproveitados)	R\$ 16,267,80
Mão de obra total (estrutura e acabamentos)	R\$ 11,500,00
Custo da obra (materiais e mão de obra)	R\$ 27,767,80
Acompanhamento técnico por engenheiro ou arquiteto (10%)	R\$ 2,776,78
Custo total da obra com acompanhamento técnico	<b>R\$ 30,544,58</b>
Custo por área construída, sem varandas (R\$/m <sup>2</sup> )	<b>1120,97</b>
CUB da região RP1-Q 03/2014 (R\$/m <sup>2</sup> )	1043,18
CUB da região R1 03/2014 (R\$/m <sup>2</sup> )	1278,15

Fonte: autoral, 2014, e Sinduscon (2014).

Como ser pode perceber, não haveria muita alteração. O novo orçamento manteria o preço por área menor do que esperado para a região para a residência unifamiliar de padrão normal (R1) em 12,3 %, porém maior do que o esperado para residência unifamiliar popular (RP1-Q) em 7,5%. O protótipo possui os módulos da residência unifamiliar popular (um pavimento, um dormitório, sala, banheiro e cozinha) (ABNT, 2006), mas possui padrão de acabamento alto e mão de obra cara, dada a região de difícil acesso, assim se estima que seu preço pode vir a ser competitivo com a construção convencionais para a habitação de interesse social.

#### 7.4.3 Satisfação do usuário

O proprietário manifestou em entrevista suas impressões em relação ao protótipo:

É uma obra interessante. Uma construção alternativa para a construção civil que certamente teria resultados positivos quando aplicadas a residências até mesmo residências de alto padrão.

O proprietário fez apontamentos sobre a cobertura e sobre o reboco de terra. Sobre a cobertura, afirma:

As telhas de material reciclado deram resultado até bastante surpreendente com relação ao isolamento térmico, porque eu imaginava que a casa ia ficar

muito quente porque ela não tem forro e ainda assim ela não absorve calor e mantém uma temperatura agradável pra quem tá dentro da casa.

Sobre o reboco:

O reboco de terra me parece muito eficiente, apesar da cor não ser essas maravilhas todas. Mas acho que ele aceita pintura, então sucesso total, o reboco de terra. Não solta partícula, está bem firme, tivemos um probleminha de umidade no início, mas depois foi superado, e ele ficou perfeito, não tem nada de mais, ele é talvez menos abrasivo até do que o outro. No momento que você quiser colocar uma massa ou coisa do tipo, ele vai ficar tão bom quanto o outro.

Sobre os custos, exclama:

[...] a questão do custo é uma coisa impressionante, é muito barato! Na minha opinião, quando a gente tiver o controle total da técnica, pois quando nós fizemos o protótipo nós não detínhamos o conhecimento que temos hoje da construção. [...] fazendo da forma como a gente fez e ainda ficou a um preço baixo, eu acho que ela tem possibilidade de ser feita por muito menos. O custo é incrivelmente baixo.

Sobre a apropriação da edificação pelos usuários:

Todo mundo fica encantado com a casa. Acha a casa fresquinha, é incrivelmente bonita, não acredita que foi feita com barro. Quando se mostra as fotos, as pessoas perguntam "mas é de barro?" e ficam impressionados com o sistema construtivo, visto através da janela deixada no reboco.

## 7.5 RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO EM TERRA ENSACADA

Foi feita a avaliação da técnica de construção em terra ensacada para o contexto através das impressões da pesquisadora a respeito de cada etapa da execução do protótipo, por meio da opinião da mão de obra, da opinião do proprietário e de aspectos da técnica de construção em terra ensacada para o contexto:

- o tempo total de construção;
- a produtividade da mão de obra;
- a facilidade de acesso aos materiais;
- dentre outros.

Constatou-se a adequabilidade dos sacos. Foi possível manter alinhamento, nível e prumo com facilidade, em função da estabilidade dos sacos, mas as pontas necessitaram atenção especial.

Quanto às aberturas, percebe-se dificuldade de se abrir a porta principal na estação úmida. Este é um fenômeno comum para a região, mesmo em construções de alvenaria convencional, em função da retração da madeira dos portais, mas pode estar sendo agravado pela variação dimensional da terra das paredes. Uma solução possível seria fazer-se a moldura das portas em concreto, como já funcionou para as janelas.

As telhas de material reciclado tiveram desempenho surpreendentemente positivo, promovendo isolamento satisfatório e cortes para a passagem da iluminação natural.

Não foram notadas qualidades inferiores ou superiores às esperadas em outros materiais dentre os utilizados.

### 7.5.1 Aspectos da técnica de construção em terra ensacada para o contexto

O tempo total de construção foi de um mês para a estrutura (fundações, paredes, aberturas e cobertura) e mais dois meses para os acabamentos.

Em termos de produtividade da mão de obra, o tempo médio de construção com cinco funcionários de foi 28 metros lineares por dia por trabalhador no início da obra, 25 no meio da obra e 10 ao final da obra, devido ao incremento de altura, o que exigiu o uso de andaimes e reduziu o ritmo de trabalho.

O acesso aos materiais não foi dificultado, mas requer planejamento prévio, já que a bobina de tela demora em torno de 20 dias para ser entregue e o solo não é comprado segundo as características granulométricas e sim de acordo com o disponível em obras onde há movimentação de terra, exigindo que o construtor investigue a jazida antes de comprar.

Dentre os produtos para o reboco, somente o saibro apresentou dificuldade de ser encontrado, já que se tornou um produto obsoleto depois do advento das argamassas colantes. O óleo de linhaça natural, celulose de papel e caseína foram encontrados, mas não a preços acessíveis. Outros materiais de construção convencionais foram de fácil acesso.

### 7.5.2 Opinião da mão de obra

A entrevista com a mão de obra foi do tipo semiestruturada e foi realizada pessoalmente ao fim da construção da estrutura com três trabalhadores que participaram do processo construtivo do início ao fim, aqui denominados como: Nonato, (empreiteiro e mestre de obras), Antônio (pedreiro) e Idalton (auxiliar de pedreiro).

Estes foram questionados sobre o número de pessoas ideal para o trabalho, sobre em quantos dias seria possível realizar o mesmo projeto (estrutura e telhado, sem acabamentos nem instalações). Também foram solicitados a dar notas de 1 a 5 para os quesitos rapidez, esforço e facilidade de se aprender o processo construtivo, sendo que 1 representava pouco e 5 representava muito (esforço, rapidez, etc.). Os resultados encontram-se na Tabela 32:

Tabela 32 - Resultados da entrevista com a MdO

Quesito	Avaliação	Trabalhadores		
		Nonato	Antônio	Idalton
Rapidez	1			
	2			
	3			
	4	√	√	√
	5			
Esforço	1			
	2			
	3			
	4	√		
	5		√	√
Facilidade de aprender	1			
	2			
	3			
	4			
	5	√	√	√
Número ideal de pessoas	4			
	5	√		
	6			
	7			
	8		√	√

Em resumo, consideraram a CTE uma técnica razoavelmente rápida, que demandava muito esforço, muito fácil de aprender, mas que seria ideal se trabalhar em cinco a oito pessoas.

Sobre o tempo que demorariam para repetir o projeto sem acabamentos nem instalação (fundações, elementos verticais e cobertura), concordaram entre si que que em dez dias seria possível, agora que possuem treinamento.

Sobre o que fariam de diferente em uma próxima construção, apontaram:

- Fariam as vergas de concreto no início da obra, para dar tempo de curar;
- Usariam desde o começo o nó do saco para dentro da parede;
- Usariam andaime-fachadeiro;
- Betoneira para o solo-cimento;
- Não usariam botas ao segurar o funil e apiloar, já que o barro gruda no pé (considerar chuteiras);
- Colocariam os portais (vergas de madeira das portas) logo no início da obra (depois da fundação) e a verga superior quando a parede atingisse sua altura;
- Não embutiriam as prateleiras;
- Já começariam com o funil com os manetes (buracos para enfiar os dedos) e bordas (para não deixar a sacaria escapar);
- Começariam a construção instalando uma cobertura de lona para evitar a chuva e o sol.

Sobre o que seria útil no caso de múltiplas edificações, indicaram o uso de:

- Betoneira;
- Carretilha (roldana) para erguer os materiais;
- Equipamentos de segurança;
- Maior número de trabalhadores.

Sobre os pontos fracos do processo construtivo em terra ensacada, responderam:

- É um trabalho pesado, que exige mais esforço (que o processo convencional) (Nonato);
- É preciso caprichar nas fundações (Antônio);
- Seria melhor fazer a vala e depois colocar a sacaria (na fundação) (Idalton);
- Não dá para saber ainda, já que é o protótipo (Nonato).

Sobre os pontos fortes do processo construtivo em terra ensacada, responderam:

- O processo é tranquilo, é a mesma coisa (que o convencional) (Nonato);
- É bastante forte e resistente (Antônio);
- É melhor no bolso (Antônio);
- Com telha colonial, ficaria bem fresquinha (Antônio);
- A temperatura é um ponto forte, esquenta menos, já que é barro (Idalton);
- Depois que demole, dá pra plantar (Idalton);
- Melhor em termos ambientais porque não tem entulho (Antônio).

### 7.5.3 Opinião do proprietário do protótipo

A respeito da técnica de construção com terra ensacada, o proprietário afirma: "É uma obra interessante. Uma construção alternativa para a construção civil que certamente teria resultados positivos quando aplicadas a residências até mesmo residências de alto padrão".

Mas considera: "tem o inconveniente da grossura das paredes, mas isso é uma coisa que se se tem espaço não é problema, quando se vai trabalhar em um terreno muito pequeno pode gerar alguma dificuldade".

A edificação principal do terreno foi feita de maneira convencional. Perguntou-se se ele acreditava que a construção em terra não teria a mesma valorização no mercado que uma casa convencional, ao que ele respondeu: "Ah, certamente que não. Se fizesse uma casa com essa, toda de terra, seria de difícil revenda". Perguntou-se caso a estrutura fosse de concreto e vedações de terra se ela teria mais valor de mercado, ao que o proprietário respondeu:

Mas não é por conta da estrutura que eu acho que ela não tem valor de mercado, mas por falta de conhecimento do público em geral a respeito do sistema construtivo. Não se têm ainda parâmetros de referência. Essas coisas muito diferentes podem ter um valor daqui a dez anos muito maior do que uma casa comum, mas não se sabe, não tem valor de comparação. Aí é um risco, quando você vai investir pra fazer uma casa desse tamanho, em que você coloca seu patrimônio e você espera ter um retorno se por acaso necessária for à venda, fica mais complicado fazer um investimento desse, dessa monta.

E apontou que ao início do projeto da casa principal (concomitante ao início da construção do protótipo) não tinha ideia de como seria o desempenho de uma construção em terra. "Hoje não sei se não faria". Mas ponderou que faria a estrutura para a caixa d'água e segundo andar de maneira convencional.

O proprietário não acha que o fato de não ter profissionais capacitados compromete o investimento. "Não necessariamente porque a gente poderia buscar e treinar gente, se fosse investir em um projeto maior".

Quando questionado sobre o que faria de maneira diferente se fosse construir outra edificação com a mesma técnica, respondeu que colocaria ferro, talvez gastando um pouco mais para fazer o acabamento e manter a iluminação natural por uma questão estética; e mudaria a fundação: "Eu teria feito uma fundação mais reforçada, talvez como um solocimento mais forte, pelo menos uma baldrame, uma coisa assim que desse uma segurança maior. Mas esse talvez seja um vício de engenheiro."

Segundo sua percepção, esta mudança contribuiria para eliminar as fissuras observadas sobre as portas, que estão sob controle. Ele afirma que "toda a obra tem fissura, mesmo de concreto", mas que devem ser evitadas.

Outra observação que faz é sobre as portas que trancam na estação seca. "Talvez seja só o trabalho da madeira contra a terra, talvez o portal seja muito pesado, talvez esse tipo de madeira não devesse ser portal". Indo de encontro com as conclusões da avaliação do protótipo.

Sobre o futuro da construção em terra ensacada, opina:

Inclusive eu acho que seria um ramo muito interessante para a própria engenharia, para as empresas de engenharia se especializar no sistema construtivo e começar especialmente com PMCMV, com essas construções para baixa renda para começar a divulgar porque se ela se mostra rentável como um investimento menor e durável, e se poderia, a partir daí, partir para uma construção maior de classe média e até de classe alta.

#### 7.5.4 Impressões da pesquisadora

Nesta seção foram reunidas impressões da pesquisadora acerca da experiência considerada relevantes para futuros trabalhos.



#### **7.5.4.1 Etapa de projeto**

A escolha pelo formato ortogonal com paredes intertravadas criou ambientes condizentes com a cultura construtiva local, permitiu a instalação de móveis e ofereceu apoio para o telhado. No entanto, a escolha por quinas escalonadas gerou um volume de trabalho que poderia ter sido evitado se as quinas fossem chanfradas. Por outro lado, a quina escalonada aparenta ter um volume maior de material, gerando possivelmente estruturas mais resistentes e adequadas ao sustento do telhado. As normas utilizadas se provaram úteis, uma vez que os problemas encontrados foram de execução e não de projeto.

#### **7.5.4.2 Capacitação de mão de obra**

“A teoria também se converte em graça material  
uma vez que se apossa dos homens”.

Karl Marx

Considerou-se que a exibição dos vídeos explicativos sobre a construção em ‘Hiperadobe’ foi muito importante para transmitir confiança à mão de obra, uma vez que eles puderam ver que havia mais pessoas trabalhando com a técnica, entender a dinâmica de trabalho e ver como fica uma edificação finalizada. Também foi importante para incitar perguntas, que foram respondidas antes do início do trabalho, economizando tempo e alinhando as ações.

Quanto à parte prática do treinamento, onde eles teriam que construir as fiadas já no local onde seriam as paredes, percebeu-se ser mais efetivo deixá-los errar e depois apontar os defeitos, relacionando-os com os erros de técnica já previstos, como tirar o funil muito rápido causando ondulações na fiada ou apoiar o funil sobre a fiada, causando um vão vertical difícil de preencher, como na Figura 134:

Figura 134 - Defeito no preenchimento da sacaria.



Fonte: autoral, 2013.

Ver que havia critérios e que eles seriam solicitados a desmanchar uma parte do trabalho se o resultado fosse aquém do esperado foi bastante efetivo para criar em cada um o compromisso com a qualidade. Percebeu-se essa mudança de atitude pela aparição de cobranças entre os membros da equipe.

Como mencionado, foi mantido um diálogo aberto tanto com o empreiteiro quanto com a mão de obra. Seguidamente se abriu espaço para saber se eles tinham sugestões para resolver problemas ou melhorar processos.

De fato, do início ao fim da obra, os funcionários apresentaram diversas soluções criativas baseadas em sua inventividade e experiência prévia, como criar manetes para segurar o cano/funil, inverter o saco para manter o nó no interior da parede, facilitar o acabamento, usar a furadeira como liquidificador para picotar o papel para o reboco, dentre tantas outras (Figura 135).

Figura 135 - Engenhosidades sugeridas pelos trabalhadores.



Fonte: autoral, 2014.

Foi gratificante acompanhar o aumento de empolgação dos funcionários à medida que iam se familiarizando com a técnica, criando soluções e avançando com mais velocidade. Ao fim da construção da estrutura alguns já demonstravam estar considerando construir edificações para si.

Uma das maiores dificuldade com a mão de obra durante a execução do protótipo foi a falta de costume da equipe em usar equipamentos de proteção individual (EPI). A equipe não utilizava nenhum dos equipamentos comprados, a menos que se pedisse, e estes eram retirados quando não estavam sob supervisão.

Mas as maiores dificuldades encontradas estiveram relacionadas a se estar construindo pela primeira vez com uma técnica praticamente desconhecida. Erros de orçamento, erros de execução e soluções inadequadas baseadas na construção convencional (como o corte da verga de madeira da porta; a falta de compactação embaixo da verga das portas do banheiro e do quarto; o chapisco de cimento feito no quarto que recebeu o reboco de terra e a omissão quanto à aplicação de impermeabilizante nas fundações) poderiam ser evitados se todos tivessem mais experiência e configuraram importantes focos de atenção para futuras construções e treinamentos.

Assim, recomenda-se combinar com o empreiteiro um dia de trabalho com a técnica antes de fechar o contrato. Neste dia pode ser feito o treinamento.

O uso da mão de obra própria pode aparentemente reduzir os custos da construção, mas deve ser cuidadosamente considerado. Recomenda-se ao autoconstrutor e sua equipe que conheçam previamente sua capacidade de trabalho através de um curso, construção de outrem ou experimentações, a fim de estimar quanto tempo levariam para completar um projeto. Convém considerar o valor da mão de obra própria em outras atividades, para ver se é mais válido contratar trabalhadores, autoconstruir ou ambos.

#### ***7.5.4.3 Preparação do terreno e fundações***

A preparação do terreno (aterro e compactação) foi feita manualmente, dentro da perspectiva de se avaliar a construção como abrigo emergencial. No entanto, o sistema parece excessivamente pesado para ser feito sobre o solo compactado manualmente. As fundações recebem praticamente a mesma carga. Em uma futura construção, se possível, recomenda-se que a fundação seja feita de maneira convencional: sapata corrida de concreto armado, com impermeabilização de topo, de preferência mais larga que as paredes, para formar rodapés no interior da edificação e receber os respingos de chuva no exterior.

#### ***7.5.4.4 Processo construtivo em terra ensacada***

O processo construtivo feito manualmente provou demandar muito esforço físico. Acredita-se que a técnica promova edificações de qualidade, mas que seu uso como abrigo deve ser feito onde haja muita mão de obra disponível ou pessoas com bom preparo físico.

#### 7.5.4.5 *Dinâmica de trabalho*

Com a primeira equipe, somente dois funcionários, a dinâmica de trabalho ficava comprometida. No primeiro momento uma pessoa ficava parada segurando o funil para não dar descontinuidade à fiada enquanto a outra tinha todo o trabalho de carregar o carrinho de mão de terra e a despejar dentro do funil. No segundo momento, o funil passou a ser deixado apoiado no fim da fiada e uma pessoa compactava enquanto o outro carregava o carrinho.

Com a segunda equipe, o trabalho fluiu muito melhor. Trabalhado com três a cinco pessoas, o funil permanecia erguido, evitando quebrar a continuidade da fiada e mantendo o fluxo de preenchimento da sacaria era mais constante.

Acredita-se que o número ideal de trabalhadores seja cinco, locados nas seguintes tarefas:

- Um a encher os baldes com a pá;
- Dois a carregar os baldes cheios até o local de descarga e retornar os vazios;
- Um a segurar o funil;
- Um a colocar a terra no saco.

Acredita-se que a velocidade de trabalho cresce exponencialmente até esse número, sendo que se deve conseguir mais um funil caso haja mais pessoas trabalhando.

Infelizmente não se conhecia o funil com cavalete, melhoria feita por Flávio Duarte e Bruno Azevedo (Biohabitate, 2014). Acredita-se que essa medida possa aumentar a produtividade, uma vez que evita esforços desnecessários e posturas incômodas.

#### 7.5.4.6 *Aberturas*

Para as janelas foram usadas molduras de concreto armado leve, a fim de se evitar que eventuais assentamentos da parede de terra pudessem comprometer a abertura das janelas. Acredita-se que esta foi uma decisão acertada, permitindo que a parede trabalhe, sem impedir a abertura das janelas. O preço comparativo entre as peças feitas *in loco* era comparável às pré-fabricadas, que poderiam ser feitas sob medida, e ambas eram muito

mais baratas do que molduras em madeira tratada da largura da parede e com espessura suficiente para na fletir com as tensões.

Para as molduras das portas, usar o topo da moldura como verga para a porta não funcionou, pois impediu que as fiadas logo abaixo da verga fossem bem compactadas, praticamente anulando a serventia da verga. Para uma futura construção, usar-se-iam portais sem saliências e vergas de concreto ou terra ensacada estabilizada armada.

#### **7.5.4.7 Vedação**

Quanto às vedações, acredita-se, após a experiência com o protótipo, que o mais adequado seja começar as paredes após a instalação das molduras das portas (em concreto também). As pontas soltas não ficam tão bem compactadas e pressionam as molduras de madeira.

A dificuldade em se usar os equipamentos de proteção individual também deve ser considerada. Sugerem-se andaimes fachadeiros e sapatos com travas de plástico (Figura 136).

Figura 136 - Trabalho em altura.



Fonte: autoral, 2014.

As esperas das paredes não foram bem sucedidas. Provavelmente à época da expansão da casa, essas partes já teria comportamento diferente ao da nova parede, assim, são desaconselháveis, bem como as prateleiras embutidas durante a construção. No protótipo, prateleiras foram instaladas na cozinha, na sala e no dormitório durante a produção das paredes. A

presença desses elementos atrapalhou o uso dos andaimes, comprometendo a segurança e a fluidez da construção. Este e outros detalhes podem ser vistos na Figura 137.

Figura 137 - Processo construtivo visto no nível das vergas.



Fonte: autoral, 2014.

Não foram observados problemas descritos na literatura como mofo na fase de secagem das paredes, nem de descolamento do reboco convencional.

#### **7.5.4.8 *Cinta de amarração***

A cinta de amarração parece funcionar bem até o momento, em outra experiência, usar-se-iam duas fiadas de terra ensacada estabilizada e armada com bambu, ou cinta convencional de concreto armado por seu custo benefício.

#### **7.5.4.9 *Cobertura***

A cobertura teve desempenho superior ao esperado. O uso desta telha permitiu economias por ter isolamento térmico tal que dispensa o uso do forro. Também contribuiu para a iluminação durante a noite, uma vez que reflete a luz recebida (Figura 138).

Figura 138 - Telhas de material reciclado refletindo a luz recebida.



Fonte: autoral, 2014.

Para o futuro, espera-se poder testar seu desempenho ao portar um telhado verde.

#### ***7.5.4.10 Revestimentos e Acabamentos***

No protótipo, optou-se por rebocos impermeáveis de cimento nas faces exteriores da edificação para proteger da chuva e economizar com beirais. Em uma próxima experiência, manter-se-ia uma das faces das paredes rebocada com materiais vapor-permeáveis ou se manteria o reboco convencional para as áreas molhadas, investindo-se em aumentar as fundações e os beirais uma vez que o desempenho dos rebocos de terra mostrou-se muito satisfatório.

Outra medida seria não dar acabamento liso às paredes. O acabamento ondulado, seguindo a forma das fiadas, além de economizar reboco, permite que o som seja difundido, criando ambientes habitacionais acusticamente mais confortáveis.

### 7.5.5 Apropriação pelos usuários

“Qualquer nova tecnologia gradualmente cria um novo ambiente para o ser humano.”  
Marshall McLuhan.

Foi percebida uma grande apropriação por parte do dono do terreno, de seus familiares e visitantes. Pessoas que conheceram antes têm demonstrado interesse em mostrar para as novas, em pequenos *tours*.

A construção que serviria de apoio às obras tem servido para o uso da família em confraternizações, e familiares de fora da cidade demonstram interesse em ficar hospedados ali.

As pessoas em geral se impressionam com o bom acabamento, com o conforto térmico e com a impressão de solidez das paredes.

Este é um aspecto em que se considera que a construção foi bem sucedida.

#### 7.5.5.1 Futuras instalações

Em havendo possibilidade, ainda se realizarão as seguintes ações e instalações:

- Pintura de solo ou silicato de potássio no dormitório;
- Elemento sacrificial no rodapé externo das paredes sul e oeste, para protegê-las dos respingos;
- Pérgula<sup>36</sup> e caramanchão para proteger a fachada sul da chuva dirigida por vento;
- Coleta de água da chuva;
- Painéis solares para aquecer água;
- Sanitário seco;
- Composteira.

---

<sup>36</sup> - Pérgula - elemento decorativo com função de abrigo, executado em jardins ou espaços livres, constituído de plano horizontal definido por elementos que formam espaços vazados (BRASIL, 2009a).



## 8 CONCLUSÕES

A construção com terra ensacada executada com o método utilizado neste trabalho resultou em elementos verticais com desempenho satisfatório até um ano após sua construção com base em alguns requisitos de segurança estrutural, de habitabilidade, de sustentabilidade econômica e de satisfação do usuário.

Foi possível reunir informações sobre o estado da arte da construção com terra ensacada e recomendações sobre suas boas práticas. Descobriu-se que seu uso é bastante antigo e já existem diversas variações e melhorias em termos de tipo de sacaria, material de preenchimento e formas de preenchimento e compactação, mesmo em graus elevados de mecanização, o que promove sua aplicação em larga escala.

Foi possível reunir requisitos normativos acerca do projeto de edificações em terra crua compactada e constatar que já existem textos normativos que contemplam a construção em terra ensacada. Estes requisitos foram aplicados na concepção de um projeto-tipo em terra ensacada e as recomendações reunidas foram utilizadas como orientação para a construção de um protótipo, o que permitiu registrar informações sobre o processo construtivo em terra ensacada e analisar qualitativamente a técnica e o desempenho deste protótipo segundo os parâmetros mensuráveis no contexto.

Quanto à aquisição dos materiais, a sacaria de PEAD-MR foi adquirida facilmente, já o solo foi de difícil aquisição por telefone, já que as empresas que vendem não conhecem suas características, tendo sido mais prático encontrar uma obra com grande movimentação de terra, coletar uma amostra, conferir sua viabilidade e encomendar terra diretamente na obra. Quanto à caracterização do solo, não se obtiveram bons resultados com os testes de campo, sendo os ensaios de laboratório muito mais úteis, por permitir determinar com segurança se o solo deve ser estabilizado e qual estabilizante devem ser usados. Quanto ao processo construtivo com preenchimento e compactação manuais, constatou-se a afirmação encontrada na literatura de que este é um processo que demanda muito esforço físico, sendo esse fato corroborado pelos trabalhadores envolvidos. Acredita-se que esta seria uma opção viável para o cenário pós-desastre somente se houver mão de obra com bom preparo físico ou muitos membros da comunidade dispostos a ajudar

As maiores dificuldades encontradas foram na contratação e no treinamento da mão de obra. Não se encontrou mão de obra que conhecesse a técnica, gerando problemas com o primeiro orçamento feito e erros de execução. Quanto ao recrutamento, recomenda-se contratar

empregado com equipe estruturada e, antes de assinar contrato, combinar com o empregado um dia de trabalho com a técnica em que pode ser feito o treinamento. Quanto à supervisão, esta deve ser frequente, uma vez que ao encontrar dúvidas, a mão de obra procura soluções baseadas em seu conhecimento de construção convencional, que nem sempre se aplicam à construção com terra ensacada.

Os custos de construção foram comparáveis aos esperados para a construção convencional para o mesmo período. Estima-se que com uma mão de obra bem treinada, os custos e o tempo da obra seriam sensivelmente reduzidos.

Acredita-se que a técnica da construção em terra ensacada possui grande potencial como tecnologia construtiva pela simplicidade de execução, baixo impacto dos materiais, baixo custo de construção e desempenho satisfatório.

## 8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que esta é uma técnica valiosa para a construção de habitações de interesse social não só por reduzir o uso de materiais de alto impacto ambiental como o cimento, o aço, a pedra britada e os blocos cerâmicos, mas por resultar em edificações de desempenho satisfatório com custos inferiores. No entanto, esta técnica exige um grande volume de material, ou seja, muita movimentação de terra, muita energia de elevação e compactação. As estruturas geradas são consistentes, resistentes a abalos sísmicos e à prova de balas, mas são pesadas e devem ser projetadas com cuidado e aplicadas sobre fundações pertinentes, reforçando a necessidade de acompanhamento técnico. Considerações sobre a origem do material também são fundamentais para garantir a sustentabilidade.

## 8.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se que sejam feitas análises mais completas acerca do desempenho do protótipo construído segundo outros requisitos e critérios presentes nas normas brasileiras de desempenho construtivo, a fim contribuir para validar a técnica de construção em terra ensacada como uma alternativa para a habitação de interesse social.

Recomenda-se também que seja elaborada no Brasil uma norma de construção em terra crua, que contemple estas e outras técnicas, como existem em vários países.

## 9 REFERÊNCIAS

ABCP. **Sustentabilidade do concreto**, 2010. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/sustentabilidade/>>. Acesso em: 17/12/14.

ABEL, T. Hungarian Cordwood by Tamas Abel. **Cordwood Construction**, 2012. Disponível em: <<https://cordwoodconstruction.wordpress.com/2012/11/04/hungarian-cordwood-by-tamas-abel/>>. Acesso em: 30/03/2015.

ABIKO, A. K. **Tecnologias apropriadas em construção civil**. Unicamp, 2003. ISBN 852680653X.

ABNT. **NBR 6459:1984. Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1984a.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181:1984 Versão Corrigida:1988. Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1984b.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180:1984 Versão Corrigida:1988. Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1984c.

\_\_\_\_\_. **NBR 6457:1986. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1986a.

\_\_\_\_\_. **NBR 7182:1986. Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1986b.

\_\_\_\_\_. **NBR 6502:1995. Terminologia - Rochas e Solos**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13602:1996 Solo - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio sedimentométrico comparativo - Ensaio de dispersão SCS - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 12721:2006. Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios -**

Procedimento. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 13553:2012**  Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos.. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1:2012** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2013a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-2:2012** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2013b.

ALCORN, A. **Embodied Energy and CO2 Coefficients for New Zealand Building Materials**. Centre for Building Performance Research, p.31. 2003. (0-475-11099-4)

ALI, M.; SAIDUR, R.; HOSSAIN, M. A review on emission analysis in cement industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2252-2261, 2011.

ALMEIDA, D. Restaurante Dalva e Dito. **Arquitetura entre outras coisas...** 2009. Disponível em: <<http://arqdeboraalmeida.blogspot.com.br/2009/12/restaurante-dalva-e-dito.html>>. Acesso em: 06/04/2015.

ALVES, M. R. **Governo autoriza uso de madeira no Minha Casa Minha Vida. Exame**. On line: Editora Abril 2014.

ANDERTON, J. Eternally Solar. **Earthbag Build**, 2007. Disponível em: <<http://www.earthbagbuild.com/>>. Acesso em: 08/04/2015.

ANICER; FUNDACER. **Avaliação do ciclo de vida do produto cerâmico**. On line: Associação Nacional da Indústria Cerâmica e Fundação Nacional da Cerâmica 2014.

ASTM. **Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems1**. Pennsylvania, USA: ASTM International. ASTM E2392 / E2392M - 10e1 2010.

ATALA, A.; POLETTTO, A. Dalva e Dito. **Dalva e Dito**, 2015. Disponível em: <<http://dalvaedito.com.br/>>. Acesso em: 06/04/2015.

AUGARDE, C. **Earthen Construction Research**, Durham, 2014. Disponível em: <<https://www.dur.ac.uk/ecs/research/groups/mechanics/soilbased/morearth/>>. Acesso em: 09/02/2012.

AZEVEDO, I. B. D. **O prazer da produção científica: diretrizes para a elaboração de trabalhos científicos**. Piracicaba: Ed. da UNIMEP, 1998.

BACCI, D. D. L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. D. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 1, p. 47-54, 2006.

BARBOSA, N. P.; MATTONE, R.; MESBAH, A. Blocos de Concreto de Terra: uma opção interessante para a sustentabilidade da construção. 44º Congresso Brasileiro de Concreto, 2002. Belo Horizonte.

BARBOSA, N. P.; NEVES, C. Mesa Redonda - Normalização da Arquitetura e Construção com Terra. Terra Brasil 2014, 2014. Viçosa. 16/10/2014.

BARNES, B. *et al.*. Design of sustainable relief housing in Ethiopia: An implementation of cradle to cradle design in earthbag construction. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 5, n. 2, p. 137, 2009.

BB, B. D. B. **Programa Minha Casa Minha Vida** 2012.

BEE, B. The cob builders handbook. **You Can Hand-Sculpt Your Own Home, Editorial Groundworks Murphy, USA**, 1997.

BENINCASA, V. **As casas de fazenda paulistas**. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. Online: SBPC 2010.

Biopack (Hiperadobe). **Citropack**, 2015. Disponível em: <<http://www.citropack.com.br/bio-pack/biopack-hiperadobe.html>>. Acesso em: 07/04/2015.

BOBBY. Bolas de massa de cobe. **Siroven Bird**, 2012. Disponível em: <[https://sirovenbird.files.wordpress.com/2012/05/img\\_1619.jpg?w=731](https://sirovenbird.files.wordpress.com/2012/05/img_1619.jpg?w=731)>. Acesso em: 30/03/2015.

BRAGA, T. O. **Auditoria ambiental: uma proposta para empreendimentos mineiros**. São Paulo: IPT, 1996. 18 ISBN 8509001081.

BRANDÃO, M. G. S. **Ecologia Urbana - Potencialidades e Possibilidades: Sustentabilidade na Construção Civil**. 2009. 73 Monografia (Especialização). Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BRASIL. **Caderno de Instrução CI 10-7/1: LOGÍSTICA DE SUBSISTÊNCIA**. TERRESTRES, E. B.-C. D. O. Brasília-DF: MINISTÉRIO DA DEFESA: 47 p. 2005a.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Comando de Operações Terrestres

**Caderno de instrução em logística de subsistência**. Brasília, 2005b. 47 p.

\_\_\_\_\_. **LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE PROJETO ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL: ISOIETAS ANUAIS MÉDIAS PERÍODO 1977 A 2006**. SECRETARIA DE GEOLOGIA, M. E. T. M. Brasília-DF: Ministério de Minas e Energia 2006.

\_\_\_\_\_. **LEI Nº 2.105. DE 8 DE OUTUBRO DE 1998**. Código de Edificações do Distrito Federal. REPÚBLICA, P. D. Brasília: DODF 2009a.

\_\_\_\_\_. **LEI Nº 11.977, DE 7 DE JULHO DE 2009**. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV (...). REPÚBLICA, P. D. Brasília: DOU 2009b.

\_\_\_\_\_. **PORTARIA N 318, DE 12 DE JUNHO DE 2014**. Dispõe sobre o uso de madeira na construção e reforma de habitação, no âmbito do Programa Nacional de Habitação Rural - PNHR, integrante do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV. CIDADES, M. D. Brasília: Diário Oficial da União 2014.

BUDDENHAGEN, C. **Direito à Habitação** 2003.

CAL-EARTH. **Cal-Earth**, 2014. Disponível em: <<http://calearth.org/>>. Acesso em: 09/04/2013.

CASTELLS, A. N. D. **A criatividade dos sem-terra na construção do habitat: um olhar etnográfico sobre a dimensão espacial do MST**. 2001. 234 f. 2001. Tese (Doutorado em Ciências humanas)–Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

Castillo de Bury al-Hammam. **Baños de la Encina**, 2015. Disponível em: <<http://www.bdelaencina.com/>>. Acesso em: 30/03/2015.

CAU/BR. **TABELAS DE HONORÁRIOS DE SERVIÇOS DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL. REMUNERAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFICAÇÕES** Brasília: Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil 2013.

CBCS , C. B. D. C. S. **Sobre CBCS**, 2007. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/>>. Acesso em: 09/07/2013.

CEF, C. E. F. **DEMANDA HABITACIONAL NO BRASIL**. Brasília, 2011. 170 p.

\_\_\_\_\_. **SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI). PREÇOS DE INSUMOS** Brasília, 2014. 108 p.

CHIRAS, D. D. **The Natural House: A Complete Guide to Healthy, Energy-efficient, Environmental Homes**. Chelsea Green Pub., 2000. ISBN 9781890132576. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=z\\_Y2AObA-joC](http://books.google.com.br/books?id=z_Y2AObA-joC)>.

CID. **New Mexico Earthen Buildings Materials Code. HOUSING AND CONSTRUCTION - BUILDING CODES GENERAL**. Novo Mexico, EUA Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department of Santa Fe. NMAC 14.7.4. 2003. 2004.

CID , J. F.; MAZARRON, F. R.; GUERRERO, I. C. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. **Informes de la construcción revista de informacion tecnica**, v. 63, n. 523, p. 159-169, 2011.

Cidades históricas de Goiás. **Atrativos culturais: Cine Pireneus**, 2015. Disponível em: <<http://www.cidadeshistoricasdegoias.tur.br/pirenopolis/atrativos/culturais/cine-pireneus/>>. Acesso em: 11/04/2015.

CMMAD, C. M. S. O. M. A. E. D. **Nosso futuro comum**. Editora da Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas: 430 p. 1991.

COINTERAUX, F. **Ecole d'architecture rurale**. publisher not identified, 1796.

COMIM, C. Encantos do Sul da Ilha. **Viagens e Viagens**, 2013. Disponível em: <<http://www.viagemeviagens.com/2013/florianopolis-e-os-encantos-do-sul-da-ilha-parte-ii/>>. Acesso em: 12/04/2015.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986: Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental de Extração Mineral das classes I, III, IV, V, VI, VII, VIII e IX.** 1990. p.

COOPER, N. Vila de Ndebele. **Dreams time**, 2009. Disponível em: <<http://pt.dreamstime.com/foto-de-stock-vila-de-ndebele-image11470850>>. Acesso em: 30/03/2015.

CORRÊA, A. A. R. Incorporação de partículas lignocelulósicas e “baba de cupim sintética” no adobe. 2014.

COUTANT, C. GRAINE **Stage Pisé (mur de terre comprimé)**, 06/05/2013 2013. Disponível em: <<http://graine-pdl.org/evenement/stage-pise-mur-de-terre-comprime>>. Acesso em: 16/04/2015.

CROFT, C. **Structural Resistance of Earthbag Housing Subject to Horizontal Loading.** 2011. 68 Dissertação (Mestrado). Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, Bath.

CROFT, C. S. **Structural resistance of earthbag housing.** EWB - UK National Research & Education Conference 2011 'Our Global Future'. -UK, E. W. B. Londres: Royal Academy of Engineering 2011.

CRUZ, M. **Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário** 2015.

CULLINS, T. A New School and Community Center. **Building on human nature**, 2013. Disponível em: <<http://truexcullins.com/category/news/international/page/2/>>. Acesso em: 08/04/2015.

DA SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, 2005.

DAIGLE, B.; HALL, K.; MACDOUGALL, C. Earthbag housing: structural behaviour and applicability in Sri Lanka. **ICE - Engineering Sustainability**, v. 164, n. 4, p. 261 –273, 2011.

DAIGLE, B. C. **Earthbag Housing: Structural Behaviour and Applicability in Developing Countries.** 2008. 182 (Master of Science in Engineering). Department of Civil Engineering, Queen’s University, Kingston, Ontario, Canada.



DE SOUZA, A. M. **Guia dos bens tombados, Santa Catarina. CIVILIZAÇÃO BRASILEIRA**, 1992. ISBN 8520801609.

DEVON. Cordwood construction. **Home by Design**, 2015. Disponível em: <<http://homebydesign.co/cordwood-construction/>>. Acesso em: 29/03/2015.

DIAS, J. C. T. **As origens do culto de Cosme e Damião. Sacrilegens Revista dos alunos pós-graduação em ciência da religião UFJF: UFJF** 2015.

DICKER, E. T. **Construction method of assembling bagged, settable modules**: Google Patents 1975.

DISTRITO\_FEDERAL. **Lei n. 2.105, de 08 de outubro de 1998.**, 1998. p.

DOS SANTOS, C. A.; LIBRELOTTO, L. I.; JACINTHO, C. Building with Earth-Brazil's Most Popular Raw Earth Building Techniques and the Opinion of Experienced Builders. **Key Engineering Materials**, v. 600, p. 123-131, 2014.

DUARTE, F.; AZEVEDO, B. Biohabitate. 2015. Disponível em: <<http://www.biohabitate.com.br/>>. Acesso em: 04/04/2015.

Dynalab Corp. **Technical info hd polyethylene**, 2015. Disponível em: <[http://www.dynalabcorp.com/technical\\_info\\_hd\\_polyethylene.asp](http://www.dynalabcorp.com/technical_info_hd_polyethylene.asp)>. Acesso em: 08/04/2015.

Earth Home Builder. **United Earth Builders**, 2014. Disponível em: <<http://www.unitedearthbuilders.com/#!earth-home-builder/c1bkm>>. Acesso em: 04/04/2015.

Earthbag Building. **Earthbag Building**, 2015. Disponível em: <<http://www.earthbagbuilding.com/>>. Acesso em: 07/04/2015.

Earthen architecture in today's world. In: ELOUNDOU, L. e JOFFROY, T., International Colloquium on the Conservation of World Heritage Earthen Architecture, 2012. UNESCO Headquarters, Room XI – Paris, France. UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 17 – 18 December 2012.

EASTON, D. **The rammed earth house**. Chelsea Green Publishing, 2007. ISBN 1603581596.

ECOFLUTUANTE. **Detalhe parede brickeradobe** 2013.

ECOPRESERVE. **Ecopreserve**, 2012. Disponível em: <[http://www.ecopreserve.com.br/telha\\_ap.php](http://www.ecopreserve.com.br/telha_ap.php)>. Acesso em: 20/05/2013.

EDWARDS, K.; EVE, C. **Edwards & Eve Cob Buildings**, Fleggburgh, 2015. Disponível em: <<http://www.cobcourses.com/cob-houses/>>. Acesso em: 30/03/2015.

ELKINGTON, J. Governance for Sustainability. **Corporate Governance: An International Review**, v. 14, n. 6, p. 522-529, 2006.

ENSAG. **CRAterre** Grenoble, 2014. Disponível em: <<http://craterre.org/>>. Acesso em: 03/01/2015.

EVANS, I.; SMILEY, L.; SMITH, M. G. **The Hand-sculpted House: A Philosophical and Practical Guide to Building a Cob Cottage**. Chelsea Green Publishing Company, 2002. ISBN 9781890132347. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=tGEmmolyeSUC>>.

FARIA, O.; CARVALHO, A. **Oficina de caracterização de solos**. SANTOS, C. A. D. Viçosa-MG 2014.

Fazendas Paulistas. 2015. Disponível em: <<http://www.fazendaspaulistas.com.br/>>. Acesso em: 12/04/2015.

FERNANDES, J. M. **Uma casa construída em apenas duas horas**. Obra24horas. On line 2013.

FERREIRA, A. B. D. H. Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa. **Rio de Janeiro: Nova Fronteira**, 1986.

FGS Brasil. **O polietileno e o polipropileno**, 2015. Disponível em: <<http://www.tuboead.com.br/2011/04/o-polietileno-e-o-polipropileno/>>. Acesso em: 15/04/2015.

FIEMG; FEAM. **GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA**. Belo Horizonte: Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais e Fundação Estadual de Meio Ambiente: 57 p. 2013.

FJP, F. J. P. **Déficit Habitacional no Brasil: anos 2011 e 2012**. Belo Horizonte: Centro de Estatística e Informações - CEI: 17 p. 2014.

Fotos de casas de tijolo ecológico. **Tijolo EcoRio**, 2011. Disponível em: <<http://tijoloecorio.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 01/04/2015.

FURMAN; KEIL. Cozinha de rancho de taipa. **Furman + Keil Architects**, 2010. Disponível em: <<http://www.fkarchitects.net/rammed-earth-ranch/>>. Acesso em: 01/04/2015.

GANDREAU, D.; DELBOY, L.; JOFFROY, T. **Inventory of Earthen Architecture** UNESCO - UNITED NATION'S EDUCATIONAL, S. A. C. O.: World Heritage Earthen Architecture Programme (WHEAP); 206 p. 2012.

GEIGER, O. **EARTHBAG BUILDING GUIDE: VERTICAL WALLS STEP-BY-STEP**. Online: GEIGER RESEARCH INSTITUTE OF SUSTAINABLE BUILDING: 92 p. 2011.

\_\_\_\_\_. Eternally Solar / Earthbag Building System Follow-up. **Natural Building Blog**, 2013. Disponível em: <<http://www.naturalbuildingblog.com/shelter-craft-project/>>. Acesso em: 01/04/2015.

\_\_\_\_\_. Earthbag Plans. 2015a. Disponível em: <<https://earthbagplans.wordpress.com/>>.

\_\_\_\_\_. More Info on Compressed Earth Blocks (CEBs). **Natural Building Blog**, 2015b. Disponível em: <<http://www.naturalbuildingblog.com/more-info-on-compressed-earth-blocks-cebs/>>. Acesso em: 01/04/2015.

\_\_\_\_\_. Sandbag Machines. **Earthbag Building**, 2015c. Disponível em: <<http://www.earthbagbuilding.com/>>. Acesso em: 07/04/2015.

\_\_\_\_\_. Sandbag War Structures. **Earthbag Building**, 2015d. Disponível em: <<http://www.earthbagbuilding.com/>>. Acesso em: 07/04/2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas 1991.

GONÇALVES, T. D.; GOMES, M. I. **Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto**. Jornadas LNEC: engenharia para a sociedade, investigação e inovação, cidades e desenvolvimento 2012.

Google Imagens. 2014. Disponível em: <<http://www.google.com.br/images>>. Acesso em: 10/10/2014.

Great Mosque of Djénne. **Great Mosque of Djénne**, 2015. Disponível em: <<http://www.greatmosqueofdjenne.com/Great-Mosque-of-Djenne-History.html>>. Acesso em: 31/03/2015.

GÜNTZEL, J. G. **Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland**. Ökobuch Verlag, 1988. ISBN 3922964990.

HALL, M.; LINDSAY, R.; KRAYENHOFF, M. **Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications**. Elsevier Science, 2012. ISBN 9780857096166. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=YYBwAgAAQBAJ>>.

HAMMOND, G.; JONES, C. **Inventory of Carbon and Energy, Version 1.5 Beta**. 2006

HART, K. Type of Earthbags to Use. **Earthbag Building**, 2015. Disponível em: <<http://www.earthbagbuilding.com/faqs/bags.htm>>. Acesso em: 07/04/2015.

HARTKOPF, V. **Indigenous Building Techniques of Perú and their potential for improvement to better with and earthquakes**. AID Y PERU. Ministerio de Vivienda y Construccion de Peru. Lima. 1981

HEISE, A. **Taipal**, 2015. Disponível em: <<http://www.taipal.com.br/>>. Acesso em: 01/04/2015.

HEISE, A. F. **Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solo-cimento em taipa de pilão**. 2004. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HIRANO, S. **Learning from the urban transitional shelter response in Haiti**. Catholic Relief Services. 2012

HOFFMANN, A. B. **Avaliação da sustentabilidade na etapa de projeto em habitação de interesse social (HIS): estudo de casos em Rancho Queimado - SC**. 2014. 240 (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HOFFMANN, M. **Entrevista: construindo com terra**. SANTOS, C. A. D. Viçosa 2014.

HOFFMANN, M. V.; MINTO, F. C. N.; HEISE, A. F. **Técnicas de construção com terra**. NEVES, C. e FARIA, O. B. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA: 19 p. 2011.

HORTELANO, C. M. First earthbag shelter system in Escalante **Earthbag Building**, 2015. Disponível em: <<http://www.earthbagbuilding.com/projects/clinic.htm>>. Acesso em: 07/04/2015.

Houben, H.; Guillaud, H. **Traité de construction en terre**. Marseilles: Parenthèses, 1989. ISBN 2863640410.

Houben, H.; Guillaud, H. **Earth construction: A comprehensive guide**. Londres: Intermediate Technology Development Group Publishing, 1994. ISBN 185339193X.

Houston, C. **Portsea retains sandbag wall against expert advice**. The Age. Victoria 2013.

Hunter, K.; Kiffmeyer, D. **Earthbag building: the tools, tricks and techniques**. Gabriola Island, BC: New Society Publishers: 257 p. 2004.

IAB, I. A. B. **Relatório de Sustentabilidade 2014**. On line: Instituto Aço Brasil: 49 p. 2014.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. RENDIMENTO, D. D. E. E. Rio de Janeiro: IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2007-2012.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2013.

IPCC, I. P. O. C. C. **Fourth assessment report: climate change 2007**. Genebra, Suíça, p.104. 2007

IPEC, E. Produção de tijolos de adobe. **Bioconstruindo**, 2013a. Disponível em: <<http://www.ecocentro.org/cursos/bioconstruindo/>>. Acesso em: 01/04/2015.

\_\_\_\_\_. **Verga de manilha** 2013b.

IPHAN. **Roteiros Nacionais de Imigração - Santa Catarina**. Dossiê de Tombamento: Síntese das propostas de tombamento. Florianópolis: Superintendência Estadual do IPHAN em Santa Catarina: 340 p. 2007.

ISOLDI, R.; SATTler, M. A.; Gutierrez, E. **Tecnologias inovadoras visando a sustentabilidade: um estudo sobre inovação, técnica,**

**tecnologia e sustentabilidade em arquitetura e construção.** Seminário Internacional sobre inovações tecnológicas e sustentabilidade. São Paulo: NUTAU 2006.

ITURRA, R. Casa de adobe. **Aventar**, 2011. Disponível em: <<http://aventar.eu/2011/01/22/>>. Acesso em: 01/04/2015.

JACINTHO, C. **Entrevista: construindo com terra-ensacada.** SANTOS, C. A. D. 2010.

JAQUIN, P. Haus Rath. **Flickr**, 2008. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/pauljaquin/2942889294/>>. Acesso em: 30/03/2015.

JAQUIN, P. *et al.* . The strength of unstabilised rammed earth materials. **Geotechnique.**, v. 59, n. 5, p. 487-490, 2009.

Jardim Botânico. **Galeria de fotos**, 2013. Disponível em: <<http://www.jardimbotanico.df.gov.br/component/content/article?id=42>>. Acesso em: 15/04/2015.

JENSEN, M. *et al.* . **Natural Homes**, 2012. Disponível em: <<http://naturalhomes.org/goatlings.htm>>. Acesso em: 30/03/2015.

JIMENEZ DELGADO, M. C.; CAÑAS GUERRERO, I. The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. **Construction and building materials**, v. 21, n. 2, p. 237-251, 2007.

KAPFINGER, O. **Martin Rauch: rammed earth, Lehm und Architektur, terre cruda.** Editions Birkhäuser, 2001. ISBN 3764364610.

KENNEDY, J. **Building Without Borders: Sustainable construction for the global village.** New Society Publishers, 2009. ISBN 1550923102.

KHALILI, D. **A very small home called Eco-dome: documentary of its construction.** [Online]: Cal-Earth - The California Institute of Earth Art and Architecture.: 1h20' p. 2005.

KHALILI, E. N. Lunar structures generated and shielded with on-site materials. **Journal of Aerospace Engineering**, v. 2, n. 3, p. 119-129, 1989.

KHALILI, E. N. **Earthquake resistant building structure employing sandbags:** Google Patents 1999.

KHALILI, N.; KHALILI, E. N. **Ceramic houses and earth architecture: how to build your own.** Burning Gate Press, 1990. ISBN 1878179020.

KHALILI, N.; VITTORE, P. **Earth Architecture and Ceramics: The Sandbag/Superadobe/ Superblock Construction System.** Building standards 1998.

KIM. Muralha da China (206 AC). **1001 Travel Destinations**, 2013. Disponível em: <<https://1001traveldestinations.wordpress.com/2013/02/06/0003-the-great-wall-of-china-one-of-the-greatest-wonders-of-the-world/>>. Acesso em: 22/04/2014.

KLEIN, D. L.; KLEIN, G. M. B.; LIMA, R. C. A. **Sistemas construtivos inovadores: procedimentos de avaliação.** II Seminário de Patologia da Edificações - Novos materiais e tecnologias emergentes. Porto Alegre.: UFRGS 2004.

KOCH, G.; KUNZE, C.; SEIDL, J. **LOAM CONSTRUCTION - FROM A NICHE PRODUCT TO AN INDUSTRIAL BUILDING SYSTEM.** SB05 Tokyo: The 2005 World Sustainable Building Conference. Rotterdam (Netherlands): in-house publishing: p.1270-1275 p. 2005.

KOZICKA, J. Low-cost solutions for Martian base. **Advances in Space Research**, v. 41, n. 1, p. 129-137, 2008.

KRAYENHOFF, M. NK'Mip Desert Cultural Centre. **SIREWALL - Stabilized Insulated Rammed Earth (SIRE)**, 2007a. Disponível em: <<http://www.sirewall.com/portfolio/commercial-projects/nkmip-desert-cultural-centre/>>. Acesso em: 01/04/2015.

\_\_\_\_\_. SIREWALL System. **SIREWALL - Stabilized Insulated Rammed Earth (SIRE)**, 2007b. Disponível em: <<http://www.sirewall.com/about/sirewall-system/>>. Acesso em: 01/04/2015.

KRISTEN. **Muddy Hands**, Petrolia, CA, 2011. Disponível em: <<http://muddyhands.typepad.com/cob/2011/08/starting-the-cob-walls.html>>. Acesso em: 30/03/2015.

Kröten Ecotintas. **Ficha técnica - Tinta Ecosilica**, 2015. Disponível em: <[http://www.kroten.com.br/images/eco\\_exterior.pdf](http://www.kroten.com.br/images/eco_exterior.pdf)>. Acesso em: 10/04/2015.

KRÜGGER, E. L. **Avaliação de sistemas construtivos para habitação de interesse social. VII ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.** Florianópolis. I: 623-629 p. 1998.

LEE, P. François Cointeraux and the School of “Agritecture” in Eighteenth-Century France. **Journal of Architectural Education**, v. 60, n. 4, p. 39-46, 2007.

LENGEN, J. V. **Manual do arquiteto descalço.** Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2004. 692 ISBN 8586848085

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** 2ª. Oficina de Textos, 2010. ISBN 8586238589.

LIBRELOTTO, L. I. *et al.* . A Teoria do Equilíbrio: alternativas para sustentabilidade na construção civil. **DIOESC: Florianópolis**, 2012.

LIMA, E. S. **Moradores e moradores de rua no Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://moradoresderua.org.br/portal/moradores-e-moradores-de-rua-no-brasil/#more-336>>. Acesso em: 14/02/2014.

LIMA JÚNIOR, G. **Arquitetura vernacular praieira.** Recife: Programa Petrobras Cultural, 2007. ISBN 9788590736103

LOTUFO, T.; PINHEIRO, H. Bioconstrução - Pau-a-pique. **Bioarquiteto**, 2007. Disponível em: <<http://www.bioarquiteto.com.br/bioconstrucao/biblioteca/pau-a-pique/>>. Acesso em: 01/04/2015.

LOURENÇO, P. **Arquitetura de Terra: uma visão de futuro. Companhia de Arquitetura e Design [on-line]. Disponível [www. planetaCAD. com](http://www.planetaCAD.com)**, 2002.

MARIGONI, S.; TIMMERMANN, J. A casa da montanha. **Yvy Porã**, Online, 2011. Disponível em: <<http://yvypora.wordpress.com/>>. Acesso em: 12/02/2012.

MARTINS, V. S. **Lugar da morada: a constituição do lugar de viver de famílias rurais no contexto de assentamentos da reforma agrária.** 2009. 235 Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural). FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre.



MCCLINTOCK, M. **Slip into something more comfortable: here are 9 exciting vacation homes that are ready when you are.** Popular Mechanics. Nova Torque: Hearst Magazines. 145: 192 p. 1976.

MELQUÍADES JÚNIOR. **CASAS DE TAIPA: A vida entre paredes de barro.** Diário do Nordeste. Online 2010.

MENDES, R. C.; BARBOSA, L. L. **Documentação de imagens referentes aos sistemas e componentes para design modular em situações de desastres.** 2012. 20 Relatório final de iniciação científica do Programa Ensinar com Pesquisa (Iniciação científica). FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo.

MINISTÉRIO\_DA\_SAÚDE. **Sistema de Informação de Atenção Básica - SIAB** Brasília, 2015. p.

MINKE, G. **Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra.** Forschungslabor für Experimentelles Bauen Universidad de Kassel, 2001.

\_\_\_\_\_. **Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture.** De Gruyter, 2009. ISBN 9783764378738. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=U-88Xa-lm\\_gC](http://books.google.com.br/books?id=U-88Xa-lm_gC)>.

\_\_\_\_\_. **Entrevista: construindo com superadobe.** SANTOS, C. A. D. 2013a.

\_\_\_\_\_. **Revoques de barro : mezclas, aplicaciones y tratamientos.** Icaria Editorial, 2013b. 32 ISBN ISBN 13: 9788498885705.

\_\_\_\_\_. Planungsbüro für Ökologisches Bauen Kassel. **Gernot Minke**, 2015. Disponível em: <<http://www.gernotminke.de/galerie/galerie.html>>. Acesso em: 08/04/2015.

MORAN, E. **Uso del terrocemento en la construcción de vivienda de bajo costo.** . 1984. (Graduação). Facultad de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.

NEUFERT, E.; NEUFERT, P. **Arte de projetar em arquitetura.** Barcelona: Gustavo Gili GG, 2004. ISBN 8425219000.

NEVES, C. **Questionário: Construção com Terra no Brasil.** SANTOS, C. A. D. [Online] 2014.

NEVES, C. *et al.* . **Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra-práticas de campo**: Rede Ibero-americana PROTERRA. 2009.

NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA: 19 p. 2011.

NEVES, C. *et al.* . **Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra-práticas de campo**. PROTERRA/CYTED, IV SIACOT/III ATP 2010.

Nk'Mip Desert Cultural Centre. **Our sustainable buildings**, 2015. Disponível em: <<http://www.nkmipdesert.com/learn/our-building/>>. Acesso em: 01/04/2015.

NOBLAT, R. **Arquitetura: Igreja dos Santos Cosme e Damião, Igarassu**. O Globo: Editora Abril 2011.

PACHECO, F. **Entrevista: construindo com terra-ensacada**. SANTOS, C. A. D. 2013.

PACHECO, F. S. **Hiperadobe passo a passo**. [Online]: Flutuar Engenharia 2012.

\_\_\_\_\_. **BrickerAdobe: muito fácil, muito rápido, muito barato**. [Online]: Flutuar Engenharia 2013.

Parque da Asa Sul. **Outros ares**, 2009. Disponível em: <<http://www.outrosaresbrasil.com.br/index.php/parques/parque-da-asa-sul>>. Acesso em: 14/04/2015.

PELLY, R. **Plastic limit analysis of earthbag structures**. 2009. 14 (Mestrado). Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, Bath.

PEREZ, P. **Programa Minha Casa Minha Vida inova ao utilizar sistema de construção a seco** Obra24horas. On line 2013.

PIGNAL, B. **Terre crue: techniques de construction et de restauration**. Paris: Eyrolles, 2005. ISBN 2212113188.

PIMENTA FILHO, M. D. Á. **ANÁLISE DA EROSÃO INTERNA DE SOLOS EM BARRAGENS COM BASE NA DISTRIBUIÇÃO DE**

**VAZIOS**. 2013. Dissertação (Mestrado). GEOTECNIA E TRANSPORTES, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte.

Pirenópolis. **Atrativos: centro histórico**, 2015. Disponível em: <<http://www.pirenopolis.tur.br/turismo/atrativos/centro-historico>>. Acesso em: 10/04/2015.

PP woven bag. **Diy Trade**, 2015. Disponível em: <[http://www.diytrade.com/china/pd/10960456/PP\\_woven\\_bag.html](http://www.diytrade.com/china/pd/10960456/PP_woven_bag.html)>. Acesso em: 07/04/2015.

Progressive Innovations. **Earth Home Builder™** 2015. Disponível em: <<http://progressiveinnovations.com/earth-home-builder/>>. Acesso em: 07/04/2015.

PROMPT, C. **Curso de bioconstrução**. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Brasília 2008.

PROMPT, C. H. **Arquitetura de terra em unidades agrícolas familiares: estudo de caso no oeste catarinense**. 2012. 176 (Dissertação). PósArq, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

PROMPT, C. H.; BORELLA, L. L. Experiências em construção com terra no segmento da agricultura familiar. Terra Brasil - III Congresso de Arquitetura e Construção com terra no Brasil, 2010. Campo Grande - MS.

REEVES, G. M. *et al.* . **Clay Materials Used in Construction**. Geological Society, 2006. ISBN 9781862391840. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=iDqaIaLe6lkC>>.

RICIARDI, J. PET a Pique - uma nova técnica. **Permacultura sem fronteiras**, 2007. Disponível em: <<http://permaculturasesemfronteira.blogspot.com.br/2007/04/pet-pique-uma-nova-tnica.html>>. Acesso em: 01/04/2015.

RÖTH, W. **Newly erected Kasbah, Tighremt or Berber residential castle made from rammed earth, Ouarzazate, Lower Dades Valley, Kasbahs Route, southern Morocco, Morocco, Africa**. Morocco, Africa 2012.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo: 1989.

Santo Antônio de Lisboa. **Pousada dos chás**, 2014. Disponível em: <<http://pousadadoschas.com.br/blog/santo-antonio-de-lisboa/>>. Acesso em: 13/04/2015.

SANTOS, A. D.; SANTOS, L. K. S.; RIBAS, V. G. **Acessibilidade de habitações de interesse social ao cadeirante: um estudo de caso. Ambiente Construído**. Porto Alegre: Antac - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 5: 55-75 p. 2005.

SANTOS, C. A.; LIBRELOTTO, L. I.; JACINTHO, C. R. S. Building With Earth - Brazil's Most Popular Building Techniques and the Opinion of Experienced Builders. . 14th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies, 2013b. João Pessoa- PB.

SANTOS, C. A. D. **Bioconstrução: Proposta Metodológica e Levantamento de Custos de Instalação para a Aplicação Simultânea de Técnicas de Redução do Impacto Ambiental em Habitações**. 2010. Projeto Final de Graduação (Engenheiro Florestal). Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília.

SANTOS, C. A. D.; LIBRELOTTO, L. I.; HOFFMANN, A. B. **Aconchego – Soluções para o cenário pós-desastre. TERRABRASIL 2014**. Viçosa-MG 2014.

SANTOS, C. A. D. *et al.* . DISASTER RELIEF ARCHITECTURE IN BRAZIL - DEVELOPING A T-SHELTER BASED ON EARTH BUILDING STANDARDS. In: GARDELLA, C. T., Earth USA - Seventh International Earthbuilding Conference, 2013b. Santa Fe, New Mexico. Adobe in Action, 4-6 de outubro.

SANTOS, C. A. D.; LIBRELOTTO, L. I.; JACINTHO, C. **Building with earth: Brazil's most popular raw earth building techniques and the opinion of experienced builders. 14th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies, NOCMAT 2013** 2013a.

SANTOS, C. A. D.; LIBRELOTTO, L. I.; JACINTHO, C. Earth buildings in Brazil: the most popular raw earth building techniques, costs and post-occupation survey. . In: GARDELLA, C. T., Earth USA - Seventh International Earthbuilding Conference, 2013c. Santa Fe, New Mexico. Adobe in Action, 4-6 de outubro.

SANTOS, R. N. D. S. **Novo orçamento para a mão-de-obra do protótipo**. SANTOS, J. R. R. D. Brasília 2015.

SAZ. **Zimbabwe Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures**. Harare: Standards Association of Zimbabwe. 724: 2001 p. 2001.

SCHROEDER, H.; RÖHLEN, U.; VOLHARD, F. Ther German Standards for Building with Earth. International Symposium on Earthen Structures, Indian Institute of Science, Bangalore, 2007. Bangalore. 22-24/08/2007. p.185-190.

Sem Limites. **Jornal Inovador**, 2013. Disponível em: <<http://semlimitesjornalinovador.blogspot.com.br/2013/10/macap-material-de-construcao-em-santo.html>>. Acesso em: 15/04/2015.

SEQUINEL, M. C. M. Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável- Joanesburgo: entre o sonho eo possível. **Análise conjuntural**, v. 24, n. 11-12, p. 12, 2002.

SILVA, E. Geometria funcional dos espaços da habitação. **Textos para Debate**, n. 6, 1982.

SILVA, M. V. C. D.; PICCHI, F. A. IMPACTOS NA GESTÃO DA PRODUÇÃO DECORRENTES DO PROGRAMA: MINHA CASA MINHA VIDA. XIX Congresso Interno de Iniciação Científica, 2011. Campinas. Unicamp.

SILVEIRA, W. J. D. C. **Entrevista: construindo com terra**. SANTOS, C. A. D. 2015.

SINDUSCON. **Custo unitário básico da construção do Distrito Federal**, [Online], 2014. Disponível em: <[http://sinduscondf.org.br/public/uploads/arquivos/133/\\_53454d5310031.pdf](http://sinduscondf.org.br/public/uploads/arquivos/133/_53454d5310031.pdf)>.

SNZ. **NZS 4297. Engineering design of earth buildings**. Wellington: Standards New Zealand 4297 1998a.

\_\_\_\_\_. **NZS 4298. Materials and workmanship for earth buildings**. Wellington: Standards New Zealand 1998b.

SOARES, A. **Soluções Sustentáveis: construção natural**. 2ª. Pirenópolis, GO: Mais Calango, 2008. ISBN 978-85-60707-02-7.

\_\_\_\_\_. Bioconstrução: construindo com a terra. **Ecocentro IPEC**, 2013. Disponível em: <<http://www.ecocentro.org/2013/04/bioconstrucao-construindo-com-a-terra/>>. Acesso em: 05/03/2013.

\_\_\_\_\_. **Entrevista: cursos de construção com terra** SANTOS, C. A. D. 2015.

Soluções industriais. 2015. Disponível em: <<http://www.solucoesindustriais.com.br/>>. Acesso em: 16/04/2015.

SUZUKI, D. **From Rammed Earth to SIREWALL**. Build Green with David Suzuki: CBC 2010.

TIRLONI, L. Partiamo alla scoperta del New Mexico. **Viaggi e racconti**, 2014. Disponível em: <[http://www.viaggiaracconti.it/dettaglio\\_news.asp?id\\_news=1436](http://www.viaggiaracconti.it/dettaglio_news.asp?id_news=1436)>. Acesso em: 28/04/2015.

TOMÁS, J. Arquitetura vernacular: casas Musgum, nos Camarões. **ArchDaily Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/167330/arquitetura-vernacular-casas-musgum-nos-camaroes>>>. Acesso em: 12/04/2015.

TRIVEDI, B. P. **Dirt Domes Designed for Emergency Housing**. National Geographic Today. [Online]: National Geographic Society: 2 p. 2002.

UNESCO. **World Heritage Earthen Architecture Programme**, 2012. Disponível em: <<http://whc.unesco.org/en/earthen-architecture/>>. Acesso em: 06/12/2014.

\_\_\_\_\_. The Great Wall. **World Heritage Centre**, 2015. Disponível em: <<http://whc.unesco.org/>>. Acesso em: 30/03/2015.

VADGAMA, N. **A Material and Structural Analysis of Earthbag Housing**. 2010. 68 Dissertação (Mestrado). Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, Bath.

Vale Europeu. **Casa Duwe em Indaial**, 2015. Disponível em: <<http://www.valeeuropeu.tur.br/site/conteudos/130/Atrativos-Culturais/6/Indaial/>>. Acesso em: 12/04/2015.

VALENCIO, N. O Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) diante das Mudanças Climáticas: desafios e limitações da estrutura e dinâmica institucional. 2007. In: (Ed.). **Sociologia dos desastres: construção, interfaces e perspectivas no Brasil**. . São Carlos: RiMa Editora, 2009.

VARUM, H.; MARTINS, T.; VELOSA, A. Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro. 2005.

Vem pra Pomerode. **Conselho Municipal organiza encontro pelo Dia Nacional do Patrimônio Histórico**, 2012. Disponível em: <<http://www.vemprapomerode.com.br/cultura/noticia/conselho-municipal-organiza-encontro-pelo-dia-nacional-do-patrimonio-historico>>. Acesso em: 12/04/2015.

VITAL, N. O Permacultor Marcos Ninguém Realiza Curso de Bioconstrução em Aldeia (PE). **Oca do Txai**, 2014. Disponível em: <<http://www.ocadotxai.com.br/o-permacultor-marcos-ninguem-realiza-curso-de-bioconstrucao-em-aldeia-pe/>>. Acesso em: 08/04/2015.

WALKER, P. *et al.* **Rammed earth: design and construction guidelines**. Watford: BRE Bookshop Watford, 2005. ISBN 1860817343.

WATSON, L.; MCCABE, K. The cob building technique. Past, present and future. **Informes de la construcción**, v. 63, n. 523, p. 59-70, 2011.

WBCSD. **Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento (CSI)**: World Business Council for Sustainable Development 2002.

WEIMER, G. **Arquitetura popular brasileira**. São Paulo: Martins Fontes, 2005. ISBN 853362199X.

WILLAERT, R. **Cours Royal à Tiébélé**, Flickr, 2009. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/rietje/3380055078/in/photostream/>>. Acesso em: 30/03/2015.

WILSON, Q. **Entrevista: construindo com terra-ensacada**. SANTOS, C. A. D.: [e-mail] 2013.

WOJCIECHOWSKA, P. **Building with earth: a guide to flexible-form earthbag construction**. Chelsea Green, 2001. ISBN 1890132810.

YONEDA, Y. Inhabitat Reader Builds Sustainable Homes in Ghana. **Inhabitat**, 2010. Disponível em: <<http://inhabitat.com/inhabitat-reader-builds-sustainable-homes-in-ghana/2/>>. Acesso em: 08/04/2015.

ИОНИНА, Н. А. **Сто великих наград**. Вече, 2002. Acesso em: 08/04/2015.

Сражение на Сомме. **First War Info**, 2015. Disponível em:  
<<http://www.firstwar.info/battles/index.shtml?3>>. Acesso em: 09/04/2015.



## APÊNDICE A – Especificações de materiais e custos

## Estrutura

Item	Especificação	Marca	Quant	Unid	R\$/unit	R\$
Telha		Tiletron	2	peça	35,69	71,38
Cimento	50kg		15	sacos	18,5	277,5
Telha	Fibrocimento 2,44x1,10		20	peças	25,9	518
Areia	média		1	m <sup>3</sup>	64	64
Areia	fina		2	m <sup>3</sup>	64	128
Frete			1	frete	62,5	62,5
Cal branca			1	sacos	12	12
Silito			1	sacos	4	4
Pinos completo			40	jogo	1	40
Telha ecológica	tubo de pasta de dente	Ecopreserve	1	peça	1100	1100
Cumeeira	tropical 1,10x15 grau 8 100kg	Eternit	5	peças	38,98	194,9
Tela Biopack	0,35 m	Citropack	1000	m	0,85	850
Tela Biopack	49 kg		1	serviço	75	75
Terra	Caminhão Truck 12-14m <sup>3</sup>		1	Unid	230	230
					Total	<b>3627,28</b>

## Ferramentas, aluguéis e outros gastos

Item	Especificação	Marca	Quant	Unid	R\$/unit	R\$ total	Preço item
Fita isolante	10m		1	Unid	3,32	3,32	3,32
Gasolina			1	abastecimento	30	30	30
Facão		Tramontina	1	peça	14,58	14,58	14,58
Disco lixa	G-60 4,5"	Norton	1	peça	2,39	2,39	2,39
Trena	5m		1	peça	13,58	13,58	13,58
Nível	madeira		1	peça	14,69	14,69	14,69
Óculos de segurança	cinza	Super Vision	5	peça	5,65	28,25	28,25
Gasolina			1		50	50	50
Andaimes	Torre	64	30	dias			380
Trava diagonal	de andaime	70	30	dias			0
Tábuas	de andaime	12	30	dias			0
						Total	<b>916,81</b>

## Hidráulica

Item	Especificação	Marc a	Quant	Unid	R\$/unit	R\$ total	Desconto	Preç o item
Tubo soldável marrom	25mm 3m	Tigre	7	peça	8,90	62,30	6,23	56,07
Base registro de pressão	1/4 3/4		1	peça	64,44	64,44		64,44
Manilha	0,9x0,5		8	peça	40,00	320,00		320,00
Tampa	0,9 com furo		1	peça	40,00	40,00		40,00
Frete	Gama-PW		1	frete	70,00	70,00		70,00
Tubo de esgoto	100mm		2	peças	37,50	75,00		75,00
Tubo de esgoto	40mm		1	peças	25,00	25,00		25,00
Joelho	100 esgoto		2	peças	5,00	10,00		10,00
Joelho	40 esgoto		5	peças	2,00	10,00		10,00
Joelho	50 esgoto		3	peças	3,00	9,00		9,00
Redução	50x40 esgoto		1	peças	1,00	1,00		1,00
Massa plástica	400g cinza	Iberê	2	lata	12,10	24,20		24,20
Luva soldável	LR 25x3/4 bucha lâ	Tigre	1	peça	7,10	7,10		7,10
Adaptador soldável	curto 25x3/4 pvc	Tigre	1	peça	0,85	0,85		0,85
Joelho	soldável 25mm 90g	Tigre	1	peça	0,86	0,86		0,86
Joelho	LR 25x3/4 bucha latão azul	Tigre	1	peça	5,83	5,83		5,83
Fita vedar-rosca	18mmx10m	Tigre	1	peça	2,55	2,55		2,55
Tubo esgoto	40mm	Amanco	3	peça	4,45	13,35		13,35
Joelho	esgoto 50x50mm 45g	Tigre	1	peça	3,17	3,17		3,17
Bucha	red esgoto longa 50x40	Tigre	1	peça	2,32	2,32		2,32

Luva soldável	BCH LT 25mmx3/4"	Tigre	1	peça	5,79	5,79	0,46	5,33
Luva soldável	red bch lat 25mm x 1/2"	Tigre	3	peça	5,69	17,07	1,37	15,70
Joelho	soldável 25mm 90g	Tigre	6	peça	0,59	3,54	0,28	3,26
Te	soldável 25mm 90g	Tigre	4	peça	0,89	0,28		0,28
Base registro de pressão	4416 3/4"	Deca	1	peça	39,90	39,90	3,99	35,91
Adaptador soldável	CT bolsa/rosca 25mmx3/4"	Tigre	1	peça	0,69	0,69	0,06	0,63
Joelho	red 90 sold bch lt 25mm x 1/2"	Tigre	1	peça	5,19	5,19	0,42	4,77
Vaso	quadrado moderno		1	peça	96,56	96,56	13,23	83,33
Anel de vedação	para vaso		1	peça	6,56	6,56	0,90	5,66
Bolsa espude	1. 1/2 / 40mm		1	peça	4,33	4,33	0,59	3,74
Caixa de descarga	plena branco		1	peça	29,89	29,89	4,09	25,80
Engate	pvc 40cm	Tigre	1	peça	6,56	6,56	0,90	5,66
Parafuso	para vaso		2	peça	1,00	2,00	0,27	1,73
Tampão	pvc esgoto T 33		1	peça	58,78	58,78	8,05	50,73
Tubo para caixa de descarga	sobrepor		1	peça	9,89	9,89	1,35	8,54
Rejunte epóxi	CZ platina	Quartzolit saco de 1,5 kg	1	saco	60,90	60,90	11,97	48,93
Torneira	mesa bm 1/2	Kelly	1	peça	53,20	53,20	10,45	42,75
Torneira	parede b.m 1/2	Kelly	1	peça	66,62	66,62	13,10	53,52
Torneira	tanque c arejador	Same r	1	peça	28,66	28,66	5,63	23,03
Sifão	multiuso extensivo	Tigre	1	peça	8,42	8,42	1,65	6,77

Tampão	T-16 amparo liso ecológico		3	Unid	38,55	115,6 5	28,29	87,36
						Total	1254,17	

Item	Especificação	Marca	Quant	Unid	R\$/unit	R\$ total
Conduíte liso	3/4" pt/am 50m	Tuboline	2	rolo	50,28	100,56
Lâmpada incandescente	60W 220V	Osram	6	peça	2,28	13,68
Caixa de derivação	4x2 embutir	Legrand Biticin	4	peça	0,56	2,24
Spot	tubo branco liso		2	peça	9,74	19,48
Haste terra cobre	2,4 m		1	peça	22	22
Placa	4x4 F1	Margirius	2	peça	5,12	10,24
Suporte	4x4 F1	Margirius	2	peça	4,17	8,34
Mód Tomada	10A	Margirius	4	peça	8,4	33,6
Mód int	simples	Margirius	6	peça	6,83	40,98
1SS+1SP+Tomada 10A		Margirius	2	peça	27,64	55,28
Tomada	10A 4x2	Margirius	1	peça	12,04	12,04
Placa	4x2	Margirius	1	peça	2,19	2,19
Suporte	4x2	Margirius	1	peça	2,07	2,07
Mód c furo		Margirius	1	peça	1,22	1,22
Cabo flexível	1,0mm	Pirelli	1	rolo	79	79
Vários			1	Unid	183,53	183,53
Barramento de neutro e terra			1	peça		0
Disjuntor	30 ampéres		1	peça		0
Disjuntor	25 ampéres		1	peça		0
Disjuntor	10 ampéres		2	peça		0
Caixa de derivação	4x2 embutir		13	peça		0
					Total	<b>471,49</b>

## Aberturas

Item	Especificação	Marca	Quant	Unid	R\$/unit	R\$ total	Desconto sobre o item	Preço item
Janela	VR-10CG VENZ RETA 120X100X12	Gravia Esquality	1	peça	363,13	363,13		363,13
Janela	JRQ-10CG RETA GR QUAD 100X100X12	Gravia Esquality	1	peça	281,26	281,26		281,26
Janela	JSBR-0GQ CORRER GR QUAD 100X100X12	Gravia Esquality	1	peça	225,25	225,25		225,25
Ferro coluna	5/16 c 3m 7x14 (8mm)	Gerdau	6	peça	44	264		264
Pinus tábua bruta	200x30		21	peça	7,9	165,9		165,9
Pinus tábua bruta	200x10		21	peça	2,07	43,47		43,47
Ferro	06 1/2 CA-50 (12,5)	Belgo	1	peça	55,9	55,9		55,9
Madeira	Peça 1,75 5m	Angelim	4	peça	14,58	137		137
Madeira	Jogos de portal	Amargoso	2	jogo		150		150
Madeira	Peça 4x30 2,2m	Jatobá	2	peça		200	69	131
Madeira	Peça 8x30 2m	Angelim	1	peça		152		152
Serviço	Lixa		1	serviço		80		80
Frete	Riacho Fundo - PW		1	frete	50	50	0	50
Madeira	Tábua 10cm 3m		4	peça		21		21
Madeira	Tábua 12cm 3m		4	peça		31,8		31,8

Madeira	Tábua 30cm 3m		4	peça		58,8		58,8
Madeira	Prancha 4x30 2,2m		6	peça		630		630
Madeira	Vigota 5x10 7m		3	peça		219,4 5		219, 45
Frete	Riacho Fundo - PW		1	Frete		28,95		28,9 5
Vermiculita	Super fina	Minertec	3	sacos	22,9	68,7		68,7
Dobradiças	aço linha leve pino revestido		1	jogo	8,57	8,57		8,57
Vidros e 2 silicones	Ver tabela abaixo		1	kit	300	300		300
							Total	<b>3466 ,18</b>

Vidros	N° de peças	1	2	2	2	3	4	4	8	12	10	10	10	10
	Largura (mm)	130	130	115	285	135	115	280	140	140	140	135	140	140
	Altura (mm)	125	215	215	265	125	125	265	215	240	135	130	140	125



## Acabamentos

Item	Especificação	Marca	Quant	Unid	R\$/unit	R\$ total	Desconto sobre o item	Preço item
Disco lixa ferro	80		1	peça	4,5	4,5		4,5
Disco lixa ferro	50		1	peça	5	5		5
Óleo de linhaça	900ml		2	lata	12,9	25,8		25,8
Válvula Lavatório	LG S/L ABS	Prátika	1	peça	44,63	44,63		44,63
Piso HD 50x50 'A'	PEI 4 51/1097	Esther	35	m²	24,32	851,2		851,2
Tijolo	furado 19x19x9	Anápolis	200	peças	0,37	74		74
Cal hidratada	20kg		2	sacos	14,54	29,08		29,08
Tinta	sem brilho 18l branco	Metalatex	1	lata	384,88	384,88	303,8	81,08
Rejunte	flexível 5 kg bege	Quartzolit	1	sacos	27,98	27,98		27,98
Rejunte	flexível 1kg bege	Quartzolit	2	sacos	6,71	13,42		13,42
Argamassa	AC-I 20kg interna	Precon	8	sacos	6,49	51,92		51,92
Frete	Samambaia-PW		1	frete	90	90		90
Cimento	50kg CII-Z-32	Ciplan	1	sacos	21,11	21,11		21,11
Espacador (cruzeta)	1,5mm p cerâmica		1	sacos	1,6	1,6		1,6
Tijolo	furado 19x19x9	Anápolis	25	peça	0,54	13,5		13,5
Cimento	50kg CII-Z-32	Ciplan	1	sacos	19	19		19
Leite	desnatado longa vida	Leitboim	4	caixas	2,15	8,6		8,6
Cal hidratada	20kg		2	sacos	13,22	26,44		26,44

Areia	fina		2,5	m <sup>3</sup>	79,9	199,75		199,75
Areia	média		1	peça	79,9	79,9		79,9
Cimento	50kg CII-Z-32	Tocantins	20	sacos	19,49	389,8	140	249,8
Cimento	50kg CII-Z-32	Tocantins	5	sacos	19,9	99,5		99,5
Massa corrida	30kg	Luxens	2	sacos	45,8	91,6		91,6
Esmalte sintético	3,6L areia	Poliplast	1	lata	42,9	42,9		42,9
Argamassa	AC-I 20kg interna		5	sacos	6,49	32,45		32,45
Piso HD 50x50 'A'			2,5	m <sup>2</sup>	22,11	55,275	7,57	47,71
Piso HD 50x50 'B'			10	m <sup>2</sup>	7,9	79		79
Rejunte	flexível 1kg bege		2	sacos	6,1	12,2	1,67	10,53
Rejunte	flexível 1kg branco		3	sacos	6,1	18,3	2,51	15,79
Rejunte	flexível 1kg marfim		1	sacos	6,1	6,1	0,84	5,26
Revestimento	ret 30x54 bege	Madra	3,26	m <sup>2</sup>	29,89	97,4414	13,36	84,08
Argamassa	Múltiplo uso 40 kg	Votorantim	1	sacos	12,64	12,64		12,64
Argamassa	AC-I 20kg interna		4	sacos	8,94	35,76		35,76
Areia	média		1	m <sup>3</sup>	85,00	85,00		85,00
Areia	fina		1,5	m <sup>3</sup>	85,00	127,50		127,50
Brita	n° 0		0,5	m <sup>3</sup>	85,00	42,50		42,50
Cimento	50kg		5	sacos	20,00	100,00		100,00
							Total	<b>283,053</b>