

# Panorama técnico, socioambiental, estrutural e termoacústico de construções em terra: uma revisão bibliográfica

Ana Lígia Pessoa Sampaio <sup>[1]</sup>, Wilson Acchar <sup>[2]</sup>, Vamberto Monteiro da Silva <sup>[3]</sup>, Ricardo Eugênio Ramos Filho <sup>[4]</sup>, Jonatas Macêdo de Souza <sup>[5]</sup>, Lisieux Feitosa Gondim Pipolo <sup>[6]</sup>

[1] analigiapsampaio@ufrn.edu.br. UFRN/PEC. [2] wacchar@gmail.com. UFRN/PPGCEM. [3] vambertomonteirodasilva@yahoo.com.br. IFPB/Unidade Acadêmica I. [4] r.ramosf30@gmail.com. UFRN/PPGCEM. [5] jonatasms2@hotmail.com. UFRN/PPGCEM. [6] lisieuxf@yahoo.com.br. UFRN/PEC.

## RESUMO

As construções em terra vêm crescendo novamente no mundo após um período de decadência e marginalização, fruto da necessidade de construções mais sustentáveis em uma tentativa de amenizar o desequilíbrio ambiental que a construção civil tem contribuído, significativamente, para a sua intensificação. Além disso, cada vez mais se percebe a importância de considerar as condições climáticas ao se construir, trazendo à tona o zoneamento brasileiro e suas diretrizes para atingir o conforto. A Zona Bioclimática 07, conhecida pelo clima intenso, quente e seco, exige vedações e coberturas com elevada massa térmica como estratégia bioclimática. Assim, as construções em terra vêm como ótima alternativa para se obter um maior conforto na região, tão expressiva territorialmente, mas não politicamente. Fora do eixo que concentra as pesquisas e os investimentos no país, acaba sendo esquecida pelas políticas públicas de desenvolvimento. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é identificar e analisar estudos primários que foquem na utilização ou viabilização das construções em terra, com destaque para o superadobe e o hiperadobe, percebendo neles um grande potencial de implementação em algumas regiões do Brasil. Parte-se de uma revisão sistemática de literatura no período de 2008 a 2018 em cinco das principais bases de dados hospedadas na web: o Periódicos-CAPEs, a Science Direct, a Scopus, a Web of Science e o Google Scholar. Os resultados estão classificados em quatro grupos que versam sobre os aspectos técnicos, socioambientais, estruturais e termoacústicos. Dados coletados comprovam o crescimento de pesquisas na área e a necessidade de normatizações voltadas para essas construções, que apesar de todas as vantagens que vem sendo discutidas, estão sendo desencorajadas pelas dificuldades de sistematização e padronização.

**Palavras-chave:** Revisão Sistemática. Sistemas em Terra. Solo. Adobe.

## ABSTRACT

*Earth constructions have been growing again in the world after a period of decay and marginalization, the result of the need for more sustainable constructions in an attempt to alleviate the environmental imbalance that civil construction has contributed significantly to its intensification. In addition, the importance of considering climatic conditions when building is increasingly perceived, bringing to light the Brazilian zoning and its guidelines for achieving comfort. Bioclimatic Zone 07, known for its intense, hot, and dry climate, requires fences and covers with high thermal mass as a bioclimatic strategy. Thus, land-based constructions come as a great alternative to obtain greater comfort in the region, which is so expressive territorially, but not politically. Outside the axis that concentrates research and investments in the country, it ends up being forgotten by public development policies. In this sense, the objective of this work is to identify and analyse primary studies that focus on the use or the viability of constructions on land, with emphasis on the superadobe and hyperadobe, realizing in them a great potential for implementation in some regions of Brazil. It starts with a systematic review of the literature from 2008 to 2018 in five of the main databases hosted on the web: the Periodicos-CAPEs, Science Direct, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. The results are classified into four groups that deal with technical, socio-environmental, structural, and thermoacoustic aspects. Collected data prove the growth of research in the area and the need for standards aimed at these constructions, which despite all the advantages that have been discussed, are being discouraged by the difficulties of systematization and standardization.*

**Keywords:** *Systematic Review. Earth Systems. Soil. Adobe.*

## 1 Introdução

Apesar de pouco discutido ao se pensar em novos materiais e técnicas construtivas, o território brasileiro não é uniforme e possui contextos bioclimáticos específicos para cada região. Dividido em oito zonas bioclimáticas segundo a norma NBR 15220/2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), ao se construir no Brasil não se leva em consideração o conforto e a energia incorporada dos materiais de construção como parâmetro de avaliação de qualidade das habitações no país. A Zona Bioclimática 07, que abrange 12,6% do território brasileiro, engloba regiões do cerrado e do semiárido nordestino, sendo a segunda maior zona do país, perdendo apenas para a Zona 08 que inclui boa parte do litoral e a da região Norte do Brasil e empatando com a Zona 06. Apesar de ter expressão significativa e ser conhecida pelo clima intenso, quente e seco, pouco se aplicam estratégias de se amenizar o clima, tanto por parte das políticas públicas quanto dos profissionais da construção civil.

Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, uma das principais restrições que afetam a qualidade das habitações é ainda de ordem econômica (EVANS, 2001), considerando que materiais de qualidade são quase sempre caros, não dispendo de soluções mais acessíveis reconhecidas para resolver problemas relacionados ao desempenho das edificações. Isso se intensifica quando, como estratégia bioclimática, se aconselha o uso de estruturas de elevada massa térmica para as edificações executadas na Zona Bioclimática 07, o que implica em mais custos. Nesse contexto, é importante que alternativas mais econômicas e que levem em consideração o clima local e estratégias passivas de condicionamento sejam mais difundidas e tenham mais destaque nas discussões sobre qualidade do ambiente construído.

Assim, o solo como material de construção surge como uma ótima alternativa, considerando sua abundância, baixo custo e reconhecidas qualidades termoacústicas em relação ao bloco cerâmico convencional, mas pouco aproveitado devido a todo o discurso pejorativo que envolve o material e que não se sustenta ao se observar as centenas de estruturas erguidas em terra que estão há séculos em pé no mundo inteiro.

O termo “construções em terra” compreende diversas técnicas que constituem parte da identidade nordestina, mas não apenas dela. É globalmente difundida desde 12.000 a 7000 a.C., de quando

datam as primeiras construções (PINHEIRO *et al.*, 2016). Muitas delas duram até hoje. Quanto ao termo durabilidade, esse não é muito comum para se referir a obras em terra, cuja imagem que permeia a população é de fragilidade, seja ela material, social, econômica ou política. No entanto, técnicas milenares, e algumas que vem surgindo, tentam provar, novamente, o valor do material de construção que se tem mais abundante no mundo: o solo em que o ser humano pisa. Entre as técnicas mais conhecidas estão a taipa de mão, taipa de pilão, cob, tijolo de adobe, coordwood, blocos de terra comprimidos (BTC), construções em terra ensacada (CTE), superadobe, hiperadobe, brickeradobe e tantas outras que vem surgindo, fruto dos anseios de modernização das técnicas ao estilo de vida contemporâneo.

Os objetos de estudo deste trabalho são o superadobe e o hiperadobe e o objetivo deste trabalho é identificar e analisar estudos primários que foquem na utilização ou viabilização das técnicas superadobe e hiperadobe por meio de revisão sistemática de literatura em cinco das principais bases de dados hospedadas na web: o Periódicos-CAPES, a Science Direct, a Scopus, a Web of Science e o Google Scholar. Para isso, este trabalho está organizado em três partes, excluindo-se a introdução e as considerações finais. É primeiramente explicado o método, destacando o protocolo; em seguida, são apresentados os resultados obtidos a partir dos artigos levantados para, assim, serem classificados em grupos; finalmente, se discutir a produção científica acerca desse tema.

## 2 Método de Pesquisa

Este estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura científica sobre construções em terra, com foco nas técnicas Superadobe e Hiperadobe. Segundo Drummond *et al.* (2014, p. 54), revisões sistemáticas são “investigações científicas, com métodos pré-planejados e que reúnem estudos originais como sujeitos”. Esse método foi escolhido por reduzir o viés do autor, podendo ser replicável e atualizada com o tempo. A intenção é explorar as lacunas e fornecer uma base confiável para tomada de decisão.

Trabalhos científicos publicados nos últimos dez anos (2008 a 2018) foram observados, em inglês ou português, dentro das áreas de Arquitetura ou Engenharia Civil que respondessem uma ou mais das seguintes perguntas: (1) “Quais as possibilidades e limitações técnicas do sistema?” Procura-se saber se há artigos e pesquisas que foquem nos aspectos

tecnológicos, se há variação de formas, escalas e geometrias; (2) “Quais ensaios são necessários, como realizá-los e/ou como avaliá-los?” Devido a uma carência de normatização, a ideia é esclarecer que ensaios estão sendo realizados nos trabalhos experimentais que tratem desse tema, não apenas de natureza mecânica, mas na área de conforto também; (3) “Que materiais são utilizados e em qual proporção?” artigos que indiquem testes em materiais, traços e tecnologias; (4) “Quais aspectos socioambientais são relevantes?”. Esperam-se textos que busquem debater a escolha dos materiais pelo seu impacto, trazer Análises do Ciclo de Vida (ACV), discutir a aceitação ou rejeição dessas técnicas pela população, levantar custos e/ou aspectos relacionados a normas e leis. Além disso, os trabalhos foram classificados de acordo com o foco do estudo e a principal contribuição dele para a construção do panorama aqui proposto, categorizados em aspectos técnicos, socioambientais, estruturais ou termoacústicos. O processo de desencadeamento da pesquisa está detalhado na Figura 1.

**Figura 1 –** Processo de desencadeamento da pesquisa.



Fonte: Elaboração própria.

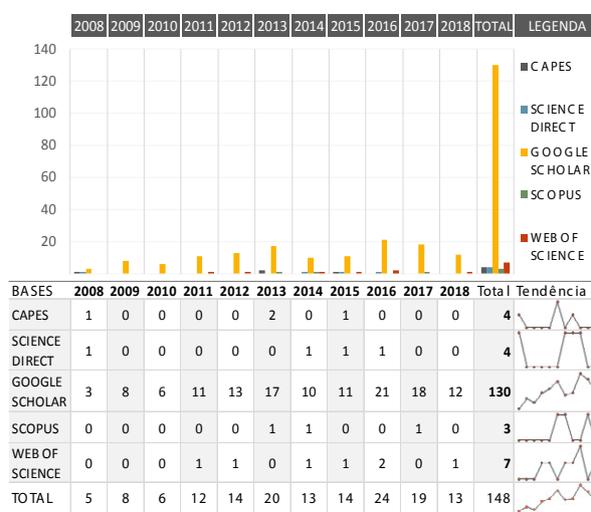
Utilizou-se ainda a ferramenta “StArt” (*State of the Art through systematic review*) na sistematização dos dados. As bases de dados (CAPES, Scopus, Science Direct, Web of Science e Google Scholar) foram escolhidas pela sua importância no meio científico, sendo amplamente conhecidas no mundo inteiro. Destaca-se aqui, devido ao tema, a Google Scholar, que complementa as bases anteriores e abrange mais

publicações, como dissertações, teses e trabalhos de conclusão de curso. Além disso, inclui publicações produzidas por pesquisadores que não podem pagar a assinatura do ISI ou da Elsevier.

### 3 Resultados da pesquisa

Todos os resultados obtidos das bases de dados escolhidas foram catalogados na ferramenta StArt e selecionadas como descrito na Figura 2.

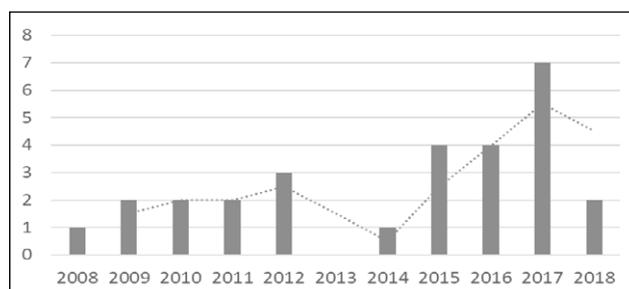
**Figura 2 –** Amostragem total, por ano e por periódico.



Fonte: Elaboração própria.

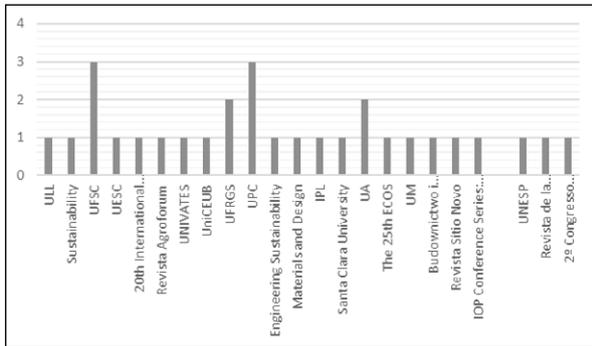
Dos 148 artigos, 16 eram duplicados, 101 foram vetados pelas restrições e três após leitura superficial, totalizando no fim 28 artigos para estudo. Dos 28 selecionados, quanto às fontes de publicação desses trabalhos, já se percebe uma maior dispersão ao contrário da hegemonia da Google Scholar nas bases de dados. Seguindo a mesma linha, nenhum autor se repete. Os gráficos das Figuras 3, 4 e 5 classificam artigos por ano, periódico e tipo.

**Figura 3 –** Artigos selecionados por ano (total 28).



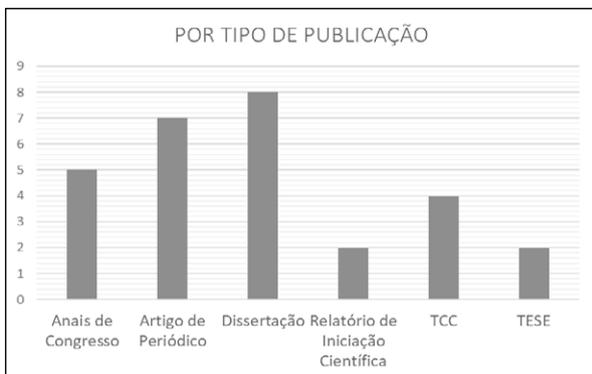
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 – Artigos por periódico (total 28).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 5 – Artigos por tipo de publicação (total 28).



Fonte: Elaboração própria.

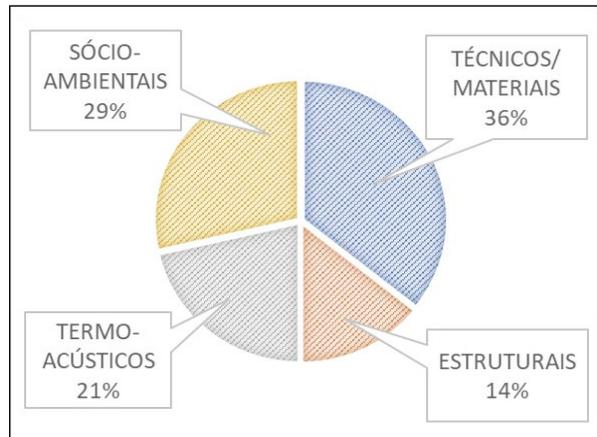
Com a leitura dos trabalhos, os 28 selecionados foram categorizados em quatro grupos temáticos que ajudam a responder as questões de pesquisa, mas não necessariamente são equivalentes. Detalhes de cada um serão dados na seção 4.

### 3.1 Classificação dos trabalhos

Para uma melhor sistematização dos dados, os 28 trabalhos aqui reunidos foram divididos em quatro grupos de acordo com sua afinidade de conteúdo, de forma a facilitar a compreensão e a discussão dos resultados como destacado na Figura 6. Cada grupo possui uma tabela respectiva com os artigos que mais se adequam ao tema.

O estilo segue o modelo estabelecido na Figura 5 e, à medida que um artigo vai tendo sua cor destacada, significa que aquele item responde de forma mais específica, as questões de pesquisa levantadas na metodologia deste trabalho e identificadas no Quadro 1, na coluna denominada GP (grupo).

Figura 6 – Categorização dos trabalhos em aspectos.

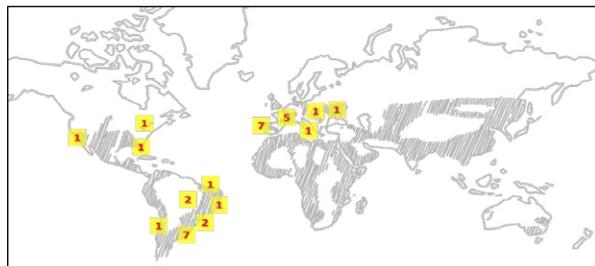


Fonte: Elaboração própria.

#### 3.1.1 Aspectos socioambientais

As construções em terra são tão antigas quanto a própria noção de civilização. O Inventário de Arquitetura em Terra do Programa Mundial de Patrimônio de Arquitetura em Terra da UNESCO mapeou em 2012 construções em terra no mundo inteiro (SANTOS, 2015), estando 150 delas na lista do Patrimônio Arquitetônico Mundial. Ressalta-se ainda na Figura 7 as cidades e países cujos trabalhos estão reunidos aqui, deixando clara a convergência.

Figura 7 – Distribuição dos artigos selecionados no mundo.



**Quadro 1** – Trabalhos selecionados para aspectos socioambientais.

AUTOR	ANO	LOCAL	TIPO	PUBLICAÇÃO	PESQUISA	TÉCNICA/MATERIAL	GP
Fittipaldi	2008	Ilhéus – Brasil	Dissertação	UESC	Aspectos socioambientais e econômicos	Taipa de mão	4
Oliveira	2009	Florianópolis – Brasil	Dissertação	UFSC	Aspectos socioambientais	Generalista	2 e 4
Bayer	2010	Porto Alegre – Brasil	Dissertação	UFRGS	Aspectos socioambientais	Técnicas em terra	4
Gonçalves e Gomes	2012	Lisboa – Portugal	Anais de congresso		Aspectos socioambientais	Técnicas em terra	4
Carvalho	2012	Aveiro – Portugal	Tese	UA	Aspectos socioambientais	Adobe	1, 2, 3 e 4
Dias	2015	Guaratinguetá – Brasil	TCC	UNESP	Aspectos socioambientais e econômicos	Superadobe	4
Cataldo-Born, Araya-Letelier e Pabon	2015	Santiago – Chile	Artigo de periódico	Revista de la Construcción	Aspectos socioambientais e econômicos	CTE	4
Pinheiro <i>et al.</i>	2016	Porto – Portugal	Anais de congresso	2º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira	Aspectos socioambientais e econômicos	Técnicas em terra	4

Fonte: Elaboração própria.

No Brasil, Pinheiro *et al.* (2016) buscaram catalogar o panorama atual por ano, estado e tipologia numa pesquisa com escritórios e construtoras especializadas em construções com terra. É possível notar um crescimento da produção e ampliação nas possibilidades de tipologias.

Apesar de milenares e amplamente difundidas no mundo, a construção civil contemporânea rejeita esse material por ser relacionado à pobreza e estilos de vida subdesenvolvido no inventário popular. Isso é destacado por Fittipaldi (2008), que mesmo que seu estudo de viabilidade econômica traga uma diferença de custo de vai para quase 10% se essa casa utilizar materiais locais, como taipa, ressalta a rejeição que essa técnica causou na população, mesmo achando realmente serem mais confortáveis que suas casas atuais. Em estudo realizado em 2016, Cataldo-Born, Araya-Letelier e Pavon defenderam que Construções em Terra Ensacada (CTE) geram economias de até 50% e 38% do custo inicial e à longo prazo, respectivamente, em comparação com alvenaria tradicional. Além disso, há o quesito sustentabilidade, em que construções que utilizam materiais da própria região e abrem mão da queima tem bem menos impacto que os materiais tradicionais, principalmente quando não se precisa estabilizar. Se necessário estabilizar, Cataldo-Born, Araya-Letelier e Pavon (2016) afirmam que as duas

geram emissões semelhantes, mas a casa de CTE captura até 20% dessa energia durante seu ciclo de vida. O processo de desconstrução dessa imagem deve ser parte preponderante no desenvolvimento de novas técnicas que utilizem o solo cru.

Para auxiliar e direcionar os interessados em construções mais sustentáveis, Oliveira (2009) traz o paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações, reunindo os requisitos para escolher os materiais de acordo com sua Análise do Ciclo de Vida (ACV), em sete categorias relacionados aos seguintes elementos: água (A), matéria-prima (MP), energia (EN), emissões (EM), resíduos (RE), transporte (T) e aspectos socioeconômicos (SE).

Como limitantes levantadas nessa categoria, destacou-se a carência de dados (BAYER, 2010; DIAS, 2015) e a ausência de normas que balizem os trabalhos (CATALDO-BORN; ARAYA-LETELIER, G.; PABON, 2016; PINHEIRO *et al.*, 2016). Como sugestões e lacunas, as principais que podem ser elencadas são: i) desenvolver métodos de tomada de decisão para seleção dos materiais, aprofundando os estudos de análise de ciclo de vida (OLIVEIRA, 2009); ii) avaliação prática de diretrizes construtivas e de desempenho para essas técnicas, seus materiais e componentes e avaliação da percepção de valor, por parte de usuários de edificações em terra (BAYER, 2010).

### 3.1.2 Aspectos técnicos/materiais

De caráter mais experimental, esse aspecto foi um dos principais motivadores para realização deste trabalho. A necessidade de compreender como o solo vem sendo utilizado para construção nos trabalhos científicos, quais os ensaios de caracterização e

de avaliação do sistema que são sugeridos e que resultados estão encontrando.

No Quadro 2, destaca-se o trabalho de Santos (2015), um dos mais completos aqui apresentados por apresentar um panorama geral das construções em terra no Brasil.

Quadro 2 – Trabalhos selecionados para aspectos técnicos/materiais.

AUTOR	ANO	LOCAL	TIPO	PUBLICAÇÃO	PESQUISA	TÉCNICA/MATERIAL	GP
Hortelão	2009	Lisboa – Portugal	TCC	ULL	Experimental/ estudo de caso	CTE	03
Obonyo <i>et al.</i>	2010	Florida – EUA	Artigo de periódico	<i>Sustainability</i>	Experimental	Solo-cimento	1, 2 e 3
Guesser; Librelotto	2015	Florianópolis – Brasil	Relatório de Iniciação Científica	UFSC	Experimental	Adobe	3
Santos	2015	Florianópolis – Brasil	Dissertação	UFSC	Teórico/ estudo de caso/ experimental	Hiperadobe	1, 2, 3 e 4
Rivera-Gómez, Galán-Marín e García-Galindo	2015	Sevilla – Espanha	Anais de congresso	<i>20<sup>th</sup> International Conference on Composite Materials</i>	Experimental	Estabilização do solo	3
Benvegnú	2017	Lajeado – Brasil	TCC	UNIVATES	Experimental	Hiperadobe (construção) e adobe (ensaios)	2 e 3
Haubert	2017	Porto Alegre – Brasil	TCC	UFRGS	Experimental	Solo e adobe	1, 2 e 3
Mendes e Santos	2017	Portugal	Artigo de periódico	Revista Agroforum	Experimental	CTE	2 e 4
Pedrosa e Xavier	2017	Brasília – Brasil	Relatório de Iniciação Científica	UniCEUB	Experimental	Brickeradobe	1,2 e 3
Dávalos	2018	Barcelona – Espanha	Dissertação	UPC	Experimental	Adobe	2 e 3

Fonte: Elaboração própria.

Ensaio padrões de caracterização do solo, como análise granulométrica, limite de liquidez e limite de consistência são realizados em todos desse grupo (HORTELÃO, 2009; OBONYO *et al.*, 2010; GUESSER, 2015; RIVERA-GÓMEZ; GALÁN-MARÍN; GARCÍA-GALINDO, 2015; SANTOS, 2015; BENVEGNÚ, 2017; HAUBERT, 2017; MENDES; SANTOS, 2017; PEDROSA; XAVIER, 2017). Ensaio de resistência à compressão axial (OBONYO *et al.*, 2010; RIVERA-GÓMEZ; GALÁN-MARÍN; GARCÍA-GALINDO, 2015; BENVEGNÚ, 2017; HAUBERT, 2017; MENDES; SANTOS, 2017; PEDROSA; XAVIER, 2018) e de compactação (MENDES; SANTOS, 2017; PEDROSA; XAVIER, 2018) são outros mais comuns. Mas, autores como Obonyo *et al.* (2010) fizeram ainda Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS), porosidade, densidade, absorção, força residual e condutividade térmica para resultados mais completos

e que consideram não só propriedades mecânicas, mas térmicas também. Outros, como Haubert (2017) e Mendes e Santos (2017) complementam o trabalho de laboratório com ensaios de campo tátil-visuais que vão desde a observação da cor a testes do cheiro, ao tato, do brilho, da aderência, à lavagem, de sedimentação, visual pela penetração, de retenção de água, de resistência à secagem e do rolinho.

Como limitantes levantados, tem-se: além da falta de normatização novamente e estudos científicos (BENVEGNÚ, 2017; HAUBERT, 2017), a terra como material é muito abundante, o que para Hortelão (2009) a torna de difícil valorização, constituindo em um entrave à sua exploração; e a quantidade de solo para estudos experimentais, pois seria necessária uma tonelada de solo para construção de uma parede e fazer todos os ensaios previstos (PEDROSA; XAVIER, 2017). Como sugestões e lacunas, em geral se

focam na mudança do material (HORTELÃO, 2009; HAUBERT, 2017), do traço (PEDROSA; XAVIER, 2017), e em estudos mais aprofundados quanto ao desempenho (OBONYO *et al.*, 2010; SANTOS, 2015).

### 3.1.3 Aspectos estruturais

As propriedades estruturais das técnicas em terra são um dos fatores que mais geram desconfiança no público e nos próprios profissionais da construção civil.

Apesar das técnicas já serem conhecidas, não havia muitos trabalhos sobre os aspectos estruturais desses sistemas, e não havia nenhum que os testassem de forma mista ou propondo soluções diferentes (Quadro 3). O desconhecimento de seus limites básicos, de seu comportamento e a variabilidade de execução pela forma como a técnica é realizada são algumas das razões para que isso aconteça.

**Quadro 3** – Trabalhos selecionados para aspectos estruturais.

AUTOR	ANO	LOCAL	TIPO	PUBLICAÇÃO	PESQUISA	TÉCNICA/MATERIAL	GP
Daigle, Haill e MacDougall	2011	Ontario – Canadá	Artigo de periódico	Engineering Sustainability	Estrutura: experimental	CTE	1
Canadell, Blanco e Cavalero	2016	Barcelona – Espanha	Artigo de periódico	Materials And Design	Estrutura: simulação	Superadobe	1
Jimeno	2017	Barcelona – Espanha	Dissertação	Universitat Politècnica de Catalunya	Estrutura: simulação	CTE	1
Rodriguez, Stein e Darby	2018	Califórnia – EUA	Monografia	Santa Clara University	Estrutura: experimental	Superadobe	1

Fonte: Elaboração própria.

Pensando nisso, Canadell, Blanco e Cavalero (2016) e Jimeno (2017), fizeram estudos paramétricos com equações para verificações estruturais e simulações, analisando as paredes e o domo de uma construção em superadobe. Canadell, Blanco e Cavalero (2016) destacam que o mecanismo de falha mais provável nas paredes dos superadobe é a rolagem e flambagem global. O aumento da rigidez lateral é recomendado para reduzir o risco desses modos de falha. O arame, comum à técnica para aumentar a aderência entre as fiadas, pode ser descartado em paredes retas, não há risco de deslizamento. No entanto, a largura da parede interfere em todos os cálculos, sendo um ponto chave nas análises estruturais e algo que não é padronizado (CANADELL; BLANCO; CAVALARO, 2016). Já Jimeno (2017) foca no desenvolvimento de modelos numéricos simplificados capazes de simular com precisão o comportamento das estruturas de sacos de terra. Três possíveis modelos constitutivos, Mohr Coulomb (para solos), fissura de deformação total (para alvenaria) e o método dos elementos finitos são avaliados e comparados. A partir da comparação dos três tipos de análises, verificou-se que o método dos elementos finitos é o mais adequado para reproduzir o comportamento dos sacos de terra.

Em termos experimentais, estudos realizados no Canadá (DAIGLE; HALL; MACDOUGALL, 2011) e nos Estados Unidos (RODRIGUEZ; STEIN; DARBY, 2018) com o superadobe versam sobre suas propriedades mecânicas com o objetivo de se chegar em uma conclusão sobre sua viabilidade para áreas sísmicas, ponto que não é consenso na comunidade científica. Rodriguez, Stein e Darby (2018) perceberam que, mesmo ao falharem no ensaio de flambagem devido aos esforços, as paredes permaneceram em pé após a conexão do pino ser removida dos topos da parede. Essa resiliência inesperada e o comportamento das paredes durante os testes levaram a equipe a acreditar que as paredes do saco de terra são muito mais dúcteis do que inicialmente antecipado. O fator de ductilidade sísmica médio alcançado foi de seis.

Como limitantes, Jimeno (2017) destaca que faltam informações sobre as propriedades mecânicas do material e a inexistência de estudos prévios utilizando estes métodos. Como recomendações e lacunas, para Daigle, Hall e MacDougall (2011) é necessário um maior conhecimento do comportamento rebocado, comportamento sob carga de cisalhamento no plano e fora do plano, bem como o comportamento sob forças de elevação, e para Jimeno (2017) continuar a pesquisa experimental considerando diferentes cenários de carregamento e de geometria.

### 3.1.4 Aspectos termoacústicos

As boas propriedades termoacústicas das construções em terra são frequentemente lembradas nos textos sem realmente se citarem estudos a

respeito, é o tipo de senso comum que vem da vivência. As pessoas que já vivenciaram uma construção em terra crua e hoje vivem em construções de alvenaria convencionais lembram a diferença. No Quadro 4 é possível ver uma síntese de cada publicação.

**Quadro 4** – Trabalhos selecionados para aspectos termoacústicos.

AUTOR	ANO	LOCAL	TIPO	PUBLICAÇÃO	PESQUISA	TÉCNICA/MATERIAL	GP
Meneses	2010	Aveiro – Portugal	Dissertação	Universidade de Aveiro	Conforto: experimental / térmico	Adobe	2
Desideri <i>et al.</i>	2012	Perugia – Itália	Anais de congresso	ECOS 2012	Conforto: térmico	Superadobe e fardos de palha	2
Araújo	2015	Guimarães – Portugal	Dissertação	Universidade do Minho	Conforto: experimental/ térmico	BTC	1 e 2
Lushnikova	2016	Rivne – Ucrânia	Artigo de periódico	Budownictwo i Architektura	Conforto: térmico	Generalista	2 e 4
Gontijo e Lima	2017	Palmas – Brasil	Artigo de periódico	Revista Sítio Novo	Conforto: térmico	Generalista	2
Morishita, Ismail e Cetin	2017	Viena – Áustria	Anais de congresso	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	Conforto: experimental/ térmico	Taipa de pilão	2

Fonte: Elaboração própria.

Para suprir essa lacuna e colocar em números, Meneses (2010) fez um estudo experimental com três células de teste (uma de adobe reciclado, outra com adobe novo e a terceira de adobe com granulado de cortiça) por dois meses sem renovação do ar e dois com (abriu-se um orifício). Cada célula continha quatro sensores de temperatura para se medir a inércia térmica do sistema, a condutibilidade térmica do solo e o isolamento térmico, além de adicionar a ventilação natural como mais uma variável a ser analisada. A alvenaria de adobe atingiu ótimos resultados quanto à inércia térmica, com atrasos térmicos e amortecimentos consideráveis: a temperatura máxima interna de todas as células não atingiram em nenhum momento os valores do exterior.

Araújo (2015) e Morishita, Ismail e Cetin (2017) analisaram parâmetros semelhantes, a primeira com Bloco de Terra Comprimida (BTC) em comparação com os blocos de concreto e de cerâmica cozida e o segundo fazendo a avaliação de um estudo de caso histórico construído em taipa de pilão. Para esse último, foi necessária ainda uma análise química camada a camada. Com parâmetros mais generalistas, trazendo tabelas e recomendações construtivas para

a Zona Bioclimática 7, Lushnikova (2016) e Gontijo e Lima (2017) discutem os materiais isoladamente e sugerem como pensá-los em termos de fechamentos, aberturas e coberturas.

Como limitantes levantados, além da falta de normatização (MENESES, 2010; ARAÚJO, 2015), tem-se a dificuldade em reunir dados confiáveis para os cálculos (DESIDERI *et al.*, 2012), a necessidade de estabilização do solo e de construir grandes vãos com ele (ARAÚJO, 2015). Como recomendações, se restringiram mais às continuidades de suas pesquisas (MENESES, 2010; DESIDERI *et al.*, 2012; ARAÚJO, 2015).

## 4 Discussão

A busca por uma produção em escala industrial de edificações vem motivando cada vez mais projetos e construções padronizadas e sem nenhum compromisso com o contexto em que estão inseridas. Mais do que uma estrutura, esses modelos passam a representar um estilo de vida vendido como superior aos demais, que simbolizam *status*, contemporaneidade e poder econômico. Ir na contramão dessa tendência é sempre mais trabalhoso, mas há esperança.

A partir dos dados levantados, é possível se tirar algumas conclusões. A primeira é que todos os grupos temáticos estão numa tendência clara de crescimento, como se pode notar na Tabela 6.

**Tabela 6** – Grupos por ano e tendência de crescimento.

ASPECTOS	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TENDÊNCIA
TÉCNICOS/MATERIAIS	0	1	1	0	0	0	1	2	0	4	1	
ESTRUTURAIS	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	
TERMO-ACÚSTICOS	0	0	0	1	1	0	0	1	1	2	0	
SÓCIO-AMBIENTAIS	1	1	1	0	2	0	0	1	2	0	0	
TOTAL POR ANO	1	2	2	2	3	0	1	4	4	7	2	
TOTAL	28											

Fonte: Elaboração própria.

O foco dos trabalhos se concentra na área de materiais, consistindo em 36% dos trabalhos aqui reunidos, enquanto 54% dos textos versam sobre ensaios e desempenho, respondendo à Questão (2) e 36% às outras questões (1, 3 e 5). Isso se deve, possivelmente, por ser a área que mais abre espaço para a experimentação e estudos de caso práticos, aspectos diretamente ligados às práticas da bioconstrução. No todo, todas as perguntas foram respondidas, uma mais do que as outras como se é notado na Tabela 7.

**Tabela 7** – Grupos por pergunta e proporções no todo.

ASPECTOS	QUESTÕES DE PESQUISA				TOTAL	
	Q.1	Q.2	Q.3	Q.4	Qtd	%
TÉCNICOS/MATERIAIS	4	7	9	2	22	79%
ESTRUTURAIS	4	0	0	0	4	14%
TERMO-ACÚSTICOS	1	6	0	0	7	25%
SÓCIO-AMBIENTAIS	1	2	1	8	12	43%
TOTAL	10	15	10	10		
	36%	54%	36%	36%		

Fonte: Elaboração própria.

Uma ressalva é que apenas dois textos conseguiram responder todas as perguntas. Carvalho (2012) faz a caracterização do solo e das construções em terra crua de 10 municípios no Ceará, com aplicações de inquéritos, levantamentos fotográficos e de dados, ensaios de caracterização do solo propriedades mecânicas, além levantar todo o contexto socioeconômico das comunidades visitadas. Ao fim, traz a proposta de um manual de como construir em adobe com orçamentos detalhados. Santos (2015) traça todo o panorama internacional de construção

com terra, destacando as técnicas, as normatizações e finalizando com a construção de um protótipo, em que põe em prática toda a discussão dos capítulos de referência, realizando ensaios, trazendo custos e debatendo a execução.

## 5 Conclusão

Este trabalho é uma rápida síntese de uma vasta gama de dados obtidos com a realização do método chamado revisão sistemática de literatura. Foi realizado o levantamento de uma amostra significativa de trabalhos publicados durante o período de 2008 a 2018 relacionados especificamente a construções com terra.

Apesar do foco da pesquisa ser superadobe e hiperadobe e as bases de dados apresentaram trabalhos que versavam mais sobre outras técnicas, como um conjunto de técnicas que utiliza o mesmo material, é de grande contribuição entender por que caminho está seguindo esse campo de pesquisa. O maior consenso encontrado nesse trabalho é quanto às limitações causadas pela ausência de normas e parâmetros para construção. A principal vantagem de ter realizada uma pesquisa sistemática é conferir rigidez ao processo e diminuir o grau de subjetividade do processo, deixando claro os mecanismos de escolha e o que espera encontrar, possibilitando ainda uma revisão criteriosa pela comunidade científica em caso de erros ou falhas no processo.

O resultado desse trabalho demonstra o crescimento dessa área e a consolidação de grupos temáticos na discussão dessas técnicas. Uma revisão criteriosa abrangendo um maior período temporal se faz necessário ao perceber pelos trabalhos aqui dispostos que as principais referências são mais antigas, ficando de fora do arcabouço dessa revisão. Isso se deve ao fato do campo ainda estar na fase de tentar se estabelecer, não existir uma revista que se sobressaia nesse tema é um claro sinal que ainda há muito o que se percorrer e pesquisar.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. H. **Comportamento térmico de blocos de terra comprimida ativada alcalinamente.**

2015. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães (Portugal), 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15220:** Desempenho

térmico de edificações - Partes 01, 02, 03, 04 e 05. Rio de Janeiro (Brasil): ABNT, 2005.

BAYER, A. P. **Proposta de diretrizes para o desenvolvimento da arquitetura em terra no Rio Grande do Sul, a partir da interpretação de estratégias uruguaias**. 2010. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil), 2010.

BENVEGNÚ, J. C. **Avaliação da resistência mecânica à compressão de hiperadobe na cidade de Guaporé, RS: cidade escola Ayni**. 2017. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado (Brasil), 2017.

CANADELL, S.; BLANCO, A.; CAVALARO, S. H. P. Comprehensive design method for earthbag and superadobe structures. **Materials & Design**, v. 96, p. 270-282, 2016.

CARVALHO, R. M. **Soluções para a construção de habitação em adobe a custos controlados**. 2012. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro (Portugal), 2012.

CATALDO-BORN, M.; ARAYA-LETELIER, G.; PABON, C. Obstacles and motivations for earthbag social housing in Chile: energy, environment, economic and codes implications. **Revista de la Construcción**, Santiago, v. 15, n. 3, p. 17-26, 2016.

DAIGLE, B.; HALL, K; MACDOUGALL, C. Earthbag housing: structural behaviour and applicability in Sri Lanka. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability*, v. 164, n. 4, p. 261-273, 2011.

DÁVALOS, A. L. **Desarrollo de un nuevo bloque de tierra mejorado, con la incorporación de aditivos de compuestos orgánicos**. 2018. 115 f. Trabajo Final de Master (Master en Construcción Avanzada en la Edificación) – Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona (Espanha), 2018.

DESIDERI, U. *et al.* Feasibility study and design of a low-energy residential unit in Sagarmatha Park for environmental impact reduction of high altitude building. In: THE 25<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS (ECOS 2012), 2012, Perugia (Italy). **Proceedings...** 2012.

DIAS, G. D. **Viabilidade técnica e econômica do superadobe na construção de casas populares**. 2015. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá (Brasil), 2015.

DRUMMOND, J. P. *et al.* **Fundamentos da Medicina baseada em evidências: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro (Brasil): Atheneu, 2014.

EVANS, J. M. Application of comfort standards in practice: The case of Argentina. In: **Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century**. Oxford (United Kingdom): Oxford Brookes University, 2001. p. 431-438.

FITTIPALDI, M. **Habitação social e arquitetura sustentável em Ilhéus/BA**. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente)– Universidade Estadual de Santa Catarina, Ilhéus (Brasil), 2008.

GONÇALVES, T. D; GOMES, M. I. Construção de terra crua: potencialidades e questões em aberto. In: Jornadas LNEC Engenharia para a Sociedade, Investigação e Inovação: Cidades e Desenvolvimento, 2012, Lisboa (Portugal). **Atas...** 2012.

GONTIJO; T. M.; LIMA, M. B. Estudo de conforto térmico: do levantamento à seleção das estratégias construtivas relacionadas ao clima de Palmas-TO. **Revista Sítio Novo**, v. 1, p. 135-146, 2017.

GUESSER, S. M.; LIBRELOTTO, L. I. **Avaliação e desenvolvimento de componentes industrializados aplicados à construção de habitação de interesse social**. Relatório PIBIC. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil), 2015.

HAUBERT, T. F. **Geosoluções a bioconstruções: caracterização e estudo comparativo dos solos dos municípios de Rolante, São Francisco de Paula e Maquiné para uso como material de bioconstrução de terra**. 2017. 132 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil), 2017.

HORTELÃO, R. M. J. **Construção com sacos de terra: aplicação a um caso de estudo**. Monografia. Faculdade de Arquitectura e Artes, Universidade Lusíada de Lisboa, Lisboa (Portugal), 2009.

JIMENO, S. R. **Numerical simulation strategies for superadobe walls and arches**. 2017. 125 f.

Master's Thesis (Master in Structural Analysis in Monuments and Historical Constructions) – Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (Spain), 2017.

LUSHNIKOVA, N. Approaches to teaching building materials and technologies for energy-efficient sustainable construction. **Budownictwo i Architektura**, v. 15, n. 3, p. 53-62, 2016.

MENDES, M.; SANTOS, C.C. Alvenaria de sacos de terra - Análise do ciclo de vida. **Agroforum: Revista da Escola Superior Agrária de Castelo Branco**, ano 25, n. 38, p. 35-43, 2017.

MENESES, T. A. F. **Estudo do comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro (Portugal), 2010.

MORISHITA, N; ISMAIL, S. H.; CETIN, R. Pre-design of transitional rural housing for Syria with recycled rubble from destroyed buildings. IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**, v. 245, n. 8, 2017.

OBONYO, E. *et al.* Advancing the structural use of Earth-based bricks: addressing key challenges in the East African context. **Sustainability**, v. 2, n. 11, p. 3561-3571, 2010.

OLIVEIRA, C. N. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações**. 2009. 197 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)– Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil), 2009.

PEDROSA, B. M. S.; XAVIER, T. J. B. **Brickeradobe**: proposta metodológica para aplicação em áreas rurais e indígenas. Programa de Iniciação Científica. Brasília (Brasil): UniCEUB, 2017.

PINHEIRO, L. *et al.* Panorama da produção de obras em terra crua com design contemporâneo nos últimos 60 Anos ao Brasil. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO LUSO-BRASILEIRA, 2016, Porto (Portugal). **Proceedings...** 2016.

RIVERA-GÓMEZ, C.; GALÁN-MARÍN, C.; GARCÍA-GALINDO, F. Properties of natural reinforced Earth-based composites: advantages and drawbacks with synthetic reinforcements. In: 20<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS, 2015, Copenhagen (Denmark). **Proceedings...** 2015.

RODRIGUEZ, D. A.; STEIN, J.; DARBY, T. Cyclic testing of reinforced earthbag walls. Senior Design Project Report (Bachelor of Science in Civil Engineering) – School of Engineering, Santa Clara University, 2018.

SANTOS, C. A. **Construção com terra no Brasil**: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada. 2015. 290 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)– Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil), 2015.