

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ISADORA FRANCO DE ALMEIDA**  
**JOÃO MARCOS AGUIAR DO ESPIRITO SANTO**  
**MARIA EDUARDA SIMÕES ROCHA**

**MÉTODO CONSTRUTIVO EM TERRA: O PANORAMA HISTÓRICO,  
TÉCNICO E CONTEMPORÂNEO**

**VOLTA REDONDA, RJ**

**2020**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MÉTODO CONSTRUTIVO EM TERRA: O PANORAMA HISTÓRICO,  
TÉCNICO E CONTEMPORÂNEO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniFOA como requisito à obtenção do título de Engenheiro Civil

Alunos:

Isadora Franco de Almeida

João Marcos Aguiar do Espírito Santo

Maria Eduarda Simões Rocha

Orientador: Prof. Esp. Rogério Nogueira  
Pereira

Coorientadora: Historiadora Manuela  
Franco Rodrigues

**VOLTA REDONDA, RJ**

**2020**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: MÉTODO CONSTRUTIVO EM TERRA: O PANORAMA HISTÓRICO, TÉCNICO E CONTEMPORÂNEO.

Elaborado por João Marcos Aguiar do Espírito Santo, Isadora Franco de Almeida e Maria Eduarda Simões Rocha apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso Engenharia Civil.

Aprovada em 11 de Novembro de 2020.

Banca Avaliadora:

Assinatura dos membros da Banca Examinadora:



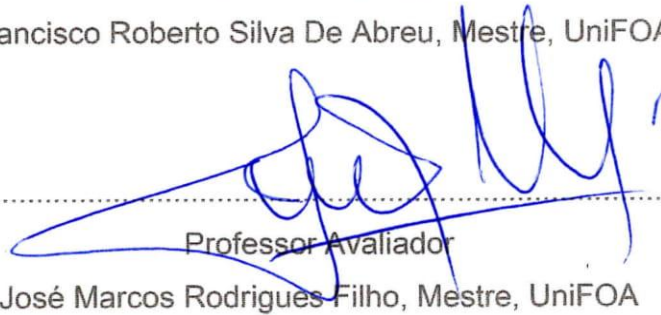
Professsor Orientador

Rogerio Nogueira Pereira, Especialista, UniFOA



Professor Avaliador

Francisco Roberto Silva De Abreu, Mestre, UniFOA



Professor Avaliador

José Marcos Rodrigues Filho, Mestre, UniFOA

Aos meus pais, minha irmã e toda família que, com muito amor e incentivo, não mensuraram esforços para que chegasse até aqui. Aos meus amigos, pelos momentos de alegria, tristeza e dores compartilhados. A Deus, o Alfa e Ômega, princípio e fim de tudo.

Isadora Franco de Almeida

Aos meus pais, irmãos e amigos, que sempre me apoiaram e proporcionaram momentos especiais durante minha trajetória até aqui. E a Deus que sempre Me deu oportunidades para crescimento.

João Marcos Aguiar do Espírito Santo

À minha família, aos meus pais e à minha avó Gilmara (*in memoriam*), por terem sido os pilares da minha formação como ser humano, gratidão eterna ao apoio incondicional de todos ao longo da minha trajetória acadêmica.

Maria Eduarda Simões Rocha

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecemos à Deus, por Ter nos permitido viver uma belíssima amizade que resultou no alcance de nossos objetivos ao longo da realização deste trabalho.

Aos nossos familiares que sempre estiveram ao nosso lado nos incentivando em momentos tão difíceis e prestando apoio absoluto durante todos nossos anos de estudo.

Ao nosso Orientador Rogério e Coorientadora Manuela, que desempenharam tal função com muita dedicação e amizade, agregando ensinamentos que nos permitiram apresentar nosso melhor neste momento tão importante da vida acadêmica.

E a todos que, direta ou indiretamente, nos auxiliaram a concluir esta pesquisa, cada um à sua maneira, foi de grande importância durante todo o processo.

## RESUMO

A terra é um material que acompanha toda a história dos métodos construtivos, fazendo parte da evolução da sociedade, existindo em todo o mundo e com técnicas variadas. Ainda assim, existindo até a contemporaneidade em seus métodos principais, como o BTC, adobe e taipa, com números expressivos em sua utilização. Sua facilidade de produção e disponibilidade de material abundante é um ponto positivo comparado aos materiais industrializados mais convencionais. Neste presente trabalho são apresentadas as técnicas de construção em terra e seus processos, além de suas vantagens e desvantagens da utilização dos métodos na contemporaneidade. Consistindo em uma revisão bibliográfica e análise documental referente à temática das Construções Vernáculas com Terra e seus métodos. Também é apresentada como exemplo a restauração da Igreja Matriz Senhor Bom Jesus do Livramento em Bananal-SP, que foi construída entre o final do século XVIII (dezoito) e início do século XIX (dezenove) a partir da técnica de taipa de pilão, uma das principais técnicas de construção em terra. Foram utilizadas pesquisas de livros, periódicos, teses, dissertações, monografias de conclusão de curso e trabalhos apresentados em congressos. Concluindo que as técnicas construtivas em terra têm seus pontos positivos para a utilização na atualidade, são potenciais e viáveis, pois o setor da Construção Civil é um dos maiores responsáveis pela poluição global, e os materiais baseados em terra apresentam boa resistência, são de fácil manuseio e também podem ser considerados ecológicos, num momento em que a preocupação com o meio ambiente é uma pauta de grande relevância.

Palavras-chave: Métodos Construtivos; terra; Adobe; BTC; Taipa

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	Problema Abordado .....	17
1.2	Justificativa .....	17
1.3	Estratégias de Pesquisa.....	17
1.4	Objetivo Geral .....	18
1.4.1	Objetivos Específicos .....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1	A História das Construções em Terra no Brasil.....	19
2.2	As Técnicas de Construção e seus Processos.....	21
2.2.1	Sistema Monolítico .....	22
2.2.1.1	Terra Escavada.....	22
2.2.1.2	Terra Plástica .....	23
2.2.1.3	Terra Empilhada.....	25
2.2.1.4	Terra Modelada.....	27
2.2.1.5	Terra Prensada .....	29
2.2.2	Sistema de Alvenaria.....	32
2.2.2.1	Blocos Talhados.....	32
2.2.2.2	Adobe .....	32
2.2.2.3	Bloco de Terra Comprimida (BTC) .....	34
2.2.2.4	Terra Extrudida .....	35
2.2.2.5	Terra Ensacada.....	35
2.2.3	Sistema de Enchimento ou Revestimento .....	36
2.2.3.1	Terra-Palha .....	37
2.2.3.2	Terra de Recobrimento .....	38
2.2.3.3	Terra de Cobertura.....	40

2.2.3.4	Terra de Enchimento.....	41
2.2.3.5	Terra sobre Engradado .....	41
2.2.4	Sistema de Ligação .....	42
2.2.4.1	Argamassa de Terra e Cal .....	42
2.3	Métodos Potenciais para Uso na Contemporaneidade.....	44
2.3.1	Adobe .....	44
2.3.2	BTC – Bloco de Terra Comprimida .....	47
2.3.3	Taipa .....	49
3	ANÁLISES E DISCUSSÕES .....	54
3.1	Normas Técnicas e suas Aplicações.....	59
3.2	Aplicações dos Métodos em Terra na Atualidade .....	63
4	IGREJA SENHOR BOM JESUS DO LIVRAMENTO – UM EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DA SUPER-TAIPA .....	66
5	CONCLUSÃO.....	73
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores de consumo e custo total dos materiais utilizados na etapa de elevação da parede de Adobe. Valor do m <sup>2</sup> . .....	54
Quadro 2-Valores de consumo e custo total dos materiais utilizados na etapa de revestimento da parede de Adobe. Valor do m <sup>2</sup> . .....	54
Quadro 3 - Valores de consumo e custo total dos materiais utilizados na etapa de elevação da parede de Alvenaria Convencional. Valor do m <sup>2</sup> . .....	55
Quadro 4 - Valores de consumo e custo total dos materiais utilizados na etapa de revestimento da parede de Alvenaria Convencional. Valor do m <sup>2</sup> . .....	55
Quadro 5 - Normas, Código e Manual internacionais sobre construções em Terra. .	60
Quadro 6 - Normas Brasileiras sobre construções em Terra.....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da arquitetura de terra crua no mundo (hachurado) e 150 construções em terra listadas como patrimônio mundial (pontos) .....	15
Figura 2 - Diagrama estabelecido pelo CRATerre classificando as diferentes famílias de sistemas de construção que fazem a utilização da terra como matéria-prima. ....	21
Figura 3 - Terra escavada na vertical .....	23
Figura 4 - Terra Escavada na horizontal .....	23
Figura 5 - Exemplo de argamassa utilizada no sistema construtivo Terra Plástica...	24
Figura 6 - Parede sendo construída a partir do método Terra Plástica.....	24
Figura 7 - Exemplo de argamassa utilizada no sistema construtivo Terra Empilhada .....	26
Figura 8 - Parede sendo construída a partir do método de Terra Empilhada .....	26
Figura 9 - Exemplo de moradia construída a partir do método construtivo em Terra Modelada. Celeiro em Cuernavaca, localizado no México .....	28
Figura 10 - Exemplo de moradia construída a partir do método em terra moldada. Cabana Mousgoum localizada em Camarões. ....	28
Figura 11 – Detalhes de parede construída em taipa de mão. ....	30
Figura 12 – Processo de apiloamento de parede construída em taipa de pilão.....	31
Figura 13 - Casa bandeirista de Taperão construída em Taipa de Pilão .....	31
Figura 14 – Produção manual de adobes.....	33
Figura 15 – Alvenaria de adobes.....	33
Figura 16 – BTC em prensa mecânica.....	34
Figura 17 – Construção de alvenaria com recurso a BTC. ....	35
Figura 18 – Colocação de primeira fileira de sacos. ....	36
Figura 19 – Fase final de colocação de sacos.....	36
Figura 20 – Exemplo de edificação pela técnica de Terra-palha. ....	38
Figura 21 – Processo de construção utilizando a técnica de Recobrimento. ....	39
Figura 22 – Edifício com cobertura em terra. ....	40
Figura 23 – Processo de edificação utilizando a técnica de terra sobre engradado. ....	41
Figura 24 – Edificação em terra sobre engradado.....	42
Figura 25 – Aplicação de argamassa com utilização de bisnaga. ....	43
Figura 26 – Detalhe da espessura das juntas. ....	43

Figura 27 – Exemplo de construção de adobe na atualidade .....	45
Figura 28 - Detalhe de painel metálico substituindo as tramas de madeira .....	50
Figura 29 - Detalhe da estrutura em painel de madeira pré-fabricada.....	50
Figura 30 - Parede em taipa de pilão para uma casa na Califórnia .....	51
Figura 31 - Compactação da terra com pilão pneumático executada por empresa brasileira Taipal.....	52
Figura 32 – Fôrmas metálicas sendo utilizadas na prática pela empresa brasileira Taipal.....	52
Figura 33 – Processo de construção por meio de Terra Ensacada .....	63
Figura 34 – Construção finalizada.....	64
Figura 35 – Projeto vencedor do concurso. Fonte: Modelo disponibilizado por Abida Akandi Yayi e Robert Soares .....	64
Figura 36 – Torre do Observatório de Negenoord, feita em Taipa.....	65
Figura 37 - Igreja Matriz Senhor Bom Jesus do Livramento .....	66
Figura 38 - Estrutura muraria após desprendimento. ....	67
Figura 39 - Esquema ilustrativo de cargas incidentes na parede estrutural da Fachada Leste .....	68
Figura 40 - Área após desmontagem para posterior recuperação.....	69
Figura 41 - Estrutura de madeira para apiloamento da mistura.....	71
Figura 42 - Camadas de apiloamento aparentes após secagem.....	71
Figura 43 - Parede finalizada com emboço de terra. ....	72

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Habitações em taipa no Brasil .....	16
Gráfico 2 - Comparação da emissão do carbono em diferentes materiais.....	47
Gráfico 3 - Percentagem de absorção de água dos diferentes materiais .....	48

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABMTENC – Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A.C. – Antes de Cristo

BTC - Bloco de Terra Comprimida

CEPED - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CONDEPHAAT - Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Artístico Arqueológico e Turístico do Estado de São Paulo

CRATerre – Centro Internacional de Construção em Terra

CYTED - Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento

DVL – Dachverband Lehm

GO – Estado de Goiás

HABITERRA - Rede Temática de Sistematização do Uso do Solo em Habitações de Interesse Social

KG - Quilograma

M<sup>2</sup> - Metro Quadrado

M<sup>3</sup> - Metro Cúbico

MG – Minas Gerais

NBR – Norma Brasileira

PROTERRA – Rede Ibero-Americana de Arquitetura em Construção em Terra

THABA - Programa de Tecnologias da Habitação

UNESCO - Organização da Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

XIX – dezenove

XVIII – dezoito

XX - vinte

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Planta Baixa da Igreja Bom Jesus do Livramento.....	81
---	----

## 1 INTRODUÇÃO

A terra é um material de construção tão antigo como a própria humanidade. Sendo utilizada em todo o mundo, ressaltando assim seu potencial e sua durabilidade, com o decorrer da história do método construtivo surgiram variações em suas técnicas de execução, adequando-as assim ao contexto social e cultural das regiões em questão, persistindo até nossos dias e desafiando as intempéries e o próprio tempo. Como os exemplares presentes em Jericó, China, Mesopotâmia, Irã, Iraque e em vários países do continente africano, cuja existência reporta em torno de 8000 anos a.C. (antes de Cristo). (CARVALHO; LOPES, 2012)

Assim, a arquitetura de terra é encontrada em todas as partes do mundo, através de técnicas diversas, devido à sua versatilidade. Em cada local, é adaptada ao clima e aos condicionantes físicos existentes e aos materiais encontrados, adaptando-se ao meio local e às particularidades de regionais e satisfazendo às necessidades de bem estar do homem. Em torno de 30 a 50% (trinta a cinquenta por cento) da população mundial vivem em construções com alguma estrutura em terra (Figura 1), devido ao fato de materiais de construção industrializados possuírem valor elevado se comparado com os gastos surtidos pela construção em terra. Como exemplo de quantitativo das construções em terra pode-se citar que 10% (dez por cento) da “Lista de Patrimônio Cultural da Humanidade” da UNESCO. (CORDEIRO, 2019; CARVALHO; LOPES, 2012)

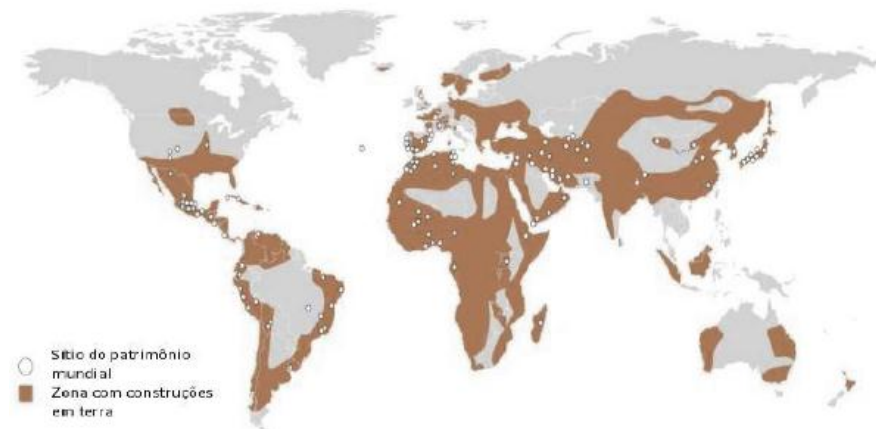


Figura 1 - Distribuição da arquitetura de terra crua no mundo (hachurado) e 150 construções em terra listadas como patrimônio mundial (pontos)

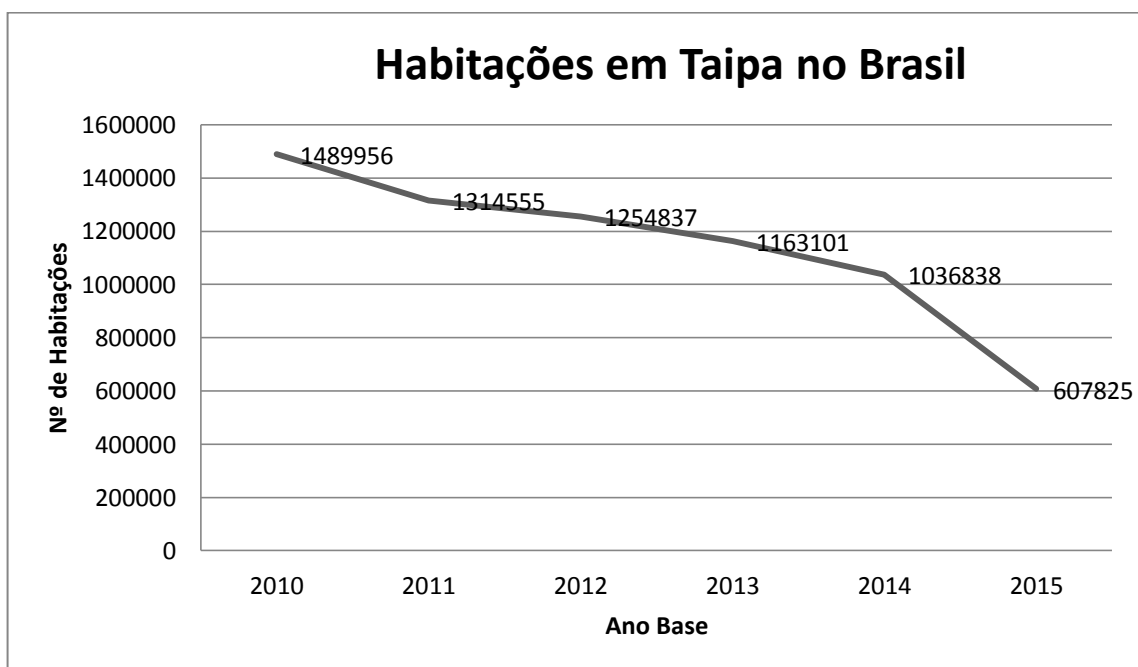
Fonte: Santos (2015 apud CRATerre, 2012)

Entretanto, com o passar do tempo e junto ao interesse em obter construções mais modernas houve a necessidade de aprimoramento de técnicas construtivas mais industrializadas, abandonando o método construtivo rudimentar. Segundo Figueira (2016), a Revolução Industrial foi o grande salto nos paradigmas da construção, substituindo as técnicas menos tecnológicas, pré-industriais, pelo processo evolutivo já associado a uma visão mais tecnológica, pós-industrial.

No Brasil as técnicas com maior relevância para a história da Construção Civil baseadas no emprego da terra foram a taipa de pilão, o adobe e a taipa de mão ou pau-a-pique. Historicamente consta-se como a maior Igreja em Taipa de Pilão do Brasil a Igreja do Senhor Bom Jesus do Livramento situada no município de Bananal no estado de São Paulo. (CARVALHO; LOPES, 2012)

A seguir (Gráfico 1) é exemplificado o vasto número de construções em terra no Brasil, cerca 607.825 habitações em terra, em fevereiro de 2015, o levantamento foi efetuado pelo Ministério da Saúde (2015), apesar da numerosa queda devido à substituição por métodos mais modernos salienta-se a potencialidade de tais métodos no presente, apresentando a necessidade de estudos e melhoramentos nas técnicas de construção.

Gráfico 1 - Habitações em taipa no Brasil



Fonte: Ministério da Saúde (2015)

Assim, entendendo a relevância desta tecnologia, propõe-se no presente trabalho discutir a evolução da arquitetura de terra e todos seus aspectos positivos e negativos. Ainda, tem-se como objetivo de pesquisa avaliar quais as possibilidades desta técnica voltar a ser empregada na Construção Civil, unindo-se aos conceitos sustentáveis.

### **1.1 Problema Abordado**

Reconhece-se a grandiosidade dos métodos construtivos que utilizam a terra e os impactos ambientais ocasionados pelos sistemas construtivos na atualidade, levanta-se a hipótese da utilização de técnicas construtivas com terra na contemporaneidade e as vantagens e desvantagens que viriam a ser agregadas.

### **1.2 Justificativa**

Transportar tais técnicas para o contexto contemporâneo significa mudança nos métodos de construção utilizados no momento. Zelando pela sustentabilidade, devido redução da emissão de carbono no processo de produção, além do isolamento termo acústico oferecido. A disponibilidade de matéria-prima é outro fator de grande relevância.

### **1.3 Estratégias de Pesquisa**

O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica e análise documental referente à temática das Construções Vernáculas com Terra e seus métodos. Por meio de abordagem qualitativa, busca-se entender os conceitos e propriedades da arquitetura em terra, focando em seus métodos construtivos e suas principais técnicas, sua eficiência destacando as vantagens e desvantagens e especialmente no que se refere a sustentabilidade.

Foram utilizadas como âncoras de pesquisa livros, periódicos, teses, dissertações, monografias de conclusão de curso e trabalhos apresentados em congressos, sendo estas acessadas por meios digitais e internet.

## **1.4 Objetivo Geral**

Apresentar estudos sobre os sistemas construtivos que empregam a terra como sua principal matéria-prima e analisar sua empregabilidade na contemporaneidade.

### **1.4.1 Objetivos Específicos**

- Trazer o conhecimento de um método primordial para a Construção Civil e toda sua história que é muito pouca tratada ao decorrer da formação acadêmica;
- Abordar as principais variações do sistema em questão;
- Analisar as vantagens e desvantagens das construções em terra;
- Avaliar a utilização deste sistema na atualidade.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A História das Construções em Terra no Brasil**

A técnica construtiva teve início no Brasil com a chegada dos colonizadores europeus, estes possuíam conhecimentos técnicos baseados em terra, pois eram empregados em seus países de origem. Juntamente com as técnicas que eram utilizadas pelos africanos, houve o aprimoramento e assim a inserção dos métodos de construção para a realidade do novo país. Os povos indígenas que já se encontravam no Brasil, não utilizavam a terra como matéria-prima de suas construções, estes utilizavam basicamente palha e madeira. (MILANEZ, 1958)

Segundo o historiador Ivan Alves Filho (1984), esta foi a primeira grande manifestação cultural mestiça do Brasil.

Foi durante o Brasil Colônia que as primeiras edificações em terra se deram no país. Registros apontam que em cerca dos anos de 1549, em São Vicente, homens que possuísem domínio sobre a taipa foram requisitados por Manoel da Nóbrega. Essas técnicas se difundiram principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás – tendo exemplos de edificações duráveis que perduram até o tempo atual. (LEMOS, 1979)

As construções realizadas, na época em questão, por meio de taipa de pilão e madeira eram consideradas mais nobres, pertencendo assim à classe dirigente. Esse método era muito utilizado para construção de edifícios como Igrejas, fortificações e até edifícios públicos. Já as demais construções eram executadas por meio de taipa de mão ou pau-a-pique e, acabavam por ser utilizadas pelas classes menos favorecidas, devido agilidade no processo de fabricação e caráter simplório (SAIA, 1978; FERREIRA, 2012).

Em meados dos anos de 1800, devido ao fato da dependência de mão de obra escrava e enriquecimento das classes mais alta da sociedade, as elites cafeeiras, o método de construção com terra foi entrando em declínio. Ganhando destaque na arquitetura nacional o Ecletismo, baseado na arquitetura europeia. Os novos estilos de construção necessitavam de importações de materiais, uma vez,

que o meio ambiente não lhes oferecia tais matérias-primas. Com a crescente exportação de café, houve a facilitação da entrada de materiais para as construções, fazendo assim com que as classes que podiam deter deste novo método, passassem a consumi-los. Por consequência houve grande escala de substituição das antigas moradias por outras mais modernas e, com tal modernização, foi instituída em algumas cidades a proibição de moradias que utilizassem o método em terra, um exemplo foi a cidade do Rio de Janeiro. (SANTOS, 2008)

A população menos favorecida nunca abandonou o método de construção em terra, fazendo assim, que o método fosse diretamente relacionado a construções precárias, de qualidades inferiores, formando um conceito inverídico sobre tal método. (JOAQUIM, 2015)

Mas, o enfraquecimento que teve seu início no ano de 1850 se consolidou por volta do ano de 1940, pois, tijolos maciços ganharam espaço no mercado e representavam maior rapidez na construção e menor custo. Sendo assim, taapeiros e mão de obra especializada, deram lugar a pedreiros, que eram inseridos ao mercado de trabalho mais rapidamente em relação à mão de obra utilizada anteriormente (SCHMIDT, 1946).

No ano de 1976, no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED) da Bahia, por meio do Programa de Tecnologias da Habitação (THABA) foi desenvolvido estudo sobre a aplicação do solo-cimento em paredes de edificações populares. Com o desenvolvimento desse projeto, foram construídas cercas de 160 casas com blocos prensados e paredes monolíticas de terra estabilizada com cimento, nas cidades de Narandiba e Camaçari. (TAVEIRA, 1987)

Na década dos anos 1990 houve um crescimento substancial no número de instituições e organizações que pesquisam sobre os métodos de construção em terra. Com o aparecimento da Rede Temática HABITERRA, do Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento – CYTED, as pesquisas relacionadas às construções com terra nas Américas e na Península Ibérica passaram a ganhar espaço. (JOAQUIM, 2015)

## 2.2 As Técnicas de Construção e seus Processos

A arquitetura em terra abrange uma série de estruturas que o solo natural é utilizado para edificar elementos construtivos de espaços habitáveis. Nito (2015) diz que, é fundamental a análise e o conhecimento dos sistemas construtivos, as relações que os mantêm, para que foram historicamente desenhadas e o seu estudo e desenvolvimento técnico. Por isso, o grupo CRATerre estabeleceu um diagrama (Figura 2) classificando os diferentes sistemas construtivos de antigamente e dos tempos atuais que fazem o uso da terra crua como matéria-prima. O referido diagrama apresenta uma divisão de 18 técnicas agrupados em 3 grupos que se referem ao tipo de estrutura, são eles: A – o emprego da terra de forma monolítica; grupo B – o emprego da terra sob a forma de alvenaria; e grupo C – o emprego da terra como enchimento ou revestimento.

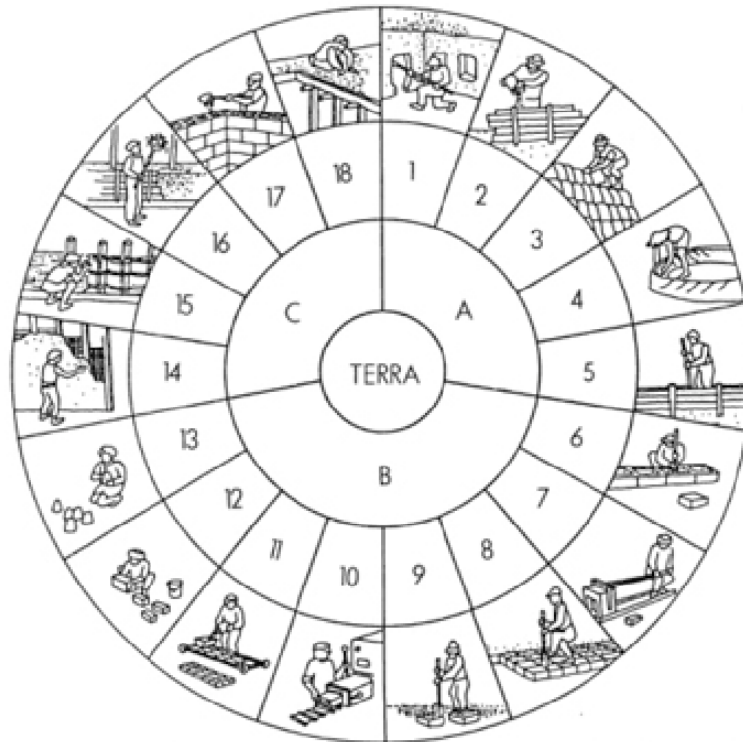


Figura 2 - Diagrama estabelecido pelo CRATerre classificando as diferentes famílias de sistemas de construção que fazem a utilização da terra como matéria-prima.

Fonte: Nito (2015) adaptado de Guillard e Houben (1989).

Conforme Gonçalves e Gomes (2012), além desses três sistemas, também se fez necessário o acréscimo de mais uma classificação, o grupo “D – Sistemas de Ligação”, que trata do sistema onde a terra é utilizada como uma argamassa para assentamento de blocos de alvenaria.

### **2.2.1 Sistema Monolítico**

Esse grupo compreende os sistemas de elevação *in situ* – que significa “no próprio local” ou “no lugar”, sendo equivalente também à expressão *in loco*. Nesta técnica é permitida a extração e a transformação do solo no próprio local num mesmo processo, não existindo separação entre o material e o componente construtivo. (NITO, 2015)

#### **2.2.1.1 Terra Escavada**

É empregada desde a pré-história e, tal como seu nome indica, ela se resume em escavar no terreno em estado seco ou sólido e moldar as construções no seu interior a partir disso (FERREIRA, 2012).

A terra escavada se difere por seguir o caminho contrário dos demais métodos que se baseiam por adição de elementos construtivos. Nesse método as construções se dão por meio de subtração da matéria, onde se retira o material que, por sua vez, faz assim figurar um espaço habitável. São conhecidos dois tipos – vertical (Figura 3) e horizontal (Figura 4) (FIGUEIRA, 2016).

Os casos identificados geralmente se encontram em colinas e planaltos com clima quente e seco. Muitas dessas construções podem ser vistas em países como China, Tunísia, Colômbia e em grande parte de todo o Mediterrâneo (FERNANDES, 2006).



Figura 3 - Terra escavada na vertical

Fonte: Ferreira (2012)



Figura 4 - Terra Escavada na horizontal

Fonte: Gomes e Gonçalves (2012)

### 2.2.1.2 Terra Plástica

A terra no estado quase líquido (Figura 5) pode ser utilizada como concreto magro, sendo aplicada entre fôrmas para erguer paredes (Figura 6) e, também, bastante usada na construção de pavimentos, sendo explorado o uso de moldes (FERREIRA, 2012).



Figura 5 - Exemplo de argamassa utilizada no sistema construtivo Terra Plástica

Fonte: Gomes e Gonçalves (2012)



Figura 6 - Parede sendo construída a partir do método Terra Plástica

Fonte: Gomes e Gonçalves (2012)

Em razão de suas características, este método apresenta algumas deficiências, denominadas *retração*, que são provocadas pelo uso da matéria-prima com elevado teor de água. Atualmente, essa técnica está voltando a ser desenvolvida e experimentada utilizando, porém, menos quantidade de água e estabilizando a terra de forma a contrariar os efeitos negativos de secagem, que levaram ao seu abandono anos antes (FERNANDES, 2006).

Essa técnica é conhecida mais especificamente em países da Oceania onde existem documentos normativos contemporâneos da Austrália e Nova Zelândia (GOMES E GONÇALVES, 2012).

### **2.2.1.3 Terra Empilhada**

Esse sistema construtivo, por norma, não contém processos muito complexos e, também não requer a utilização de muitas ferramentas, senão feito manualmente, onde, fazem-se subir as paredes por camadas (FERRREIRA, 2012).

A terra empilhada consiste em sobrepor bolas de terra misturadas com palha (Figura 7) por meio de fiadas até formar paredes (Figura 8). Ao término quando realizado o assentamento de uma fiada, a estrutura é aparada ou regularizada por corte vertical, proporcionando, deste modo, uma superfície com aspecto plano ou menos rugoso (GOMES E GONÇALVES, 2012).



Figura 7 - Exemplo de argamassa utilizada no sistema construtivo Terra Empilhada

Fonte: Ferreira (2012)



Figura 8 - Parede sendo construída a partir do método de Terra Empilhada

Fonte: Ferreira (2012)

Existe semelhança com a técnica de terra modelada, embora com espessuras significativamente maiores. A seção transversal de uma dessas paredes representa-se, de modo geral, segundo uma figura trapezoidal, onde a sua base assume

dimensões mais largas em comparação com o seu topo, embora com espessuras iguais ou superiores a 30 centímetros (ARESTA, 2014 apud FIGUEIRA, 2016).

É um sistema que existe um pouco por todo o mundo, pode ser encontrado na Alemanha, África, Iémen e Afeganistão, mas também é muito conhecida e mencionada por autores e técnicos de língua inglesa e francesa, visto que é um método muito comum no Reino Unido, onde tem sua designação em inglês *cob* e, na França, onde é conhecido como *bauge* (FERNANDES, 2006).

#### **2.2.1.4 Terra Modelada**

A terra modelada se baseia no conceito do barro moldado à mão. Estando a terra em estado úmido ou plástico, a parede é erguida sendo sobreposta por camadas, segundo o chamado “método dos rolos de oleiro” (GOMES E GONÇALVES, 2012).

Uma das características deste sistema construtivo é a decoração presente nas suas paredes, normalmente de planta circular, mas não exclusivo. Caracteriza-se pela beleza das formas arquitetônicas, em grande maioria extremamente decoradas (Figuras 9 e 10). É muito comum e utilizada no continente Americano e por todo o continente Africano (FERNANDES, 2006).



Figura 9 - Exemplo de moradia construída a partir do método construtivo em Terra Modelada. Celeiro em Cuernavaca, localizado no México

Fonte: Gomes e Gonçalves (2012)



Figura 10 - Exemplo de moradia construída a partir do método em terra moldada. Cabana Mousgoum localizada em Camarões.

Fonte: Gomes e Gonçalves (2012)

### 2.2.1.5 Terra Prensada

A mais conhecida técnica desse grupo que utiliza a terra de forma monolítica. Tem-se um velho ditado de origem portuguesa sobre a taipa que diz: “a terra deve ser transportada por um coxo e batida por um louco” o que traduz, por um lado, que é preciso um período de repouso que deve ser dado à terra desde que é removida de sua origem até ser aplicada na construção, e por outro lado, que é necessária energia suficiente para que se obtenha um resultado satisfatório (RODRIGUES, 2005).

Conforme Cordeiro *et al.* (2019), a taipa é encontrada em edificações por todo o mundo e, atualmente foi recuperada e melhorada, demonstrando ser um dos métodos mais importantes para a nova construção em terra crua.

Tendo destaque nesta técnica os seguintes processos construtivos:

Taipa de Mão: Podendo ser conhecida em diferentes regiões e épocas como taipa, taipa de sopapo, taipa de sebe, barro armado ou pau-a-pique, essa foi uma técnica amplamente difundida e muito utilizada em todo o Brasil. (PISANI, 2004)

A taipa de mão equivale a construção de paredes, geralmente internas, com tramas de madeira ou bambu, formadas por paus horizontais (ripas) e paus verticais (pau-a-pique), geralmente estruturadas sobre um baldrame e um esteio. (PÁDUA, [s.d.]

Os elementos do entramado são amarrados com tiras de couro, barbante, prego ou arame e preenchidos manualmente por uma argamassa feita de terra, água e fibras (Figura 11), essa mistura tem que conter uma plasticidade maior que a da mistura utilizada na taipa de pilão, pois ela precisa ser manuseada. Assim, a argamassa é jogada (sopapo) pelos dois taapeiros em lados opostos ao mesmo tempo e é pressionada contra a trama da parede. Logo após a secagem, que leva em média um mês, é então aplicado o reboco e depois feita a pintura. (PISANI, 2004)



Figura 11 – Detalhes de parede construída em taipa de mão.

Fonte: Olender (2006)

Taipa de Pilão: A técnica de construção com terra crua mais antiga, conhecida nacionalmente como taipa-de-pilão, ou simplesmente taipa, ela recebe esse nome por ser uma técnica baseada no apiloamento, ou seja, compactação da terra (PISANI, 2004).

Com baixo teor de água e utilizando terra peneirada isenta de areias ou pedregulhos, tradicionalmente a compactação é realizada manualmente com recurso de um pilão de madeira. O material é compactado entre fôrmas que se denominam taipais e as paredes são construídas por camadas, de modo a formar fiadas horizontais (Figura 12). Sua forma deve ser apiloada numa terra bem estruturada de maneira que a parede fique no prumo e sem deformações. A partir do primeiro nível, os taipais são fixos à camada que antecede, através de peças que são conhecidas por “agulhas”. (PÁDUA, [s.d.]; GOMES E GONÇALVES, 2012; PISANI, 2004)



Figura 12 – Processo de apiloamento de parede construída em taipa de pilão.

Fonte: Olender (2006)

A secagem das paredes varia de 3 a 6 meses, dependendo de sua dimensão, do solo com que foi feita e das condições climáticas, para que haja aderência, a aplicação dos revestimentos só tem início após a secagem completa. Quando protegida contra as intempéries, a taipa possui grande durabilidade, podendo ultrapassar três séculos, como por exemplo, as casas bandeiristas Paulistas (Figura 13). (PISANI, 2004)



Figura 13 - Casa bandeirista de Taperão construída em Taipa de Pilão

Fonte: Tiago Sala (2015)

## **2.2.2 Sistema de Alvenaria**

Os métodos de construção por alvenaria são a parte da construção em terra que compreende na confecção de unidades, são formados blocos após a secagem do material. Essas unidades podem ser colocadas para gerar várias formas de paredes. (FERNANDES, 2006)

### **2.2.2.1 Blocos Talhados**

Os blocos talhados são meramente cortados de áreas de terra vegetal coesa. São produzidos em terra com alta umidade, que são as designadas como “torrões de terra”. Onde o solo possui uma alta densidade natural. (GONÇALVES, 2009)

### **2.2.2.2 Adobe**

O adobe é um dos métodos primitivos que ainda possui muita utilização atualmente. O termo é intuitivo como bloco de terra. Constituído de terra argilosa e moldados, podem ser compactados e secos somente ao sol (Figura 14), geralmente a produção do adobe é feita já no local onde será aplicado. Em sua versão mais básica, os blocos de adobe podem ser moldados à mão, onde tem uma forma mais arredondada, ou também podem ser empregadas formas de madeira produzidas artesanalmente, o que é o método mais popular, por conta da padronização. As formas para a produção dos blocos eram utilizadas já no século XX (vinte). O adobe utiliza terra que contém fibras vegetais, e se pode utilizar a cal aérea para aumentar a resistência no material. (GONÇALVES, 2009)



Figura 14 – Produção manual de adobes.

Fonte: Torgal *et al.* (2009)

Os procedimentos artesanais são os mais habituais na produção dos blocos de adobe (Figura 15), porém ainda também podem ser utilizados processos que incluem tecnologias mais avançadas, sendo semi-industriais, utilizando tratores específicos. (GONÇALVES, 2009)

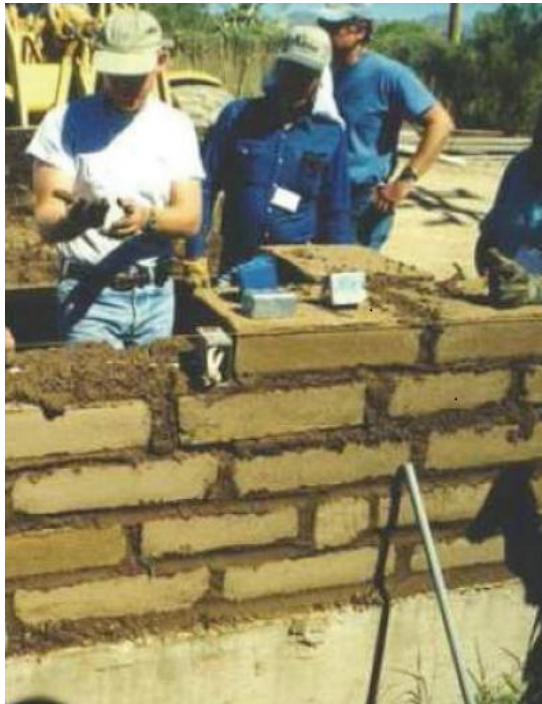


Figura 15 – Alvenaria de adobes.

Fonte: Torgal *et al.* (2009)

### 2.2.2.3 Bloco de Terra Comprimida (BTC)

BTC são os blocos de terra comprimida, um dos mais importantes métodos de construção em terra. Podem ser feitos utilizando o pilão e formas de madeiras, sendo esse o método mais primitivo e, por ser manual, é conseqüentemente o mais tradicional. Mais recentemente está sendo utilizado o recurso de máquinas, o que facilita a fabricação. O BTC é constituído da terra e uma percentagem da cal, ou ainda pode ser adicionado uma pequena porção de cimento, o que está sendo comum na utilização atual (Figura 16). Mas ainda assim a forma mais utilizada é a prensa manual. Atualmente existem alguns tipos de máquina para a produção dos blocos, sendo eles manuais ou a combustível, abrangendo equipamentos industriais. (GONÇALVES, 2009)



Figura 16 – BTC em prensa mecânica.

Fonte: Torgal *et al.* (2009)

A aplicação de BTC é visada por conta da redução do custo total das construções e pela capacidade de ajudar no desenvolvimento econômico local, pois ajuda a quem possui uma menor disponibilidade de renda a utilizar os materiais disponíveis na região. A utilização do BTC é preferida dentre outros métodos de construção em terra pela maior proximidade das técnicas atuais, como os blocos de tijolos cerâmicos ou de concreto (Figura 17). (GONÇALVES, 2009).



Figura 17 – Construção de alvenaria com recurso a BTC.

Fonte: Torgal *et al.* (2009)

#### 2.2.2.4 Terra Extrudida

Os blocos de terra extrudida são derivados do método de produção dos tijolos cerâmicos, porém, no processo de produção destes blocos são utilizados outros elementos, como a cal ou até mesmo cimento. Não há cozedura em sua fabricação. (GONÇALVES, 2009).

Um sistema mecânico que utiliza a terra seca com o teor de finos elevado. A sua produção vem da adaptação das indústrias cerâmicas. São blocos secos sem a utilização dos fornos, o que gera menos custo na sua fabricação. (FERNANDES, 2006)

#### 2.2.2.5 Terra Ensacada

A terra é um método que evoluiu das técnicas de construção de *bunkers* militares utilizados para se ter abrigos temporários, por conta de sua construção rápida, eram a alternativa mais utilizada. Porém ainda existem utilizações em fins arquitetônicos. Os sacos são longos e em forma de tubos, enquanto a terra colocada dentro dos sacos (Figuras 18 e 19) são semelhantes às utilizadas no adobe. (GONÇALVES, 2009)



Figura 18 – Colocação de primeira fileira de sacos.

Fonte: Mendes e Santos (2017)



Figura 19 – Fase final de colocação de sacos.

Fonte: Mendes e Santos (2017)

### 2.2.3 Sistema de Enchimento ou Revestimento

Neste tipo de sistema, a terra é utilizada combinada com estruturas de madeiras, bambu e outros materiais. Sendo assim, a terra é usada como enchimento ou revestimento de uma estrutura. (FERNANDES, 2006).

Caracterizado como sendo um processo que objetiva a proteção das edificações por meio de aplicação de camada externa com terra. Apresentam boa aderência com materiais porosos, capacidade de troca de ar e vapor de água com o meio ambiente e geram superfícies mais resistentes comparadas às superfícies dos sistemas construtivos da base. Este sistema vem sendo muito explorado pela arquitetura contemporânea. (FERNANDES, 2006) As cinco técnicas pertencentes a este sistema são:

### **2.2.3.1 Terra-Palha**

Consiste em uma técnica construtiva onde a terra utilizada é argilosa, de preferência de origem mineral calcária, no estado líquido, denominada barbotina, em conjunto com alto teor de fibras. A adição de fibras na mistura impede que o material apresente fissuras após a secagem, resultando em bom comportamento perante esforços de tração e melhoramento de suas propriedades coesivas. Com bom isolamento térmico e acústico, baixa densidade e flexibilidade na sua aplicação. (GONZÁLEZ, 2013)

Em grande parte de sua utilização, é associada ao preenchimento de uma estrutura primária (Figura 20), podendo ser pelo seu interior ou exterior, estabilizando assim, o volume em face às forças horizontais a que está sujeito. Podem se apresentar em forma de blocos prensados, com comprimento variando de 15 a 40 centímetros. Servindo assim essencialmente no preenchimento de vazios de um vão. (FIGUEIRA, 2016)



Figura 20 – Exemplo de edificação pela técnica de Terra-palha.

Fonte: Maia (2016).

Tal método é mais utilizado na Alemanha, na França, na Bélgica, na Suíça, na Escandinávia e na Europa Central.

### **2.2.3.2 Terra de Recobrimento**

Esta técnica consiste no preenchimento de uma estrutura feita de madeira, bambu ou cipós, utilizando mistura de terra crua em estado líquido ou muito plástico (Figura 21). Preza pela preservação dos elementos de suporte, apresenta características como isolamento térmico-acústico e ignífugo (resistente a fogo), além do fato de bom desempenho à compressão. Quando misturado com fibras vegetais, podendo ser palha, capim, feno, apresenta bom desempenho à tração. (MAIA, 2016)

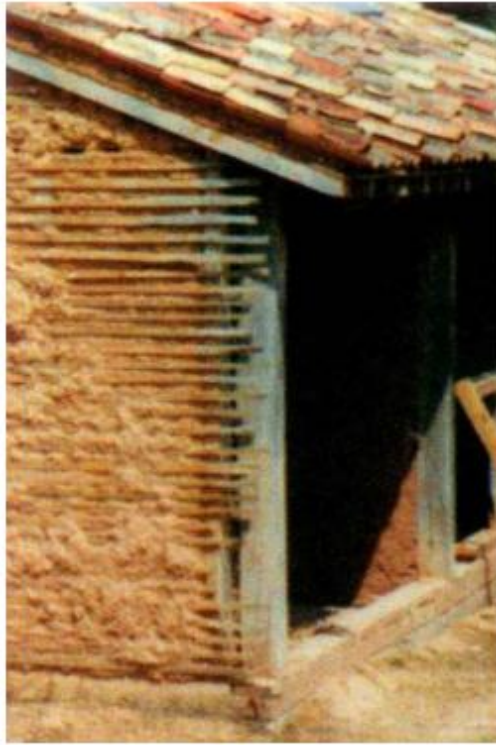


Figura 21 – Processo de construção utilizando a técnica de Recobrimento.

Fonte: Figueira (2016).

Esta técnica possui grande variação em sua forma técnica, podendo se adaptar a qualquer região bioclimática. Pode adquirir valor de isolante ou acumulador de calor. Em casos onde a estrutura é preparada em madeira, o único requisito necessário é que a terra seja argilosa. Caso se deseje maior inércia térmica, deve-se aumentar a concentração de areia, em função da fibra, necessitando maior compactação. Já em casos onde a parede requerida seja mais isolante, esta deve ser menos densa, sendo assim, com uma elevada concentração de fibras. (GONZÁLEZ, 2013)

Empregadas em grande parte na elevação de paredes de pavimentos superiores, devido sua baixa densidade. Utilizada em países como Portugal, França e países que possuem o castelhano como idioma.

### 2.2.3.3 Terra de Cobertura

Na técnica em questão a terra é utilizada para cobertura de estruturas construídas em outros materiais, comparando-se assim a outras técnicas mencionadas. Podendo ser empregada em terraços, pendentes com ou sem relvado. Garante isolamento térmico e acústico, além do fato de se utilizar terra orgânica, se tornando possível o crescimento de vegetação, formando assim, telhados verdes (Figura 22). (FERREIRA, 2012)



Figura 22 – Edifício com cobertura em terra.

Fonte: Ferreira (2012).

Quando se relaciona a utilização da terra para proteção do topo de edifícios, é necessário um determinado nível de impermeabilização com a utilização de outros materiais.

Devido sua característica de isolante térmico, as temperaturas internas das edificações que a utilizam, apresentam-se estáveis relacionadas às variações que ocorrem ao decorrer do dia, evitando também o sobreaquecimento do telhado que provocam por consequência alterações na pressão atmosférica. (ARESTA, 2014).

#### 2.2.3.4 Terra de Enchimento

Utilizada em grande maioria em fortificações, consiste no uso de terra no estado seco ou úmido para preencher vãos de estruturas ocas, vazios de blocos, pneus e preenchimento de dois planos de pedra ou tijolo. Associado diretamente às construções emergenciais, temporárias, quando empregadas de maneira adequada apresentam bons resultados. Conferem às edificações que a utilizam, propriedades isolantes. (FIGUEIRA, 2016)

Desde o século XX (vinte), essa técnica vem assumindo função de estrutura primária, sendo esta confinada por um elemento têxtil. Conforme mencionado anteriormente no item 2.2.2.5. (GONZÁLEZ, 2013).

#### 2.2.3.5 Terra sobre Engradado

A técnica possui a função de revestimento e enchimento, possuindo princípio igualado ao da técnica de terra de recobrimento. Nesta técnica a terra pode assumir ao mesmo tempo função de revestimento em rebocos e enchimento como nos adobes, rolos em terra e palha que são entalados entre as estruturas de madeira (Figuras 23 e 24). Utilizada na América Latina e na Europa Central. (FERREIRA, 2012)



Figura 23 – Processo de edificação utilizando a técnica de terra sobre engradado.

Fonte: Torgal *et al* (2009)



Figura 24 – Edificação em terra sobre engradado.

Fonte: Torgal *et al.* (2009)

#### **2.2.4 Sistema de Ligação**

Em paredes feitas utilizando técnicas construtivas baseadas na manipulação de terra, ou até mesmo em construções em pedras, é comum ser aplicado a argamassa composta apenas por terra e água, empregando nos rebocos de interiores, nos enchimentos de paredes de taipa e nos assentamentos de alvenaria. (FARIA, 2016)

##### **2.2.4.1 Argamassa de Terra e Cal**

As argamassas são efetuadas a partir da mistura de agregados finos e ligantes com a água (Figura 25). Podem também ser adicionados alguns outros materiais para se obter melhores resultados no final da aplicação da mesma. (FARIA, 2016)



Figura 25 – Aplicação de argamassa com utilização de bisnaga.

Fonte: Grande (2003)

Nas argamassas em que seus únicos componentes são a terra e a água, as partículas argilosas são as responsáveis pela função da aglutinação, sendo um processo natural do próprio material. E ainda assim sua função não é restringida a aplicação em paredes também feitas á base de terra, pois é eficiente na aplicação em outros suportes como paredes de alvenaria de materiais correntes, tendo como exemplo os tijolos furados, adobes (Figura 26), blocos de terra extrudida, alvenaria de pedra e fardos de palha. (FARIA, 2016)



Figura 26 – Detalhe da espessura das juntas.

Fonte: Grande (2003)

Essa argamassa feita exclusivamente de terra possui uma desvantagem, a vulnerabilidade a água, o que gera um desgaste do fator ligante na composição. Assim, para melhorar a sua estabilidade podem ser adicionados elementos que diminuem a fraqueza da argamassa em relação ao desgaste causado pela água. O produto corrente utilizado para essa proteção ao desgaste é a cal aérea. Este elemento é um agregado que mantém a composição da argamassa muito argilosa, mesmo após o trabalho da água “lavando” uma parte das partículas da composição. (FARIA, 2016)

### **2.3 Métodos Potenciais para Uso na Contemporaneidade**

Das múltiplas técnicas construtivas abordadas anteriormente, três passaram por importantes desenvolvimentos, aumentando assim a potencialidade de empregabilidade na contemporaneidade. São as três técnicas em questão: o Adobe, o BTC (Bloco de Terra Comprimida) e a Taipa. (GONÇALVES e GOMES, 2009)

#### **2.3.1 Adobe**

Em virtude da necessidade de habitações mais viáveis economicamente, o adobe vem sendo colocado em pauta como um potencial método construtivo, devido a facilidade em seu processo de fabricação. Tem-se adotado aditivos em sua composição para estabilizar a terra e utiliza-se também moldes pré-fabricados. Sendo assim, a tendência de uma crescente representatividade no mercado da Construção Civil está cada vez mais próxima (Figura 27). (ARAUJO, 2009; LOURENÇO *et al.*, 2001)



Figura 27 – Exemplo de construção de adobe na atualidade

Fonte: Campos *et al* (2019)

Atualmente o maior produtor de adobes no mundo é o Estados Unidos, sendo mais observado no mercado local o adobe estabilizado com betume. E a maior produção de blocos extrudidos é na França. (LOURENÇO *et al.*, 2001)

A fim de uma escolha satisfatória da terra deve-se observar o comportamento mediante a dois fatores: perante a água e sua resistência mecânica, visto que esta resistência é influenciada pelo primeiro fator. (LOURENÇO *et al.*, 2001)

Ao longo da história do método observa-se a estabilização da terra, possuindo como objetivo: a melhora do comportamento mecânico, melhor coesão e redução da porosidade e possíveis variações de volume, melhora da resistência à erosão do vento e da chuva, diminuição da abrasão da superfície e impermeabilização. A estabilização pode ocorrer por meio dos seguintes processos: densificação da terra por compressão; inclusão de armaduras de fibras; e/ou adição de cimento, cal ou betume. Os estudos para estabilização da terra com cimento foram iniciados na década dos anos 30. Novas pesquisas e estudos sobre a estabilização do solo promovem ao método maior durabilidade, economia, sustentabilidade e estética melhorada. (LOURENÇO *et al.*, 2001; PEREIRA, 2019)

A adição de fibra na composição tem como finalidade a redução de fissuras oriundas do processo de secagem, além da melhora acústica, diminuição do volume

e aumento da resistência mecânica. A fibra mais utilizada continua a ser a de palha, porém, há registros da utilização das fibras de vidro ou aço. A redução das fissuras se dá devido ao fato de a água ser absorvida em parte pelas fibras e devido ao aumento da coesão. O esterco é muito utilizado para aumento da resistência à erosão e à flexão. (LOURENÇO *et al.*, 2001; PEREIRA, 2019)

A utilização de cal, cimento e gesso agregam positivamente quanto à umidade, reduzindo os teores, melhorando a resistência a compressão. A resultante da adição de cimento à composição é a aglomeração de partículas estáveis e reação com a argila, tornando mais estável, deve ser considerada em situações onde os cômodos estarão mais vulneráveis à umidade, atuando também no quesito térmico. A compressão no estado úmido sofre uma considerável melhora. Com a adição de cal, observa-se a dissolução dos minerais argilosos em ambiente alcalino e aglutinação das partículas devido a combinação da sílica com o alumínio. (LOURENÇO *et al.*, 2001; PEREIRA, 2019)

Quando se mistura emulsão asfáltica à mistura, obtêm-se impermeabilidade. Porém, apesar de apresentar resultados benéficos, a utilização deste possui desvantagens tais como: alto custo e os raios ultravioletas. (PEREIRA, 2019)

O betume é utilizado conjuntamente com solventes, muito utilizado nos Estados Unidos e América Central e Latina. Este componente resulta no aumento da resistência à água, melhora a coesão de solos pouco colantes. (LOURENÇO *et al.*, 2001)

A areia é muito utilizada na composição quando o solo empregado é muito argiloso, evitando fissuras. É uma das composições mais antigas. (PEREIRA, 2019)

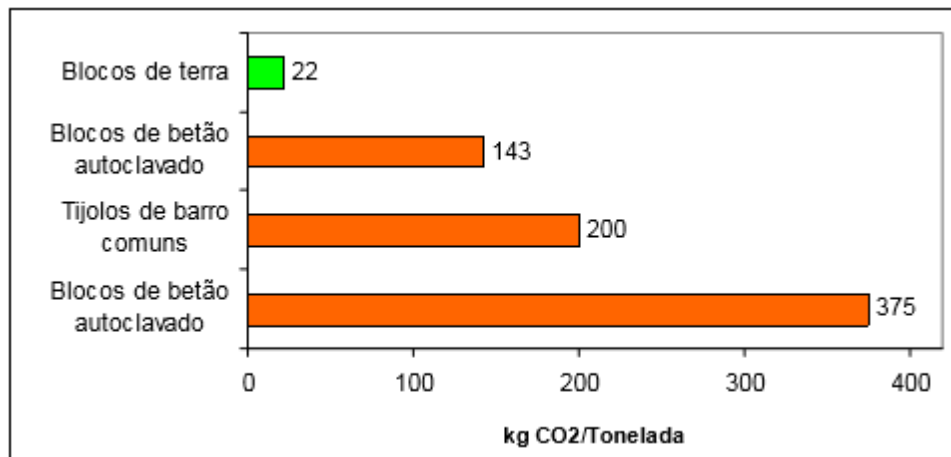
Pesquisas estão sendo desenvolvidas referente a utilização de produtos naturais, como excrementos animais, caseína, óleos vegetais entre outros, e de produtos sintéticos, como derivados de amônia quaternária, silicatos, látex, colas sintéticas, gesso etc. (LOURENÇO *et al.*, 2001)

### 2.3.2 BTC – Bloco de Terra Comprimida

O BTC é um material com facilidade para produção e fácil formação social, sendo uma grande vantagem, agregando também ao baixo custo energético e prejudicação ao meio ambiente. (LIMA, 2017).

Os métodos de construção sustentáveis estão cada vez mais presentes no cotidiano da valorização dos materiais utilizados. O que é vantagem para o BTC por conta de sua biodegradação e reciclagem (TORGAL et al, 2009). No Gráfico 2 é permitido verificar a diferença de emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono – gás causador do desequilíbrio do efeito estufa) entre os materiais mais convencionais e o BTC durante sua fabricação. Por não precisar de queima na fabricação, e seu material não possuir resíduos contaminantes, o BTC é classificado como material ecológico. (LIMA, 2017).

Gráfico 2 - Comparação da emissão do carbono em diferentes materiais

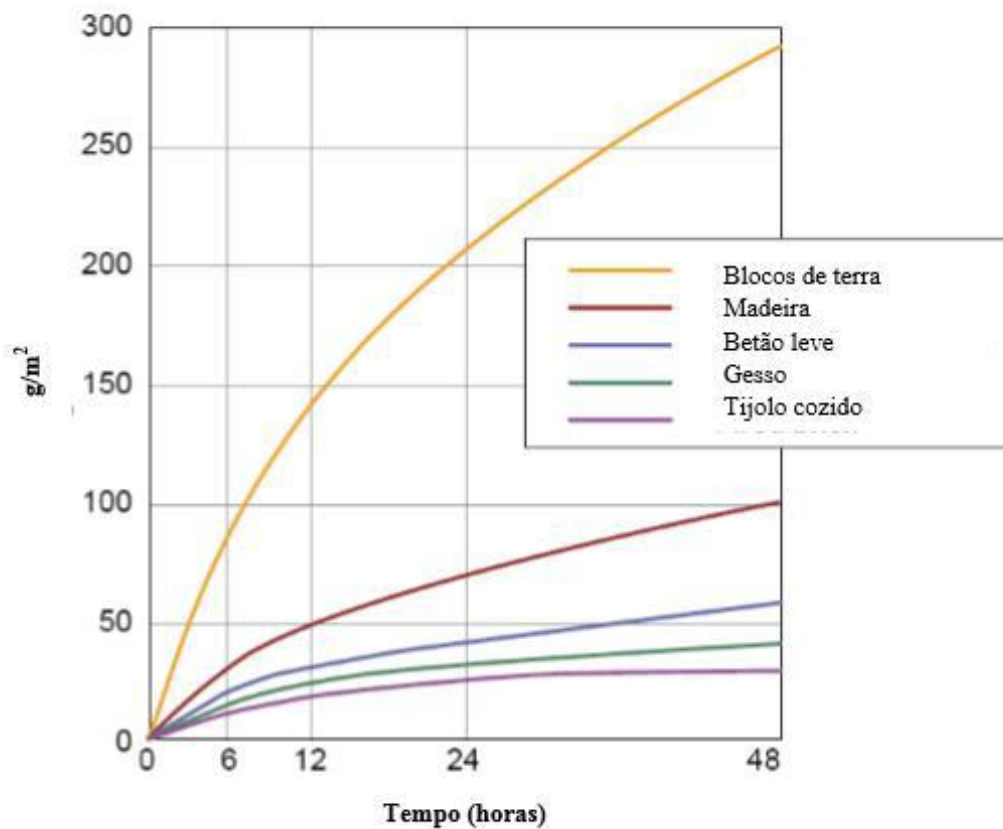


Fonte: Torgal *et al* (2009)

O BTC, por ser constituído predominantemente por terra, já é uma vantagem que nos leva a realizar seus estudos de aplicação. Além disso, pode ser analisado os parâmetros de fabricação e economia, por conta dos custos de mão de obra, importação de matérias, transporte e exploração, que são reduzidos, à conta de sua disponibilidade local dos materiais e suas técnicas de fácil aplicação. (LIMA, 2017).

Analisando o comportamento físico do material, é possível mencionar o bom comportamento devido a questão térmica, observando no Gráfico 3. O material libera e armazena lentamente o calor e mantém uma constante temperatura na parte interior da edificação, sendo o ideal para locais com temperaturas de grande variação entre os períodos do dia. Além disso, regula a umidade interna do edifício. (LIMA, 2017).

Gráfico 3 - Percentagem de absorção de água dos diferentes materiais



Fonte: Torgal *et al* (2009)

### 2.3.3 Taipa

A taipa, no geral, constitui uma estrutura monolítica, que resulta da aplicação da terra *in situ*. Diante as técnicas elencadas no decorrer do presente trabalho, esta é uma das mais famosas na arquitetura nacional, conferida aos primeiros edifícios brasileiros. Parte das construções antigas nacionais em taipa de mão podem ser encontradas em cidades interioranas de diversos estados, por exemplo o Rio de Janeiro, onde se localizam municípios do Vale do Café como: Barra do Piraí, Piraí, Valença, Vassouras, entre outras (OLENDER, 2006). E, historicamente consta-se como a maior igreja em taipa de pilão do Brasil a Igreja do Senhor Bom Jesus do Livramento situada no município de Bananal no estado de São Paulo.

Apesar de ter caído em desuso e ficado por um tempo abandonado, de acordo com Galdino (2010), os métodos em taipa ressurgiram como consequência do aparecimento de novos padrões diretamente ligados a questões sustentáveis e ao revigoramento da cultura regional, fazendo com que retome seu espaço gradualmente. Sendo os seguintes processos construtivos os de maior destaque na atualidade:

Taipa de Mão: O sucesso da taipa de mão se deu por diversas razões, dentre delas têm-se a facilidade da construção, durabilidade, resistência às intempéries, o seu custo inferior e a rapidez com que é executada. (CORDEIRO *et al.*, 2019)

Apesar de todo o preconceito estabelecido contra essa alternativa de edificação, hoje em dia, mundialmente, existe uma crescente aceitação sobre esse método. Juntamente com a ideia de trazer de volta o emprego da taipa de mão, Franke (2017) conta que existem grandes inovações que podem ser empregadas já aos pontos positivos pré-existentes, como: o distanciamento da base da edificação do solo e a impermeabilização junto a armação de madeira, que reduz a danificação causada pela umidade; a mecanização da mistura de terra, água e fibras, tornando possível o aprimoramento de tais recursos; a base de suporte metálica, substituindo as tramas de madeira, disponibilizando resistência estrutural maior e mais rapidez na execução (Figura 28); e a base de suporte pré-fabricada em formato de painéis, que poderiam ser montados autonomamente (Figura 29).



Figura 28 - Detalhe de painel metálico substituindo as tramas de madeira

Fonte: Franke (2017)



Figura 29 - Detalhe da estrutura em painel de madeira pré-fabricada

Fonte: Franke (2017)

Taipa de Pilão: Desde a década dos anos 70, devido à crise energética e aos movimentos ambientalistas, a taipa de pilão vem sendo pautada em diversos países quanto a sua reutilização na contemporaneidade. Por ser um material barato e encontrado em abundância, o ajuste desse método é de interesse quase universal e vem encontrando o seu espaço no mercado por ser um dos métodos mais adaptáveis esteticamente aos modelos arquitetônicos contemporâneos (Figura 30). (OLIVEIRA, 2012)

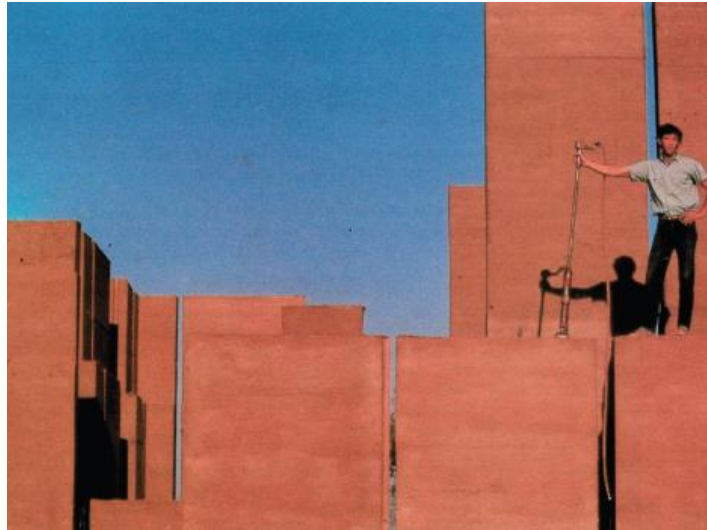


Figura 30 - Parede em taipa de pilão para uma casa na Califórnia

Fonte: Franke (2017)

Por possuir processos, na sua utilização tradicional, que implicavam prazos de obra muito longos, de acordo com Franke (2017) atualmente existem inovações que vem para possibilitar maior agilidade e uma construção mais limpa em suas etapas. São estes: o uso de pilões pneumáticos, otimizando o processo através da substituição da força física do homem pela força mecânica (Figura 31), tornando o processo de compactação maior, mais rápido e mais uniforme; as fôrmas metálicas (Figura 32), permitindo um maior número de reutilizações e maior suporte na energia de compactação; e os dispersores antissísmicos, que são pequenas lajes de concreto armado introduzidas entre blocos de taipa que ajudam a propagar o impacto sísmico no sentido horizontal, que antes havia uma resistência muito fraca.



Figura 31 - Compactação da terra com pilão pneumático executada por empresa brasileira Taipal

Fonte: Franke (2017)



Figura 32 – Fôrmas metálicas sendo utilizadas na prática pela empresa brasileira Taipal.

Fonte: Franke (2017)

As principais dificuldades enfrentadas por esse método são o de encontrar uma boa terra e garantir as melhores condições de umidificação dessa terra, para assim se obter uma compactação eficiente. Nesses processos, quase sempre se recorre à terra aditivada com cimento ou cal. As tecnologias utilizadas são diversas, dependendo das várias regiões onde são aplicadas. (LOURENÇO *et al.*, 2001)

### 3 ANÁLISES E DISCUSSÕES

Dentre as características da construção em terra, tem-se a matéria prima abundante, que por ser um material presente em todo o mundo, é de fácil acesso e com baixo custo, além de poder ser retirado no próprio terreno onde está sendo feita a construção. Sendo assim, gera um benefício econômico, também contando com a mão de obra, que por ser de fácil confecção, obtém agilidade no processo, por isso é vantajosa comparada a outros métodos mais convencionais. Se comparado com o custo de construção utilizando o método de Alvenaria Convencional, nota-se a vantagem da construção em terra perante outros métodos no âmbito econômico.

Quadro 1 – Valores de consumo e custo total dos materiais utilizados na etapa de elevação da parede de Adobe. Valor do m<sup>2</sup>.

Item	Material	Quantidade	Unidade	Valor Total
1	Adobe	28,4	unidades	-
2	Cal hidratada CH III	1,4	Kg	R\$ 1,05
3	Cimento Portland CPII	0,07	Sacos de 50 kg	R\$ 1,43
4	Areia média lavada	0,03	m <sup>3</sup>	R\$ 1,54
5	Aço CA 50 6,3mm	0,014	Barras de 12 m	R\$ 0,24
			<b>Total</b>	<b>R\$ 4,26</b>

Fonte: Silva, 2007 (adaptada)

Quadro 2-Valores de consumo e custo total dos materiais utilizados na etapa de revestimento da parede de Adobe. Valor do m<sup>2</sup>.

Item	Material	Quantidade	Unidade	Valor Total
1	Cal Hidratada CH III	0,8	kg	R\$ 0,60
2	Cimento Portland CPII	0,06	Sacos de 50 kg	R\$ 1,23
3	Areia Média lavada	0,03	m <sup>3</sup>	R\$ 1,54
4	Aditivo Plastificante	0,01	litros	R\$ 0,06
			<b>Total</b>	<b>R\$ 3,43</b>

Fonte: Silva, 2007 (adaptada)

Conforme os dados e valores apresentados anteriormente, a elevação e revestimento da parede em Adobe resultam em um custo total de R\$ 7,69/m<sup>2</sup> (metro quadrado).

Em contraponto apresenta-se os custos e insumos para elevação e revestimento de parede em Alvenaria, são eles:

Quadro 3 - Valores de consumo e custo total dos materiais utilizados na etapa de elevação da parede de Alvenaria Convencional. Valor do m<sup>2</sup>.

Item	Material	Quantidade	Unidade	Valor Total
1	Bloco Cerâmico 6 furos 9 x 14 x 19	33	unidade	R\$ 9,57
2	Cal Hidratada	3,37	kg	R\$ 2,53
3	Aditivo Plastificante	0,003	litros	R\$ 0,02
4	Cimento Portland CP II	0,19	Saco de 50 kg	R\$ 3,89
5	Areia média lavada	0,04	m <sup>3</sup>	R\$ 2,06
6	Aço CA-50 6,3 mm	0,06	Barra de 12m	R\$ 1,01
7	Aço CA-60 5,0 mm	0,18	Barra de 12 m	R\$ 1,71
8	Canaleta Cerâmica	1,94	unidade	R\$ 1,78
<b>Valor Total</b>				<b>R\$ 22,57</b>

Fonte: Silva, 2007 (adaptada)

Quadro 4 - Valores de consumo e custo total dos materiais utilizados na etapa de revestimento da parede de Alvenaria Convencional. Valor do m<sup>2</sup>.

Item	Material	Quantidade	Unidade	Valor Total
1	Cimento Portland CP II	0,07	Saco de 50 kg	R\$1,43
2	Areia média lavada	0,03	m <sup>3</sup>	R\$ 1,54
3	Aditivo Plastificante	0,002	litros	R\$ 0,01
<b>Valor Total</b>				<b>R\$ 2,98</b>

Fonte: Silva, 2007 (adaptada)

Conforme a relação de insumos apresentada anteriormente, o custo total da elevação e revestimento de parede em alvenaria é de R\$ 25,55/m<sup>2</sup>.

Perante o comparativo dos custos por metro quadrado da parede em Adobe e a parede em Alvenaria, além das vantagens abordadas no presente trabalho, pode-se pontuar como uma das maiores vantagens do método construtivo o seu custo,

sendo este aproximadamente três vezes menor quando se comparado com o custo do metro quadrado da alvenaria convencional. Sendo os valores dos insumos retirados da Tabela SINAPI/RJ – abril/2020.

Ainda podendo ajudar em questões a níveis políticos, pois com seu fácil acesso ao material e mão de obra, pode-se ajudar aos países de terceiro mundo que possuem uma dependência em relação às importações de materiais e técnicas de construção. Também podendo ajudar no desenvolvimento da socialização e autonomia do povo. E ainda permitindo a adequação à arquitetura local, mantendo os costumes culturais.

O material é reciclável e reutilizável, caso a construção seja demolida, pode-se reaproveitar o material por inúmeras vezes. A terra retirada nas fundações das edificações pode ser utilizada para execução do método de construção. Tem incluso nas vantagens o baixo custo energético, pois a principal energia utilizada é a solar, assim o material não é tóxico, e por não precisar de queima em sua técnica de construção, pode-se ser considerado ecológico. Não contaminam o meio ambiente, devido ao fato de utilizar apenas de 1 a 2% (um a dois por cento) da energia utilizada em construções em concreto armado ou tijolos cozidos.

Apresentam resultados satisfatórios tanto em climas secos, quanto em climas úmidos. Possui um ótimo comportamento quanto à umidade ambiental, uma vez que absorve e perde a umidade, gerando assim uma boa qualidade do ar no interior da construção, e com um bom comportamento térmico, devido ao fato de o barro armazenar calor e perder lentamente conforme a temperatura externa for diminuindo. Também é incombustível, apresentando resistência ao fogo.

Entretanto, por se tratar de construções tradicionais, as mesmas se baseavam em conhecimentos experenciados, ou seja, não havia qualquer fundamento teórico a respeito. Diante disso, as construções em terra por muito tempo foram associadas à pobreza e, no Brasil por ter sido um método empregado devido à necessidade e falta de alternativas, existia um preconceito estabelecido que era associado à técnica e sua precariedade, mesmo que esta já estivesse integrada à cultura do país.

Grande parte dos fatores limitativos das técnicas de construção em terra estão relacionadas à umidade. O princípio básico para se construir é evitar o contato entre as paredes e o solo, às vezes, mesmo com o uso de aditivos, a construção ainda fica suscetível a estas ações patológicas. Para se evitar esse fenômeno, técnicas construtivas como a utilização de um solo estável e compactado, sistemas seguros de drenagem e a construção de boas fundações, elevando-as até uma altura satisfatória, são de grande eficácia, além do uso de materiais impermeabilizantes. (LOURENÇO *et al.*, 2001)

A terra por si só não constitui um material padronizado e a sua aplicação depende de diversos fatores como os geológicos e climáticos da região em que vai ser utilizada. Essa variação pode vir da sua composição, resistência mecânica, cores, texturas e comportamento, e ainda quando não misturado a outros elementos, pode vir a apresentar falta de segurança e de durabilidade. Sendo assim, para o seu melhor rendimento pode ser feita a correção a partir de ensaios que indiquem os melhores aditivos a serem aplicados. A sua utilização não era aconselhável para construções cuja localidade sofriam com abalos sísmicos, tufões e movimentos de fundações, porém, com a tecnologia existente atualmente, essa questão pode ser solucionada com o emprego de estruturas de madeira, ou de dispersores feitos de concreto armado que ajudam a propagar o impacto sísmico no sentido horizontal. As técnicas em adobe e taipa de mão oferecem grande resistência a esses abalos. (FRANKE, 2017; PISANI, 2004)

Quando se aborda sobre construções em terra no Brasil, comumente, ela está diretamente associada à Doença de Chagas. Esse fato se deve às construções precárias empregadas por todo o país, que resultam em problemas estruturais causados pela falta de experiência em sua execução. Essas adversidades podem vir a resultar em fissuras e trincas, causadas pela retração da terra ao secar, servindo de esconderijo para o inseto. Para evitar que esse tipo de problema ocorra, é necessário sempre que todo o conjunto da obra seja sólido e estável, evitando desaprumos e desnivelamentos. O uso de algumas metodologias já conhecidas na Construção Civil e muitas vezes dispensados quando se trata de técnicas construtivas em terra, como o uso de marcação e nivelamento, uso de equipamentos simples como prumo e esquadro, se ignorados, afetam diretamente na aparência, na rigidez da construção, tornando a estrutura repleta de vulnerabilidades. Se todas as

medidas preventivas forem tomadas e todos os padrões construtivos forem realizados de acordo com as técnicas adequadas, a terra crua pode apresentar seu rendimento máximo. Ainda, como melhorias propostas para amenizar as trincas e rachaduras decorrentes das propriedades do material após a secagem, a solução indicada é a aplicação de camadas extras de argamassa nas paredes a fim de recobrir essas frestas existentes. Se possível, para a obtenção de resultados mais satisfatórios, principalmente quando se discute o risco de contaminação da Doença de Chagas, especialistas recomendam que a última camada de revestimento da parede seja acrescido de cimento ou cal, elementos estabilizantes que podem garantir maior proteção e resistência a estrutura da casa. (CARVALHO, 2012; SILVA, 2000)

Sendo a Doença de Chagas um fator que gera resistência da população quanto aos métodos construtivos em terra, sabe-se que, é uma doença tropical causada pelo protozoário "*Trypanosoma Cruzi*" que assim foi denominada em homenagem ao cientista e pesquisador brasileiro Carlos Chaga que a descobriu e dedicou sua vida numa intensa pesquisa ao estudo da doença. (LANNES-VIEIRA, 2020)

Sua transmissão para seres humanos pode se dar de diversas formas, mas a principal é de forma vetorial através dos insetos do gênero Triatomíneo, popularmente conhecidos como "barbeiros". Estes, apresentam adaptação aos ambientes intra-domiciliares, o que acaba resultando em índices maiores dessa infecção natural que acontece diretamente através do vetor. A infecção humana ocorre quando o inseto suga o sangue da pessoa e, logo em seguida, defeca ao lado da ferida. São em suas fezes que se encontram os parasitas que provocam a doença e estes entram na corrente sanguínea através da pele ferida. (SILVA, 2000)

A técnica de construção em terra mais encontrada nos meios rurais, de acordo com Milanez (1958), é o pau-a-pique e, como citado anteriormente, esses métodos são diretamente ligados a ocorrência da Doença de Chagas. Devido ao fato das casas serem feitas a partir de terra muito úmida com uma porcentagem muito mais alta de argila do que de areia, as paredes quando prontas sofrem com uma forte retração da argamassa, pois, a argila quando úmida tem a propriedade de "inchar" e ao secar, ela se contrai, provocando assim frestas e rachaduras em sua

estrutura. Com a adaptação do inseto transmissor à essas casas rurais, estes então passaram a se alojar nas frestas e rachaduras decorrentes da má qualidade das construções.

Uma campanha do Ministério da Saúde/SUCAM feita em 1990 com a finalidade de prevenções e soluções quanto a Doença de Chagas propunha que houvesse melhorias habitacionais, porém que estas fossem feitas a partir da “substituição de cafuas e ranchos de pau-a-pique por residências decentes de alvenaria.” (Ministério da Saúde, 1990), o que escancara o preconceito relacionado as casas de terra crua e ao desconhecimento de que essas construções quando feitas de maneira correta, apresentam um nível de qualidade tão elevado quanto as casas de alvenaria. E, ainda de acordo com a cartilha explicativa e elaborada por infectologistas do Hospital Evandro Chagas/FIOCRUZ (1999), até casas de alvenaria quando mal elaboradas e mal cuidadas, apresentando frestas e rachaduras em suas paredes, também podem apresentar condições favoráveis ao vetor, do mesmo jeito que o inseto também pode instalar-se em mobiliários antigos e móveis velhos no geral.

### **3.1 Normas Técnicas e suas Aplicações**

Mesmo com as desvantagens apontadas anteriormente, existem na atualidade países que são referências quando se aborda sobre construções em terra e suas empregabilidades. Estados Unidos e Austrália são os países que se destacam na quantidade de escritórios especializados em construções em Terra. Além dos inúmeros escritórios da área em questão a Austrália possui norma de grande relevância para o panorama mundial:

Quadro 5 - Normas, Código e Manual internacionais sobre construções em Terra.

Norma Australiana	HB 195	<i>The Australian Earth Building Handbook</i> (O Manual Australiano de Construções de Terra, em português), aborda o Adobe, a Taipa, o BTC e a Terra Vazada.
Código Alemão		<i>Lehmbau Regeln</i> (Regras de Construção da Terra, em português), sendo o primeiro código da temática na União Europeia.
Manual Espanhol		<i>Bases para el Diseño y Construcción con Taipal</i> (Bases para o Projeto e Construção com Terra, em português) do Ministério de Obras Públicas e Transportes, abordando sobre Terra Compactada e Adobe.
Norma Mexicana	ASTM E2392 / E2392M	<i>Earthen Buildings Materials Code</i> (Código de Materiais de Edifícios de Terra, em português), abordando sobre Adobe, Terra Compactada, Bloco de Terra Compactada e Terra Vazada.
Norma Neozelandesa	NZS 4297:2020	<i>Engineering Design of Earth Buildings</i> (Projeto de Engenharia de Edifícios de Terra, em português), <i>Earth Buildings not Requiring Specific Design</i> (Construção de Terra sem requerer Projeto Específico, em português), <i>Materials and Workmanship for Earth Buildings</i> (Materiais e Mão de obra para edifícios de Terra). Normas essas que possuem foco em construções em Terra Compactada, Adobe, Bloco de Terra Comprimida e Terra Vazada.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.

Sendo o Brasil um país que tem inúmeras cidades históricas que possuem quase a totalidade de suas edificações em técnicas que utilizam a terra como matéria prima, há registro de normas técnicas que especificam o processo de fabricação, manuseio e empregabilidade das técnicas de construção em Terra. As cidades de Tiradentes-MG, Pirenópolis-GO e Ouro Preto-MG são exemplos de cidades históricas que possuem inúmeras construções em terra que forma edificadas há décadas e se apresentam bem conservadas na atualidade. (BORGES; COLOMBO, 2009)

Quadro 6 - Normas Brasileiras sobre construções em Terra

ABNT 8.491 2012	NBR de	Sobre o Tijolo de solo-cimento, estabelecendo os requisitos para a aceitação de tijolos de solo-cimento destinados à aplicação em alvenaria sem função estrutural em obras de Construção Civil.
ABNT 8.492 2012	NBR de	Sobre o Tijolo de solo-cimento, fixando o método para análise dimensional, indicação da resistência à compressão e da absorção de água em tijolos de solo-cimento para alvenaria sem função estrutural.
ABNT 10.833 2012	NBR de	Sobre a Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa-hidráulica, fixando as condições exigíveis na produção de tijolos maciços e blocos vazados de solo-cimento em prensas hidráulicas.
ABNT 10.834 2012	NBR de	Sobre Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural, fixando as condições exigíveis para a aceitação de blocos vazados de solo-cimento comuns, destinados à execução de alvenaria sem função estrutural.
ABNT 11.798 2012	NBR de	Sobre os Materiais para base de solo-cimento, estabelecendo as exigências para os materiais a serem empregados na execução de camadas de base de pavimentos de solo-cimento.
ABNT 12.023 2012	NBR de	Sobre Solo-cimento, prescrevendo os métodos de determinação da relação teor de umidade e a massa específica aparente seca de misturas de solo e cimento, quando compactadas na energia normal.
ABNT 12.024 2012	NBR de	Sobre Solo-cimento, determinando métodos de moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento.
ABNT 12.025 2012	NBR de	Sobre Solo-cimento, estabelecendo o método de ensaio de resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos de solo-cimento.

Continuação

ABNT 12.253 2012	NBR de	Referindo-se a Solo-cimento, indicando as condições para a definição da porção de cimento capaz de estabilizar solos, para emprego como camada de pavimento de solo-cimento.
ABNT 12.254 2013	NBR de	Sobre Solo-cimento, estabelecendo requisitos para a execução de base de solo-cimento, utilizando misturas preparadas em usina ou na pista.
ABNT 13.553 2012	NBR de	Abordando os Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural, fixando condições exigíveis para os materiais a serem empregados na construção de paredes monolíticas de solo-cimento sem função estrutural.
ABNT 13.554 2012	NBR de	Referindo a Solo-cimento, estabelecendo o método para a determinação de perda de massa, variação de umidade e variação de volume produzidas por ciclos de molhagem e secagem de corpo de prova de solo-cimento.
ABNT 13.555 2012	NBR de	Sobre Solo-cimento, definindo o método para a definição da absorção de água de corpos de prova cilíndricos de solo-cimento.
ABNT 16.814 2020	NBR de	Sobre Adobe, estabelecendo as exigências para a fabricação de adobe e execução da alvenaria, além dos métodos de ensaio para sua caracterização física e mecânica.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.

Perante os avanços de estudos e normas referentes às técnicas de construção em terra ao redor do mundo, diversas Associações vêm ganhando destaque, entre elas: a Rede Ibero-Americana de Arquitetura e Construção em Terra - PROTERRA, a Rede Terra Brasil, a Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais (ABMTENC), a CRATerre, o grupo *Adobe in action* (adobe em ação, em português). (SANTOS, 2015)

### 3.2 Aplicações dos Métodos em Terra na Atualidade

Como abordado ao longo do presente trabalho, é imensurável a importância deste método construtivo no mundo, devido a quantidade demasiada de edificações no decorrer da história da Construção Civil. Dentre essas construções, pode-se exemplificar obras recentes que utilizaram técnicas de construções em terra, são exemplos destas:

- Em 1980 na França as habitações do *Domaine de la Terre* (domínio da terra, em português) e o programa de habitação social com uso de terra compactada, resultaram na edificação de milhares de habitações na Ilha de Mayote;

- Na Áustria, em torno dos anos 2012 e 2013, deu-se início a pré-fabricação de paredes de terra mecanizadas; (JOFFROY; GUILLAUD; LE TIEC, 2013)

- No ano de 2016, em Maasai Village na Tanzânia, o Projeto denominado *Old Habits, New Ideas*, construiu residências para a população que possuía costumes nômades, as edificações foram realizadas por meio da técnica de Terra Ensacada. (Figura 33 e 34)



Figura 33 – Processo de construção por meio de Terra Ensacada

Fonte: Mathias Comille, 2016



Figura 34 – Construção finalizada

Fonte: Mathias Comille, 2016

- Em 2014, na comunidade de Musgum, nos Camarões, foram edificadas 15 (quinze) cúpulas de Terra Compactada.

- Em Niamey, capital do Níger, no ano de 2014, foi realizado um Colóquio sobre Arquitetura em Terra, onde houve uma espécie de concurso de projetos que empregassem a Terra como matéria-prima. (Figura 35)



Figura 35 – Projeto vencedor do concurso.

Fonte: Modelo disponibilizado por Abida Akandi Yayi e Robert Soares

- A Torre do Observatório Negenoord, situada na fronteira entre Bélgica e Holanda, foi edificada no ano de 2016, com área de 46 m<sup>2</sup>, foi utilizado método de construção em Taipa. (Figura 36)



Figura 36 – Torre do Observatório de Negenoord, feita em Taipa

Fonte: Filip Dujardin, 2016

#### 4 IGREJA SENHOR BOM JESUS DO LIVRAMENTO – UM EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DA SUPER-TAIPA

A Paróquia do Senhor Bom Jesus do Livramento, localizada no município de Bananal em São Paulo, foi construída entre o final do século XVIII (dezoito) e início do século XIX (dezenove) a partir da técnica de taipa de pilão. O edifício é considerado um dos bens religiosos mais relevantes no contexto histórico do Vale do Paraíba e, se apresenta como parte do núcleo histórico tombado pelo Condephaat (Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Artístico Arqueológico e Turístico do Estado de São Paulo), apresentando dimensões exorbitantes (Anexo A), possuindo 20,96 metros de frente e 45,70 metros de comprimento, totalizando assim uma área construída de 957,87 m<sup>2</sup> (metros quadrados) (Figura 37). (TOGNON E SALMAR, 2006)



Figura 37 - Igreja Matriz Senhor Bom Jesus do Livramento

Fonte: Elaborada por Ken Chu – Expressão Studio, 2016.

Levando em consideração a comemoração do seu bicentenário no ano de 2011, foi promovido um processo de restauro da Matriz de Bananal, tendo seu início no ano de 2003 e finalizada no ano de 2011. Durante esse tempo, houve planejamentos anuais estratégicos de ações a serem tomadas que foram planejadas de acordo com as prioridades e emergências visando a melhor preservação do

monumento. Dentre essas melhorias que foram propostas tiveram limpezas, manutenções, restauros, revisões, descupinização, pintura etc.

Em meio a todos esses processos, no dia 24 de julho de 2005, uma área irregular de aproximadamente 20m<sup>2</sup> (vinte metros quadrados) localizada na lateral leste da fachada, próxima da Torre Sineira ruiu inesperadamente (Figura 38). Assim, uma intervenção emergencial foi necessária para restaurar a estrutura muraria em taipa de pilão, tornando-se assim a ocasião perfeita para implementar uma solução que unisse técnicas tradicionais e inovações tecnológicas.



Figura 38 - Estrutura muraria após desprendimento.

Fonte: Tognon e Salmar (2006)

O principal problema encontrado na estrutura muraria foi um grande desprendimento da massa que fazia parte da parede lateral da fachada. Essa patologia foi fruto não apenas da ação direta dos agentes de deterioração ambientais, mas também devido às intervenções feitas no decorrer dos anos. Tais obras tinham como finalidade constituir uma nova vedação nas fachadas da Paróquia e preencher lacunas causadas pelas grandes fissuras nas paredes em taipa de pilão, em particular seções verticais onde se vê a emenda dos blocos de apiloamento. Perante as cargas incidentes (Figura 39) da região de onde houve o desprendimento da estrutura muraria da Igreja, observa-se que tais solicitações são incompatíveis com o método construtivo da edificação.



A estrutura em taipa da fachada foi sobreposta, tanto interiormente quanto exteriormente, por paredes construídas com blocos cerâmicos que foram assentados com argamassa comum (feita com cimento, cal, areia e às vezes saibro), cacos de cerâmica e pedaços de madeira, esses preenchimentos realizados foram, na realidade, as causas que ocasionaram mais danos para o desprendimento. Os materiais utilizados nesses preenchimentos motivaram sub-florescências e, subsequentemente, cristalizações de moléculas instáveis que resultaram ao quadro amplo e acentuado de desagregação das argilas estruturantes dos compostos arenosos da taipa. Esse processo sucedeu, em pequena escala, mas com grande potencial difuso, deformações internas na edificação atingindo em especial as emendas frágeis naturais da execução da taipa entre os blocos. Também pôde ser notado a formação de inúmeros bolsões vazios, entre a nova e a velha parede, causando eflorescência nas superfícies das estruturas de taipa que continham a argamassa usada para assentamento e facilitando então a condensação da umidade.

A parte que se desprendeu na fachada leste da Matriz de Bananal possuía um volume correspondente a 18m<sup>3</sup> (dezoito metros cúbicos) e, com esse fator, existia o grande risco de fadiga estrutural do restante da estrutura da taipa naquela parte, principalmente comprometendo a base da Torre Sineira e a cobertura (Figura 40).



Figura 40 - Área após desmontagem para posterior recuperação.

Fonte: Tognon e Salmar (2006)

Para reestabelecer a harmonia estática da parede foram, primeiramente e essencialmente, adotado os critérios de manutenção da dinâmica física da parede original constituída por taipa de pilão e feita a sobreposição de blocos monolíticos compostos por terra apiloada; manutenção do peso próprio da construção fazendo com que não aumentasse e nem diminuísse drasticamente a carga na fundação original e; manutenção dos pontos formais da estrutura, especialmente as espessuras das paredes e a instalação original de componentes de madeira agregados ou engastados nas parede.

Para reconstrução da área em questão, foram efetuados estudos embasados em amostras dos solos do entorno da edificação, uma vez que seria inviável a utilização de terra de lugares distantes da localidade, considerando a grandiosidade da construção num todo, para melhora da resistência mecânica. Além da técnica e materiais empregados tradicionalmente na técnica em questão, foram empregados aditivos minerais, fibras de polímeros, além da alteração da plasticidade e liquides.

Foi utilizado a denominada Super-Taipa, que busca a melhora do desempenho mecânico, apresentando também aumento da capacidade relativa aos esforços de compressão. Nessa adaptação da Taipa de Pilão foram utilizadas mãos de pilão confeccionadas em dois formatos – uma reta e uma em formato triangular. Em substituição da fibra natural, que compunha a mistura originária da construção, foi empregado o fio de nylon, material este de elevada durabilidade e de fácil acessibilidade e apresentando bons resultados no quesito resistência.

A composição final do traço foi formada por: terra de duas das localidades utilizadas para estudo, cal hidratada, água potável e fibra sintética (fio de nylon). A cal hidratada foi utilizada com a função de estabilizar o solo. Para preencher os vãos do maciço original, foi utilizado uma espécie de lama reforçada, composta por: terra de uma das localidades, dispersão de acetado de polivinila (uma espécie de cola), fibras sintéticas e água. Para o apiloamento da mistura em questão foi afixada na área uma estrutura em madeira (Figura 41). Após a secagem da mistura, a estrutura de madeira foi retirada ficando aparente as camadas de apiloamento (Figura 42). Para finalização e acabamento da área, deu-se uma camada de emboço de terra sobre a área, ficando está protegida de influências externas, como absorção da água de chuva (Figura 43).



Figura 41 - Estrutura de madeira para apiloamento da mistura.

Fonte: Tognon e Salmar (2006)



Figura 42 - Camadas de apiloamento aparentes após secagem.

Fonte: Elaborada por Manuela Franco Rodrigues, 2005



Figura 43 - Parede finalizada com emboço de terra.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.

## 5 CONCLUSÃO

O setor da Construção Civil é um dos maiores responsáveis pela poluição mundial, uma vez que para a fabricação de grande parte dos materiais utilizados neste setor há uma emissão de poluentes volumosa, como demonstrado no Gráfico 2, presente no item 2.3.2. Com o assunto do aquecimento global em alta, o quanto mais se reduzir a emissão de poluentes, adotando-se medidas sustentáveis, a população mundial irá se beneficiar gradativamente. Por este fato, a construção utilizando a terra como matéria prima ganha destaque, uma vez que esta possui diversas vantagens.

No decorrer do presente trabalho evidencia-se como a matéria prima é abundante, de baixo custo e de fácil acesso mundial, sendo diretamente aliada às causas sustentáveis, uma vez que apresentam conforto térmico em seu interior, evitando assim a utilização de equipamentos elétricos para tal conforto. Foi-se também evidenciado as variações que o método construtivo apresenta, sendo essas, divididas em quatro sistemas – o monolítico, o de alvenaria, o de preenchimento ou revestimento e o de ligação – demonstrando assim a fácil aplicabilidade e grande adaptação ao meio em que este será empregado. Fatores como a não necessidade de mão de obra especializada, favoreceriam a geração de empregos em massa, juntamente com um possível incentivo governamental que viriam para educar a população e quebrar os preconceitos existentes contra o método construtivo na atualidade, mostrando sua importância histórica perante a sociedade mundial devido as grandiosas edificações que perduram por mais de séculos.

Perante as pautas abordadas conclui-se que a utilização da terra na contemporaneidade é completamente viável e potencial, mesmo com a sua não aplicabilidade e a escassa abordagem ao decorrer das formações acadêmicas. O aprimoramento e atualizações das normas agregariam a confiança necessária ao método, norteando os profissionais para a execução de tais construções de forma mais segura.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, Ivan. **“Casas de Taipa que vêm da Natureza - Brasil redescobre arquitetura popular com proposta dinâmica”**. In Jornal do País, semana de 2 a 27 de junho de 1984. Rio de Janeiro, 1984.

ARAUJO, Herbert Gurgel. **Manualização de Construções em Adobe**. 2009. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - Ce, 2009.

ARESTA, Marco. **Arquitectura biológica. La vivienda como organismo vivo**. Buenos Aires: Diseño Editorial, 2014. 222 p.

BORGES, Luiara Vidal dos Santos; COLOMBO, Ciliana Regina. **Construções com Terra: Alternativa voltada à sustentabilidade**, 2009.

CAMPOS, Alessandro; NASCIMENTO JUNIOR, João Batista do; BRITO, Larissa Tessari. **Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura**. Interações (Campo Grande), Campo Grande, v. 20, n. 1, p. 283-296, jan. 2019.

**CARTILHA DA DOENÇA DE CHAGAS**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas Hospital Evandro Chagas/ Fundação Oswaldo Cruz, 1999.

CARVALHO, Thaís Márjore Pereira de; LOPES, Wilza Gomes Reis. **A Arquitetura de Terra e o Desenvolvimento Sustentável na Construção Civil**. In: CONNEPI, 7., 2012, Palmas.

CORDEIRO, Carol Cardoso Moura *et al.* **Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão.** Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção. Campinas, SP, v. 10, p. e019006, jan. 2019.

FARIA, Paulina. **Argamassas de terra e cal - características e campos de aplicação.** Disponível em: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/18281/1/CI%20-%20Faria\\_arg%20cal%20terra\\_fical\\_livro%20atas%202016.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/18281/1/CI%20-%20Faria_arg%20cal%20terra_fical_livro%20atas%202016.pdf). Acesso em: 25 maio 2016.

FERNANDES, Maria. **10ª Mesa Redonda de Primavera. Terra: forma de construir. arquitectura, antropologia, arqueologia.** Técnicas de Construção em Terra. Lisboa: Argumentum, 2006. 144 p.

FERREIRA, Carlos de Castro. **A Sustentabilidade do Sistema Construtivo em Terra: Um Projecto de Reabilitação.** 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2012.

FIGUEIRA, André Filipe Temtem. **O Carácter Vernáculo na Construção com Terra no Panorama Contemporâneo.** 2016. 280 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

FRANKE, Lisa Nathalie. **Arquitetura contemporânea em terra: Modos de ver e fazer.** 237 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade de Porto, Porto, 2017

GALDINO, Clayton. **Casas de mãos e barro: a arquitetura caiçara de São Sebastião.** Revista Cadernos do Ceom: Etnicidades, Santa Catarina, v. 23, n. 32, p. 77-98, 2010.

GONÇALVES, Teresa Diaz. **A terra como material de construção**: encontro técnico-científico o papel dos laboratórios de estado na investigação e desenvolvimento em engenharia civil no âmbito da cplp. Lisboa: Lnec, 2009.

GONÇALVES, Teresa Diaz; GOMES, Maria Idália. **Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto**. In: JORNADA LNEC, 18., 2012, Lisboa. **Artigo**. Lisboa: Lnec, 2012. p. 1-7.

GONZÁLEZ, Filipe Duarte. **A Estereomorfologia - Um contributo para o Desenvolvimento Sustentável**. 2013. 138 f. Tese (Doutorado) – Curso de Arquitetura, Universidade Lusíada de Lisboa, Lisboa, 2013.

GRANDE, F. M. **Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-Cimento por Prensagem Manual Com e Sem Adição de Sílica Ativa**. Dissertação de Mestrado. São Carlos – SP: Escola de Engenharia de São Carlos – EECS da Universidade de São Paulo – USP, 2003.

JOAQUIM, Bianca dos Santos. **Terra e Trabalho: O lugar do trabalhador nos canteiros de produção da Arquitetura e Construção com Terra**. 2015. 229 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos- Sp, 2015.

JOFFROY, T.; GUILLAUD, H.; LE TIEC, J-M. **Architectures contemporaines en terre crue: sur les traces de Hassan Fathy**. In: UNESCO INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON THE CONSERVATION OF WORLD HERITAGE EARTHEN ARCHITECTURE. 2012. Proceedings [...]. Paris: CRATerre, 2013. p. 218-225

LANNES-VIEIRA, Joseli. **Portal da Doença de Chagas**. Disponível em: <http://chagas.fiocruz.br/sessao/doenca/>. Acesso em: 21 out. 2020

LEMOS, Carlos Alberto Cerqueira. **Arquitetura Brasileira**. São Paulo - Sp: Melhoramentos, 1979.

LIMA, Diogo Pedro de. **Ensaio de resistência termomecânica em regime estacionário em Bloco de Terra Compactada (BTC)**. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2017.

LOURENÇO, Patrícia *et al.* **Novas tecnologias na aplicação de terra crua para a construção**. In: CONSTRUÇÃO 2001 - CONGRESSO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 2001, Lisboa: Companhia de Arquitectura e Design, 2001. p. 513-550

MAIA, Leonardo Ribeiro. **Contribuição às construções em terra comprimida e compactada e influências no conforto**. 2016. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MENDES, Michael. SANTOS, Cristina Calmeira. **Alvenaria de Sacos de Terra – Análise do ciclo de vida**. Editora Agroforum. Edição 38, ano 25. Portugal, 2017.

MILANEZ, A. (1958). **Casa de Terra - As técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo**. Rio de Janeiro, Serviço Especial de Saúde Pública - Ministério da Saúde.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Sistema de Informação de Atenção Básica – SIAB**. Brasília, 2015.

MINISTÉRIO DA SAÚDE/SUPERINTENDÊNCIA DE CAMPANHAS DE SAÚDE PÚBLICA - SUCAM. **Doença de Chagas – Clínica e Terapêutica**. Brasília, 1990.

NITO, Mariana Kimie da Silva. **Sistemas Construtivos em Terra Crua: Panorama da América Latina nos últimos 30 anos e suas referências técnicas históricas**. Revista Cadernos de Pesquisa da Escola da Cidade, São Paulo, v. 1, p. 11-18, 2015.

OLENDER, Mônica Cristina Henriques Leite. **A técnica do pau-a-pique: Subsídios para a sua preservação**. 146 f. Monografia (Especialização) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

OLIVEIRA, Bruno Assunção. **Inserção da taipa de pilão mecanizada com apiloamento pneumático no mercado da construção sustentável no Brasil**. 43 f. Monografia (Especialização) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PÁDUA, Marco. **Arquitetura de terra: Taipa de pilão - Pau a pique - Adobe**. [s.d.]. Disponível em: <https://profmarcopadua.net/arquiterr.pdf>. Acesso em: 03 set. 2020.

PEREIRA, Luiz Henrique Meneses. **Edificações Sustentáveis: Construções com Tijolo de Adobe**. 2019. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Taipas: A arquitetura de terra**. Sinergia - Revista do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 9-15, jun. 2004.

RODRIGUES, Paulina Faria. **Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias**. Musa - Museus, Arqueologia & Outros Patrimónios, Setúbal, v. 2, n. 1, p. 149-155, jul. 2005.

SAIA, Luís. **“Morada Paulista”**. Coleção Debates - 2a Edição. São Paulo: Perspectiva, 1978.

SALA, Tiago. **Casas Bandeiristas Arquitetura Colonial Paulista**. 2015. Disponível em: <http://www.casasbandeiristas.com.br/casa-taperao/>. Acesso em: 02 set. 2020.

SANTOS, Clarissa Armando dos. **Construção com Terra no Brasil: Panorama, Normatização e Prototipagem com Terra Ensacada**. 2015. 290 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SANTOS, Roberto Eustáquio dos. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia**. 2008. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-Mg, 2008.

SCHMIDT, Carlos Borges. **Construções de taipa: alguns aspectos de seu emprego e da sua técnica**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1946.

SILVA, Cláudia Gonçalves Thaumaturgo da. **Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua**. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública/ Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, Fernando Machado Gonçalves da. **Análise da sustentabilidade no processo de produção de moradias utilizando adobe e bloco cerâmico. Caso: Assentamento Rural Pirituba II - Itapeva-SP**. 2007. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos- Sp, 2007.

TAVEIRA, Eduardo Salmar Nogueira. **O solo-cimento no campo e na cidade – construir, morar, habitar**. São Paulo: Ícone Editora, 1987.

TOGNON, Marcos; SALMAR, Eduardo. **O Restauro da Arquitetura Histórica de Terra com a Super-Taipa**. In: IV SEMINÁRIO DE ARQUITETURA DE TERRA EM PORTUGAL., 2006, Ouro Preto. Publicações Avulsas I.P.R. Ouro Preto: Terra Brasil, 2006. p. 01-06

TORGAL, F. Pacheco; EIRES, Rute M. G.; JALALI, Said. **Construção em Terra**. 2009. 187 f. Monografia (Especialização) - Curso de Arquitetura, Universidade do Minho, Guimarães, 2009.

ANEXO A – Planta Baixa da Igreja Bom Jesus do Livramento

