

Luísa Sant Ana Marques

Investigação sobre o comportamento térmico do adobe para as necessidades climáticas e normativas brasileiras.

Belo Horizonte

Escola de Arquitetura da UFMG

2018

Luísa Sant Ana Marques

Investigação sobre o comportamento térmico do adobe para as necessidades climáticas e normativas brasileiras.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista.

Orientador: Marco Antônio Penido de Rezende

Belo Horizonte

Escola de Arquitetura da UFMG

2018

## RESUMO

No que se refere à sustentabilidade, os problemas climáticos atuais e a necessidade de soluções na construção civil que agridam menos ao meio ambiente, a arquitetura de terra crua, mas especificamente arquitetura de adobe é uma ótima opção construtiva de baixo impacto. Para validação do material como solução para paredes, um dos aspectos mais relevantes é o seu comportamento térmico, se suas propriedades e características garantem uma edificação adequada ao clima local brasileiro.

Para tal foi pesquisado na literatura existente as informações, que discutem os atributos do adobe, ou bloco de terra crua, como material de construção, focando no comportamento de suas principais propriedades térmicas e as relações entre suas características. Depois, foram apresentados trabalhos que fizeram a avaliação do comportamento térmico do adobe para as zonas bioclimáticas brasileiras, ou para climas encontrados no Brasil.

Em sequência foram selecionados dentro da literatura existente, valores de densidade, condutividade, transmitância térmica, calor específico e capacidade térmica compilados em tabelas e identificados por números de referência e tipo de material. As propriedades do adobe foram então, analisadas quanto à adequação nas quatro principais regulamentações que especificam o desempenho de paredes para edificações no Brasil, a NBR 15220, a NBR 15575, o RTQ-C e o Selo Casa Azul.

Constatou-se que o adobe apresenta um potencial significativo como solução para a construção civil de menor impacto ao meio ambiente ao mesmo tempo em que pode atingir as exigências das normas de conforto para as zonas bioclimáticas do país.

**Palavras-chave:** adobe; propriedades térmicas; conforto térmico; comportamento térmico; avaliação prescritiva.

## ABSTRACT

With regards to sustainability, current climate problems, and the need for environmentally friendly construction solutions, raw earth architecture, especially adobe architecture, is a great constructive low-impact option. To validate the material as a solution for walls, one of the most relevant aspects is its thermal behavior, if its properties and characteristics guarantee a proper construction of the Brazilian local climate.

For this purpose, the information was investigated in the present literature, which discusses the attributes of adobe, or raw earth block, as a construction material, focusing on the behavior of its main thermal properties and the relationships between its characteristics. Then, papers that evaluated the thermal behavior of adobe for Brazilian bioclimatic zones, or for climates found in Brazil were presented.

In sequence, density, conductivity, thermal transmittance, specific heat and thermal capacitance values were compiled in tables and identified by reference numbers and type of material. The properties of the adobe were then analyzed for adequacy in the four main regulations that specify the performance of walls for buildings in Brazil, NBR 15220, NBR 15575, RTQ-C and Selo Casa Azul. It was found that adobe presents a significant potential as a solution for civil construction with less impact to the environment while at the same time it can meet the requirements of comfort standards for bioclimatic zones of the country.

**Keywords:** adobe; thermal properties; thermal comfort; thermal behavior; prescriptive evaluation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da distribuição geográfica da arquitetura de terra no mundo .....	18
Figura 2 - Casa de adobe na ilha de Waiheke, Nova Zelândia.....	20
Figura 3 - Casa de alvenaria de adobe estabilizada com cal e reboco de cal em Baja California Sur, México.....	21
Figura 4 - Interior de residência de adobe na Nova Zelândia .....	21
Figura 5 - Residência de adobe no interior do Estado de São Paulo, construída entre 2012 e 2014 .....	21
Figura 6 - Demonstração do processo de produção do adobe por adobeiro local da Lapinha da Serra, MG, em visita de estudos de 2017 .....	25
Figura 7 - Alvenaria de adobe secando ao ar livre encontrada no vilarejo de Lapinha da Serra, MG, em visita de estudos feita em 2017 .....	25
Figura 8 - Exemplos de produção, secagem e construção de adobe em diferentes escalas na Nova Zelândia .....	26
Figura 9 - Exemplo de uma construção com adobe em São Thomé das Letras, MG.....	27
Figura 10 - Exemplos de construção com adobe em Lapinha da Serra, MG.....	27
Figura 11 - Gráfico comparativo de valores de condutividade e densidade de diversos tipos de adobe .....	35
Figura 12 - Gráfico da relação entre densidade seca e o teor de umidade de diferentes tipos de solo.....	36
Figura 13 - Curvas de absorção de paredes de distintos materiais após aumento da umidade do ar .....	37
Figura 15 – Fluxograma dos métodos de avaliação da NBR 15575.....	41
Figura 14 - Mapa do Zoneamento bioclimático do Brasil .....	46
Figura 19 - Comparação da temperatura ambiente de diferentes matérias medidos em outubro de 2003.....	53
Figura 20 - Comparação da temperatura ambiente de diferentes matérias medidos em janeiro de 2004.....	54
Figura 18 - Paleta de cores de tinta de terra .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das emissões de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) na produção de paredes de diversos materiais construtivos.....	23
Tabela 2 - Valores de condutividade e densidade, comparativo de resultado de diversos autores.....	34
Tabela 3 - Diretrizes construtivas para paredes externas de acordo com as Zonas Bioclimáticas do Brasil recomendadas pelas normas vigentes no país .....	42
Tabela 4 - Estratégias de condicionamento térmico referentes à fechamentos opacos para cada Zona Bioclimática do Brasil .....	43
Tabela 5 - Análise de comportamento térmico no verão de uma mesma tipologia de adobe com diversos materiais e espessuras .....	50
Tabela 6 - Análise de comportamento térmico no inverno de uma mesma tipologia de adobe com diversos materiais e espessuras .....	51
Tabela 7 - Comparação do desempenho de paredes de adobe e bloco cerâmico .....	52
Tabela 8 - Propriedades térmicas dos materiais selecionados .....	56
Tabela 9 – Valores de Transmitância e Capacidade térmica para diferentes tipos de parede de adobe.....	58
Tabela 10 - Valores de absorvância solar para diferentes tipos de superfície .....	59
Tabela 11 - Análise Prescritiva do adobe com relação às normas brasileiras.....	61
Tabela 12 - Análise Prescritiva do adobe com relação às normas brasileiras.....	63

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Fórmula da Capacidade Térmica .....	44
Equação 2 - Fórmulas de Transmitância Térmica.....	45
Equação 3 – Fórmula de Resistência Térmica .....	45

## LISTA DE GRANDEZAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

$\alpha$  - Absortância à radiação solar

$\varphi$  - Atraso térmico - horas

$c$  - Calor específico - kJ/kgK

CT - Capacidade térmica - KJ/m<sup>2</sup>K

$\lambda$  - Condutividade térmica - W/mK

$\rho$  - Densidade de massa aparente - kg/m<sup>3</sup>

$e$  - Espessura da parede - metros

FS<sub>o</sub> - Fator Solar

R = Resistência térmica da parede (m<sup>2</sup>K/W)

R<sub>si</sub> = Resistência da Superfície interna (m<sup>2</sup>K/W)

R<sub>e</sub> = Resistência da Superfície externa (m<sup>2</sup>K/W)

T<sub>e máx</sub> - Temperatura externa máxima - °C

T<sub>i mín</sub> - Temperatura interna mínima - °C

T<sub>i máx</sub> - Temperatura interna máxima - °C

T<sub>e mín</sub> - Temperatura externa mínima - °C

T<sub>e máx</sub> - Temperatura externa máxima - °C

U - Transmitância térmica - W/m<sup>2</sup>K

UR - Umidade relativa do ar- %

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers  
(Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento e Ventilação)

CIBSE - Chartered Institution of Building Services Engineers (Instituição de engenheiros de serviços de construção – da Grã-Bretanha)

CRATerre - International Centre on Earthen Architecture (Centro Internacional de Arquitetura de Terra)

DIN - Deutsches Institut für Normung (Instituto Normativo Alemão)

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

NBE - La Norma Básica de la Edificación (Norma básica de edificação)

NBR - Norma Brasileira

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

RTQ - Regulamento Técnico da Qualidade

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

Z - Zona bioclimática

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTA DE GRANDEZAS, SÍMBOLOS E UNIDADES</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 Introdução e justificativa .....	11
1.2 Objetivos .....	12
1.3 Metodologia.....	13
1.3.1 Metodologia da Revisão de Literatura.....	14
1.3.2 Caracterização dos dados.....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1 A Terra crua como material de construção .....	18
2.1.1 Características da construção com terra crua .....	22
2.2 O adobe como material construtivo .....	24
2.3 Conforto térmico de construções com terra crua .....	28
2.3.1 O conforto térmico.....	28
2.3.2 Percepção subjetiva do conforto .....	30
2.4 Propriedades térmicas dos materiais .....	31
2.5 Dados para a análise .....	39

2.5.1 Normas brasileiras vigentes .....	39
2.5.2 Formas de cálculo.....	44
2.5.3 Zonas bioclimáticas .....	45
2.6 Comportamento térmico do adobe.....	46
2.6.1 Comportamento térmico dos materiais .....	47
2.6.2 Comportamento térmico para as zonas bioclimáticas brasileiras.....	48
<b>3 CONFORTO TÉRMICO DO ADOBE.....</b>	<b>56</b>
3.1 Apresentação dos dados.....	56
3.2 Análise Prescritiva .....	57
3.3 Adequação do adobe às normas brasileiras .....	60
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>64</b>
4.1 Quanto às propriedades térmicas do adobe .....	64
4.2 Quanto ao desempenho térmico do adobe .....	64
4.3 Quanto ao comportamento térmico do adobe .....	66
4.4 Considerações finais .....	66
<b>5 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>68</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Introdução e justificativa

O aquecimento global intensifica a preocupação com o meio ambiente e a necessidade da busca por métodos e materiais construtivos que se afastem de soluções altamente industrializadas e que aceleram a degradação ambiental deixando marcas de interferência no planeta.

O conforto ambiental, que envolve o conforto térmico, a adequação do edifício ao clima local e o comportamento dos materiais de construção, se une à essa tendência econômica e ambiental, somando à preocupação com a eficiência energética das edificações. (FERRAZ JUNIOR, 1995)

Uma das alternativas construtivas que gera menos danos ao ambiente é a arquitetura vernácula, que nasceu da intuição e necessidade humana básica de abrigo e foi moldada pelas limitações técnicas e de disponibilidade de materiais. Nela encontramos soluções práticas oriundas do saber fazer popular que buscam a proteção do clima, com recursos locais da própria natureza e, portanto, tornam-se fontes passivas de conforto.

Para ajudar na disseminação e evolução de tais técnicas, o saber construtivo, que tem em sua definição a 'intuição' precisa do aporte técnico e teórico tanto para a afirmação de suas vantagens construtivas quanto para a promoção e flexibilização de uso.

Dentre as inúmeras formas da arquitetura vernácula, está a construção com bloco de adobe, técnica de alvenaria de terra crua moldada em formas, e depois de desenformada, secada ao ar livre. O adobe é uma tecnologia construtiva que se enquadra dentro das várias soluções arquitetônicas com terra crua ainda utilizadas no Brasil, mas que se destaca por ainda poder ser considerada uma técnica vernácula, ser um tipo de alvenaria estrutural e por estar em vias de ganhar uma norma específica para sua construção.

É interessante notar que o protagonismo da construção com terra é mais evidente em países desenvolvidos, como Austrália, Alemanha e França, tanto por ser uma solução

tecnicamente interessante quanto por sua aparência, textura, forma e plástica. E justamente em países mais pobres, onde a terra pode ser uma excelente solução construtiva mais barata, existe grande preconceito quanto à sua aparência, qualidade e durabilidade, estando sempre muito associada à falta de recursos e insalubridade. (DA PONTE, 2012).

Com o recente interesse pela arquitetura de terra, muito incentivado pela demanda por sistemas construtivos que causem menos danos ao planeta, surgem novas pesquisas e estudos sobre o assunto, dando maior aporte técnico a esse modelo muito baseado no conhecimento empírico e na tradição e voltando a destacar suas possibilidades técnicas e ambientais, bem como associando a forma construtiva com terra à modernidade e inovação.

## **1.2 Objetivos**

Este trabalho tem o objetivo de se inserir no panorama apresentado, buscando revisar o adobe como um material construtivo, investigando principalmente suas propriedades e comportamento no que refere ao conforto térmico.

- **Objetivo Geral**

Reunir e compilar as informações referentes as propriedades térmicas e comportamento térmico do adobe como material de construção para paredes, na literatura existente, e avaliar sua adequação às normas de conforto térmico vigentes no Brasil.

- **Objetivo específicos:**

Conceituar e caracterizar a terra crua como material de construção civil de renovada relevância, e o conforto térmico como fator expressivo na definição da tipologia arquitetônica;

Conceituar as propriedades térmicas da terra crua e do adobe, e estabelecer a relação entre suas características;

Verificar se os fechamentos verticais de adobe especificados na literatura existente se adequam ao clima brasileiro no que tange ao comportamento térmico;

Buscar nas pesquisas existentes quais são as informações numéricas sobre as propriedades térmicas do adobe como material de construção de paredes e a relação entre esses dados;

Levantar e sintetizar as exigências das normas brasileiras de conforto térmico no que se refere a fechamentos opaco;

Compilar as informações referentes ao comportamento térmico de tipologias de adobe para o clima brasileiro e estabelecer uma correlação entre elas.

### **1.3 Metodologia**

Neste estudo, que usará métodos qualitativos de trabalho, com um levantamento na literatura existente, tanto brasileira como internacional, do comportamento térmico de construções de terra, mas especificamente, paredes de adobe, e uma avaliação da adequação das propriedades térmicas do material com relação às legislações brasileiras vigentes e levando também em consideração os diferentes climas encontrados no Brasil.

Apesar de ser frequente a menção na literatura pesquisada das notáveis características térmicas da terra crua como material construtivo, é perceptível a dificuldade em se encontrar contribuições realmente efetivas, assim como informações unificadas para estudos mais aprofundados, o que se torna ainda mais difícil quando se consideram autores e pesquisas direcionadas à realidade brasileira.

Nesse contexto o trabalho de compilação e estudo das informações seguirá as seguintes etapas:

- Referencial teórico sobre a terra crua e sobre o adobe como material de construção civil.

- Definição de conforto térmico e do conforto proporcionado por construções com terra crua, e da percepção subjetiva de conforto da arquitetura de terra;
- Definição das principais propriedades térmicas do adobe, como densidade, condutividade e suas relações, influência da absorção de água e do teor de umidade no comportamento do material;
- Caracterização e compilação das exigências referentes a paredes das principais normas de conforto térmico do brasileiras, a NBR 15220, a NBR 15575, o RTQ-C e o Selo Casa Azul, bem como suas fórmulas de cálculo e Zoneamento climático.
- Verificação dos trabalhos que avaliam o comportamento térmico de fechamentos de adobe para as zonas bioclimáticas brasileiras, ou para as zonas climáticas existentes no Brasil.
- Compilação dos valores referentes às propriedades térmicas do adobe de diferentes fontes encontradas na literatura, buscando situar quais as informações e dados numéricos podem ser considerados, sempre levando em consideração as normas e o clima brasileiro;
- Avaliação do atendimento prescritivo das propriedades térmicas do adobe com relação as legislações de conforto vigentes no Brasil
- Conclusão geral sobre as informações reunidas.

### **1.3.1 Metodologia da Revisão de Literatura**

A primeira percepção ao se buscar na literatura existente sobre as propriedades térmicas, o comportamento térmico e o conforto térmico de construções com terra crua e mais especificamente de construções com adobe, é da defasagem de pesquisas específicas feitas no Brasil com relação aos trabalhos encontrados no exterior.

Embora o uso da terra crua seja bastante significativo na construção brasileira, são raros os trabalhos encontrados direcionados à avaliação, medições ou simulações de construções com tipologia nacional e avaliando sua adequação ao clima do Brasil.

Em muitos dos casos, ao se tratar do assunto, o foco das pesquisas é na área da física, engenharia mecânica e agrária, sendo raros os trabalhos que tem foco na arquitetura ou na construção civil. Em outros momentos, os dados apresentados são citados de outros trabalhos sem uma especificação mais detalhada do contexto ou método de origem.

Um outro fato a se considerar é a segmentação das informações encontradas. Assim como os objetivos dos textos que abordam o assunto, que variam consideravelmente, indo de propriedades do adobe com diferentes tipos de aditivos até avaliação de comportamento térmico de construções antigas de adobe para uma possível reabilitação, passando por avaliação térmica do adobe como tipologia construtiva alternativa para assentamentos populares e uma série de trabalhos que investigam o adobe como alternativa sustentável, que combinam estudos de propriedades e comportamento térmico com desempenho energético e avaliação de ciclo de vida.

Para uma maior organização e síntese das informações encontradas, a compilação e análise dos valores e características térmicas do adobe foram separadas nas seguintes etapas:

- **Propriedades térmicas do Adobe**

Diferente do comportamento térmico, as propriedades térmicas são inerentes ao material e suas características. Portanto, na revisão de literatura, foram apresentados os principais conceitos referentes às propriedades térmicas do adobe, e feita uma compilação geral das propriedades térmicas de adobe encontradas na literatura existente.

- **Dados para análise**

Para ser feita uma avaliação voltada para a realidade brasileira do comportamento térmico e do conforto térmico do adobe, foi compilado um resumo comparativo de exigências das normas de conforto: NBR 15220 (ABNT, 2005), a NBR 15575 (ABNT, 2013), o RTQ-C (Brasil, 2009) e o Selo Casa Azul (BRASIL, 2010).

- **Comportamento térmico:**

Foram observados então, os trabalhos que estudam o desempenho de construções, protótipos e simulações do adobe, seja relacionando a outros metatérias e formas construtivas, ou comparando diferentes tipos de adobe entre si. Como o comportamento térmico depende do clima em que a edificação está inserida, foram comentados apenas os trabalhos feitos especificamente para as zonas bioclimáticas brasileiras.

- **Conforto térmico:**

Com base nos dados apresentados na caracterização dos dados, dos trabalhos pesquisados, foram então selecionados valores de densidade, condutividade, transmitância térmica, calor específico e capacidade térmica que foram avaliados quanto à adequação nas exigências normativas brasileiras. Para melhor organização, os dados foram compilados em tabelas e identificados por números de referência e tipo de material.

- **Atendimento prescritivo**

Com as propriedades térmicas do adobe foi feita então, uma avaliação prescritiva do atendimento dos valores encontradas às quatro principais regulamentações que especificam o desempenho de paredes para edificações no Brasil, e cada uma das tipologias encontradas foi analisada frente aos valores pedidos pelas normas.

### **1.3.2 Caracterização dos dados**

Como será visto posteriormente, para atendimento das normas de conforto em vigência no Brasil, são necessárias algumas propriedades térmicas dos materiais a serem implementados na construção.

Para especificação de fechamentos opaco, densidade, condutividade térmica e calor específico, propriedades inerentes ao material, são necessárias, bem como a absorvância solar, relacionada ao tipo de acabamento externo. Para as avaliações apresentadas a

seguir, foram utilizados dados referentes às propriedades do adobe encontrados na literatura existente.

Como o objetivo será a análise prescritiva do adobe como material de construção no Brasil, os autores priorizados aqui foram aqueles que chegaram a resultados de transmitância e capacidade térmica.

A seguir estão listados os critérios de seleção diante da variedade de valores encontrados:

- Quanto as propriedades inerentes ao material<sup>1</sup> utilizadas nos cálculos foram selecionados apenas autores que descreveram os métodos ou a origem dos dados utilizados de densidade, condutividade e calor específico.
- Quanto aos dados de transmitância e capacidade, apenas os trabalhos que apresentaram os métodos de cálculo, medição ou simulação foram escolhidos.
- Como as propriedades térmicas do adobe são inerentes ao material, ou seja, independem do clima em que se encontra, da orientação com relação à latitude e orientação do sol, e do todo da tipologia construtiva, foram selecionados trabalhos de diversos países. Contudo, como as normas brasileiras descrevem os métodos para a obtenção da transmitância e capacidade, foi evidenciada a metodologia para obtenção de tais valores. A composição da parede também foi descrita pois é de suma importância para os valores resultantes.

Como a maioria dos textos não descreviam absorptância solar dos elementos construtivos apresentados, característica associada à cor e textura do material de revestimento e importante para a avaliação prescritiva, esses valores foram buscados a partir outras fontes e foram listados mais à frente.

---

<sup>1</sup> Os termos de referência variam de autor para autor e de diferentes idiomas. Para o português foram encontrados os termos *adobe*, *bloco de terra crua* e *terra compactada*, bem como diferentes tipos de terra. Na língua inglesa os principais termos encontrados foram *cob* (na Inglaterra), *clay*, *adobe*, *earth blocks* e *raw earth*, no espanhol prevaleceram *tierra cruda*, *tierra comprimida* e *adobe*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A Terra crua como material de construção

O emprego da terra crua como material de construção é tão antigo quanto a própria história da habitação humana. Sendo um dos primeiros materiais utilizados, remetendo aos povos nômades que fabricavam construções temporárias de acordo com a o clima e estação, sendo a terra então associada aos primórdios do uso tecnológico para alterar meio ambiente na fabricação do abrigo para o homem. O desenvolvimento e a preservação da técnica possibilitaram sua adaptação ao longo do tempo de forma que até hoje é utilizada por diversos povos, o que demonstra sua característica vernácula e sua durabilidade.

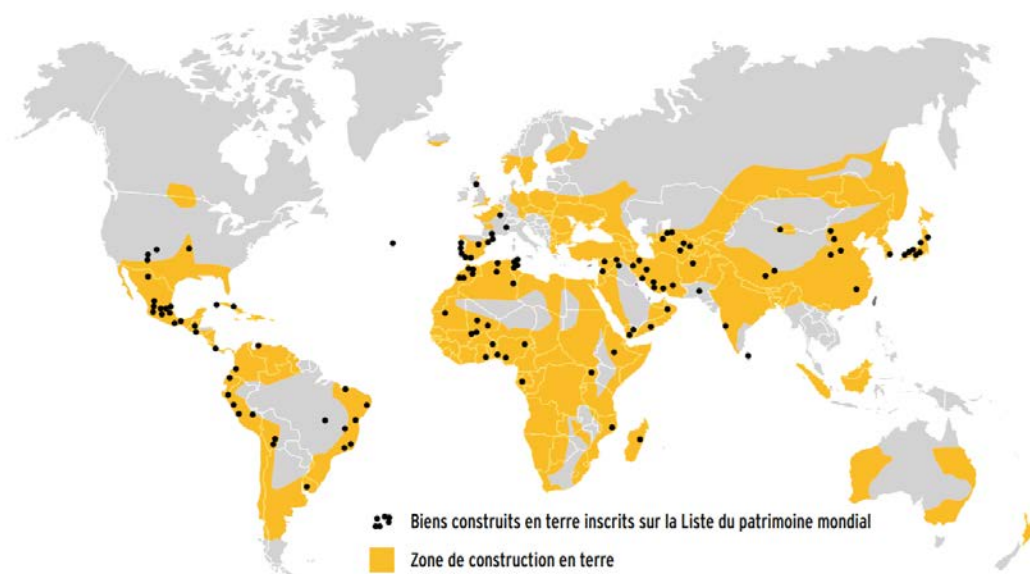


Figura 1 - Mapa da distribuição geográfica da arquitetura de terra no mundo  
Fonte: HOUBEN e GUILLAUD 2006, apud DA PONTE, 2012

No livro *Construindo com terra*<sup>2</sup>, o arquiteto alemão Gernot Minke afirma que mesmo atualmente, mais de um terço da população mundial vive em edificações construídas com terra, e que em países em desenvolvimento esse valor pode chegar a cinquenta por cento,

<sup>2</sup> Tradução livre, na versão em inglês: *Building with earth: design and technology of sustainable architecture*, de 2006

ele também coloca que em quase todas as regiões de clima quente-árido e clima temperado a terra sempre foi o material construtivo predominante.

No Tratado de Construção da Terra do Grupo CRATerre — Centro Internacional de Arquitetura de Terra, grupo com cadeira na UNESCO fundada em 1979 por Hugo Houben, Hubert Guillaud e Patrice DOAT (DA PONTE, 2012), que pesquisa, desenvolve e divulga a construção com terra — foi divulgado o mapa da Figura 1 que mostra as regiões do mundo com maior concentração de arquitetura de terra, bem como as construções com terra tombadas como patrimônio mundial pela UNESCO. Por sua vez, a arquiteta portuguesa Maria da Ponte, em sua dissertação intitulada *Arquitetura da terra: desenho para a durabilidade das construções* (DA PONTE, 2012), apresenta diversos autores que fizeram o cruzamento do mapa de localização de zonas de maior densidade de construção em terra com indicadores de zonas de maior pluviosidade, temperatura e risco sísmico, e que concluíram que não existe relação direta ou indireta entre eles, mostrando que a opção pela arquitetura de terra não está necessariamente relacionada a nenhum tipo de clima específico.

Apesar desse panorama global, como afirmaram Parra-Saldivar e Batty (2006), no artigo *Thermal behavior of adobe constructions*, o uso da terra na construção, em especial da alvenaria de adobe, sofreu um significativo declínio no fim do século XIX, com a abundância de alternativas manufaturadas. E no Brasil houve uma grande associação da técnica à pobreza, principalmente pelo aspecto físico do pau-a-pique e a dificuldade de desassociação entre as diferentes formas construtivas com terra crua, e as campanhas do governo relacionando à arquitetura de terra com a doença de chagas (FARIA, 2011).

Esse fenômeno é ainda comum e permanece em zonas menos desenvolvidas, onde os recursos mais industrializados e modernos são de difícil acesso pela população mais humilde e portanto os recursos locais são sua alternativa mais viável. Por consequência essa associação com a pobreza faz com que os recursos naturais sejam rejeitados como antiquados e substituídos por versões de menor qualidade dos materiais de construção manufaturados (DA PONTE, 2012).

Mais recentemente, porém, questões ambientais estão trazendo novo destaque à terra por ela ser uma opção construtiva de menor impacto ambiental e cujas propriedades térmicas já foram testadas empiricamente e tecnicamente. (PARRA-SALDIVAR e BATTY, 2006). Como mostra o australiano Kevan Heathcote, no artigo *The thermal performance of earth buildings*, de 2010:

A partir da década de 1970, houve um aumento significativo no interesse por essas formas de construção e, particularmente após a crise do petróleo, devido à baixa energia incorporada e ao bom desempenho térmico, ambos resultando em menor consumo de energia. (HEATHCOTE, 2010)

A própria criação do grupo CRATerre se enquadra nesse panorama, assim como muitos dos textos referência encontrados ou citados pelos autores consultados. Nota-se, portanto, que a mesma cultura do consumo que levou à certa rejeição da arquitetura tradicional e local de terra em detrimento à modelos industrializados e globalizados também está trazendo de volta as soluções mais simples como uma nova ideia mercadológica, tendência em países desenvolvidos e como proposta diferenciada e até mesmo inovadora para a construção Civil, com a incorporação de novas técnicas e ferramentas construtivas e em alguns casos a até mesmo a mecanização. As figuras a seguir apresentam alguns exemplos de construções modernas de adobe pelo mundo:



Figura 2 - Casa de adobe na ilha de Waiheke, Nova Zelândia  
Fonte: SCHRODER e OGLETREE, 2010



Figura 3 - Casa de alvenaria de adobe estabilizada com cal e reboco de cal em Baja California Sur, México  
Fonte: SCHRODER e OGLETREE, 2010



Figura 4 - Interior de residência de adobe na Nova Zelândia  
Fonte: SCHRODER e OGLETREE, 2010



Figura 5 - Residência de adobe no interior do Estado de São Paulo, construída entre 2012 e 2014  
Fonte: ORUI, 2015

### 2.1.1 Características da construção com terra crua

A seguir serão apresentadas de uma seleção de vantagens e desvantagens de se construir com terra crua, com o destaque para o adobe, que dão um panorama geral sobre as principais características do material construtivo a seleção foi feita com base nos textos: CANCELA, 2013; DA PONTE, 2012; SCHRODER e OGLETREE, 2010; MAIA, 2014 e BESTRATEN et al. 2011.

#### VANTAGENS:

- **Abundância**

Por ser um elemento construtivo natural a terra pode ser encontrada facilmente na natureza, sendo em alguns casos disponível até mesmo no terreno a ser construído.

- **Baixo custo**

Além de poder ser extraída da natureza a baixíssimos ou nenhum custo, para se construir com terra é necessário apenas equipamentos simples e mão-de-obra de baixa qualificação, humana o que a torna mais economicamente viável, se comparada a métodos comuns, e possibilita a construção pelos próprios moradores.

- **Facilidade de manipulação**

Apesar de não poder ser feita sem conhecimento prévio, algumas técnicas como o adobe potencializam a autoconstrução e a autossuficiência podendo a terra ser encontrada, extraída e manuseada pela própria comunidade local, sem muitas dificuldades ou riscos.

- **Adaptabilidade**

Permite ser implantada em diversos tipos de regiões climáticas, bem como se integrar a uma ampla variedade de formas e estilos arquitetônicos, sendo incorporada e adaptada por diversas culturas pelo mundo.

- **Ambientalmente amigável**

Por ser de fácil manuseio e, com devidas precauções, duradoura, a construção com terra é ecologicamente viável. Além disso tem baixo consumo de energia não renovável, baixa energia incorporada em toda sua cadeia produtiva, tanto na extração quanto na produção, e permite o reuso ininterrupto, não gerando entulho e praticamente voltando a sua forma original após a vida útil

A Tabela 1 demonstra a comparação das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) dos materiais taipa, adobe, concreto moldado in loco, concreto pré-fabricado (com 2% de aço), parede de tijolo maciço e parede de tijolo oco, onde se percebe que os materiais de terra crua geram menor emissão de poluentes na atmosfera.

**Tabela 1 - Comparação das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na produção de paredes de diversos materiais construtivos**

<b>Material</b>	<b>Densidade</b>	<b>Emissões por Kg</b>	<b>Emissões por m<sup>3</sup></b>
	Kg/m <sup>3</sup>	Kg CO <sub>2</sub> /Kg	Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Taipa (sem estabilização)	2200	0,004	9,7
Adobe	1200	0,06	74
Concreto preparado in loco	2360	0,14	320
Concreto pré-fabricado, 2% de aço	2500	0,18	455
Parede de ladrilho maciço	1600	0,19	301
Parede de ladrilho oco	670	0,14	95

Fonte: Traduzido de BESTRATEN et al., 2011

## DESVANTAGENS

- **Resistência mecânica**

A resistência mecânica da terra é “da ordem dos 1 a 3 MPa e a sua resistência à tração é desprezável e com mau comportamento à ação da água e na presença de humidade” (CANCELA, 2013). Evidentemente, as técnicas construtivas podem reverter esse quadro melhorando o comportamento mecânico das construções

com terra, sendo ela terra prensada, misturada com outros elementos naturais ou trabalhada de forma a apresentar maior estabilidade.

- **Resistência à umidade**

Um elemento muito característico das construções com terra crua é sua significativa absorção da umidade, o que gera a necessidade de cuidado na construção, evitando-se o contato direto com o solo, por meio de fundações isolando a terra com outros materiais, cobertura que proteja das chuvas constantes e em algumas situações revestimento externo. No entanto como será visto posteriormente, no que tange ao conforto térmico, essa absorção, se controlada, pode ser aproveitada em situações em que o resfriamento evapotranspirativo foi desejado em locais de clima quente e seco.

## **2.2 O adobe como material construtivo**

Das três principais formas construtivas com terra crua encontradas no Brasil: pau-a-pique, adobe e taipa de pilão, o adobe se destaca por ser, junto com o pau-a-pique, um exemplo de arquitetura vernácula, o que não acontece no Brasil com a taipa de pilão. Além disso essa técnica tem a vantagem de ser, junto com a taipa, estrutural, o que por sua vez, não ocorre com o pau-a-pique, que precisa de sistema estrutural independente. Por fim, no Brasil, está em vias de aprovação uma legislação específica para construções com adobe, o que não só demonstra o maior interesse no material como possivelmente aumenta a demanda por estudos complementares sobre o assunto.

O adobe está inserido no sistema construtivo monolítico em que a terra crua é utilizada como material autoportante. Segundo Da Ponte (2012), a terra empilhada é uma das primeiras formas de se construir abrigos humanos com terra.

Faria (2011) ao estudar a arquitetura de terra no Brasil, mais especificamente em Minas Gerais, apresentou uma série de definições formais para o adobe. Dentre elas estão a do arquiteto e historiador mineiro Sylvio de Vasconcellos, no livro *Arquitetura no Brasil:*

*sistemas construtivos*, de 1979 e Patrick Bardou autor do livro *Arquitecturas de Adobe*, de 1979:

Segundo Vasconcellos (1978, apud FARIA, 2011), os “adôbos” são tijolos de barro, que são compactados manualmente em formas de madeira e postos a secar na sombra e depois ao sol, devendo o barro conter uma quantidade de areia, fibras vegetais ou estrume de boi para que se tenha consistência. O assentamento e o reboco são feitos de barro, podendo receber reboco de cal e areia.

Bardou (1979 apud FARIA, 2011) define esta técnica como sendo a fabricação de tijolos através da utilização de solo, selecionado pelos antigos construtores por sua composição arenosa, que são moldados em fôrmas de madeira e secos diretamente ao sol ou a sombra por algumas semanas.

De forma geral, a técnica do adobe se caracteriza pela alvenaria de terra crua seca ao ar livre, tanto ao sol quanto à sombra. Para tal são preenchidos moldes com a terra em estado plástico, devido à mistura com água, que são então desenformados.



Figura 6 - Demonstração do processo de produção do adobe por adobeiro local da Lapinha da Serra, MG, em visita de estudos de 2017  
Fonte: Acervo da autora



Figura 7 - Alvenaria de adobe secando ao ar livre encontrada no vilarejo de Lapinha da Serra, MG, em visita de estudos feita em 2017  
Fonte: Acervo da autora



Figura 8 - Exemplos de produção, secagem e construção de adobe em diferentes escalas na Nova Zelândia  
 Fonte: Schroder e Ogletree, 2010

O tamanho dos adobes varia com a cultura, a tipologia construtiva e as preferências dos construtores, assim como a presença ou não de revestimentos que dependerá tanto de preferências estéticas quanto das decisões relacionadas à durabilidade e manutenção da edificação. Muitas culturas se utilizam de revestimentos à base de terra para personalizar e decorar as construções, o que em alguns casos, pode até mesmo fazer parte de rituais locais. (FARIA, 2011 e ORUI, 2015)

Além da forma original com a mistura de terra e água, o adobe pode também ser produzido com diversos tipos de aditivos, como palha, esterco de bovinos, cortiça e plantas diversas.

As Figura 9 e

Figura 10 mostram exemplos de construções simples de Adobe encontradas no interior de Minas Gerais o contraste com as Figuras 3 a 5 evidencia ainda mais os diferentes tipos construtivos que podem ser obtidos com esse material.



Figura 9 - Exemplo de uma construção com adobe em São Thomé das Letras, MG  
Segundo a moradora, a casa foi construída pelo seu avô, com ajuda de parentes e conhecidos, e todo o processo de produção da alvenaria se deu no próprio local. Fonte: Acervo da autora



Figura 10 - Exemplos de construção com adobe em Lapinha da Serra, MG  
Nota-se no mesmo vilarejo, diferentes formas de revestimento (adobe aparente, adobe revestido e misto) bem como diferentes usos (comercial, residencial e até mesmo em muros). Fonte: Acervo da autora

## 2.3 Conforto térmico de construções com terra crua

### 2.3.1 O conforto térmico

Assim como na sustentabilidade e na arquitetura de terra, a preocupação mais sistematizada com o conforto ambiental e, mais especificamente o térmico, ganhou novas forças em meados do século XX quando a crise energética gerou a necessidade de se repensar não só as fontes de energia renováveis e não renováveis, quanto a forma como o homem lida com os recursos naturais do planeta e por consequência, em como atingir as necessidades básicas construtivas de modo menos agressivo. Nesse aspecto normas e regulações que estabelecem os valores e limites de conforto e como atingi-lo foram de extrema importância para se definir as necessidades a serem alcançadas, como pode-se perceber no artigo *The thermal performance of earth buildings*:

Nos últimos tempos, o foco no aquecimento global provocou a necessidade de reduzir a emissão de dióxido de carbono de geradores movidos a carvão, e isso gerou um foco maior no uso de energia em serviço dos edifícios. A resposta a esta situação levou, na maioria dos casos, a regulamentações que se concentram na resistência térmica de paredes em estado estacionário (o valor "R") ou sua transmissão térmica recíproca (o valor "U") (HEATHCOTE, 2010)

A função primária de uma construção é ser um abrigo das intempéries e perigos do ambiente, proporcionando conforto e segurança para seus habitantes de acordo com o clima local. O conforto térmico é um dos fatores mais relevantes para o conforto ambiental, principalmente se considerarmos as temperaturas mais extremas de frio ou calor, como afirmado por FROTA e SCHIFFER, no *Manual de conforto térmico*, de 2001:

A Arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange o seu conforto térmico. O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido a fadiga ou estresse, inclusive térmico. A Arquitetura, como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

Segundo FROTA e SCHIFFER, 2001 e MAIA, 2014 as necessidades de conforto estão diretamente associadas com o funcionamento do organismo humano:

Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico [...] Se as condições térmicas ambientais causam sensação de frio ou de calor, é porque nosso organismo está perdendo mais calor ou menos calor que o necessário para a

manutenção da Homeotermia [...] propriedade de perder calor para manter a temperatura interna constante de 37°C. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

[...] ainda que sua avaliação seja subjetiva, estar confortável termicamente em relação a um acontecimento num espaço, observando-o ou sentindo-o, implica em não ter preocupação ou incômodo. (MAIA, 2014)

Estar em conforto térmico é então, não sentir incomodo, não sentir nem calor nem frio, ou como Matias (2000, apud CANCELA, 2013) afirma, “o estado de espírito que expressa a satisfação com o ambiente térmico”. Com isso fica claro que além de complexo, o conceito de conforto pode ser bastante subjetivo. Ao depender da natureza humana ele é afetado por diversos fatores como atividade humana, vestimentas, cultura e até mesmo preferências pessoais, elementos estes que não estão associados à edificação. (FROTA e SCHIFFER, 2001 e HEATHCOTE, 2010)

O Conforto térmico irá sempre depender principalmente do sol ou ausência dele, sendo ele a principal fonte de calor incidente sobre um edifício. As variáveis e indicadores relacionados ao comportamento térmico de edificações e seus materiais tem como objetivo medir o nível de proteção da construção contra a entrada excessiva de calor, ou o resfriamento demasiado. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

Sobre o comportamento térmico do adobe como material construtivo, várias afirmações são feitas em diversas pesquisas pelo mundo sempre com abordagens, climas e objetivos diferentes, mas algo é praticamente unanimidade, a eficiência no desempenho térmico, como pode ser visto nos exemplos a seguir:

[na Inglaterra] O desempenho térmico dos edifícios com paredes de *cob* é, no entanto, lendário (...) O chalé de *cob* em Devon tinha a reputação de ser aconchegante no inverno e fresco no verão. (HEATHCOTE, 2010)

[em Aveiro, Portugal] Uma casa construída em terra apresenta bom comportamento térmico e acústico devido à grande inércia térmica das suas paredes, que se comportam como uma barreira eficaz contra as intempéries. (CANCELA, 2013)

[no Brasil] Habitações construídas com terra podem armazenar calor por ser um material denso, com resistência térmica relevante. Em regiões onde a amplitude térmica é alta, a terra pode balancear a temperatura dos ambientes interiores por vias passivas, diminuindo a quantidade de energia necessária à climatização artificial. (MAIA, 2014)

Coffman et al. [1980] em pesquisa realizada em Nova Deli, Índia, informaram que a construção de casa de barro tem efeito de ar condicionado natural, porque os

quartos são frescos durante o dia e quentes durante a noite. (CHEL e TIWARI, 2009)

No entanto, apesar da boa reputação, existe certa dificuldade em encontrar trabalhos que detalhem as propriedades térmicas inerentes do material adobe, sendo que muitas das informações encontradas sobre o comportamento térmico, estão mais associadas à tipologia construtiva, uma vez que paredes de terra são, em média, mais grossas e, como precisam ser isoladas da umidade do solo e chuva por meio de fundações elevadas e beirais pronunciados, são construídas de modo que a radiação solar e contato com o solo são reduzidos.

### **2.3.2 Percepção subjetiva do conforto**

Outro aspecto a ser considerado é que assim como o conforto tem grande complexidade subjetiva a percepção humana da arquitetura de terra também. Leonardo Maia, no artigo *O Conforto da habitação de terra*, de 2014, estudou o conforto em habitações de terra sob ponto de vista holístico, aspecto que se interliga à aproximação com a arquitetura vernácula, em que diferente de matérias de construção mais modernos, a terra consegue reforçar o senso de materialidade deixando “que nossa visão penetre em suas superfícies e permitem que nos convençamos da veracidade da matéria” e onde “o tato percebe a textura da terra, o olfato o cheiro dela e a liga à memória,” uma vez que, “os sons são reverberados nas superfícies das construções naturais de maneira diferente das outras.”

Segundo Maia (2014), a percepção está também relacionada ao senso de temporalidade, onde os materiais naturais “contam sua origem e seu uso histórico pelo homem, além de expressar história e idade.”

A habitação construída com terra pode proporcionar mais do que a neutralidade (“não desconforto”) exigida pelas normas: proporciona aos moradores prazer, bem-estar, expressão de seu corpo e cultura, além da expansão de suas emoções e sentimentos, evocando sentidos e sentimentos humanos e emocionando. (MAIA, 2014)

[...] uma habitação de terra torna-se confortável e aconchegante ao proporcionar ao usuário a sensação de construção feita por mãos humanas, quase como um artesanato. (MAIA, 2014)

Essa subjetividade do material natural pode ter alguma influência na interpretação física dos fatores fisiológicos da terra, mesmo que a terra não esteja aparente no acabamento. Mas além de considerar os aspectos abstratos relacionados ao conforto térmico, é certo que o conforto fisiológico é passível de dimensionamento, uma vez que mesmo que envolva uma série de variáveis, estar termicamente confortável é um fator quantificável.

## **2.4 Propriedades térmicas dos materiais**

Dentre as principais metodologias para se mensurar o comportamento térmico de uma edificação e o seu atendimento ou não as necessidades humanas de conforto, estão cálculos, simulações e medições em loco. Essas informações, contrastadas com normas e diretrizes construtivas podem avaliar a adequação do sistema construtivo à realidade climática do local a ser edificado. Para tal, junto à forma arquitetônica, é de essencial importância a posse de dados precisos sobre as propriedades do material construtivo a ser empregado.

São as propriedades dos elementos construtivos que irão definir o comportamento da envolvente com relação ao ambiente externo, que está principalmente relacionado as trocas de calor com o meio. Na envoltória de uma edificação a transmissão do calor irá ocorrer quando existir uma diferença entre as temperaturas da superfície externa e interna, sendo que o fluxo de calor irá sempre da superfície mais quente para a mais fria. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

Em climas mais quentes como o do Brasil, e em verões em geral, esse diferencial de temperatura é comumente dado quando a temperatura do ar externo, mais alta que a do ar interno, irá elevar a temperatura da superfície externa do elemento (seja ele cobertura, esquadrias ou parede) e estimular a troca de calor entre as duas que será dada no interior do material. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

É necessário ressaltar, no entanto que esses fenômenos são complexos de prever e quantificar, justamente devido à natureza dinâmica dos processos.

Dentre as principais propriedades térmicas que definem as características e comportamento do material estão a condutividade, o calor específico e a absorvância solar.

## **Condutividade**

A condutividade térmica é a capacidade de um material de conduzir maior ou menor quantidade de calor através de uma unidade área por uma unidade de tempo. A NBR 15220-1 Desempenho térmico de edificações, Parte 1: Definições, símbolos e unidades, define:

CONDUTIVIDADE TÉRMICA: Propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m<sup>2</sup>, quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin [ou grau célsius] por metro. Quando existe transferência de calor por condução, convecção e radiação em materiais porosos recomenda-se usar o termo 'condutividade térmica aparente'. (ABNT, 2005)

FROTA e SCHIFFER (2001), listam que a condutividade depende dos três seguintes fatores:

- **Densidade**

Quanto maior a densidade do material, maior sua condutividade. Uma vez que, como a matéria é mais condutora que o ar contido em seus poros, quanto menos denso, menor a condutividade;

- **Natureza química**

Os materiais amorfos, como os cerâmicos, polímeros e metais, são geralmente menos condutores que os cristalinos;

- **Umidade**

Como a água é mais condutora que o ar, um material que absorve água terá sua condutividade alterada pelo seu teor de umidade.

De uma forma geral pode-se então afirmar que tanto a composição granulométrica do material, quanto o tipo de compactação empregada no seu manuseio, seu grau de umidade e presença de aditivos, são responsáveis pelos valores de condutividade térmica que caracterizam esta propriedade térmica do material.

No que concerne ao comportamento térmico de uma construção, para casos de climas em que o isolamento é necessário, como o clima temperado de Portugal, a eficiência do material empregado será tanto maior quanto menor for seu coeficiente de condutividade térmica, pois maior será sua resistência térmica e menor será seu coeficiente de transmissão térmica o que proporcionará uma menor perda de energia ou um maior isolamento das temperaturas externas (TORGAL et al, 2009). Em climas quentes e úmidos, o aumento da ventilação é mais relevante que o isolamento da construção.

Como a condutividade térmica é função direta da densidade do material, ela irá variar de acordo com a quantidade de ar contido no mesmo. REVUELTA-ACOSTA et al, (2010) afirma que "a capacidade de isolamento do tijolo aumenta com o aumento da porosidade da argila do corpo". Materiais classificados como isolantes, como lã de vidro, cortiça e isopor, ou aqueles que são compostos por diversas camadas de materiais com propriedades distintas possuem baixa condutividade térmica. Câmaras e camadas de ar também são muito eficientes em reduzir o fluxo de calor de uma superfície.

Segundo Ferraz Junior, (1995) o ar possui valores de condutividade muito baixos, da ordem de 0,026 W/mK, portanto, solos mais compactados e solos cujos vazios intergranulares forem preenchidos por estabilizantes ou matérias muito finas terão maiores valores de coeficiente de condutividade térmica. Por essa lógica, elementos construtivos feitos com os mesmos materiais e proporções apresentariam condutividades diferentes apenas pelo tipo de compactação feita, uma parede de taipa por exemplo apresentaria valores de coeficiente de condutividade maiores que o do adobe por ter menos vazios entres seus grãos.

TORGAL et al (2009) mostram algumas pesquisas que acrescentam matéria mais fina ao adobe para o fechamento dos poros, alteração da condutividade térmica e da absorção de água do bloco de adobe num processo de estabilização mecânica ou química do solo que objetiva melhorar o comportamento mecânico ou físico do material. Achenza e Fenu (2006, apud TORGAL et at, 2009) notaram a redução da porosidade de blocos de adobe por meio da adição de polímeros naturais como a borracha e a celulose, e Millogo et al. (2008, apud TORGAL et at, 2009) concluíram que a utilização de 10% de cal em solos argilosos para a

fabricação de adobe reduz consideravelmente a absorção de água e aumenta a resistência a compressão dos blocos, mas não deixa claro quais são os efeitos dessa dosagem no desempenho térmico do adobe.

Para apresentar a relação entre condutividade e densidade foram compilados na Tabela 2 diferentes valores encontrados na literatura. A partir desses dados, o gráfico da Figura 11 demonstra que, de modo geral, o aumento da densidade implica no aumento da condutividade:

**Tabela 2 - Valores de condutividade e densidade, comparativo de resultado de diversos autores**

<b>Modelo</b>	<b>Fonte</b>	<b>Condutividade (W/mK)</b>	<b>Densidade (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Alvenaria de adobe	DIN V 4108-4:1998-10*	1,20	2000
Alvenaria de adobe com aditivos (solo arenoso + 10% de cimento + 4% de silicato de sódio)	FERREIRA, 2003	0,49	1868
Alvenaria de adobe	Simões (2009, Apud FRANCISCO, 2009)	1,05	1800
Alvenaria de adobe	DIN V 4108-4:1998-10*	0,95	1800
Alvenaria de adobe	BAHADORI e HAGHIGHAT, 1986	0,67	1700
Alvenaria de adobe	DIN V 4108-4:1998-10*	0,80	1600
Alvenaria de adobe - Terra de Devon	GOODHEW e GRIFFITHS (2000, apud GOODHEW e GRIFFITHS, 2004)	0,45	1450
Alvenaria de adobe	DIN V 4108-4:1998-10*	0,60	1400
Terra para adobe com palha	BINICI, 2007	0,21	1253
Alvenaria de adobe	DIN V 4108-4:1998-10*	0,50	1200
Alvenaria de adobe	BAHADORI e HAGHIGHAT, 1986	0,25	1000
Bloco de terra leve	DIN V 4108-4:1998-10*	0,40	1000
Alvenaria de adobe com e fragmentos mineiras	GOODHEW e GRIFFITHS (2000, apud GOODHEW e GRIFFITHS, 2004)	0,24	800
Bloco de terra leve	DIN V 4108-4:1998-10*	0,30	800
Terra para adobe com palha	GOODHEW e GRIFFITHS, 2004	0,18	440
<b>Bloco cerâmico</b>	<b>NBR 15220, 2005</b>	<b>0,90</b>	<b>1600</b>
<b>Bloco de concreto</b>	<b>NBR 15220, 2005</b>	<b>1,75</b>	<b>2400</b>

Fonte: Produzido pela autora com base nas fontes especificadas na tabela

Como consta na Tabela 2, o maior valor de densidade encontrado para o adobe foi o da Norma Alemã (DIN V 4108-4:1998-10)<sup>3</sup> citado por MINKE, 2006, de 2000kg/m<sup>3</sup>, a condutividade deste material foi de 1,20W/mK, que é também o maior valor apresentados na tabela. O menor valor para o material sem aditivos foi de 800 kg/m<sup>3</sup> e sua condutividade equivalente é de 0,3W/mK, que se enquadra entre os menores valores encontrados.

Quanto aos adobes com aditivos (marcados de cinza na tabela), a adição de cimento e silicato de sódio tornou o adobe relativamente mais denso, 1868 kg/m<sup>3</sup>, contudo sua condutividade não equivaliu as adobes com as mesmas densidades apresentados na tabela. A tese de Ferreira (2003), *Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e minipainéis de terra crua tratada com aditivos químicos*, também apresenta outras proporções de desses aditivos. Para o adobe com adição de palha, foram encontrados dois valores bem distintos: 1253kg/m<sup>3</sup> (e condutividade de 0,21W/mK) e 440 kg/m<sup>3</sup> (e condutividade de 0,18W/mK), sendo o último um valor de densidade significativamente menor que os demais encontrados.

Para efeito de comparação também foram colocados os valores do bloco cerâmico e do bloco de concreto estrutural definidos pela norma brasileira, NBR 15220, 2005.

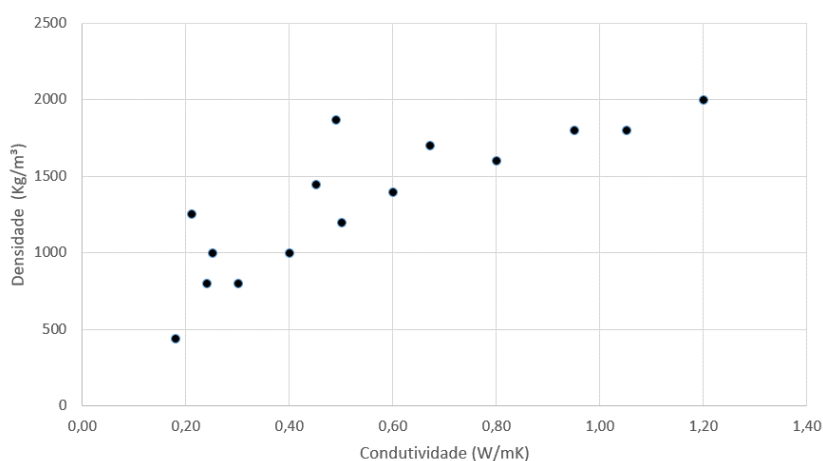


Figura 11 - Gráfico comparativo de valores de condutividade e densidade de diversos tipos de adobe  
Fonte: Produzido pela autora com base nos dados e autores especificados na Tabela 2 (com exceção dos valores referentes aos blocos cerâmico e de concreto, que não entraram neste gráfico)

<sup>3</sup> \*Norma alemã, em tradução livre: DIN V 4108-4 - Isolamento térmico e conservação de energia em edifícios - Parte 4: Valores característicos relativos ao isolamento térmico e proteção contra umidade (Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte), 1998-2000, do Instituto Normativo Alemão (DIN, Deutsches Institut für Normung).

## Umidade

A relação entre a densidade do material e seu grau de umidade pode ser graficamente percebida na Figura 12, do livro *Building Materials in developing countries*, SPENSE e COOK (1983 apud CARVALHO, 2011), em que foram comparadas as densidades secas e úmidas de diferentes solos:

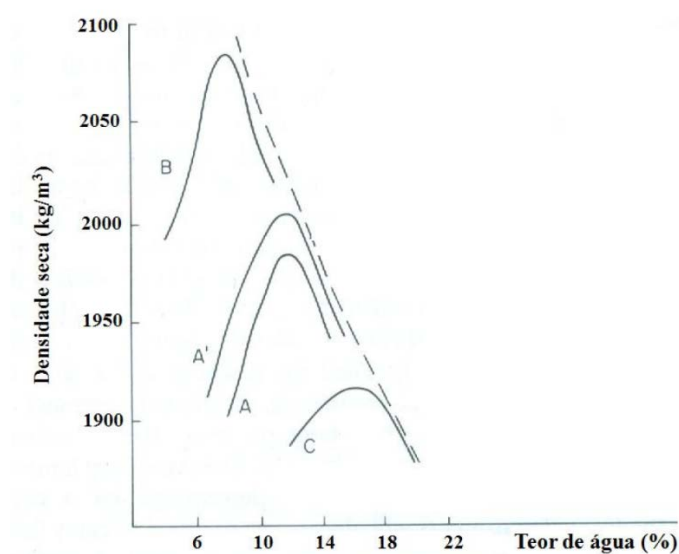


Figura 12 - Gráfico da relação entre densidade seca e o teor de umidade de diferentes tipos de solo  
Sendo:

- Curva A - solos sem compactação
- Curva A' - solos compactados
- Curva B - solos arenosos
- Curva C - solos muito argilosos

Fonte: SPENSE e COOK (1983 apud CARVALHO, 2011)

Como apresentando na pesquisa *Análise do efeito da estabilização mecânica e física em matrizes de terra*, de Analice de Carvalho, (CARVALHO, 2011), pela Figura 12 pode-se perceber que que em solos mais argilosos (curva C), é possível encontrar os menores valores de densidade para solos secos ao mesmo tempo em que se observam os maiores valores de umidade. Já as maiores densidades do solo seco são encontradas nos solos arenosos (curva B), que também apresentam as menores umidades. Por fim, um mesmo tipo de solo (curva A) quando compactado (estabilização mecânica, que eleva a densidade

e resistência do solo — curva A') apresentará uma maior densidade seca, mas manter a o valor da umidade.

Outro autor que apresenta um estudo da influência da umidade em construções de terra e a relação entre a relação entre umidade do material e sua densidade é Minke, (2006), ao estabelecer as curvas de absorção de umidade em paredes internas com 11,5 centímetros de espessura e sem revestimentos durante 16 dias, sendo todas as paredes expostas a temperaturas de 21°C após o aumento abrupto da umidade de 50% para 80%.

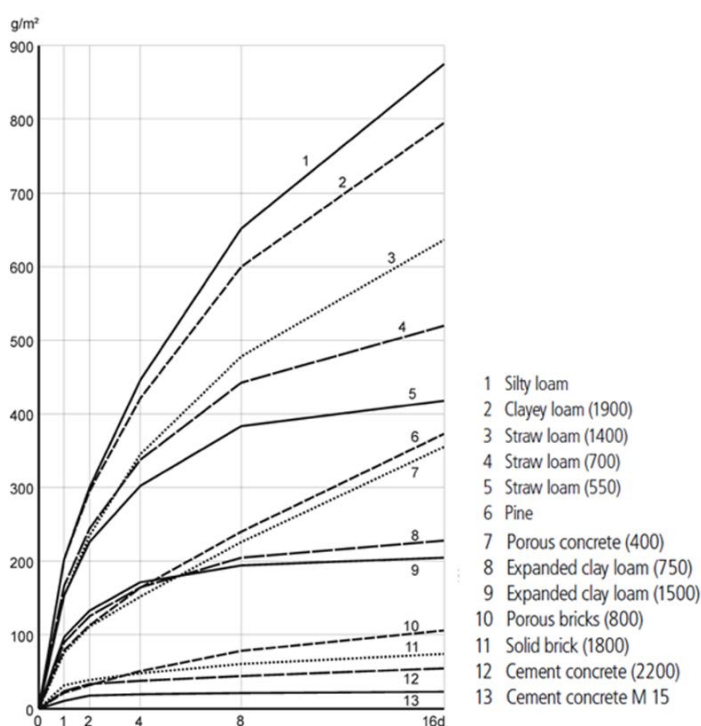


Figura 13 - Curvas de absorção de paredes de distintos materiais após aumento da umidade do ar  
FONE: MINKE, 2006

Pelos resultados da Figura 13, MINKE, 2006 concluí que os blocos de terra crua absorvem 50 vezes mais umidade do que os tijolos compactos cozidos. De acordo com TORRALBA et al, 2009, diversos autores associam a capacidade de absorção do adobe com sua porosidade, sendo a distribuição e tamanho dos poros do material que determinam seu grau de absorção.

PARRA-SALDIVAR e BATTY, 2006 ao avaliaram o comportamento térmico do adobe, notaram a dependência do desempenho do material com seu teor de umidade, associados

com os ciclos de molhagem e secagem. Uma vez que, como foi visto a porosidade do material faz com que ele absorva não só a umidade de chuvas como parte da umidade do ar, que é movimentada por capilaridade no corpo do material.

O modo e tempo durante o qual o processo de [molhagem e] secagem ocorre determina os comportamentos de transferência de calor de um elemento construtivo de adobe. [...] quando o material começa a secar, a água é evaporada na superfície e assim ocorre a perda de calor na forma de calor latente, que por sua vez faz com que a temperatura da superfície caia. A temperatura mais baixa na superfície em relação às camadas mais profundas dos materiais impulsiona o fluxo de calor do interior para a superfície. (PARRA-SALDIVAR e BATTY, 2006)

BAHADORI e HAGHIGHAT, no artigo *Thermal performance of adobe structures with domed roofs and moist internal surfaces*, de 1986, avaliaram a temperatura média radiante em ambientes de adobe e tijolo cerâmico no verão do Irã, uma região quente e seca. Foi estudado principalmente o efeito de diferentes intensidades de ventilação e o efeito de se manter as paredes internas úmidas. Eles concluíram que, tomados devidos cuidados para manter boas taxas de ventilação, as temperaturas das superfícies internas podem ser reduzidas sensivelmente quando estas superfícies são mantidas úmidas, sendo que qualquer outro material cuja superfície pode ser mantida uniformemente úmida e resfriada pode produzir os mesmos resultados.

À porosidade superficial e a umidade do material se relaciona a Higroscopicidade, que segundo TORRAL et al, 2009, é uma propriedade que associa a capacidade dos materiais de absorver e restituir a umidade ao ambiente. "Um material diz-se higroscópico, se o seu teor de umidade variar em função da umidade relativa do ambiente." (TORRAL et al, 2009). E assim como o calor, a umidade dentro do material se move das regiões mais úmidas para as menos úmidas (DA PONTE, 2012).

Tal propriedade, assim como para a condutividade térmica, pode ser alterada com a inserção de aditivos de fina granulometria aos materiais. E no caso da terra o acréscimo de cimento por exemplo, fecha parte dos poros e reduz a higroscopicidade do material.

## 2.5 Dados para a análise

### 2.5.1 Normas brasileiras vigentes

Atualmente podemos separar quatro instrumentos normativos em vigor no Brasil:

- **NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005)**

NBR que apresenta diretrizes e recomendações relacionadas ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, que podem ser implementadas na fase de projeto. Além de definições e métodos ela aponta diretrizes construtivas e o detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo. É referenciada pelas demais normas, principalmente no que tange ao zoneamento bioclimático do território brasileiro, tabelas de valores e métodos de cálculos e medições, é dividida em 5 partes:

- **NBR 15220 - 1:** Definições, símbolos e unidades;
  - **NBR 15220 - 2:** Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
  - **NBR 15220 - 3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
  - **NBR 15220 - 4:** Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
  - **NBR 15220 - 5:** Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.
- **NBR15.575 (2013) – Edifícios habitacionais – Desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**

Mais recente, a NBR 15575 estabelece exigências de conforto, segurança e desempenho mínimo para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos ao longo de sua vida útil, e explora conceitos que vão além da NBR 15220, é dividida em 6 partes:

- **NBR 15575-1:** Requisitos gerais;
- **NBR 15575-2:** Requisitos para os sistemas estruturais;
- **NBR 15575-3:** Requisitos para os sistemas de pisos internos;
- **NBR 15575-4:** Sistemas de vedação verticais externas e internas;
- **NBR 15575-5:** Requisitos para sistemas de coberturas e
- **NBR 15575-6:** Sistemas hidrossanitários.

A NBR aponta três métodos de avaliação de desempenho térmico da edificação:

**Simplificado (Normativo):** que consiste na verificação da transmitância térmica (U) e da capacidade térmica (CT) dos materiais que compõem a envoltória, de acordo com a zona bioclimática em que se encontra a edificação. Os métodos de adotados são os detalhados na NBR 15220-2, e o zoneamento é estabelecido pela NBR 15220-3. De acordo com a norma, os sistemas construtivos que atenderem aos critérios pelo método simplificado apresentaram um nível de desempenho *mínimo* (M).

**Detalhado, ou Simulação:** Para a classificação do desempenho térmico como intermediário (I), ou superior (S), ou para casos em que os resultados do método simplificado forem insatisfatórios, deve-se adotar o método detalhado. Esse método requisita a simulação de vários ambientes da edificação habitacional, segundo critérios nela especificados.

**Medição:** Por fim, a NBR também estabelece o método de verificação do atendimento aos requisitos por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

A Figura 14 apresenta um esquema com os métodos de avaliação da NBR 15575

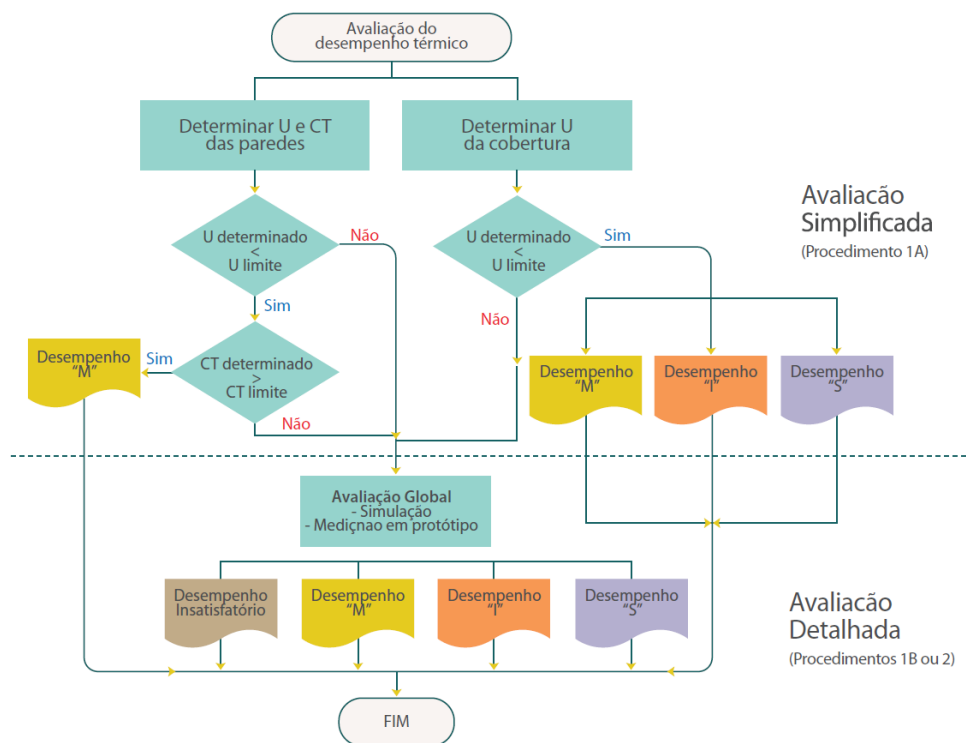


Figura 14 – Fluxograma dos métodos de avaliação da NBR 15575

Fonte: IPT, 2013 apud TEXTO 55

É importante notar que os critérios de avaliação adotados pela NBR 15220, diferem, inclusive nos valores referentes à transmitância térmica, dos exigidos pela NBR 15575, este trabalho, portanto, apresentará os requisitos de cada uma delas separadamente.

- **Selo Casa Azul (2010)**

É o sistema de classificação socioambiental de projetos habitacionais sustentáveis aplicável para financiamentos da Caixa Econômica Federal. Sendo divulgado pelo banco como uma forma de reconhecimento dos projetos que adotam soluções eficientes na construção, uso, ocupação e manutenção dos edifícios. O selo envolve 53 critérios de avaliação, que estão divididos em 6 categorias, dentre as quais estão Projeto e Conforto, e Eficiência Energética. O recebimento do selo é alcançado com a obediência de pelo menos 19 critérios obrigatórios e de acordo com o atendimento dos itens opcionais, pode-se receber selos dos níveis bronze, prata ou ouro

- **RTQ-R (2010) Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de edificações Residenciais**

Tem por objetivo gerar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações unifamiliares e multifamiliares e estabelecer requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação quanto à eficiência energética, visa a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro.

Seu sistema de avaliação envolve a atribuição de pontos correspondentes à cada um dos atributos pré-estabelecidos e uma pontuação final em escala determinando o nível de eficiência obtido.

A Tabela 3 apresenta uma síntese das diretrizes construtivas para paredes opacas para cada zona bioclimáticas em cada uma das normas indicadas.

**Tabela 3 - Diretrizes construtivas para paredes externas de acordo com as Zonas Bioclimáticas do Brasil recomendadas pelas normas vigentes no país**

Zona Bioclimática	Tipo de Parede	NBR 15220-3			NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul		
		Transmitância Térmica (U= W/m <sup>2</sup> K)	Fator solar (FS <sub>o</sub> =%)	Atraso térmico (φ=h)	Transmitância Térmica (U= W/m <sup>2</sup> K)		Capacitância Térmica (CT= KJ/m <sup>2</sup> K)
					α≤0,6	α>0,6	
Z1	Leve	≤3,0	≤5,0	≤4,3	≤2,5		CT≥130
Z2	Leve	≤3,0	≤5,0	≤4,3	≤2,5		CT≥130
Z3	Leve Refletora	≤3,6	≤4,0	≤4,3	≤3,7	≤2,5	CT≥130
Z4	Pesada	≤2,2	≤3,5	≥6,5	≤3,7	≤2,5	CT≥130
Z5	Leve Refletora	≤3,6	≤4,0	≤4,3	≤3,7	≤2,5	CT≥130
Z6	Pesada	≤2,2	≤3,5	≥6,5	≤3,7	≤2,5	CT≥130
Z7	Pesada	≤2,2	≤3,5	≥6,5	≤3,7	≤2,5	CT≥130
Z8	Leve Refletora	≤3,6	≤4,0	≤4,3	≤3,7	≤2,5	N

α - é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede, depende da cor do revestimento externo, quanto mais escuro, maior a absorvância

FS<sub>o</sub> - Fator Solar, é o quociente da taxa de radiação transmitida pela taxa de radiação incidente na superfície. Depende proporcionalmente da absorvância e da transmitância térmica da parede (ou seja quanto maior U e/ou α, maior o fator solar)

Fonte: Organizado a partir de: ORUI, 2015, JOAQUIM, 2015, NBR 15220-2005 e NBR 15575-2013

Além das diretrizes a NBR 15220 também apresenta estratégias complementares de condicionamento térmico passivo adequadas para cada zona no verão e no inverno. Como

algumas dessas estratégias podem influenciar na tomada de decisões quanto ao desenho das paredes, e por sua vez na possível implementação do adobe, elas foram listadas na Tabela 4. Ressalta-se, no entanto, que essas diretrizes podem variar de local para local, mesmo estando na mesma zona bioclimática e foram apresentadas apenas com o objetivo salientar que o adobe também pode ser adequado, ou não, para o atendimento de estratégias construtivas complementares.

**Tabela 4 - Estratégias de condicionamento térmico referentes à fechamentos opacos para cada Zona Bioclimática do Brasil**

Zona Bioclimática	<b>NBR 15220-3 Estratégias de condicionamento térmico</b>		
	<b>1 - Aquecimento solar passivo</b>	<b>2 - Vedações internas pesadas</b>	<b>3 - Massa térmica para resfriamento</b>
	<b>Inverno</b>	<b>Inverno</b>	<b>Verão</b>
Z1	S	S	-
Z2	S	S	-
Z3	S	S	-
Z4	S	S	S
Z5	-	S	-
Z6	-	S	S
Z7	-	-	S
Z8	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora a partir da NBR 15220-2005

Sendo que:

- **1 - Aquecimento solar passivo:**

Segundo a norma, nessas situações, a adoção de paredes pesadas onde há incidência solar direta, pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido no inverno.

- **2 - Vedações internas pesadas:**

Pela norma, a adoção de paredes internas pesadas no inverno pode ajudar a manter o interior da edificação aquecido.

- **3- Massa térmica para resfriamento:**

De acordo com a norma, nesses casos a adoção de paredes internas ou externas com maior massa térmica podem contribuir para a manutenção de temperaturas internas mais agradáveis no verão, uma vez que o calor armazenado em seu interior durante o dia será devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas já são mais amenas.

### 2.5.2 Formas de cálculo

A Equação 1 mostra a fórmula de cálculo apresentada na NBR 15220 para a obtenção da capacidade térmica de um componente. Por ela é possível perceber que a capacidade térmica de uma parede é relativamente proporcional a espessura da parede e ao calor específico e densidade do material.

$$CT = \rho \times c \times e = \frac{Kj}{m^2K}$$

Sendo:

$\rho$  = Densidade de massa aparente (kg/m<sup>3</sup>)

$c$  = Calor específico (kJ/kgK)

$e$  = Espessura da parede (m)

Equação 1 - Fórmula da Capacidade Térmica  
Fonte: NBR 15220

As Equações 1 e 2 mostram a forma de cálculo da transmitância térmica de uma parede segundo a NBR 15 220<sup>4</sup>. Como pode ser visto a transmitância ou coeficiente global de transferência de calor da parede é o inverso da soma das resistências térmicas da componente com suas resistências superficiais. Como a resistência térmica é a divisão da espessura de cada camada da parede pela condutividade do material, podemos dizer que a transmitância térmica é diretamente proporcional a condutividade térmica da parede e

---

<sup>4</sup> Para o cálculo de R<sub>si</sub> e R<sub>se</sub> que irão depender da direção dos ventos, consultar a NBR 15220 - *Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica da capacidade térmica do atraso térmico e do fator Solar de componentes de edificações*. Lembrando que os métodos de cálculo podem variar entre as normas e foram aqui apresentados para melhor compreensão das grandezas e unidades envolvidas.

inversamente proporcional à sua espessura. Ou seja, quanto maior a condutividade térmica maior a transmitância térmica da parede e quanto maior a espessura da parede menor será sua transmitância térmica.

$$U = \frac{1}{R_{Si} + R + R_{Se}} = \frac{W}{m^2K}$$

Sendo:

$R_{Si}$  = Resistência da Superfície interna ( $m^2K/W$ )

$R$  = Resistência térmica da parede ( $m^2K/W$ )

$R_e$  = Resistência da Superfície externa ( $m^2K/W$ )

Equação 2 - Fórmulas de Transmitância Térmica  
Fonte: NBR 15220

$$R = \frac{e}{\lambda} = \frac{m^2K}{W}$$

Sendo:

$e$  = Espessura da parede (m)

$\lambda$  = Condutividade térmica ( $W/mK$ )

Equação 3 – Fórmula de Resistência Térmica  
Fonte: NBR 15220

### 2.5.3 Zonas bioclimáticas

Como o Brasil é um país de grande extensão tanto latitudinal quanto longitudinal, em seu território diversas características climáticas podem ser encontradas e cada uma delas exige um tipo de desempenho térmico de seus materiais construtivos. A sistematização e classificação climática do país utilizada nas normas brasileiras é o Zoneamento bioclimático detalhado na *NBR 15220-3, Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT-2005)*.

A NBR 15.220 divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas baseadas na Carta Bioclimática que por sua vez enquadra o lugar estudado em zonas de conforto relacionadas à dados climáticos do local como temperaturas médias, umidade e nível pluviométrico. A Figura 15 apresenta o mapa da posição das zonas no território Brasileiro. É importante ressaltar que esse é um mapa síntese, o que resulta na uniformização de dados que poderiam divergir em análises mais minuciosas como a apresentada NBR 15220-3.

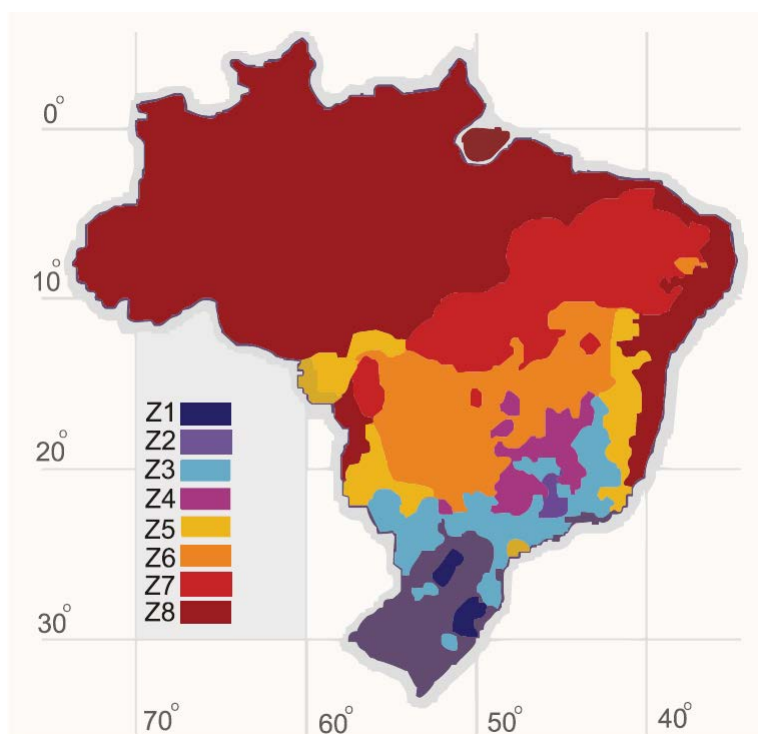


Figura 15 - Mapa do Zoneamento bioclimático do Brasil  
Fonte: NBR 15220-3

## 2.6 Comportamento térmico do adobe

Como foi visto, para se avaliar o comportamento térmico de uma parede de adobe é necessário considerar não só as características do material e da tipologia construtiva, como também os dados climáticos da região em que se encontra a construção, a orientação e incidência solar das fachadas e, em casos de estudo de pós-ocupação, as formas de uso pelos habitantes.

### 2.6.1 Comportamento térmico dos materiais

Diferente da condutividade térmica do adobe que gera certa divergência na sua própria definição, a inércia térmica desse material é sempre estabelecida como fator de destaque no comportamento térmico em construções de adobe.

Do fluxo de calor que ocorre dentro do material que envolve a construção (proveniente da temperatura superficial de maior temperatura, para a superfície de menor temperatura), devido à sua inércia, parte desse calor é retido no interior do elemento. Sendo que maior a inércia térmica, maior será a quantidade de calor e retida e maior o tempo de tempo para se devolver esse calor. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

FROTA e SCHIFFER, 2001 estabelecem dois aspectos principais associados à inércia no comportamento térmico de um edifício, o amortecimento térmico e o atraso térmico da onda de calor. A NBR 15220-1 Desempenho térmico de edificações, Parte 1: Definições, símbolos e unidades, define:

ATRASO TÉRMICO: Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas.). NBR 15220-1, 2005

A inércia térmica depende não só das propriedades inerentes ao material como tem grande relação com a espessura utilizada. Devido às propriedades mecânicas e construtivas, paredes de adobe tendem a ser muito espessas se comparadas à materiais de construção para fechamentos mais comuns ou modernos, como o tijolo furado, a madeira e o bloco cimentício.

FERRAZ JUNIOR, no texto *Considerações sobre conforto térmico em edificações de terra crua*, de 1995, mostra que para climas subtropicais, que são quentes durante o dia e frios durante a noite, paredes de inércia média são ideias, principalmente quando expostas ao sol no inverno e protegidas da insolação no verão.

Para climas quentes e úmidos, com pouca variação térmica, FERRAZ JUNIOR, 1995 indica paredes com menor inercia, ou seja, paredes leves, protegidas do sol. Por fim, para regiões climática com uma maior variação de temperatura, e no geral quente e secos, o autor indica

paredes de maior inércia, e coloca o adobe como uma boa solução, pois a maior massa para amortecer e retardar o calor ganho durante o dia, e liberar somente à noite, quando as temperaturas são altas.

### 2.6.2 Comportamento térmico para as zonas bioclimáticas brasileiras

Quanto ao comportamento térmico da alvenaria de terra crua para a realidade climática específica brasileira foram encontrados apenas três<sup>5</sup> trabalhos que se apoiaram em cálculos ou simulações para avaliar o desempenho paredes de adobe:

- **Para a cidade de São Paulo – SP (Zona bioclimática 3):**

OURI, 2015<sup>6</sup> - Dissertação em Habitação: planejamento e tecnologia: *Desempenho térmico de habitações construídas com terra*, defendida por Samantha Orui, em 2015, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Que avalia três tipologias construtivas residenciais de terra, o adobe, a taipa de pilão e o bloco de terra comprimida – BTC, tanto pelo ‘Método simplificado’ ou seja a verificação da transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) dos materiais segundo a NBR 15220 (2005); quanto pelo ‘Método detalhado’ que envolve simulação e é especificado pela NBR 15575 (2013).

É o trabalho mais completo dos trabalhos encontrados, que segue as metodologias das normas indicadas, e faz a divulgação de distintos testes produzidos.

---

<sup>5</sup> FERREIRA, 2003, avaliou o desempenho físico-mecânico e as propriedades termo-físicas de blocos e painéis de terra crua tratados com aditivos químicos, por meio de corpos de prova enviados para ensaios termo-físicos no Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo. Contudo, apesar ser um dos poucos trabalhos brasileiros específicos sobre o assunto, o texto não apresenta nenhuma forma de análise de comportamento térmico desses blocos. Já as informações referentes a propriedades térmicas, transmitância e capacidade térmica por ele ensaiadas, foram incluídas nas tabelas de análise prescritiva (referência 19, material b1)

<sup>6</sup> Nesta lista também poderia entrar a dissertação *“Parâmetros de projetos para edificações bioclimáticas utilizando adobes na região de Araxá - Avaliação da inércia térmica em paredes de adobes de tijolo maciço, defendida por Maria Auxiliadora Afonso Alvarenga, em 1990, na Universidade Federal do Rio de Janeiro”*, porém, não foi possível encontrar cópia integral do texto. OURI, 2015, por sua vez, teve acesso à cópia física da dissertação e a referencia em seu trabalho como *“fonte de propriedades da terra crua que apoiam seus dados em resultados obtidos ou por simulação computacional ou por ensaios de laboratório”*.

- **Para a cidade de Ribeirão Preto – SP (Zona bioclimática 4):**

FRANCISCO, 2009 – Dissertação em Arquitetura e Urbanismo: *Recomendações de conforto térmico para projeto arquitetônico e implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais. Caso: Assentamento rural Sapé Tiaraju, Serra Azul, São Paulo*. Defendida por Maíra do Lago Francisco, em 2009 na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Avalia uma tipologia de adobe utilizada em assentamento de habitação social. Embora tenha sido utilizada apenas como alternativa construtiva, uma vez que para o estudo foram propostas 72 construções com bloco cerâmico estrutural, 1 de adobe e 1 de solo-cimento, na comparação o desempenho do adobe teve destaque. Apesar de ter uma boa síntese de resultados, este trabalho não segue todos os critérios especificados nas Normas construtivas.

- **Para a cidade de Cuiabá – MT (Zona bioclimática 7):**

ESTULANO, 2004<sup>7</sup> – Dissertação em Física e Meio Ambiente: *Comportamento térmico de diferentes materiais utilizados nos painéis de fechamento vertical nas edificações da cidade de Cuiabá/MT - avaliação pós-ocupação*, defendido por Gleibia Arantes Estulano, em 2004, na Universidade Federal de Mato Grosso.

Faz medições in loco de temperatura interna de três tipologias de paredes comuns na cidade Mato-Grossense de Cuiabá, adobe, do tijolo cerâmico maciço e do tijolo cerâmico de oito furos. Apesar de o trabalho apresentar resultados que estão de acordo com as demais pesquisas vistas e do trabalho referenciar as normas de conforto brasileiras, é importante ressaltar que talvez pela linha de pesquisa não ser da construção civil, o trabalho não caracteriza claramente os objetos de estudo, não fornecendo informações detalhadas sobre as tipologias medidas.

---

<sup>7</sup> Além da dissertação, foi usado o artigo *Comportamento térmico de diferentes materiais utilizados nos painéis de fechamento vertical: Análise pós-ocupação*, do mesmo ano e autor, que apresenta algumas informações complementares da mesma pesquisa.

Como se pode observar, dentre os textos, nem todos são da área de conhecimento da construção civil, o que na prática resulta em análises de comportamento e desempenho térmico que usam metodologias diferentes e nem sempre se baseiam nas normas técnicas brasileiras.

O único trabalho específico da arquitetura que faz uma análise completa do comportamento térmico de uma tipologia de adobe, incluindo as diversas metodologias das normas brasileiras, como parâmetros de grau-hora e simulação de temperaturas internas e externas, foi a dissertação de OURI, 2015. No texto, a autora apresenta uma mesma tipologia construtiva que tem seu comportamento térmico simulado para diferentes tipos de adobe com diferentes espessuras para construções residenciais na zona bioclimático 3. As propriedades destes materiais foram incluídas nas tabelas anteriores de análise prescritiva (a1, a2, a9, a7, a12 e o adobe com adição de fibras b2).

As Tabela 5 e Tabela 6 unificam e comparam os dados obtidos por OURI, 201, no que se refere a análise de comportamento térmico de uma mesma tipologia de parede de adobe com diversos materiais e espessuras em um dia típico de verão e um dia típico de inverno, considerando-se sempre as mesmas condições de temperatura externa e orientação solar, sem sombreamento nas fachadas e com taxa de renovação de ar de 1ren/h. Está destacada em cinza aquela tipologia que teve o melhor desempenho.

**Tabela 5 - Análise de comportamento térmico no verão de uma mesma tipologia de adobe com diversos materiais e espessuras**

Dia típico de Verão					
Espessura da parede	mat	T <sub>imáx</sub>	T <sub>emáx</sub>	T <sub>imáx</sub> -T <sub>emáx</sub>	Nível de Desempenho
15cm	a9	30,4°C	31,9°C	-1,5	Mínimo
	a7	30,5°C		-1,4	Mínimo
	b2	30,8°C		-1,1	Mínimo
20cm	a12	30,2°C		-1,7	Mínimo
	a2	30,7°C		-1,2	Mínimo
30cm	a1	29°C		-2,9	Mínimo

Fonte: Elaborado a partir de informações de ORUI, 2015

**Tabela 6 - Análise de comportamento térmico no inverno de uma mesma tipologia de adobe com diversos materiais e espessuras**

Dia típico de Inverno					
Espessura da parede	mat	T <sub>imin</sub>	T <sub>emin</sub>	T <sub>imin</sub> -T <sub>emin</sub>	Nível de Desempenho
15cm	a9	12,2°C	6,3°C	5,9	Intermediário
	a7	12,2°C		5,9	Intermediário
	b2	11,9°C		5,6	Intermediário
20cm	a12	12,6°C		6,3	Intermediário
	a2	12°C		5,7	Intermediário
30cm	a1	13,2°C		6,9	Superior

Fonte: Elaborado a partir de informações de ORUI, 2015

Pelas Tabela 5 e Tabela 6 pode-se perceber que a tipologia construída com o material a1 (com condutividade térmica de 1,1W/mK, densidade de 2000kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 1,476kJ/Kgk, dentre os maiores valores encontrados na pesquisa) foi a que teve melhor desempenho térmico tanto para verão, atingindo a menor temperatura máxima interna, quanto para inverno e alcançando a maior temperatura mínima interna. O que pode gerar à conclusão de que a espessura da parede pode ser mais significativa no resultado do bom comportamento térmico de uma parede de adobe do que necessariamente a composição do material. É importante notar que na Tabela 11 de análise prescritiva, nenhuma das tipologias construídas com este material, nem em paredes com a espessura de 0,15m nem de 0,30m, atendeu-se ao valor máximo de transmitância térmica para paredes externas pesadas pedido nas zonas bioclimáticas 4, 6 e 7 para a NBR 15220. As análises de estabilidade térmica e grau-hora feitas por OURI, apresentaram resultados semelhantes, bem como as avaliações para diferentes taxas de ventilação.

Parte do estudo da tipologia de adobe feita por FRANCISCO, 2009, pode ser vista nas tabelas anteriores de análise prescritiva (número de referência 5, material a3). Contudo a autora não considerou os valores de calor específico e capacidade térmica.

Para a avaliação de conforto térmico do adobe e comparação com o bloco cerâmico, a autora calculou o valor de fator de inércia, os ganhos de calor para todas as fachadas e avaliou as diferenças de valores de temperatura interna e externa utilizando o nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas em trabalho leve.

A Tabela 7 apresenta a síntese comparativa das duas tipologias estudadas pela autora. Foram consideradas construções com características iguais na forma, cobertura e espessura das paredes. A única diferença foi o material utilizado nas paredes, adobe e bloco cerâmico estrutural e a orientação Solar da construção. A condição utilizada foi para a zona bioclimática 4, num dia típico de solstício de verão, as 15h, dia 22 de dezembro, que tem temperaturas relativamente altas e marca o início da temporada de chuvas.

**Tabela 7 - Comparação do desempenho de paredes de adobe e bloco cerâmico**

	Tipologia de adobe	Tipologia de bloco cerâmico		
Condutividade térmica do material	1,05 W/mK*	0,9 W/mK**	Adequação à dentro da zona de conforto segundo o nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve:	
Densidade do material	1800 Kg/m <sup>3</sup> *	1200 Kg/m <sup>3</sup> **		
Orientação da maior fachada	Noroeste	Sudoeste		
Espessura parede	0,14m			
Transmitância térmica	2,92 W/m <sup>2</sup> K	2,10 W/m <sup>2</sup> K		
Fator de Inércia	0,8 (média)	0,6 (fraca)		
T <sub>máx</sub>	27,2°C	30,7°C		
			Tipologia de adobe	Tipologia de bloco cerâmico
Te (para taxa de ventilação = 0,5m/s)	24,7°C	27,9°C	S	N
Te (para taxa de ventilação = 1,0m/s)	24,0°C	27,2°C	S	N
Te (para taxa de ventilação = 1,5m/s)	23,5°C	26,6°C	S	N

\*Material identificado como a3 nas tabelas de propriedade térmica e análise prescritiva anteriores;

\*\* Embora venha da mesma fonte que o material c2, a NBR15220, e tenha a mesma condutividade, a densidade considerada neste caso é menor.

Fonte: Elaborado a partir de informações de FRANCISCO, 2009

Pela tabela é possível perceber que a tipologia de adobe, diferente da tipologia de bloco cerâmico, esteve dentro da zona de conforto considerada pelo nomograma de temperatura efetiva. Contudo o fato das construções observadas possuírem orientação solar diferentes pode ter influenciado nos resultados.

Com o objetivo de analisar o comportamento térmico dos materiais mais utilizados em painéis de fechamento nas edificações de Cuiabá, cidade de clima quente e úmido, ESTULANO, 2004, comparou o desempenho do adobe, do tijolo cerâmico maciço e do tijolo cerâmico de oito furos, através de medições in loco, em edificações já construídas na cidade com tais materiais.

No entanto, talvez devido a área de pesquisa do trabalho ser da física e meio ambiente, as medições não acompanharam uma caracterização construtiva detalhada dos objetos de estudo, sendo que orientação solar, espessura exata e outras condicionantes que influenciam no comportamento térmico de uma tipologia não foram explicitadas.

As Figura 16 e Figura 17 a seguir, apresentam os gráficos comparativos das medições de temperatura de ambientes internos medidos em cinco dias consecutivos, com condições semelhantes, mas com materiais de fechamento vertical diferentes em dois períodos distintos: outubro de 2003 e janeiro de 2004.

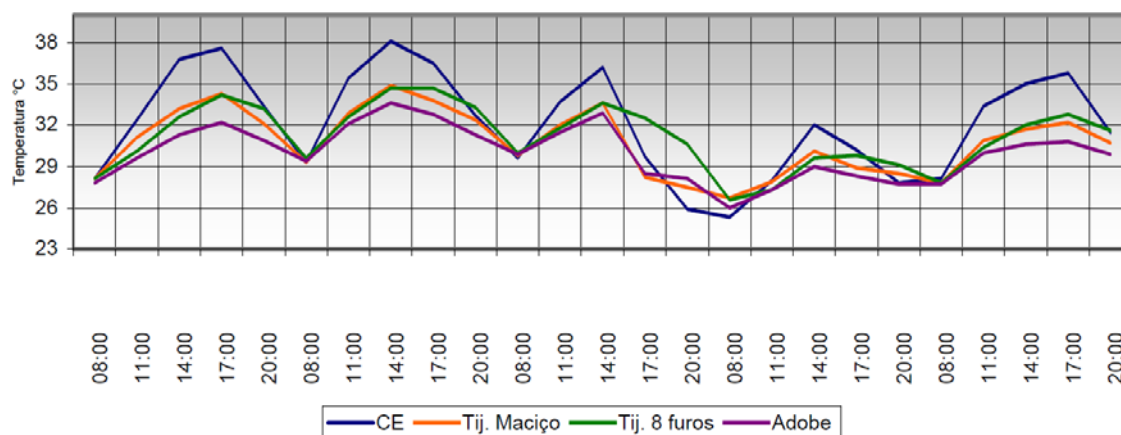


Figura 16 - Comparação da temperatura ambiente de diferentes matérias medidos em outubro de 2003  
Fonte: ESTULANO et al, 2004

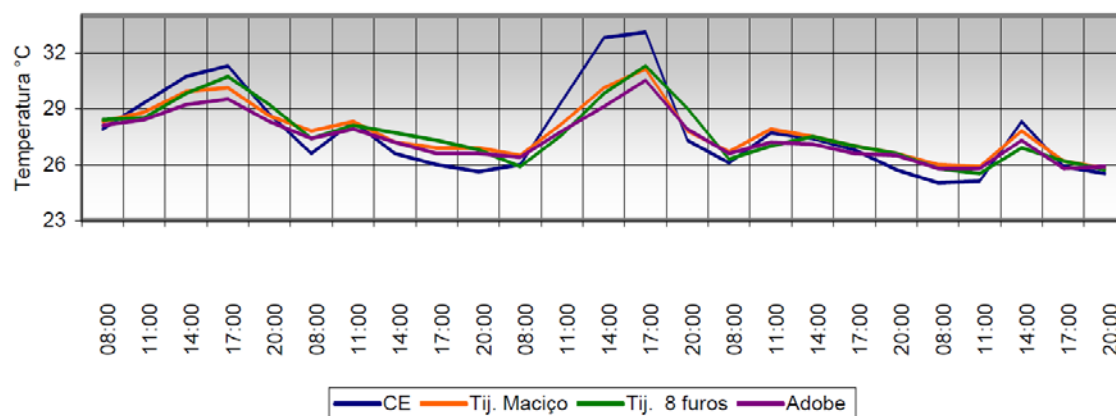


Figura 17 - Comparação da temperatura ambiente de diferentes matérias medidos em janeiro de 2004  
 Fonte: ESTULANO et al, 2004

De um modo geral, pode-se perceber pelo gráfico da Figura 16 que as temperaturas nas construções com todos os materiais observados foram inferiores à temperatura externa (CE) na maior parte do tempo. Sendo que, segundo o autor, a temperatura externa máxima foi de 38,1°C e na construção de adobe a temperatura interna máxima foi de 33,6°C, menor que a do ambiente de tijolos de 8 furos com máxima de 34,7°C e que a do ambiente de tijolos maciços onde a temperatura máxima interna atingiu 36,6°C.

Já no gráfico da Figura 17, mostra que nas medições feitas em janeiro, muitas vezes, as temperaturas internas foram superiores às temperaturas externas, o autor aponta que isso se deu devido à grande precipitação pluviométrica nessa época de verão, e a demora dos materiais em perder o calor que foi acumulado. No período das medições, a temperatura externa máxima foi de 32,8°C, e a máxima interna da construção de adobe foi de 29,1, menor que a do ambiente de tijolos maciços, de 31,9°C, mas maior que a do ambiente de tijolos de 8 furos, que foi de 29,8°C. Nesse verão a temperatura mínima marcada foi de 25°C para o ambiente externo, a temperatura interna mínima para o ambiente de adobe foi de 25,8°C, a mesma medida no ambiente de tijolos de 8 furos e pouco menor que a temperatura interna mínima medida no ambiente de tijolos maciços, 26°C. Conclui-se então, que para o verão medido, o adobe teve um desempenho melhor que a do tijolo maciço furado, mas menor ou igual ao do tijolo cerâmico de oito furos.

Quanto aos trabalhos estrangeiros que estudam o comportamento térmico do adobe, notou-se que, de um modo geral, para climas muito extremos, o desempenho das paredes de adobe, seja de construções antigas existentes, ou de simulações e protótipos, está sempre aquém das normas modernas locais no que condiz à dificuldade de isolamento e amortecimento do frio mais intenso, sem auxílio de camadas isolantes ou sistemas de aquecimento interno. E tanto para o clima subtropical quanto para o clima semiárido, a principal característica que demarcou o desempenho térmico do adobe foi a sua inércia, tanto para aquecimento, quanto, em maior destaque para resfriamento.

### 3 CONFORTO TÉRMICO DO ADOBE

#### 3.1 Apresentação dos dados

Para a análise prescritiva, de acordo com os critérios apresentados, foram selecionados doze tipos de adobe ou terra para adobe distintos. Além desses, mais três materiais de adobe ou terra para adobe com aditivos foram escolhidos e por fim, para vias de comparação, dois materiais construtivos muito comuns no Brasil foram descritos: o bloco cerâmico e o bloco de concreto estrutural.

A Tabela 8 sintetiza as propriedades dos materiais selecionados, descrevendo o tipo do material base, suas fontes e os valores indicados de condutividade, densidade e calor específico. Para maior organização das informações para cada um dos materiais foi destinado um número de referência que será utilizado nas tabelas de análise prescritiva. Sendo que os materiais definidos como a, são de adobe, os com a letra b, são de adobe com algum tipo de aditivo, e os com a letra c, são os materiais utilizados para comparação, bloco de concreto e bloco cerâmico.

**Tabela 8 - Propriedades térmicas dos materiais selecionados**

Material	Descrição	Fonte	Condutividade (W/mK)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (KJ/Kgk)
a1	Alvenaria de adobe pesado	Moita (2010 apud ORUI, 2015)	1,10	2000	1,476
a2	Terra para adobe	Alvarenga (1990 apud ORUI, 2015)	0,78	2000	0,576
a3	Alvenaria de adobe	Simões (2009, Apud FRANCISCO, 2009)	1,05	1800	
a4	Alvenaria de adobe	Meukam (2004 apud MARTÍN, 2010)	0,71	1772	0,969
a5	Alvenaria de adobe	CHEL, 2009	0,52	1730	0,840
a6	Terra argilosa seca	NBR 15220, 2005	0,52	1700	0,840
a7	Alvenaria de adobe	Moita (2010 apud ORUI, 2015)	0,56	1700	1,001
a8	Alvenaria de adobe	BAHADORI e HAGHIGHAT, 1986	0,67	1700	0,840
a9	Terra para adobe	Monquin (2005 apud ORUI, 2015)	0,52	1698	1,005
a10	Terra para adobe	F.P.Incropera (1996, apud GOODHEW e GRIFFITHS, 2004)	1,30	1460	0,880
a11	Alvenaria de adobe - Cob de Devon	GOODHEW e GRIFFITHS (2000, apud GOODHEW e GRIFFITHS, 2004)	0,45	1450	0,800
a12	Terra para adobe	Alvarenga (1990 apud ORUI, 2015)	0,25	1000	0,840
b1	Alvenaria de adobe com com aditivos (solo arenoso + 10% de cimento + 4% de silicato de sódio)	FERREIRA, 2003	0,49	1868	0,750
b2	Alvenaria de adobe com palha	Moita (2010 apud ORUI, 2015)	0,35	1000	1,001
b3	Terra para adobe com palha	GOODHEW e GRIFFITHS, 2004	0,18	440	0,900
c1	Bloco de concreto	NBR 15220, 2005	1,75	2400	1,000
c2	Bloco cerâmico	NBR 15220, 2005	0,90	1600	0,920

Fonte: Elaborado pela autora a partir de autores especificados na tabela

Dentre os dados descritos na Tabela 8, a densidade do Adobe ou da terra para o adobe variou de  $1000 \text{ kg/m}^3$  a  $2000 \text{ kg/m}^3$ . Já a densidade dos materiais com aditivos variou de  $440 \text{ kg/m}^3$  a  $1868 \text{ kg/m}^3$ . A título de comparação segundo a NBR 15220 a densidade do bloco de concreto estrutural é de  $2400 \text{ kg/m}^3$  e a do bloco cerâmico é de  $1600 \text{ kg/m}^3$ .

Os valores de condutividade variaram de  $0,25 \text{ W/mK}$  até  $1,30 \text{ W/mK}$ , lembrando que quanto menor a condutividade do material, maior a resistência térmica que ele oferecera ao calor e, de um modo geral melhor seu comportamento em casos que precisam isolar o interior da construção das temperaturas externas. Dentre os materiais com aditivos, as condutividades foram de  $0,18 \text{ W/mK}$  à  $0,49 \text{ W/mK}$ . Segundo a NBR 15220, o bloco de concreto estrutural tem condutividade de  $1,75 \text{ W/mK}$  e o bloco cerâmico de  $0,90 \text{ W/mK}$ .

Por fim a última propriedade definida foi o calor específico que variou de  $0,576 \text{ kJ/kgK}$  a  $1,476 \text{ kJ/kgK}$ . Para materiais com aditivos, esses valores foram de  $0,750 \text{ kJ/kgK}$  a  $1,001 \text{ kJ/kgK}$ . E de acordo com a NBR 15220, o bloco de concreto estrutural tem calor específico de  $1,000 \text{ kJ/kgK}$  e o bloco de cerâmica de  $0,920 \text{ kJ/kgK}$ .

### **3.2 Análise Prescritiva**

A partir dos diferentes tipos de adobe, e terras para adobe, apresentados e especificados na Tabela 8, bem como nos cálculos e simulações feitos pelas fontes a seguir descritas, a Tabela 9 mostra valores de Transmitância e Capacidade térmica para diferentes tipos de parede de adobe com variadas espessuras para cada um dos materiais anteriormente apresentados. Em cinza, estão marcadas as paredes de adobe que contém algum tipo de aditivo. No final da tabela, para comparação, encontram-se três paredes diferentes de dois dos principais materiais de construção do Brasil, o bloco estrutural de concreto e de tijolo cerâmico furado.

Foram incluídos tanto os trabalhos que utilizaram os métodos descritos na NBR 15220-2005 (conforme exigido pelas normas brasileiras) bem como métodos de cálculos descritos em normas estrangeiras (a espanhola NBE-CT, a Americana ASHRAE e a da Grã-Bretanha CIBSE) e por cálculos numéricos com base em teorias matemáticas.

**Tabela 9 – Valores de Transmitância e Capacidade térmica para diferentes tipos de parede de adobe**

Ref	Método e modelo	Fonte	mat	Espessura total (m)	Transmitância U W/m <sup>2</sup> K	Capacitância (KJ/m <sup>2</sup> K)
1	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	ORUI, 2015	a1	0,15	3,36	238
2				0,30	2,26	475
3			a2	0,15	2,76	173
4				0,20	2,35	230
5	Parede de adobe proposta para assentamento rural. Cálculos com base na NBR 15220-2005	FRANCISCO, 2011	a3	0,29	2,92	
6	Medições e cálculos de parede de construção antiga de adobe. Cálculos com base na NBE-CT-1979 (Norma Espanhola) e demais legislações locais	MARTÍN, 2010	a4	0,40	1,35	687
7	Cálculos e medições para construção na Índia usando modelos numéricos especificados no artigo	CHEL, 2009	a5	0,33	1,84	480
8	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	ORUI, 2015	a7	0,15	2,28	255
9	Modelo fictício de parede de adobe. Cálculos a partir de ASHRAE Handbook, 1981	BAHADORI e HAGHIGHAT, 1986	a8	0,30	3,35	428
10	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	ORUI, 2015	a9	0,15	2,18	255
11	Modelo parede de adobe que visa verificar a adequação do material à norma da Grã Bretanha. Cálculos com base na CIBSE Guide S-A5, 1986 (norma da Grã Bretanha)	GOODHEW e GRIFFITHS, 2004	a10	0,40	2,05	514
12				0,60	1,56	771
13				0,80	1,26	1028
14				0,40	0,94	464
15		GOODHEW e GRIFFITHS, 2004	a11	0,60	0,66	696
16				0,80	0,51	928
17	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	ORUI, 2015	a12	0,15	1,30	126
18				0,20	1,03	168
19	Modelo de painel de fechamento de alvenaria de adobe com aditivos (solo arenoso + 10% de cimento + 4% de silicato de sódio) Cálculo a partir da NBR 15.220 (quando ainda era projeto de norma)	FERREIRA, 2003	b1	0,11	2,77	154
20	Parede de adobe com adição de palha. Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	ORUI, 2015	b2	0,15	1,67	150
21	Modelo parede de adobe com adição de palha que visa verificar a adequação do material à norma da Grã Bretanha. Cálculos com base na CIBSE Guide S-A5, 1986 (norma da Grã Bretanha)	GOODHEW e GRIFFITHS, 2004	b3	0,60	0,29	238
22	Parede de bloco estrutural de concreto com 14cm +1 de argamassa, totalizando 18cm de espessura. Cálculos a partir da NBR 15.220-2005	JOAQUIM, 2015	c1	0,18	2,88	264
23	Parede de tijolo 6 furos com 9cm + 2,5 de argamassa, totalizando 14cm de espessura. Cálculos a partir da NBR 15.220-2005	NBR 15220, 2005	c2	0,14	2,48	159
24	Parede de tijolo 8 furos deitado, com 19cm + 2,5 de argamassa, totalizando 24cm de espessura. Cálculos a partir da NBR 15.220-2005			0,24	1,80	231

Fonte: Elaborado pela autora a partir da Tabela 8 de e autores especificados na tabela

Na Tabela 9 podemos perceber que, em paredes com espessuras que variam de 0,15m a 0,80m utilizando os materiais descritos na Tabela 8, os valores de transmitância térmica variaram entre 0,51 W/m<sup>2</sup>K (valor associado a um fechamento com uma espessura de 0,80m) a 3,36 W/m<sup>2</sup>K (valor que está associado a uma parede de espessura de 0,15m), o que demonstra uma característica apontada por diversos autores de que, em geral, o adobe necessita de espessuras consideráveis para apresentar um comportamento térmico interessante. Nessa mesma tabela, paredes com espessuras de 0,20m e até 0,15m que apresentaram transmitância térmicas abaixo de 2,2 W/m<sup>2</sup>K.

#### **ABSORTÂNCIAS SOLAR:**

Os valores de absorvância solar estão relacionados ao tipo de acabamento da superfície. Dos textos pesquisados, não foram encontrados dados medidos especificamente para a absorvância solar de superfícies de terra ou revestidas com tinta de terra. ORUI (2015), usa os valores de  $\alpha=0,7$  para paredes vermelho escura,  $\alpha=0,7$  para paredes de revestimento marrom claro, e  $\alpha=0,3$  para paredes brancas, mas não deixa claro a origem dos dados. Nesse caso, portanto, os valores de absorvância solar apresentados na Tabela 10 são os estipulados pela norma brasileira à partir das principais cores presentes em construção de terra crua com ou sem revestimento e servem apenas como referência geral.

**Tabela 10 - Valores de absorvância solar para diferentes tipos de superfície**

<b>Tipo de Superfície</b>	<b>Absorvância (<math>\alpha</math>)</b>
Caiação nova	0,12/0,15
Tijolo (cozido) aparente	0,65/0,80
Pintura Branca	0,20
Pintura Amarela	0,30
Pintura Vermelha	0,74

Fonte: Elaborado com dados da NBR 15220-2005



Figura 18 - Paleta de cores de tinta de terra  
 Fonte: Tintas Solum apud ORUI, 2015

Em geral parte do apelo estético das construções em terra crua está associado à sua cor e textura características. Se considerarmos uma parede de adobe sem revestimento ou com acabamento à base de argamassa ou pintura de terra os valores de absorvência solar serão por volta de 0,7.

### 3.3 Adequação do adobe às normas brasileiras

Com as propriedades térmicas dos materiais apresentados na Tabela 8, e os diferentes tipos de paredes com suas respectivas espessuras, transmitância e capacidade térmicas dispostas na Tabela 9, foi possível então avaliar a adequação do adobe como material construtivo para as normas vigentes no Brasil. A Tabela 11, faz a avaliação prescritiva dos diferentes tipos de adobe encontrados na literatura para as oito zonas bioclimáticas brasileiras e para as quatro normas específicas do Brasil. A letra N (em negrito e grifado de cinza) corresponde às tipologias que não se enquadram nas exigências da norma para aquela zona bioclimática; a letra S corresponde às tipologias que com as configurações apresentadas, se enquadra na norma específica.

Tabela 11 - Análise Prescritiva do adobe com relação às normas brasileiras

Ref	Material	Espessura (m)	U W/m <sup>2</sup> K	CT KJ/m <sup>2</sup> K	ZONAS Z1 e Z2			ZONAS Z3, Z5 e Z8*			ZONAS Z4, Z6 e Z7				
					NBR 15220-3 Parede leve	NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul		NBR 15220-3 Parede leve refletora	NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul		NBR 15220-3 Parede pesada	NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul			
					U W/m <sup>2</sup> K	U W/m <sup>2</sup> K	CT KJ/m <sup>2</sup> K	U W/m <sup>2</sup> K	U (W/m <sup>2</sup> K) α≤0,6	CT KJ/m <sup>2</sup> K α>0,6	U W/m <sup>2</sup> K	U (W/m <sup>2</sup> K) α≤0,6	CT KJ/m <sup>2</sup> K α>0,6		
					≤3,00	≤2,5	CT≥130	≤3,6	≤3,7	≤2,5	CT≥130	≤2,2	≤3,7	≤2,5	CT≥130
1	a1	0,15	3,36	238	N	N	S	S	S	N	S	N	S	N	S
2		0,30	2,26	475	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
3	a2	0,15	2,76	173	S	N	S	S	S	N	S	N	S	N	S
4		0,20	2,35	230	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
5	a3	0,29	2,92	-	S	N	-	S	S	N	-	N	S	N	-
6	a4	0,40	1,35	687	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
7	a5	0,33	1,84	480	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
8	a7	0,15	2,28	255	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
9	a8	0,30	3,35	428	N	N	S	S	S	N	S	N	S	N	S
10	a9	0,15	2,18	255	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
11		0,40	2,05	514	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
12	a10	0,60	1,56	771	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
13		0,80	1,26	1028	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
14		0,40	0,94	464	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
15	a11	0,60	0,66	696	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
16		0,80	0,51	928	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
17	a12	0,15	1,30	126	S	S	N	S	S	S	N	S	S	S	N
18		0,20	1,03	168	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
19	b1	0,11	2,77	154	S	N	S	S	S	N	S	N	S	N	S
20	b2	0,15	1,67	150	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
21	b3	0,60	0,29	238	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
22	c1	0,18	2,88	264	S	N	S	S	S	N	S	N	S	N	S
23	c2	0,14	2,48	159	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
24		0,14	1,80	231	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados e autores especificados nas tabelas: Tabela 8, Tabela 3 e Tabela 9

De acordo com a Tabela 11, percebe-se que no geral, a maior parte das tipologias construtivas encontradas apresenta paredes de adobe que se enquadram nas exigências das normas brasileiras. A situação em que houveram menos enquadramentos, foi no quesito paredes externas pesadas, exigência da NBR 15220-3, para as zonas bioclimáticas Z4, Z6 e Z7 que pede uma transmitância térmica menor que 2,2W/m<sup>2</sup>K, neste caso apenas paredes com maiores espessuras, ou feitas com materiais com menores condutividades atingiram os termos da norma.

No caso dos materiais a1 (condutividade de 1,1W/mK, densidade de 2000 Kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 1,476KJ/Kgk) a2 (condutividade de 0,78W/mK, densidade de 2000 Kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 0,576J/Kgk) e a3 (condutividade de 1,05W/mK, densidade de 1800Kg/m<sup>3</sup> e calor específico não mencionado), em paredes com espessura de 0,15m para

os dois primeiros casos e 0,29m para o terceiro, os valores de transmitância térmica ficaram, na maioria dos casos, acima do mínimo exigido, contudo em algumas dessas situações o simples uso de um revestimento externo mais claro já tornaria essas paredes adequadas.

Outra tipologia de 0,15m de espessura que também teve casos de não enquadramento das normas NBR 15575, RTQ-R e no Selo Casa Azul, foi a produzida com o material a12 (condutividade de 0,25W/mK, densidade de 1000 Kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 0,840J/Kgk), justamente devido à baixa capacidade térmica, é interessante notar que este foi o único caso de não enquadramento nas normas devido à capacidade térmica.

As paredes feitas com os materiais A9 (condutividade de 0,52W/mK, densidade de 1698 Kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 1,005J/Kgk), e A7 (condutividade de 0,56W/mK, densidade de 1700Kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 1,001J/Kgk), também tem apenas 0,15m de espessura mas apresentaram excelente atendimento das exigências das normas brasileiras observadas.

Dentre as paredes de adobe com algum tipo de aditivo consideradas, apenas a parede feita com o material b1 (composta de solo arenoso + 10% de cimento + 4% de silicato de sódio) não atendeu à norma em todos os casos. Mas é importante considerar que a parede observada possui 0,11m de espessura o menor valor da tabela. As duas outras paredes com aditivos observadas, que contém adição de palha em seu adobe, tiveram suas propriedades atendendo a todas as exigências das normas para os casos vistos.

Para a NBR 15575, o RTQ-R e o Selo Casa Azul, o valor de absorptância solar influência no valor máximo da transmitância térmica admitido, como será visto adiante, na Tabela 11 - Análise Prescritiva do adobe com relação às normas brasileiras Tabela 11, para uma absorptância solar acima de 0,6, nas zonas bioclimáticas de Z3, a Z8, a exigência máxima para transmitância térmica passa de 3,7 W/m<sup>2</sup>K para 2,5 W/m<sup>2</sup>K. Ou seja, em certos casos, uma mesma parede, com o mesmo material e a mesma espessura, mas com revestimento natural ou com uma pintura de terra vermelha, ou da cor da terra, não se enquadrará nas exigências de conforto, mas quando pintada ou revestida por algum material de cor clara atingirá as normas de conforto. Por fim, a tabela Tabela 12 apresenta todos os dados apresentados nas Tabela 8, Tabela 3 e Tabela 9 e Tabela 11 para melhor visualização

Tabela 12 - Análise Prescritiva do adobe com relação às normas brasileiras

Ref	Fonte	Método e modelo	Material	Condutividade (W/mK)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (kJ/kgK)	Espessura (m)	U (W/m²K)	ZONAS Z1 e Z2			ZONAS Z3, Z5 e Z8*			ZONAS Z4, Z6 e Z7					
									NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul		NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul		NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul		NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul		NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul		NBR 15.575-4   RTQ-R   Selo Casa Azul	
									U (W/m²K)	CT (K/m²K)	U (W/m²K)	CT (K/m²K)	U (W/m²K)	CT (K/m²K)	U (W/m²K)	CT (K/m²K)	U (W/m²K)	CT (K/m²K)	U (W/m²K)	CT (K/m²K)
1	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a1	1,10	2000	1,476	0,15	3,36	238	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
2	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a1	1,10	2000	1,476	0,30	2,26	475	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
3	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a2	0,78	2000	0,576	0,15	2,76	173	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
4	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a2	0,78	2000	0,576	0,20	2,35	230	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
5	FRANCISCO, 2011	Parede de adobe proposta para assentamento rural. Cálculos com base na NBR 15.220-2005	a3	1,05	1800	-	0,29	2,92	-	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
6	MARTÍN, 2010	Medições e cálculos de parede de construção antiga de adobe. Cálculos com base na NBE-CT-1979 (Norma Espanhola) e demais legislações locais	a4	0,71	1772	0,969	0,40	1,35	687	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
7	CHEL, 2009	Cálculos e medições para construção na Índia usando modelos numéricos especificados no artigo	a5	0,52	1730	0,840	0,33	1,84	480	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
8	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a7	0,56	1700	1,001	0,15	2,28	255	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
9	BAHADORI e HAGHIGHAT, 1986	Modelo fictício de parede de adobe. Cálculos a partir de ASHRAE Handbook, 1981	a8	0,67	1700	0,840	0,30	3,35	428	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
10	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a9	0,52	1698	1,005	0,15	2,18	255	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
11	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a10	1,3	1460	0,88	0,40	2,05	514	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
12	ORUI, 2015	Modelo parede de adobe que visa verificar a adequação do material à norma da Grã Bretanha. Cálculos com base na CIBSE Guide 5-A5, 1986 (norma da Grã Bretanha)	a10	1,3	1460	0,88	0,60	1,56	771	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
13	GOODHEW e GRIFFITHS, 2004	Modelo parede de adobe que visa verificar a adequação do material à norma da Grã Bretanha. Cálculos com base na CIBSE Guide 5-A5, 1986 (norma da Grã Bretanha)	a10	1,3	1460	0,88	0,80	1,26	1028	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
14	2004	Modelo parede de adobe que visa verificar a adequação do material à norma da Grã Bretanha. Cálculos com base na CIBSE Guide 5-A5, 1986 (norma da Grã Bretanha)	a10	1,3	1460	0,88	0,40	0,94	464	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
15	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a11	0,45	1450	0,8	0,60	0,66	696	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
16	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a11	0,45	1450	0,8	0,80	0,51	928	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
17	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a12	0,25	1000	0,840	0,15	1,30	126	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
18	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a12	0,25	1000	0,840	0,20	1,03	168	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
19	FERREIRA, 2003	Modelo de painel de fechamento de alvenaria de adobe com aditivos (solo arenoso + 10% de cimento + 4% de silicato de sódio) Cálculo a partir da NBR 15.220 (quando ainda era projeto de norma)	b1	0,49	1868	0,750	0,11	2,77	154	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
20	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	b2	0,35	1000	1,001	0,15	1,67	150	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
21	GOODHEW e GRIFFITHS, 2004	Modelo parede de adobe com adição de palha que visa verificar a adequação do material à norma da Grã Bretanha. Cálculos com base na CIBSE Guide 5-A5, 1986 (norma da Grã Bretanha)	b3	0,18	440	0,900	0,60	0,29	238	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
22	JOAQUIM, 2015	Parede de bloco estrutural de concreto com 14cm +1 de argamassa, totalizando 18cm de espessura. Cálculos a partir da NBR 15.220-2005C1	c1	1,75	2400	1,000	0,18	2,88	264	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
23	ORUI, 2015	Parede de tijolo 6 furos com 9cm + 2,5 de argamassa, totalizando 14cm de espessura. Cálculos a partir da NBR 15.220-2005	c2	0,90	1600	0,920	0,14	2,48	159	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		
24	ORUI, 2015	Parede de tijolo 8 furos deitado, com 19cm + 2,5 de argamassa, totalizando 14cm de espessura. Cálculos a partir da NBR 15.220-2005	c2	0,90	1600	0,920	0,14	1,80	231	33,00	2,5	CT≥130	33,6	2,5	CT≥130	33,7	2,5	CT≥130		

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados e autores especificados nas tabelas: Tabela 8, Tabela 3 e Tabela 9

## **4 CONCLUSÃO**

### **4.1 Quanto às propriedades térmicas do adobe**

Os valores de umidade e densidade podem ser utilizados para mudar o desempenho térmico do adobe.

De um modo geral a condutividade térmica do adobe é diretamente proporcional à sua densidade, ou seja, quanto maior a densidade maior o valor da condutividade e, portanto, menor a resistência térmica deste material. Na maioria dos casos o adobe feito de material mais leve terá um desempenho melhor. Esses valores bem como estas proporções podem variar bastante de autor para autor e de acordo com os aditivos colocados, que mesmo em pequenas quantidades, alteram a natureza das propriedades.

Além da natureza do material, seu teor de umidade também influencia no comportamento térmico do fechamento. A capacidade de absorção de água de uma parede de adobe será tanto maior quanto for a sua porosidade, o que geralmente está relacionado à granulometria e densidade do material. Alguns estudos mostram que esta capacidade de absorção pode ser usada em zonas que se beneficiam do resfriamento evaporativo, ou seja, na evaporação da água que pode simultaneamente reduzir a temperatura e aumentar a umidade relativa do ambiente. E, quanto maior a for a umidade de uma parede de adobe, maior será a densidade o que por sua vez resultará em uma maior condutividade térmica e menor resistência térmica.

### **4.2 Quanto ao desempenho térmico do adobe**

Pela análise prescritiva dos exemplos de paredes observados, pode-se perceber que de um modo geral a maior parte das tipologias construtivas de adobe encontradas se enquadram dentro das exigências para conforto térmico das normas vigentes para as zonas bioclimáticas brasileiras. Os casos de não atendimento, podem ser remediados com o aumento da espessura da parede, que em situações destacadas estavam entre 0,15m e

0,29m, ou na aplicação de um revestimento externo de menor absorvância solar ou seja, mais claro.

Contudo quando a NBR 15220-3 pede para as zonas bioclimáticas 4, 6 e 7 uma parede pesada com transmitância térmica menor que  $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , quase metade das paredes de adobe sem aditivos observadas não conseguiu atender ao limite da norma, e se fosse considerado os valores pedidos para o setor comercial, também não atenderia as exigências de diversas Zonas Bioclimáticas. Embora haja alguma variação entre as espessuras e propriedades dos valores que atenderam bem as normas, é certo que todas as paredes com espessura acima de 0,4m atenderam as exigências de todas as normas em todas as zonas bioclimáticas brasileiras. Situação em que materiais usados para comparação apenas a parede de tijolos furados deitados com 0,24m também apresentou.

Uma possibilidade interessante para se incorporar a técnica de terra crua de forma mais pontual na arquitetura moderna, podendo-se aproveitar de suas propriedades térmicas e estéticas bem como se discutir suas vantagens ambientais sem uma mudança muito extrema na forma construtiva como um todo, é na construção de paredes internas. O que agrega o isolamento da água (tanto evitando umidade da chuva como do solo) e todas as características da construção com terra neste trabalho enumeradas, com a massa térmica para vedações internas pesadas, estratégia de condicionamento térmico indicada na NBR 15220, para as zonas bioclimáticas de 1 a 6.

O tipo de revestimento externo escolhido também influencia significativamente no desempenho térmico da parede, como foi visto na tabela de análise prescritiva. Houveram casos em que, uma mesma parede, com as mesmas características, propriedades e espessura, mas sem revestimento natural ou com uma pintura de terra, ou da cor da terra vermelha, não se enquadrará nas exigências de conforto da maioria das normas para a maioria das zonas bioclimáticas brasileiras, mas quando pintada ou revestida por algum material de cor clara, como uma calçação, por exemplo, atingirá as normas de conforto. Este é um aspecto que precisa ser considerado quando se projeta uma construção com adobe, uma vez que grande parte do apelo estético da construção com terra crua está associado a sua textura e cor marcante, mas mesmo considerando as propriedades inerentes do

material construtivo, por vezes o próprio acabamento externo pode ser decisivo no desempenho térmico de uma parede.

### **4.3 Quanto ao comportamento térmico do adobe**

Apesar de ser uma das propriedades mais divulgadas da terra como material construtivo, a boa inércia térmica de uma parede de adobe irá depender muito de sua tipologia construtiva. Como as propriedades do material variam de acordo com sua composição, porosidade, grau de umidade e até mesmo o grão de compactação na forma, para garantir uma inércia adequada para massa térmica para resfriamento (quando há um armazenamento de calor durante o dia, e a liberação deste calor à noite quando o clima é mais ameno) ou aquecimento (quando combinada à radiação solar direta), é necessário utilizar-se de paredes com espessura considerável. Como as tipologias e sistemas construtivos de adobe já são geralmente baseados em boas espessuras, devido ao tamanho das formas mais comuns, e a resistência mecânica, o adobe pode ter, em muitos dos casos, uma inércia térmica significativa.

Para climas mais extremos, que necessitam de características de isolamento mais reforçadas, o adobe sozinho não alcança os padrões de conforto, e precisaria de camadas de isolamento extra, ou sistema de aquecimento dos ambientes internos.

### **4.4 Considerações finais**

Tal como refere o Arq. Miguel Mendes, a terra pode não ser o melhor material de construção em termos das exigências individuais; não é o melhor isolante térmico, ou material mais resistente à compressão, não dispensa totalmente a manutenção, não tem uma resposta linear e, principalmente, não é imune aos agentes de degradação. No entanto, a terra consegue desempenhar um pouco de todas as funções necessárias a um edifício e de forma muito satisfatória. Numa altura de grandes necessidades ecológicas, de esgotamento de recursos de crise econômica, energética, mas também de valores, a terra é uma solução bastante viável para o futuro. (DA PONTE, 2012).

No que concerne a revisão da literatura existente sobre o material construtivo adobe e seu comportamento térmico, suas propriedades térmicas e sua adequação ao clima brasileiro,

existe uma grande defasagem de informações específicas para o adobe no Brasil, embora isso já tenha sido apontado por FERRAZ JUNIOR, em 1995 os trabalhos encontrados apesar de recentes, são pontuais e nem sempre focados na construção civil. Outro aspecto percebido foi que, por ser um material feito de terra crua, elemento natural que tem suas propriedades variadas por cada tipo, as características térmicas do adobe encontradas sofrem uma variação significativa o que pode dificultar na tomada de decisões de projetistas e construtores.

Por fim, no tendo em vista as considerações feitas alcançadas com as informações disponíveis, o adobe apresentou um potencial significativo como solução para a construção civil de menor impacto ao meio ambiente ao mesmo tempo em que pode atingir as exigências das normas de conforto para as zonas bioclimáticas do país.

## 5 REFERÊNCIAS

ALGIFRI, A. H.; GADHI, SM Bin; NIJAGUNA, B. T. Thermal behavior of adobe and concrete houses in Yemen. **Renewable Energy**, v. 2, n. 6, p. 597-602, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

BAHADORI, Mehdi N.; HAGHIGHAT, Fariborz. Thermal performance of adobe structures with domed roofs and moist internal surfaces. **Solar Energy**, v. 36, n. 4, p. 365-375, 1986.

BESTRATEN, Sandra; HORMIAS, Emilio; ALTEMIR, Anna. Construcción con tierra en el siglo XXI. **Informes de la Construcción**, v. 63, n. 523, p. 5-20, 2011.

BINICI, Hanifi et al. Thermal isolation and mechanical properties of fiber reinforced mud bricks as wall materials. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 4, p. 901-906, 2007.

BRASIL - CEF – Caixa Econômica Federal. JOHN, Vanderley Moacyr; PRADO, Racine Tadeu Araújo (Coordenadores). **Selo Casa Azul: Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010.

BRASIL - INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia. **Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de Edificações Residenciais – RTQ-R**. Rio de Janeiro, 2012.

CANCELA, Diana Carina Pereira. **Comportamento higrotérmico e monitorização de construções em adobe**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.

CARVALHO, Analice Lima. **Análise do Efeito da Estabilização Mecânica e Física em Matrizes de Terra**. Rio de Janeiro, 2011.

CHEL, Arvind; TIWARI, G. N. Performance evaluation and life cycle cost analysis of earth to air heat exchanger integrated with adobe building for New Delhi composite climate. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 1, p. 56-66, 2009.

CHEL, Arvind; TIWARI, G. N. Thermal performance and embodied energy analysis of a passive house—case study of vault roof mud-house in India. **Applied Energy**, v. 86, n. 10, p. 1956-1969, 2009.

DA PONTE, Maria Manuel Correia Costa. **Arquitetura de terra: o desenho para a durabilidade das construções**. Dissertação - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. 2012

DIN V 4108-4: 1998: **Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 4: Hygrothermal design values** (em alemão). DIN-Sprachendienst: Berlin.

ESTULANO, Gleibia Arantes. **O comportamento térmico de diferentes materiais utilizados nos painéis de fechamento vertical nas edificações da cidade de Cuiabá/MT - avaliação pós-ocupação**. Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso, 2004

FARIA, J. P. R. **Influência africana na arquitetura de terra de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

FERRAZ JUNIOR, F. A. C. Considerações sobre conforto térmico em edificações de terra crua. In: **III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, 1995, Gramado. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 1995. p. 227-232.

FERREIRA, R. de C. **Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e minipainéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambientação) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FRANCISCO, Maíra do Lago. **Recomendações de conforto térmico para projeto arquitetônico e implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais: caso assentamento rural Sepé Tiaraju, Serra Azul-SP**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico** 5. ed. — São Paulo: Studio Nobel, 2001

GOODHEW, Steven; GRIFFITHS, Richard. Sustainable earth walls to meet the building regulations. **Energy and Buildings**, v. 37, n. 5, p. 451-459, 2004.

Heathcote, K. The thermal performance of earth buildings. In **Informes de la Construcción** Vol.63, 523, 117-126. Ist. Eduardo Torroja. Espanha, 2010

JOAQUIM, Kamila et al. Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira. **Revista Matéria**, v. 20, n. 4, 2015.

MAIA, Leonardo. O Conforto da habitação de terra. In: **V Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil**, Viçosa – MG, 2014.

MARTÍN, Silvia; MAZARRÓN, Fernando R.; CAÑAS, Ignacio. Study of thermal environment inside rural houses of Navapalos (Spain): The advantages of reuse buildings of high thermal inertia. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 5, p. 666-676, 2010.

MENESES, Tiago et al. **Comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe: ensaios experimentais sobre três células de teste à escala 1: 4**. 2011.

MINKE, Gernot - **Building whit earth: design and technology of sustainable architecture**. Basel: Birkhauser - Publishes of Architecture, 2006

ORUI, Samantha. **Desempenho térmico de habitações construídas com terra. Dissertação**. (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2015.

PALME, Massimo; GUERRA, José; ALFARO, Sergio. Thermal performance of traditional and new concept houses in the ancient village of San Pedro de Atacama and surroundings. **Sustainability**, v. 6, n. 6, p. 3321-3337, 2014.

PARRA-SALDIVAR, M. Luisa; BATTY, William. Thermal behavior of adobe constructions. **Building and Environment**, v. 41, n. 12, p. 1892-1904, 2006.

REVUELTA-ACOSTA, J. D. et al. Adobe as a sustainable material: A thermal performance. **Journal of Applied Sciences (Faisalabad)**, v. 10, n. 19, p. 2211-2216, 2010.

SCHRODER, Lisa; OGLETREE, Vince. **Adobe homes for all climates: simple, affordable, and earthquake-resistant natural building techniques**. Chelsea Green Publishing, 2010.

TORGAL, F.; EIRES, R.; JALALI, S. **Construção em terra**. Universidade do Minho. TecMinho, 2009.

TORGAL, F.; JALALI, S. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. **Construction and building materials**, v. 29, p. 512-519, 2012.