

CONSTRUÇÃO COM TERRA: PASSADO E FUTURO

BUILDING WITH EARTH: PAST AND FUTURE

Data de aceite: 22/12/2022 | Data de submissão: 20/12/2022

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha, Dr.^a

UFSC, Florianópolis, Brasil, E-mail: lisiane.librelotto@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3250-7813>

FERROLI Paulo Cesar, Dr.

UFSC, Florianópolis, Brasil, E-mail: pcferroli@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6675-672X>

BÁRTOLO, Helena, PhD.^a

IPLeia, Leiria, Portugal, E-mail: helena.bartolo@ipleiria.pt

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0261-9259>

VASCONCELOS, Cláudia, Dr.^a

UNIFESSPA, Santana do Araguaia, Brasil,

E-mail: claudia.vasconcelos@unifesspa.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0629-0083>

RESUMO:

Este artigo apresenta uma pesquisa desenvolvida com o objetivo de analisar o emprego da construção com terra em cidades dos continentes Europeu (Portugal, França e Alemanha) e Africano (Marrocos), identificando as técnicas construtivas históricas documentadas e os padrões técnicos vigentes. Para cumprir este objetivo foi realizado o registro fotográfico de algumas construções, reunião de informações documentais, técnicas de construção e padrões normativos vigentes. Foram necessárias as seguintes etapas: constituição de referencial teórico, visita, registro fotográfico e obtenção de documentação sobre edificações e técnicas construtivas em terra em Portugal, França, Alemanha e Marrocos. Foi possível identificar a evolução da técnica construtiva e perspectivas sob o ponto de vista da sustentabilidade. As principais técnicas identificadas foram a construção em enxaimel (técnica mista), adobes e as taipas, além dos revestimentos e entrepisos em terra, normalmente conjugados com estruturas em madeira. A terra tem potencial para ser um dos materiais utilizados em construções mais sustentáveis, mas podem ser identificadas fragilidades no emprego das técnicas.

PALAVRAS-CHAVE:

Terra. Normas. Patrimônio. Técnicas Construtivas, Construção Sustentável.

ABSTRACT:

This paper presents a research developed with the objective of analyzing the use of earth construction in cities of the European (Portugal, France and Germany) and African (Morocco) continents, identifying the documented historical construction techniques and the current technical standards. In order to fulfill this objective, it was carried out the photographic record of some constructions, gathering documentary information, construction techniques and current normative standards. The following steps were necessary: constitution of the theoretical referential, visit, photographic record and acquisition of documentation about buildings and earth construction techniques in Portugal, France, Germany and Morocco. It was possible to identify the evolution of the construction technique

and perspectives from the point of view of sustainability. The main techniques identified were half-timber construction (mixed technique), adobes and rammed earth, as well as earth cladding and screeds, usually combined with wooden structures. Earth has the potential to be one of the materials used in more sustainable construction, but weaknesses can be identified in the use of the techniques.

KEYWORDS:

Earth. Standards. Heritage. Construction Techniques, Sustainable Construction.

1. INTRODUÇÃO

A construção com terra faz parte do patrimônio histórico do homem. Ao mesmo tempo, a busca pela sustentabilidade tem apostado nesse material para uso em construções menos impactantes ao meio ambiente. Mundialmente a construção com terra foi empregada em diversas edificações, como nas muralhas da China, nas construções portuguesas, alemãs e está presente na arquitetura de povos africanos até algumas comunidades indígenas brasileiras.

De muita versatilidade, a terra, enquanto material de construção pode ter diversas aplicações, entretanto os usos principais concentram-se no adobe, taipas, blocos de terra comprimida (BTCs) e técnicas mistas como o enxaimel. Tais usos divergem de acordo com país e não existe uma uniformidade de nomenclaturas e procedimentos. Conforme Niroumand, Zanin e Jamil (2013), a terra constitui-se como um dos materiais de construção mais utilizados em diferentes aplicações arquitetônicas e de engenharia, tais como construção, colinas, colinas moldadas, abrigos enterrados, terraços, jardins, configuração de paisagens, mesmo que o uso mais comum no ocidente, como elementos verticais em parede, represente apenas pequena parcela de usos em potencial, como em fundações, coberturas e pavimentos, por exemplo. Na Figura 1 pode-se observar essa diversidade de usos.

Figura 1: Aplicações da terra em engenharia e arquitetura: (a) Brighton Earth Ship - Low Carbon Trust, Stanmer Park, Lewes Rd, Brighton, Sussex, United Kingdom; (b) Campo de Esportes de Quzhou; (c) Desenhos feitos das casas Xokleng e Kaingang da tradição Taquara-Itararé datadas do primeiro milênio d.C. encontradas no Sul do Brasil e Argentina (de 400 a.C. até 500 a.C.); (d) Terraços para cultivo de arroz; (e) Conjunto arquitetônico e visão geral, chegada em Hait Ben Haddou, Patrimônio Mundial Unesco; (f) Pavimentos com solo estabilizado com baba de cupim sintética.

(a) Construções



(d) Terraços



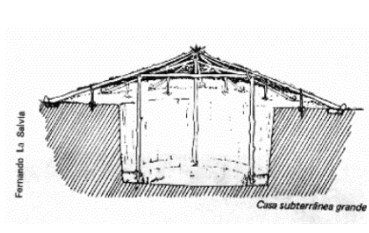
(b) Colinas moldadas



(e) Paisagens



(c) Abrigos enterrados



(f) Pavimentos



Fonte: (a) Ted, teddave.org. (Palette 2030); (b) MAD Architects. (NewAtlas, 2021); (c) Fernando la Sálvia (D'Angelis e Santos, 2003); (d) Pena, 2021 (Brasil Escola, 2021); (e) Acervo pessoal Lisiane Librelotto, 2020; (f) Dynasolo DS 328 (Dynasolo, 2021).

A terra pode ser utilizada em elementos simples ou armados, no formato de adobes, blocos comprimidos, painéis monolíticos compactados pré-fabricados ou moldados no local (taipas de pilão e mão ou sebe), elementos em cob, terra ensacada, sistemas terra-palha ou ainda sistemas mistos, como os exemplos em madeira e terra, característicos do enxaimel, com muitas variações na composição. Para estabilização podem ser usados a cal, o cimento, o betume, ou mesmo elementos orgânicos como o estrume, cujos resultados ainda são pouco estudados cientificamente. São ainda adicionadas fibras vegetais para redução da retração.

O objetivo desta pesquisa, conduzida durante estágio pós-doutoral e complementada a partir de coleta de dados em campo de outros períodos, foi analisar o emprego da construção com terra em cidades dos continentes Europeu (Portugal, França e Alemanha), Americano (México e Brasil) e Africano (Marrocos), identificando as técnicas construtivas históricas documentadas e os padrões técnicos vigentes. Para cumprir este objetivo foi realizado o registro fotográfico de algumas construções, e o levantamento de informações sobre restauro, manutenção, técnicas de construção e normas vigentes.

A pesquisa inicia-se pelo histórico do uso da terra no patrimônio mundial até o uso recente como parte do método. Para os países foco da pesquisa, mostra alguns casos de ocorrência, centrando as análises nas técnicas construtivas utilizadas na edificação para construção, manutenção ou restauro.

2. CONSTRUÇÃO COM TERRA

A construção com terra fez parte dos primeiros abrigos construídos pelo homem a partir da mistura de materiais, erigida contra taludes de terra ou parcialmente enterradas no solo. Palazzo (2021) relata que as moradias precursoras foram as cavernas, tendas e as cabanas, conforme fosse o estilo de vida ou meio de subsistência dos povos. Desta última, majoritariamente, se originaram as tecnologias de construção modernas e foram nestas que a construção com terra teve seu maior uso. Utilizada há milhares de anos, ressurgiu na contemporaneidade como uma forma de construção mais ecológica e amigável com a saúde do homem e com o meio ambiente, pautando-se no uso de materiais locais e naturais.

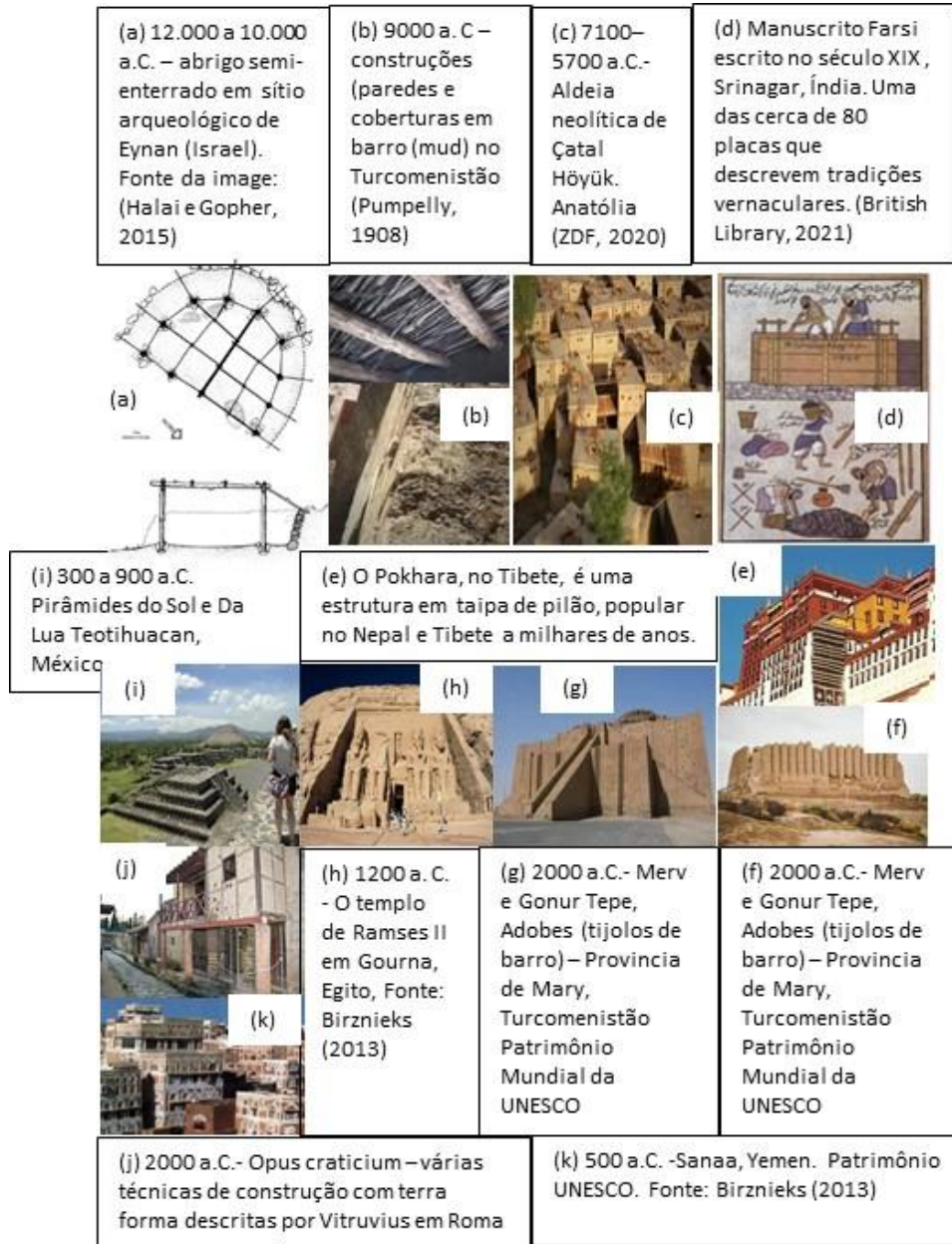
2.1. Contexto histórico mundial

Minke (2006), Palazzo (2021), Pollock (1999) e Berge (2009) reportam, respectivamente, o uso da construção com terra desde 9000 anos a.C no Turcomenistão, a utilização em El-Obeid na Mesopotâmia (5000-4000 a.C.) e no rio Tigris datado de 7500 a.C.

A Mesopotâmia compreende a região entre os rios Tigre e Eufrates, sendo considerada o berço da civilização. Essa região era habitada pelos povos sumérios, os acádios, os amoritas ou antigos babilônios, os assírios, os elamitas e os caldeus ou neobabilônios. No sul da Mesopotâmia, situava-se a Suméria, cuja capital era a Babilônia. Atualmente, corresponde à região composta por Iraque, Norte da Síria e Turquia, terminando no Golfo Pérsico.

Na Figura 2 pode-se observar o uso da terra como material escavado para compor um arrimo, enquanto o resto das estruturas era de galhos e folhas. O primeiro resquício arqueológico de um abrigo, data de 12.000 a.C a 10.000 a.C, cujos vestígios foram estudados e reconstruídos por Haklai e Gopher (2015).

Figura 2: Primeiras construções em terra.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para Minke (2006) foi possível chegar aos escritos de Pumpelly (1908), que descreve com exatidão os achados arqueológicos durante a excursão na Ásia Central, região do Turcomenistão. Pumpelly (1908), considerando a composição de sistema construtivo, material e layout, caracteriza as edificações da forma:

Com exceção de alguns edifícios públicos de tijolo queimado nas cidades maiores, e algumas cabanas de pedra nas montanhas mais altas, todas as casas na Ásia Central são construídas de barro (ou lama - mud) seca ao sol. Sem entrarmos na arquitetura, podemos ter uma compreensão geológica suficiente das mesmas. A casa comum tem apenas um compartimento, mas uma grande parte delas possui dois compartimentos, e possuem um pátio com estábulos de um dos lados. As paredes variam de um a dois pés de espessura (60 cm), sete a oito pés de altura (2,10 m a 2,40 m). Existem três tipos de telhados: (1) os que são planos, de barro com 0,75 a 1,5 pés (22 a 45 cm) de espessura, assentados sobre troncos e galhos fendidos apoiados em vigas; (2) de estilo persa ou afegão, domos de barro (mud) sem madeira; e (3) inteiramente de madeira e galhos cobertos com palha ou

palhinha. Merv, Bokhara, Samarkand, Kokhand, e todas as cidades de Fergana são construídas com telhados planos de barro, as cidades menores ao longo da fronteira persa com cúpulas de barro, enquanto apenas algumas casas de Karategin e de outros lugares, onde a vegetação permite, tem inclinação das águas dos telhados.

Pumpelly (1908) ressalta que a durabilidade das coberturas destas construções era de 30 anos e que, quando desabavam, as casas eram abandonadas ou reconstruídas. Na aldeia neolítica de Çatal, no sul da Anatólia (figura 2c), conforme vídeo da reconstituição do local, realizado por ZDF (2020), essa composição era organizada por células construídas em adobe e data de 7.100 a.C. A ocupação era sazonal, onde havia poucos pátios internos, sem ruas e onde a vida acontecia nas coberturas das moradias. Presume-se que as células eram construídas com uma estrutura autoportante mista de madeira e grandes blocos de adobe.

Olender (2006) e Carvalho e Lopes (2012) também citam obras com terra presentes na Palestina, China, Peru, México e em vários países da África, onde cidades foram construídas com esse material e cuja existência remete a cerca de 8.000 anos a.C. O uso da terra na construção foi difundido pelo mundo de maneiras diversas, de modo a constituir um vasto acervo histórico cultural.

De acordo com Olender (2006), as técnicas de utilização da terra foram difundidas pelos povos às regiões conquistadas, e na sequência por esses povos conquistados a outras regiões e, assim, sucessivamente, por todo o mundo através dos séculos, o que explica a sua presença em praticamente todo o planeta.

2.2. Edificações construídas em terra

Da região da Mesopotâmia, a construção com terra teria se espalhado para as regiões mais secas da África. Os exemplares retratados nesta pesquisa, podem ser encontrados na África, Ásia e Europa com variações da técnica construtiva e muitas obras são reconhecidas como patrimônio histórico da humanidade. A Figura 3 mostra algumas casas típicas, originalmente construídas em países da Ásia e da África, conservadas até os dias de hoje.

Figura 3: Exemplares de casas construídas com terra.



Fonte: (a) Bing (2021); (b) Opohispania (2021); (c) e (d) acervo pessoal de Librelotto.

Na Península Ibérica, a construção com terra foi introduzida pelos romanos e enriquecida pelos árabes. Na América Pré-colombiana as técnicas eram distintas das europeias, já que as civilizações incas e astecas faziam uso desse material antes da chegada dos colonizadores.

Apesar da retomada científica do conhecimento na área e do desenvolvimento de novas técnicas construtivas e agregação de materiais inovadores nas composições, algumas formas de construir parecem apresentar desempenho aquém daquele obtido no passado. Além disto, tanto a demanda quanto os requisitos do emprego das técnicas vernáculas na construção atual, sofreram alterações de escala e de desempenho. A perda do saber-fazer vinculada ao aumento de requisitos de desempenho (ou sua melhor definição) representam um desafio aos pesquisadores da área.

No que se refere à construção contemporânea, Marsh e Kulshreshtha (2021) publicaram recente estudo com o objetivo de atualizar as informações sobre a quantidade de habitações em terra existentes ao redor do mundo. Por meio da pesquisa, os autores constataram que as casas construídas com terra predominam nos países em desenvolvimento. Os dados foram recolhidos e analisados para 26 países (que constituem mais do que 75% da população mundial) que solicitam, em seus censos demográficos, informações sobre o material e tipologia das edificações.

A pesquisa evidenciou um declínio da construção com terra em relação aos outros materiais em função de percepções negativas acerca dos materiais. A proporção de lares construídos em terra foi estimada de 8 a 10%, e a média, considerando apenas países em desenvolvimento é de 20 a 25%.

Particularmente, no que se refere ao Brasil, foi observado mediante a revisão de literatura que uma pequena parcela da população vive em moradias constituídas de terra, sendo que a grande maioria destas se localizam em áreas rurais. Salientando que do total de endereços urbanos e rurais em terra não se alcança nem 5% do total de domicílios.

Em outros países como Egito, Bangladesh, Paquistão e Índia os percentuais, de construção com terra, assumem uma maior representatividade. Por exemplo, na Índia mais de 20% dos endereços são em terra (predominantemente rurais) e no Paquistão esse número supera 30% dos domicílios (MARSH; KULSHRESHTHA, 2021).

2.3. Técnicas de construção

No Brasil, Santos, Librelotto e Jacintho (2014) fizeram um estudo sobre algumas das mais populares técnicas de construção com terra no Distrito Federal e no estado de Santa Catarina, são elas: a terra ensacada (popularmente difundidas como superadobe, hiperadobe), as taipas de pilão e de mão, o cob, o estuque e o estuque duplo preenchido com garrafas de plástico (conhecido como pet a pique). Nessa ocasião os autores puderam realizar entrevistas com construtores e moradores das casas para entender as motivações e as técnicas construtivas mais empregadas.

As técnicas construtivas mais encontradas mundialmente são: a taipa de pilão, a taipa de mão ou de sebe (técnica mista), o cob, o adobe e as técnicas mistas como o enxaimel. A taipa de pilão (*rammed earth*) utiliza fôrmas (caixaria) e o solo é compactado manualmente com soquetes ou pilões, ou de maneira mecanizada com equipamentos elétricos ou pneumáticos. Usualmente são feitas com camada com

cores diferentes de solo que lhe conferem um visual único (VYNCKE, KUPERS e DENIES, 2018).

O cob é a mistura de solo em estado plástico, contendo argila, água, areia e palha. No Brasil, é comum também o uso do “grude” (cola a base de farinha) na mistura. O solo fresco no formato de bolas é sobreposto pra confecção dos volumes para a vedação vertical ou horizontal, sem função estrutural.

Os blocos de terra (*earth blocks*), de acordo com Vyncke, Kupers e Denies (2018), podem ser de três tipos: adobes (secos ao sol), blocos cortados e blocos comprimidos, em inglês *compressed earth blocks* (CEB ou BTCs – Blocos de Terra Comprimida), conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4: Blocos de terra: (a) cortados no terreno; (b) adobes moldados com formas no Marrocos.



Fonte: (a) Vyncke, Kupers e Denies (2018); (b) acervo pessoal Librelotto (2019).

O texto de Pumpelly (1908), na íntegra, utiliza a palavra *mud*, em inglês, que pode ser traduzida como lama ou barro. Desta forma as expressões: *flat of mud laid over brush* e *split poles resting on beams*, foi traduzida como barro assentados sobre troncos e galhos apoiados em vigas. O termo *domes of mud* inicialmente foi compreendido como domos de barro, porém posteriormente foi observado que o autor se refere ao mesmo material como as casas de adobe com tetos de adobe, que entretanto não se constituem exatamente como elementos retangulares, conforme a conceituação brasileira.

O enxaimel é considerado uma técnica mista, que se utiliza uma estrutura em madeira, preenchida com elementos geralmente de terra, na forma de blocos, preparados com misturas de solo e fibras, ou então usando pedras e argamassas de terra como elementos de ligação e acabamentos finais. Essa técnica é utilizada em diversos países europeus, com raízes na região Alpenina e na construção romana, no estilo que se convencionou chamar a *opus craticium*. Ressaltando, que o seu uso foi difundido nas américas a partir da colonização europeia.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realização da pesquisa foram necessárias as seguintes etapas: visita, registro fotográfico e obtenção de documentação sobre edificações construídas em terra em Portugal, França, Alemanha e Marrocos (África). A identificação das técnicas de construção e o levantamento de normativas de construção com terra aplicáveis às técnicas construtivas foi realizada mediante uma revisão bibliográfica criteriosa, considerando os procedimentos históricos empregados nas construções.

A evolução da técnica construtiva com uso de terra foi traçada para possível descrição de pontos positivos e negativos sob o ponto de vista da sustentabilidade e das futuras construções. Também foram realizadas visitas aos locais das edificações, registro fotográfico e documental das técnicas construtivas empregadas.

A pesquisa verificou as principais técnicas utilizadas na construção com terra, dentre elas: com enxaimel, com adobes e com taipas, além dos revestimentos e entrespisos em terra, normalmente conjugados com estruturas em madeira. As análises das edificações buscam apresentar uma visão geral sobre a técnica construtiva empregada (com ênfase na construção com terra) e a disponibilidade de normativas nacionais ou regionais.

A busca por normativas foi estendida para além dos países visitados, essencialmente porquê na África, existem normativas que são válidas para o continente todo ou mesmo normas regionais, sendo difícil estabelecer um parâmetro de exclusão. Além disso, o panorama global de normas, ainda que não detalhado, pode auxiliar os pesquisadores da área.

Dessa maneira, o estudo propôs a contextualização histórica da construção com terra relacionada às edificações com uso residencial. Ademais, o objeto de estudo construção com terra, para cada país analisado, ampara e difunde a introdução das técnicas identificadas nas construções.

4. RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa apresentam de forma lógica, clara e objetiva os elementos constituintes do sistema construtivo que utiliza a terra como matéria prima, protagonista. A seguir constam a caracterização desse sistema construtivo com terra, sendo o levantamento de dados apresentado por países analisados:

4.1. Construção com terra em Portugal

Segundo Pinto et al. (2009) as técnicas construtivas portuguesas mais tradicionais que usam a terra nas edificações são a taipa (taipais), o adobe e o tabique. O tabique assemelha-se à taipa de mão brasileira (também chamada de pau a pique ou taipa de sebe - *wattle and daub*), que é enquadrada como uma técnica de construção mista.

Essa técnica mista constitui-se de uma estrutura de madeira preenchida por uma mistura de terra e fibras, coberta por revestimento também em terra. A taipa ou taipal é comparável a taipa de pilão brasileira e seguem procedimentos construtivos semelhantes, pois são constituídas por entramados preenchidos com terra. Para Silva (2013), no Brasil, especificamente no estado do Maranhão, a capital São Luís, recebeu a tradição da construção pombalina que pode ser detectada em vários exemplares, por influência portuguesa.

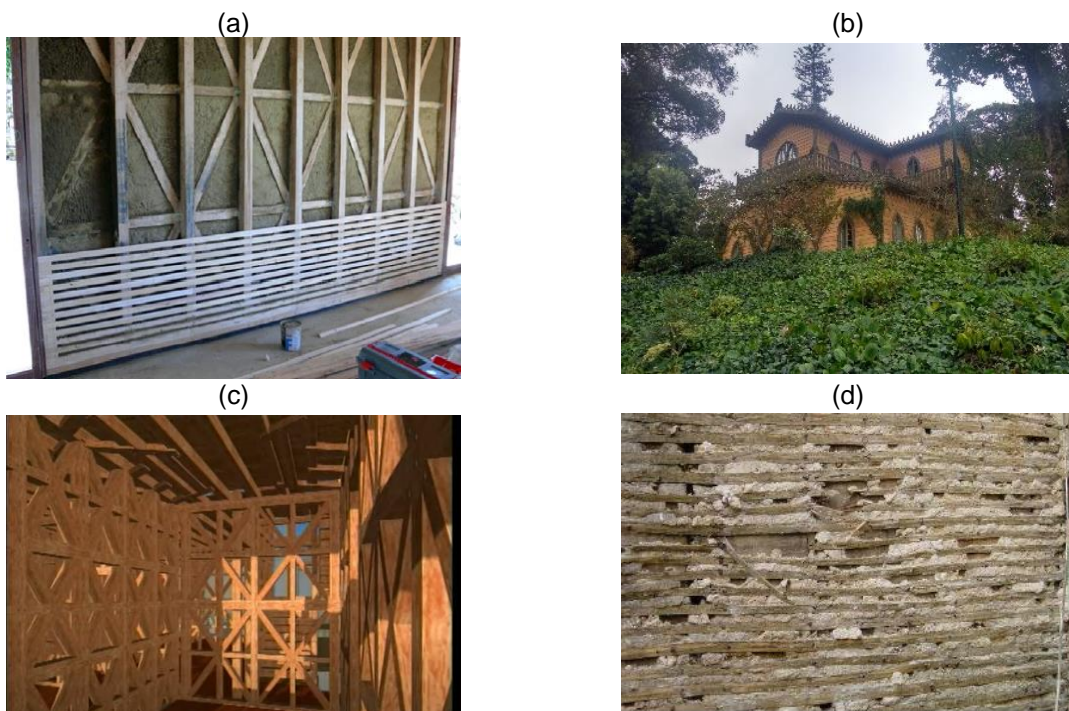
Destaca-se também, em Portugal, o sistema da gaiola pombalina, encontrado em construções históricas da região da Baixa, em Lisboa. A gaiola constitui-se de uma estrutura em madeira encaixada, semelhante ao sistema *baloon frame* (onde as peças estruturais tem a altura maior que o pavimento e esses se apoiam na lateral das peças), preenchida por alvenaria de pedra ou tijolos, com cal ou por terra/taipa,

semelhante ao enxaimel, cujas divisões internas podiam ser constituídas por tabiques.

O sistema da gaiola pombalina foi desenvolvido pelo engenheiro, Marquês de Pombal, após o terremoto de 1775 em Portugal, como uma solução mais resistente aos sismos. Seus elementos constituintes são: os prumos (verticais, de 15 x 30 cm em carvalho ou azinho), as travessas (horizontais de 10 x 13 cm) e as diagonais, sendo que a espessura da parede varia entre 15 e 20 cm para os pavimentos superiores. Em geral, o primeiro pavimento (térreo) é feito em pedra com tetos em abóbadas.

Na Figura 5 pode-se observar esse sistema construtivo, que originou os sistemas híbridos, com a estrutura em madeira e preenchimento em terra, característicos das gaiolas pombalinas e o ripamento horizontal, utilizados nos tabiques (TORGAL; JALALI, 2013). Assim como, o chalé da condessa D’Edla, em Sintra, cuja restauração, após um incêndio, recriou em detalhes as decorações de revestimentos internos (utilizando a cortiça) e fachadas, assim como os elementos de vedação em tabiques.

Figura 5: Construções com terra: (a) sistema híbrido; (b) chalé da Condessa D’Edla, em Sintra; (c) esquema da estrutura da gaiola pombalina; (d) tabique.



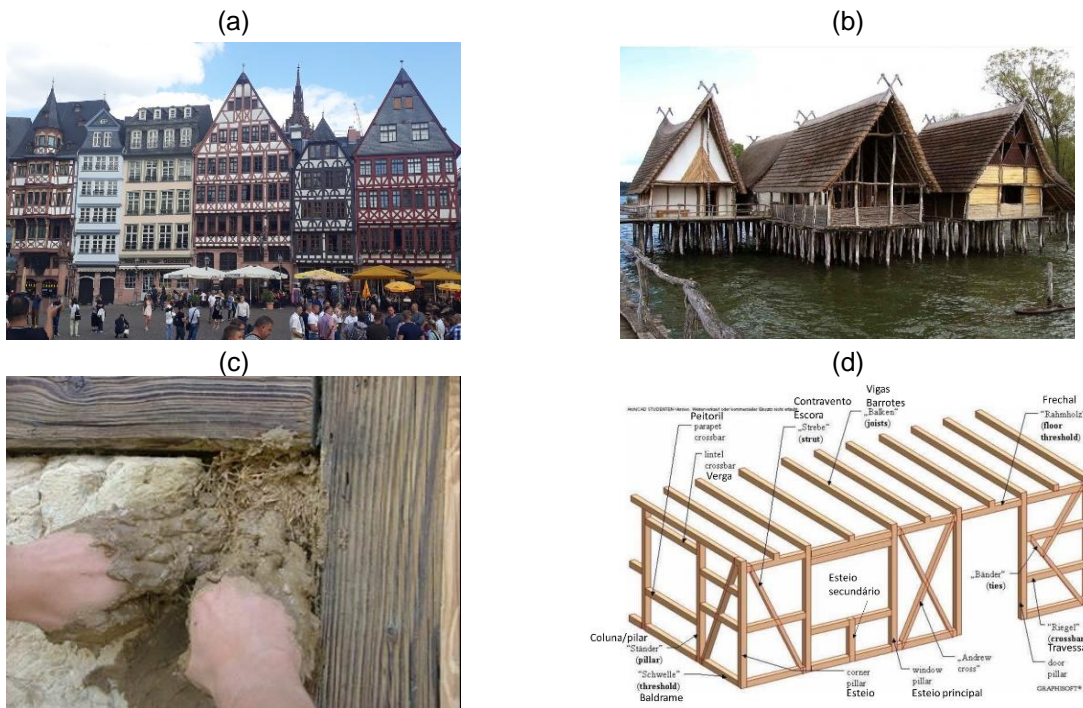
Fonte: (a) Torgall; Jallali (2013); (b) acervo pessoal Librelotto; (c) Ramos e Lourenço (2000); (d) Silva (2013).

4.2. Construção com terra na Alemanha e França

A Alemanha possui bastante tradição na construção com terra, suas técnicas mais representativas são o adobe, as taipas e uma técnica mista denominada de enxaimel, ou *fachwerk* ou *fachwerkbau* (em alemão significa treliça, os termos em inglês são *timber framing* ou *half-timbering*, em italiano, é *muratura intelaiata*) que merece destaque pela amplitude com que se propagou pela Europa e demais continentes (FACHWERK, 2021).

O enxaimel, derivado das palafitas em madeira, é construído a partir de tramas de madeira, encaixadas entre si (sem pregos) com função estrutural; os vãos resultantes da estrutura de madeira nobre (de alta densidade para propiciar bons encaixes e rigidez) são preenchidos com adobe, taipa de mão, tijolos aparentes ou revestido com acabamento, geralmente a base de terra. A Figura 6 traz exemplos de edificações utilizando esse sistema construtivo. A vista do centro histórico de Frankfurt (Figura 6a), suas origens de palafitas (Figura 6b), detalhe construtivo (Figuras 6c) e esquema da estrutura (Figura 6d).

Figura 6: Construções em enxaimel na Alemanha: (a) edificações em Frankfurt; (b) palafitas encontradas em 111 sítios arqueológicos do período de 4300 a.C. a 800 a.C. na região dos Alpes; (c) detalhe do enchimento em terra; (d) esquema da estrutura.



Fonte: (a) acervo pessoal Librelotto; (b) Wiitmann (2018); (c) Fackwerk (2021); (d) Bostenaru; Sassu (2018).

Particularmente, no que se refere a constituição do preenchimento (Figura 6c), a terra misturada com fibras era depositada sobre um entramado de ripas (cestaria) de madeira de salgueiro. Um dos primeiros tipos de enchimentos (*infill*) conhecidos foi chamado pelos romanos de *opus craticum* (ou *craticium*, datado de 79 d.C., em *Herculaneum*, Itália), que era uma construção do tipo taipa (nesse caso, mais próximo da taipa de pilao do que da taipa de mão brasileira). Essa técnica foi mencionada por Vitruvius como uma moldura de madeira com enchimento de barro, mas a mesma descrição também foi usada para descrever molduras de madeira com um enchimento de pedra assentada com argamassa, que os romanos chamaram de *Opus incertum* (STELACCI E RATO, 2019).

Na Europa, o enxaimel pode ser encontrado em diversos países como Alemanha, França, Holanda, Suíça, Áustria, Itália e Inglaterra, principalmente nos locais onde há registro de terremotos, uma vez que é uma construção bastante resistente a esses eventos (BOSTENARU e SASSU, 2018). No Brasil, existem muitos exemplares deste tipo de construção, datados desde 1815 a 1960, trazidos pelos

imigrantes alemães e italianos, no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, com edificações também presentes em São Paulo e Espírito Santo.

De acordo com Gislou *et al.* (2013), existiram três tipos de sistema construtivo enxaimel: o baixo-saxão, o alemânico e o franco. Esse sistema possui a seguinte composição estrutural: os baldrames, que são as vigas inferiores de amarração com os elementos de fundação; os frechais que são as vigas de apoio para as treliças de cobertura. Sendo que os vãos entre esses elementos eram preenchidos com terra e fibras, normalmente pintados com calçação branca, de forma a destacá-los visualmente dos elementos em madeira, o que lhes conferia um aspecto peculiar na arquitetura. Vale ressaltar que o enchimento não possui função estrutural, porém a treliça constitui essa função de estrutura, constituindo assim, um conjunto que integra um elemento único de sistema construtivo. O Quadro 1 mostra as principais diferenças entre os tipos do sistema construtivo enxaimel.

Quadro 1: Diferenças conforme a origem da técnica construtiva.

Componentes	Origem		
	Baixo Saxão, Baixa Alemanha (planície germânica)	Alemânico (sul da Alemanha)	Franco (planalto médio da Alemanha e França)
Baldrames	Contínuos.	Descontínuos.	Semelhantes ao alemânico.
Frechais	Contínuos.	Descontínuos.	Semelhantes ao alemânico.
Esteios	Contínuos encaixados nos baldrames e frechais; Vão menor; Esteios inferiores e superiores nos andares prumados para transmissão vertical de cargas.	Afastados com vãos maiores; Esteios inferiores apoiados diretamente sobre fundação.	Vãos intermediários.
Peitoris	Descontínuos e encaixados nos esteios.	Contínuos.	Semelhantes ao alemânico.
Vergas	Descontínuos e encaixados nos esteios.	Contínuas.	Semelhantes ao alemânico.
Janelas e portas	Nos vãos entre os esteios.	Necessitam de esteios secundários para vão de janela.	Nos vãos entre os esteios.
Peças inclinadas	Mãos francesas encaixadas nos esteios e barrotes; Poucas ou nenhuma peça.	Uso de muitas peças inclinadas e diversos formatos: retos, curvos, simples e duplos em formas de K invertidos ou cruz.	Peças inclinadas elaboradas; Predominância de curvas e cruzes.
Elementos	Seções menores pelo alinhamento e melhor distribuição de cargas.	Vigas com dimensões maiores em função do maior afastamento dos esteios.	Uso de peças transversais encaixadas e motivos diferenciados na mesma edificação.
Outras características	Fachadas ortogonais; Balanço na fachada principal; Pé-direito baixo. Esculturas geométricas e inscrições nas peças horizontais.	Balanços nas fachadas no andares superiores sobre os inferiores; Uso de consoles para apoio dos balanços.	Uso de avanços nas fachadas superiores é menos comum.

Fonte: adaptado de Weimer (2005 a e b).

A Alemanha e a França possuem diversas normativas de construção com terra, estando entre as primeiras que foram criadas, assim como possuem organizações bastante atuantes na área construtiva. Enquanto perspectivas futuras para uma construção sustentável, percebe-se que há muitos profissionais que inovam nas técnicas construtivas tradicionais, como uma aposta de redução do impacto ambiental. A Figura 7 mostra alguns exemplares de enxaimel Francês visitados em Giverny e Rouen.

Figura 7: Construções em enxaimel na França: (a) e (b) edificação em Giverny; (c) e (d) edificação em Rouen.



Fonte: (a) acervo pessoal Librelotto (2019).

4.3. Construção com terra na África

Especificamente em Marrocos, essa pesquisa, mediante visita em campo, evidenciou o uso da taipa de pilão e os adobes, como principais técnicas construtivas. As taipas apiloadas são realizadas em formas rústicas e a composição do solo aparentemente possui uma proporção alta de pedras.

Rodrigues (2014) exemplifica construções africanas conforme a região: no Norte, (Líbia e Marrocos), no Oeste (arquipélago de Cabo Verde, entre outros) e no Sul (Moçambique, Angola). Em Moçambique os materiais mais comuns encontrados foram o adobe, a taipa e a pedra com o uso de colmos (plantas derivadas das gramíneas, como o bambu). A Figura 8 apresenta alguns tipos de casas com terra no Marrocos, Moçambique e Líbia.

Figura 8: Construções em terra na África: (a) Hait Ben Haddou – Patrimônio Mundial da Unesco, Marrocos, Norte da África; (b) detalhes construtivos, acabamento de topo de muros e paredes em platibanda, feito com colmos transversais e sobrepostos com mistura de terra e pedra, Hait Ben Haddou; (c) construção vernácula Moçambicana; (d) construção na Líbia.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: (a) e (b) acervo pessoal Librelotto (2020); (c) Rodrigues (2014); (d) Mabaleka (2010).

1. Padrões normativos e síntese de parâmetros

Segundo Vyncke *et al.* (2018), construir com terra no passado não era considerado uma atividade de engenharia e, portanto, a técnica não foi registrada nos padrões normativos. Para complementação da pesquisa, após a investigação do tipo de construção com terra e histórico da construção com terra nos países visitados buscou-se estabelecer o quadro normativo mundial da construção com terra.

Santos (2015), apresentou em sua pesquisa 40 normativas aplicáveis em 17 países. Entretanto, já em 2012, a partir do crescente interesse no material, existiam trinta e três diferentes normas de construção com terra associadas a 18 países (Austrália, Brasil, Colômbia, França, Alemanha, Índia, Quênia, Quirquístão, Nova Zelândia, Nigéria, Peru, Espanha, Sri Lanka, Suíça, Tunísia, Estados Unidos e Zimbábue), publicadas por entidades locais, regionais ou nacionais. Sendo que algumas normas, como as da África, são válidas para diversos países daquele continente.

A implementação dessas normas e a sua diversidade levou a ciência à busca de uma terminologia específica e comum para a área do mercado construtivo, observando que muitos dos elementos utilizados foram incorporados na construção com terra, a partir de ensaios com o uso de solos e do concreto. Esse fato precisa de novos rumos, como por exemplo, a definição de procedimentos e ensaios específicos para a construção com terra.

De acordo com Fabbri, Morel e Gallipoli (2018) e Schroeder (2012) as perguntas sobre a avaliação do desempenho da terra como material são difíceis de responder dada a diversidade de procedimentos de ensaios, que são frequentemente

adaptados aos materiais específicos ou às ações externas. Essa dificuldade levou recentemente ao estabelecimento de orientações pelo comitê técnico RILEM TCE 274 que podem ser adotadas como normas internacionais.

Da mesma forma Vyncke *et al.* (2018) apontam, no que se refere ao BTC, variações muito grandes nas relações cimento/terra e água/cimento (quando o cimento é utilizado como estabilizante) variando, respectivamente de 0,02 a 0,50 e de 0,5 a 3,9. No Quadro 2 pode-se observar uma síntese de normativas pelo o mundo.

Quadro 2: Síntese de normativas sobre construção com terra.

N.	Local	Normativa	Descrição
01	Regional África	ARS 670 a ARS 683.	Segundo Mazzarón e Cañas (2011) existem 14 normas regionais que regulamentam a construção com terra em diferentes países do continente.
02	Alemanha	Lehmbau Regeln (Dachverband Lehm, 2009); DIN 18951 (DIN, 1951); DIN 18945 (DIN, 2018a); DIN 18946 (DIN, 2018b).	O primeiro código de construção com terra foi criado em 1944, mas somente em 1951 a norma DIN 18951 foi colocada em prática. A German Foundation for the Environment publicou diversas recomendações técnicas.
03	Austrália	Maniatidis e Walker (2003)	Ressaltam que esse país foi um dos primeiros países a desenvolver uma referência nacional para projeto e construção com terra para o adobe, BTC e taipa.
		Boletim 5 (Bulletin 5)	Esse boletim foi publicado em 1952 por <i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)</i> e foi revisado diversas vezes (em 1976, 1981, 1987 e 1992).
		Manual Australiano de Edificações em Terra	Em 2002 foi substituído pelo Manual Australiano de Edificações em Terra (<i>Australian Earth Building Handbook</i>). (Nlroumand Zain; Jamil, 2013).
04	Áustria	NORM B 4015.	Segundo Bostenaru e Sassu (2018), regulamenta construções resistentes a terremotos.
05	Brasil	NBR 8491 (ABNT, 1984); NBR 8492 (ABNT, 1986); NBR 10832 e NBR 10833 (ABNT, 1989); NBR 12023 e NBR 12024 (ABNT, 1992); NBR 12025 (ABNT, 1990); NBR 13553, NBR 13554, NBR 13555, (ABNT, 1996); NBR 10834, NBR 10835, NBR 10836 (ABNT, 1994).	O Brasil possui diversas normas e algumas, como por exemplo, a norma para taipa, estão em fase de elaboração.
06	Colômbia	NTC 5324 (ICONTEC, 2004); NSR-98 (AIS, 1997).	Normas Colombianas de Desenho e Construção Resistentes a Terremotos.
07	Egito	HBRC (HBRC, 2016); ARS 670-683 (ARSO, 1996).	Construções com terra.
08	Equador	Norma técnica E.100 Bambú (MVCS, 2012); Norma <i>Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Guadúa</i> .	Regulamenta construção e estudos sobre o uso de espécies de bambu voltada a edificação.
09	Espanha	UNE 41410 (2008) ou AEN/CTN 41 SC 10 (AENOR, 2008).	O <i>Spanish Ministry of Transport and Public Works</i> publicou as Bases para Projeto e Construção com Taipa de Pilão (<i>Bases for design and construction</i>

N.	Local	Normativa	Descrição
			<i>with rammed Earth</i>) com 5 seções: (1) histórico, (2) princípios do projeto para paredes de terra, (3) métodos de construção, (4) detalhamento das formas, (5) fundações e cantos (MANIATIDIS; WALKER, 2003).
10	Estados Unidos	ASTM E2392/E2392M-10 (ASTM, 2010); CID-GCB-NMBC-14.7.4 (CID, 2011).	Torgal e Jalali (2013) ressaltam que os Estados Unidos, como um todo, não possuem regulamentos específicos para a construção com terra, mas possuem normativas para sismos que podem ser aplicadas a essas construções. Alguns estados, como o Novo México, desde 1991, já possuem normativas para construções em taipa e adobe.
11	Etiópia	ARS 670-683 (ARSO, 1996).	Construções com terra.
12	França	AFNOR XP. P13-901 (AFNOR, 2001); Rgles PS92, Norma NF P 06-13 (1992) para sismos (BOSTENARU e SASSU, 2018).	Construções com terra.
13	Índia	IS: 4332 (BIS, 1967); IS 2110 (BIS, 1998a); IS 13827 (BIS, 1998b); IS 1725 (BIS, 2013); IS 17165 (BIS, 2020).	Construções com terra.
14	Itália	Ley nº 378 (2004); L. R. 2/06 (2006).	Construções com terra.
15	Nigéria	NIS 369 (SON, 1997); ARS 670-683 (ARSO, 1996).	Construções com terra.
16	Nova Zelândia		Os códigos desse país são válidos de acordo com a altura da edificação.
		NZS 4297:1998 – Engineering design and earth buildings.	Estabelece critérios de desempenho para resistência mecânica, retração, durabilidade, isolamento térmico e resistência ao fogo.
		NZS 4298:1998.	Materiais e mão de obra para edificações em terra
		NZS 4299:1998.	Edificações em terra que não necessitam de projetos específicos – aplicável para edificações com menos de 600 m ² (ou 300 m ² por pavimento) e fornece soluções construtivas para paredes, fundações e lintéis (vergas).
17	Peru	NTP 331.201, 331.202, 331.203 (1979); NTE E 080.	Construções com terra.
18	Quênia	KS 02-1070 (KBS, 1999).	Construções com terra.
19	República Democrática do Congo	ARS 670-683 (ARSO, 1996).	Construções com terra.
20	Sri Lanka	SLS 1382-1, 1382-2, 1382-3 (2009).	Construções com terra.
21	Suíça	Norma SIA 160, <i>Einwirkungen auf Tragwerke</i> (Ausgabe, 1989).	Para Bostenaru e Sassu (2018), regulamentam construções com terra.
22	Tanzânia	ARS 670-683 (ARSO, 1996).	Construções com terra.
23	Tunísia	NT 21.33, 21.35 (1996).	Construções com terra.

N.	Local	Normativa	Descrição
24	Turquia	TS 537, TS 2514, TS 2515 (TS, 1985).	Construções com terra.
25	Zimbábue	<i>Code of practice for rammed earth structures</i>	Segundo Maniatidis e Walker (2003), somente em 2001 esse código foi publicado, composto por 6 seções: (1) materiais; (2) fôrmas; (3) fundações; (4) projeto de paredes (compressão, absorção de água e erosão), (5) estabilidade estrutural; e (6) acabamentos e detalhes.

Fonte: Autores.

O levantamento de dados comprovou que diversos países possuem normas para construção com terra, como por exemplo, Quirquístão, Suíça, Tanzânia, Moçambique, Marrocos, Tunísia, Kenya, Ivory Coast, México e Costa Rica. Assim como, existem organizações, como o CRATERre, na França, fundado em 1979, ligado à escola de Arquitetura de Grenoble; o RILEM (*International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures*); as redes Proterra, TerraBrasil, a Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais (ABMTENC); o *International Scientific Committee on Earthen Architectural Heritage* (ISCE AH); o *International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS), e seu Comitê Específico para a arquitetura em terra, além de órgãos que atuam na elaboração de normas, com um importante papel no avanço da pesquisa e no benchmark para evolução deste setor. O Quadro 3 apresenta um resumo dos principais parâmetros para a caracterização da terra conforme seus principais usos.

Quadro 3: Síntese dos principais parâmetros da construção com terra.

Taipa de pilão (rammed Earth)	
Composição do solo	25 a 30% argila, 50% a 80% silte, 10 a 20% areia e pedras (Aley, 1948); Máx. 20% argila, 10 a 30% silte, 35 a 75% areia e pedras (Houben; Guillaud, 1994); 30 a 35% argila, 60% a 70% areia e pedras (McHenry, 1989); 10 a 25% argila, 15% a 30% silte, 45 a 75% areia e pedras (Norton, 1997); 20 a 30% argila, 70% a 80% areia e pedras (Shrader, 1981); 5 a 15% argila, 15% a 30% silte, 50 a 70% areia e pedras (SAZS 724:2001).
Adobe	
Composição do solo	20% a 30% argila, máx 25% silte, areia 55 a 70% (Projeto de norma brasileira – Vendrami <i>et. al.</i> , 2018); 14% argila, 22% silte, 62% de areia e 2% de pedregulho (curva granulométrica otimizada, Minke, 2006); 9 a 24% argila, 0 a 46% silte, 45 a 77% areia (Neves <i>et. al.</i> , 2009); 10 a 40% argila, 10 a 30% silte, 30 a 75% areia (Walker, 2002); 10 a 20% argila, 15 a 25% silte, 55 a 70% areia (SENCICO, 2000); 20 a 25% argila, 40% silte, 40 a 55% areia (Martinez, 1979); Máx 20% argila, máx 55% silte, min 45% areia (Alves, 1985); aprox. 50% argila, aprox.30% silte, aprox. 20% areia (Hernandez, Enrique e Luna, 1983); 35 a 45% argila, 55 a 65% areia (Barrios <i>et al.</i> , 1987); 3 a 9% argila, 91 a 9% areia (Velloso <i>et al.</i> , 1985).

Adobe	
Tamanho dos adobes	29 x 9 x 9, 30 x 15 x 15 Benin, África, Ortega (1983); 40 x 20 x 10, 25 x 12 x 8 Rio de Janeiro, Brasil, Milanez (1958); 38 x 38 x 8, 39 x 18 x 18, 40 x 20 x 15 México, Williams-Ellis e Eastwick-Field (1950); 30 x 15 x 15 São Paulo, Brasil, Rodrigues (1975); 25 x 15 x 6, Egito Fathy e Santoro (1980); 23 x 11 x 7, 23 x 11 x 10 Bahia, Brasil, Lavinsky <i>et al.</i> (1998).
Outros parâmetros	
Alturas e espessuras de paredes	Enxaimel, gaiola pombalina = 20 cm de espessura; Taipa de pilão = 30 a 40 cm de espessura m edificações existentes; A maioria das normativas restringe à altura a 2 pavimentos; Espessuras mínimas: 12,5 cm (internas) e 20 cm (externas) – normas australianas; 30,5 cm (internas) e 45,7 cm (externas) – Novo México; 25 cm – Nova Zelândia; 35 cm – Zimbábue (Birznieks, 2013); Tabiques – 6,5 cm de espessura a 12 cm de espessura (se interno ou externo) – Pinto <i>et al.</i> (2009).
Outras medidas: (Birznieks, 2013)	Condutividade térmica da terra seca (k) = 0.5 - 1.2 W/mK; Uma parede de terra estabilizada com densidade de 2100 kg/m ³ e espessura de 30 cm tem um índice ponderado de redução sonora igual a 58,3 dB; Mistura de 12% de argila, 13% de silte, 45% de areia e 30% de cascalho tem teor ideal de umidade de 12,5% para terra compactada; Resistência a compressão para taipa de pilão 0,4Nm/mm ² a 0,6 Nm/mm ² ; Adições de 5-8% de cimento (ou 8-12% de cal) aumentam a resistência à compressão para até 18 Mpa; Resistência a compressão de adobes 12 kg/cm ² , segundo a norma peruana.
Mecanismos de degradação	Modificações inadequadas realizadas nas construções originais; Falta de manutenção; Impacto da chuva em elementos desprotegidos ou ação dos ventos (erosão) ou vazamentos e tubulações e calhas.
Desempenho	A adição de fibras nas misturas melhora a densidade, o desempenho térmico e diminui o aumento do volume e reduz fissuras por retração; A adição de estabilizantes aumenta a durabilidade e diminui a plasticidade do material; Fundações em pedra são utilizadas para evitar a umidade oriunda do solo e de respingos; Revestimentos a base de cal protegem contra a ação de intempéries; Coberturas impedem a incidência de chuvas diretas; A adição de areia reduz a retração e melhora a distribuição granulométrica.

Fonte: Autores.

No projeto de composição do solo para mistura, alguns ensaios básicos precisam ser realizados como granulometria, limite de Atterberg, teor de azul de metileno e teor de matéria orgânica. Vendrami, Librelotto e Dal Soglio (2018), fizeram uma análise de publicações para indicação da composição de solos das misturas para a produção de adobes e encontraram bastante divergência nas indicações dos pesquisadores, para a composição de adobes.

Na Espanha destaca-se o Centro de Investigação Navapalos, que também atuava na América Latina, especialmente em países como Peru, Argentina, Colômbia e Chile. Nos Estados Unidos o grupo Adobe in action, EarthUSA e os estudos na Inglaterra, na Universidade de Bath. Em Portugal, o Centro da Terra; na Austrália, o Earth Building Association of Australia (EBAA); no Chile, a Fundación Jofré são também referências; e na Alemanha, o Dachverband Lehm (DVL). Todas essas organizações coordenam os esforços de promover o conhecimento sobre a construção com terra, o patrimônio mundial do passado e a edificação sustentável.

Torgal e Jalali (2013), apresentam os dados de quatro soluções construtivas para uma edificação térrea de 92 m², no que refere ao impacto ambiental. A primeira solução seria a construção convencional brasileira, com estruturas em concreto, vedações e coberturas cerâmicas. Todas as demais soluções incluíram componentes de terra. Dessas, apenas uma que incluiu uma viga de cintamento em concreto possui um impacto ambiental semelhante a primeira. As outras duas soluções mistas de terra e outros materiais reduzem drasticamente os impactos quanto à energia incorporada e emissões de CO².

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A durabilidade das construções com terra é inegável, considerando-se a grande quantidade de exemplares remanescentes como patrimônio da humanidade. Entretanto, as condições de uso hoje, a escala de necessidades, condições de transporte, disponibilidade de materiais, energia, mão de obra, são completamente diferentes dos parâmetros de entorno que cercavam as construções milenares.

Em todos os países pesquisados foram encontrados exemplares de construções históricas com terra. Em Portugal, as taipas, os adobes, os tabiques e a gaiola pombalina são técnicas que se destacam e não há normativas específicas para construção com terra. Na Alemanha e França, países de bastante tradição na construção com terra, assim como a África, destaca-se o adobe, as taipas e o enxaimel. Na África os adobes e taipas também figuram como as técnicas mais identificadas nesta pesquisa. Tanto Alemanha e França, como os países africanos, possuem normativas para a construção com terra.

Sobre a construção com terra foi possível identificar uma série de normas, cuja abrangência engloba, de um modo geral, algumas técnicas construtivas e que apresentam bastante variação de procedimentos e critérios construtivos. Destaca-se ainda que nos países estudados, percebeu-se um movimento muito forte de resgate dessas técnicas e de profusão de empresas que atuam na construção contemporânea, apostando na construção com terra como uma alternativa para uma edificação mais sustentável.

O compromisso do projetista, arquitetos ou engenheiros, deve voltar-se para a análise de todas as condições para que o impacto ambiental dos edifícios seja o menor possível, além de assegurar o desempenho construtivo e responder as necessidades da geração atual, sem comprometer a disponibilidade de recursos para as gerações futuras. Dessa maneira, a construção com terra apresenta grande potencial de viabilidade econômica e ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 10832: **Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.
- ABNT. NBR 13554: **Solo-cimento** – Ensaio de durabilidade por moldagem e secagem. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996.
- ABNT. NBR 8491 EB1481: **Tijolo maciço de solo-cimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- AFNOR. AFNOR XP.P13-901 **Compressed earth blocks for walls and partitions: definitions, specifications, test methods, delivery acceptance conditions**, 2001.
- ALVES, A. **Terra tierra earth terre**. Departamento de Materiais de Construção da Escola de Arquitetura da UFMG, 1985.
- ARSO. ARS 670-683. **African regional standards for compressed earth blocks**. African Organization for Standardization. ASTM. (2010). ASTM e2392/E2392 – 10. Standard guide for design of earthen wall building systems. ASTM International, 1996.
- ASTM D559 **Standard test methods for wetting and drying compacted soil-cement mixtures**. USA: ASTM International, 2015.
- BARRIOS, G.; ALVAREZ, L.; Arcos, H.; MARCHANT, E.; ROSSI, D. **Comportamiento de los suelos para la confección de adobes**. Informes de la construcción 37-377: 43-49, 1987.
- BERGE B. **The ecology of building materials**. Second ed. Architectural Press, Elsevier Science; 2009.
- BIRZNIKS, L. **Designing and Building with Compressed Earth**. Master Thesis. TUDelf. Disponível em: <<http://resolver.tudelft.nl/uuid:9e28a7a6-34b0-461b-b898-a9081b51c015>>. 2013. Acesso: setembro de 2021.
- BIS. IS 17165:2020. **Manufacture of stabilized soil blocks** – guidelines. Bureau of Indian Standards, 2020.
- BIS. IS 1725:2013 **Stabilized soil blocks used in general building construction** – specification (second revision). Bureau of Indian Standards, 2013.
- BIS. IS 4332:1967 **Methods of Test for Stabilized Soils**. Bureau of Indian Standards, 1967.
- BOSTENARU, M.D; SASSU, M. **Half-timbered house in the “border triangle”** (Fachwerkhaus im Dreilndereck), Switzerland. Relatório 108. Enciclopédia Mundial da Habitação. 2018 Disponível em: <[relatórios:report_108 - WSE \(ufp.pt\)](#)>. Acesso: set. de 2021.
- BRASIL ESCOLA. PENA (2021), Rodolfo F. Alves. **Terraceamento**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/terraceamento.htm>. Acesso em: set. 2021.
- CARVALHO, T. M. P. de; LOPES, W. G. R. **A arquitetura de terra e o desenvolvimento sustentável na construção civil**. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7. 2012, Palmas. Anais [...].Palmas: CONEPI, 2012. p. 1 -7.
- CID, J., MAZARRÓN, F. R., & CAÑAS, I. **Las normativas de construcción con tierra en el mundo**. *Informes De La Construcción*, 63(523), 159–169, 2011.

CID.GCB-NMBC-14.7.4. **Construction Industries Division of the Regulation and Licensing Department**, New Mexico, 2011.

D'ANGELIS, Wilmar R.; SANTOS, Juracilda. **Habitação e acampamentos Kaingang hoje e no passado**. Revista Cadernos do Ceom, v. 17, n. 18, p. 213-242, 2003.

DYNASOLO S/A Industria e Comercio. **A tecnologia da baba de cupim na construção civil**. Disponível em: < <http://dynasolo.com.br/>>. Acesso: set. 2021.

FABBRI, Antonin; MOREL, Jean-Claude; GALLIPOLI, Domenico. **Assessing the performance of earth building materials**: a review of recent developments. RILEM Technical Letters, v. 3, p. 46-58, 2018.

FACHWERK, D. E. **Fachwerk**. Disponível em: < <https://www.fachwerk.de/fachwerkhaus/sitemap/Lehmbau.html>>. Acesso: 2021.

FATHY, H.; SANTORO, M. C. **Construindo com o povo**: arquitetura para os pobres. [S.l.]: Salamandra, 1980.

GISLON, Jacinta Milanez *et al.* **A invenção da cidade germânica**: tradição, memória e identidade na arquitetura contemporânea de Forquilha-SC. 2013. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/107012>>

HERNANDEZ, R.; ENRIQUE, L.; LUNA, M. L. A. **Cartilha de pruebas de campo paraseleccion de tierras en la fabricación de adobes**. México: Conescal, 1983.

HOUBEN, H.; and GUILLAUD H. **Earth construction**, A comprehensive guide. Intermediate Technology Publications, London, UK, 1994.

LAVINSKY, E. C. A. *et al.* **Resistência de adobes estabilizados com diversos materiais disponíveis na região cacauera da Bahia**. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Piracicaba, SP. Anais Piracicaba: CEPLAC/CEPEC/EMARC, 1998.

McHENRY, Paul Graham. **Adobe and rammed earth buildings**: design and construction. University of Arizona Press, 1989.

MABALEKA, Bonginkosi G. **The Vernacular Architecture as a Model for Sustainable Design in Africa**. Architecture Journal, 2010. Disponível em: < <http://www.mendeley.com/research/vernacular-architecture-model-sustainable-designafrica/>> Acesso: set. 2021.

MANIATIDIS, Vasilios; WALKER, Peter. **A review of rammed earth construction. Innovation Project** "Developing Rammed Earth for UK Housing", Natural Building Technology Group, Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath, 2003. Disponível em: <https://people.bath.ac.uk/abspw/rammedearth/review.pdf>. Acesso: set. de 2021.

MARSH, Alastair TM; KULSHRESHTHA, Yask. **The state of earthen housing worldwide**: how development affects attitudes and adoption. Building Research & Information, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://eprints.whiterose.ac.uk/176147/6/09613218.2021.pdf>

MARTINEZ, E. A. **Manual para la construccion das viviendas con adobe**. Rio Negro: BRC Ediciones, 1979.

MILANEZ, A. **Casa de terra**: as técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo. Serviço Especial de Saúde Pública/Ministério da Saúde. Rio de Janeiro, 1958.

MINKE, G. **Building with earth, design and technology of a sustainable architecture**. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser Publishers for Architecture, 2006.

- NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra**: práticas de campo. PROTERRA, 2009. Disponível em: <https://www.academia.edu/35702223/Sele%C3%A7%C3%A3o_de_solos_e_m%C3%A9todos_de_controle_na_constru%C3%A7%C3%A3o_com_terra._Pr%C3%A1ticas_de_campo>. Acesso em: fev. 2018.
- NIROUMAND, Hamed; ZAIN, Muhammad Fauzi Mohd; JAMIL, Maslina. **A guideline for assessing of critical parameters on Earth architecture and Earth buildings as a sustainable architecture in various countries**. Renewable and sustainable energy reviews, v. 28, p. 130-165, 2013.
- Norma E.080. **Diseño y construcción con tierra reforzada**. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017. Disponível em: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3478>
- NORTON, J. **Building with Earth**. A handbook. Second Edition, Intermediate Technology Publications, London, UK, 1997.
- OLENDER, M. C. H. L. **A técnica do Pau-a-pique**: subsídios para a sua preservação. 2006, 94 f. Dissertação (Mestrado) –Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/12298/1/A%20T%C3%A9cnica%20do%20Pau%20a%20Pique_Subst%C3%AAdios%20para%20a%20sua%20Preserva%C3%A7%C3%A3o.pdf Acesso: set. 2021
- OPOHISPANIA. Tema 23. **Del Neolítico a las sociedades urbanas del Próximo Oriente**, 2021. Fuentes arqueológicas – Flat mud roof: <https://youtu.be/F8g-GgfGy3Y>. S.D.
- ORTEGA, A. **Materiaux et techniques de construction**. Lima: Pontificia Universidad Católica del Peru, 1983.
- PALAZZO, Pedro P. **Taipas e fundações** - TAU 0005 História da Arquitetura e da Arte I (palazzo.arq.br). Material didático. Agosto de 2021. Disponível em: <https://palazzo.arq.br/tau/aula/taipa> <https://palazzo.arq.br/tau0005/aula/taipa/>. Acesso: set. 2021.
- PALLETE 2030. Disponível: < [Http://2030palette.Org/](http://2030palette.Org/)>. Acesso: set. 2021.
- PINTO, J.; VARUM, H.; CRUZ, D.; SOUSA, D.; MORAIS, P.; TAVARAS, P.; LOUSADA, J.; SILVA, P; VIEIRA, J. **Tabique construction characterization in Douro North Valley**, Portugal: A first step to preserve this architectural heritage. In: Proc. of the 2nd WSEAS International Conference on Urban Rehabilitation and Sustainability (URES'09): Environmental Science and Sustainability. 2009. p. 48-53. Disponível em: < <https://core.ac.uk/download/pdf/15567041.pdf>>. Acesso: set. 2021.
- PUMPELLY, Raphael (Ed.). **Explorations in Turkestan, Expedition of 1904**: Ancient Anau and the oasis-world. Carnegie institution of Washington, 1908. Disponível em: < <http://www.etana.org/sites/default/files/coretexts/20372.pdf>>
- RAMOS, Luís F.; LOURENÇO, Paulo B. **Análise das técnicas de construção pombalina e apreciação do estado de conservação estrutural do quarteirão do Martinho da Arcada**. 2000.
- RODRIGUES, João Emanuel Oliveira. **Soluções construtivas nas regiões tropicais: caso de Moçambique**. 2014. Tese de Doutorado. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/14762>. Acesso: set. 2021.

- RODRIGUES, J. W. **A casa de moradia no Brasil antigo**. Arquitetura Civil I, São Paulo:FAU-USPMEC-IPHAN, 1975.
- SANTOS, Clarissa Armando dos; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; JACINTHO, Cláudio. **Building with Earth** - Brazil's Most Popular Raw Earth Building Techniques and the Opinion of Experienced Builders. *Key Engineering Materials (Online)* v. 600, p. 123-131, 2014.
- SANTOS, Clarissa Armando. **Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada**. Orientadora Lisiane Ilha Librelotto. Dissertação de mestrado, PósARQ, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/159436>>. Acesso: set. 2021.
- SCHROEDER, H. **Modern earth building codes, standards and normative development**. *Modern Earth Buildings* p 72-109, 2012
- SILVA, Luis Leizon Cabral. **Arquitetura civil portuguesa: análise das características do sistema construtivo pombalino no centro histórico de São Luís-MA**. Dissertação de mestrado. FAU/UNB. 2013.
- STELACCI, Stefania; RATO, Vasco. **Timber-Framing Construction in Herculaneum Archaeological Site: Characterization and main reasons for its diffusion**. *International Journal of Architectural Heritage*, p. 1-19, 2019.
- SAZS 724:2001, Zimbabwe Standard. **Rammed Earth Structures**. Standards Association of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe
- TORGAL, F. P.; JALALI, Said. **Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction**. *Construction and building materials*, v. 29, p. 512-519, 2013.
- VELLOSO, C. H. V. et al. **Relatório parcial de acompanhamento do projeto estabilização de solos por processos físicos e físicoquímicos para a construção de paredes de alvenaria ou monolíticos em habitações unifamiliares de baixo custo**. Belo Horizonte: CETEC, 1985.
- VENDRAMI, J.; LIBRELOTTO, L.; DAL SOGLIO, C. R. I. **Análise da resistência à compressão de alvenaria de adobe**. *Anais Terra Brasil 2018*. Disponível em: <<http://redeterrabrasil.net.br/wp-content/uploads/2020/08/Livro-TerraBrasil-2018.pdf>>. Acesso: set. 2021.
- VYNCKE, J.; KUPERS, L.; DENIES, N. **Earth as Building Material – an overview of RILEM activities and recent Innovations in Geotechnics**. Belgian Building Research Institute, 2018. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/eac6/d55a0fa5fe87d92a0b3f5034bc745216b90a.pdf>>
- WEIMER, Günter. **A arquitetura popular da imigração alemã**. Porto Alegre: UFRGS, 2005a.
- WEIMER, Günter. **Arquitetura popular brasileira**. São Paulo: Martins Fontes, 2005b.
- ZDF/Terra X/Film Produktion Stein e.K./Alexander Hogh/Martin Papirowski/Timm Westen, Roxana Ardelean/Golem Studio/Alexander Leuck/Frauenhofer Intitut für Graphische Datenverarbeitung/Christofori u.Partner. **Catalhöyük, erste Großsiedlung der Menschheit (CC by 4.0).webm**. Date: 9 June 2020. Disponível em: Arquivo:Catalhöyük, Primeiro assentamento em larga escala da humanidade (CC por 4,0).webm - Wikimedia Commons. Acesso: set. de 2021.