

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO COM TERRA E EFEITOS DA
CORREÇÃO GRANULOMÉTRICA E DA INCORPORAÇÃO DE CINZAS DE
EUCALIPTO E DE FIBRAS DE COCO EM SOLO PARA FABRICAÇÃO DE ADOBE**

Autor: Henrique Duarte Ferrari
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Carmen Couto Ribeiro
Co-orientador: Arquiteto MSc. Tadeu Starling

Belo Horizonte
Dezembro/2018

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO COM TERRA E EFEITOS DA
CORREÇÃO GRANULOMÉTRICA E DA INCORPORAÇÃO DE CINZAS DE
EUCALIPTO E DE FIBRAS DE COCO EM SOLO PARA FABRICAÇÃO DE ADOBE**

Henrique Duarte Ferrari

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais de Construção Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Carmen Couto Ribeiro

Co-orientador: Arquiteto MSc. Tadeu Starling

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2018

F375c	Ferrari, Henrique Duarte. Considerações sobre a construção com terra e efeitos da correção granulométrica e da incorporação de cinzas de eucalipto e de fibras de coco em solo para fabricação de adobe [recurso eletrônico] / Henrique Duarte Ferrari. – 2018. 1 recurso online (xiii, 120 f. : il., color.) : pdf. Orientadora: Carmen Couto Ribeiro. Coorientador: Tadeu Starling. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Anexos: f. 119-120. Bibliografia: f. 105-118. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader. 1. Construção civil - Teses. 2. Materiais de construção - Teses. 3. Adobe (Arquitetura) - Teses. I. Ribeiro, Carmen Couto. II. Starling, Tadeu. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título. CDU: 691(043)
-------	--

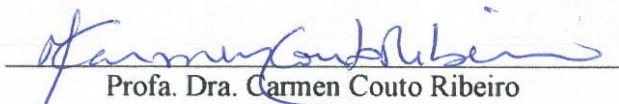
HENRIQUE DUARTE FERRARI

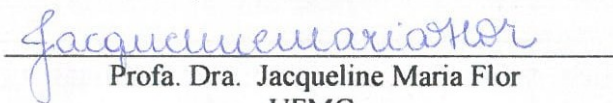
**"CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO COM TERRA E EFEITOS DA
CORREÇÃO GRANULOMÉTRICA E DA INCORPORAÇÃO DE CINZAS DE
EUCALIPTO E DE FIBRAS DE COCO EM SOLO PARA FABRICAÇÃO DE
ADOBE"**

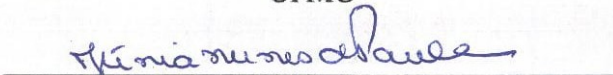
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Mestrado em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

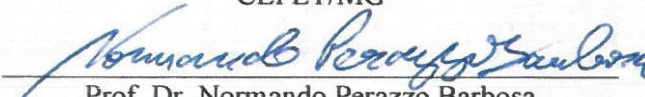
Belo Horizonte, 12 de dezembro de 2018

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dra. Carmen Couto Ribeiro
Orientadora
UFMG


Prof. Dra. Jacqueline Maria Flor
UFMG


Prof. Dra. Júnia Nunes de Paula
CEFET/MG


Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa
UFPB

AGRADECIMENTOS

Agradeço

a todos aqueles que, com importantes contribuições, tornaram possível a realização desse trabalho, especialmente:

aos meus familiares, pelo auxílio e solidariedade constantes ao longo desses anos;

à Prof^a. Dr^a. Carmen Couto Ribeiro, pela orientação e por ter contribuído para ampliar minha capacidade de análise crítica e visão da sociedade;

ao Arquiteto MSc. Tadeu Starling, pela co-orientação e pela importante contribuição;

à Prof^a. Dr^a. Joana Darc Silva Pinto, pelo incentivo e apoio fundamentais;

ao Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa, pela oportunidade de conhecer de perto a sua pesquisa e aprofundar meus conhecimentos;

e aos professores e funcionários do Departamento de Materiais e da Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG, pelo apoio essencial em todas as etapas da realização do meu mestrado.

RESUMO

A ampla diversidade de metodologias construtivas vernaculares observadas nas mais adversas situações climáticas e geográficas propiciaram a propagação de edificações arquitetônicas à base de terra em diversas localizações, atendendo assim a uma variada gama de solicitações estruturais e culturais ao longo da História. Entretanto, mesmo com o caráter secular dessa prática construtiva, da sua praticidade, economia e durabilidade, os conhecimentos de construção com terra foram sendo postos em segundo plano a partir do processo de urbanização e industrialização. Dentro desse contexto, as investigações científicas são profícuas às iniciativas de modificar esse quadro, disseminando informações primordiais e promovendo essa tecnologia como mais um recurso possível na construção contemporânea. Neste estudo, a trabalhabilidade do solo e sua resistência mecânica foram avaliadas de acordo com o acréscimo de duas adições vegetais características de áreas rurais e geralmente caracterizadas como resíduos, as cinzas de eucalipto e as fibras de coco. Ensaio de caracterização, de retração, e absorção por capilaridade, por um lado, e as resistências à compressão simples e à tração, por outro, permitiram escolher a mistura mais propícia à fabricação de adobe, que foram confeccionados com o objetivo de construir um protótipo em escala reduzida de silo de adobe para armazenamento de grãos. Os resultados demonstraram que a substituição em massa de 20% do solo por cinzas vegetais possibilitou uma resistência à compressão de 2,82 MPa, duas vezes superior ao valor alcançado pelos tijolos confeccionados com o solo de referência. Já a adição de fibras, devido ao fato de não aumentar a demanda por umidade e reduzir o processo de fissuração, podem ser adotadas na camada de revestimento, já que a imprevisibilidade da resistência final do solo estabilizado com fibras ou comareia pode vir a comprometer seu emprego em questões estruturais. A proposta de aplicação da terra como material construtivo para fins diversos pode auxiliar na elucidação das razões que levaram ao abandono de uma tecnologia milenar, assim como contribuir para um maior esclarecimento da situação atual, possibilitando a formação de uma renovada perspectiva em relação à arquitetura de terra e uma maior divulgação de seu conhecimento.

Palavras-chave: Adobe; Cinzas vegetais; Terra; Materiais de construção;

ABSTRACT

The vast array of vernacular constructive methodologies observed on the most adverse climatic and geographic circumstances promoted the proliferation of architecture constructions made out of raw earth on vast locations, responding to a varied range of structure and cultural demands throughout the human history. However, besides the secular character of this constructive practice, its practicality, economy and durability, its construction knowledge have been forgotten and left in the background, and conditioned to a soaring state of informalism since the dual process of urbanization and industrialization. In this context, the scientific investigation are proficuous to the initiative of modulating this conjuncture, disseminating important information and promoting this technology as another viable resource in the construction in general. In this study, the workability of the soil and its mechanical resilience were evaluated according to the additions of two different vegetable residues, which are characteristic of rural areas and are usually considered as wastes, the coconut fibers and the eucalypt ashes. Experiments of soil characterization, retrability and of capillarity absorption on one side, and of mechanical stresses such as compression and traction on the other, allowed to choose the mixture that showed the most compatible results with the brick manufacture, which were produced regarding the construction of a prototype of a grain silo. The results showed that the substitution of 20% in mass of soil for vegetables ashes provided a compression strength of 2,82 MPa, almost twice as strong as the result obtained by the prism made with the natural soil. The proposition of applying raw earth as a construction material for different purposes may aid the elucidation of the reasons that promoted the abandonment of a millenary technic, just as contribute for an illumination of the actual situation, making possible for the formation of a renewed perspective in what relates to the earth architecture and a wider propagation of its knowledge.

Keywords: Adobe; Fibers; Vegetal ashes; Raw earth; Construction materials;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Microscopia de tecido de polipropileno com 20% de fibras de coco cru (esquerda) e 20% de fibras com tratamento (direita).....	56
Figura 2 – Difração por raio-X das cinzas de eucalipto.....	58
Figura 3 – Corpos de Prova após secagem, com adição de cinzas (esquerda) e sem (direita).....	65
Figura 4 – Forma para moldagem dos tijolos.....	67
Figura 5 - Prismas produzidos para o ensaio de resistência à compressão.....	68
Figura 6 – Projeto em AutoCAD para o silo em escala real (esquerda) e em miniatura (direita).....	70
Figura 7 – Teste do vidro após sedimentação.....	72
Figura 8 – Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica.....	74
Figura 9 - Retração linear para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica....	75
Figura 10 - Absorção por capilaridade para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica.....	76
Figura 11 - Linhas de tendência da variação no tempo da resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica.....	78
Figura 12 - Resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica e com 7 dias.....	79
Figura 13 - Resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica e com 28 dias.....	79
Figura 14 - Linhas de tendência da variação da resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica para 7 e para 28 dias.....	80
Figura 15 - Linhas de tendência da variação no tempo da resistência à tração média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica.....	81
Figura 16 - Resistência à tração média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica com 7 dias.....	82
Figura 17 - Resistência à tração média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica e com 28 dias.....	83
Figura 18 - Linhas de tendência da variação da resistência à tração média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica para 7 e para 28 dias.....	83
Figura 19 - Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural.....	85
Figura 20 - Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes adições de cinzas vegetais em solos sem e com correção granulométrica.....	85
Figura 21 - Retração linear para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural...	87

Figura 22 - Retração linear para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo sem e com correção granulométrica.....	87
Figura 23 – Ensaio de absorção por capilaridade em CPs com adição de cinzas.....	88
Figura 24 - Absorção por capilaridade para a adição de 30% de cinzas vegetais em solo em estado natural.....	89
Figura 25 - Absorção por capilaridade para solo com adição de 30% de cinzas vegetais em solo sem correção granulométrica e para solos corrigidos.....	89
Figura 26 - Resistência à compressão média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 28 dias.....	91
Figura 27 - Resistência à compressão média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 7 e 28 dias.....	91
Figura 28 - Resistência à tração média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 28 dias.....	93
Figura 29 - Resistência à tração média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 7 e 28 dias.....	93
Figura 30 - Linhas de tendência da resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo com adição de fibras e de acordo com o tempo.....	95
Figura 31 - Linhas de tendência da resistência à tração média para as diferentes misturas de solo com adição de fibras de acordo com o tempo.....	97
Figura 32 -Prismas posicionados para o ensaio de resistência à compressão.....	99
Figura 33 - Resistência à compressão média para os prismas de solo em estado natural e com 20% de adição de cinzas com 28 dias.....	100
Figura 34 - Maquete de silo cilíndrico de adobe.....	101
Figura 35 - Maquete de silo cilíndrico de adobe.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes misturas de solo sem adição de resíduos.....	73
Tabela 2 - Retração linear para as diferentes misturas de solo sem adição de resíduos.....	75
Tabela 3 - Absorção por capilaridade para as diferentes misturas de solo sem adição de resíduos.....	76
Tabela 4 - Resistência à compressão para as diferentes misturas de solo sem adição de resíduos com 7 e 28 dias.....	77
Tabela 5 - Resistência à tração para as diferentes misturas de solo sem adição de resíduos com 7 e 28 dias.....	81
Tabela 6 - Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural.....	84
Tabela 7 - Retração linear para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural...	86
Tabela 8 - Absorção por capilaridade para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural.....	88
Tabela 9 - Resistência à compressão para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural com 7 e 28 dias.....	90
Tabela 10 - Resistência à tração para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 7 e 28 dias.....	92
Tabela 11 - Resistência à compressão para as diferentes misturas de fibras em solo sem e com correção granulométrica e com 7 e 28 dias.....	94
Tabela 12 - Resistência à compressão para fibras secas e umedecidas à 0,13% de massa do solo natural com 7 e 28 dias.....	96
Tabela 13 - Resistência à tração para as diferentes misturas de fibras em solo natural e com correção granulométrica com 7 e 28 dias.....	96
Tabela 14 - Resistência à compressão para as diferentes misturas de fibras em solo natural e com correção granulométrica com 7 e 28 dias.....	98
Tabela 15 - Síntese dos principais ensaios físicos e mecânicos com o solo estabilizado por cinzas com 7 e 28 dias.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

MSc – Master of Science

DEMC - Departamento de Engenharia de Materiais e Construção

MG - Minas Gerais

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

PCA - *Portland Cement Association*

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*

UNESCO - *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

UNI EN - *Ente Nazionale Italiano de Unificazione*

BTC - Bloco de terra comprimido

CP - Corpo de Prova

MPa - Megapascal

Kg/dm³ - Quilograma por decímetro cúbico

mm - Milímetro

cm - Centímetro

LL - Limite de Liquidez

LP - Limite de Plasticidade

IP - Índice de Plasticidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 A construção com terra em perspectiva: a mercantilização dos materiais de construção no Brasil	4
3.2 O solo como material construtivo: a relevância social e científica das pesquisas que investigam o resgate qualitativo da metodologia de construção com terra	18
3.2.1 Propriedades características do solo	20
3.2.2 Aprimoramento do potencial construtivo do solo	21
3.2.3 Cuidados e limitações da construção com terra	27
3.2.4 Construção com terra como evidência histórica	29
3.2.5 Normatização da construção com terra	30
3.3 Potencial de aplicabilidade da construção com terra em populações vulneráveis	34
3.3.1 Os condicionamentos socioculturais	36
3.3.2 Perspectivas de aplicação	39
3.4 Adequabilidade de solos para a produção de adobes e sua estabilização com fibras de coco e cinzas de eucalipto	43
3.4.1 Fibras de coco	54
3.4.2 Cinzas de eucalipto	56
4 MATERIAIS E MÉTODOS	59
4.1 Materiais constituintes	59
4.1.1 Solo	59
4.1.2 Areia	59
4.1.3 Cinzas de eucalipto	59
4.1.4 Fibras de coco	60
4.2 Procedimentos experimentais	60
4.2.1 Ensaios físicos do solo sem e com correção granulométrica	60
4.2.2 Ensaios mecânicos do solo com correção granulométrica	63
4.2.3 Seleção da mistura de referência para a produção de adobe	64
4.2.4 Ensaios físicos do solo com adição de cinzas de eucalipto	64
4.2.5 Ensaios mecânicos do solo com adição de cinzas de eucalipto	65
4.2.6 Ensaios mecânicos do solo com adição de fibras de coco	66
4.2.7 Ensaios mecânicos dos adobe	67

4.3 Dimensionamento e montagem da maquete de silo	<u>69</u>
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1 Solo sem e com correção granulométrica	71
5.1.1 Propriedades físicas do solo	71
5.1.2 Propriedades mecânicas do solo	<u>77</u>
5.1.3 Seleção da mistura ideal	<u>84</u>
5.2 Solo com adições de cinzas de eucalipto	84
5.2.1 Propriedades físicas do solo	84
5.2.2 Propriedades mecânicas do solo	90
5.3 Solo com adições de fibras de coco	93
5.3.1 Propriedades mecânicas do solo	94
5.4 Resistência à compressão de prismas sem e com adição de cinzas de eucalipto	98
5.5 Construção da maquete de silo de adobe	100
6 CONCLUSÃO	103
7 TRABALHOS FUTUROS	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXO A - Principais normas de construção com terra no mundo.	119

1 INTRODUÇÃO

O caráter milenar e a diversificada gama de métodos no emprego da terra (denominação utilizada como referência ao solo próprio para construção (NEVES, 2004)) com fins construtivos não resistiram às novas tecnologias manufaturadas e ao pensamento economicista, esses inerentes e advindos de uma nova ordem político social que se disseminava pela esfera de influência das sociedades industriais, como afirmam Barbosa e Ghavami (2014). Entretanto, o fato dessa prática não ter sido completamente sobreposta, antes relegada ao informalismo e às áreas periféricas, suscita iniciativas científicas de contribuir com a modulação das consequências de séculos de uma hegemonização positivista das tipologias arquitetônicas (DETHIER, 1982).

A condição de rejeição e descrédito ao qual a arquitetura de terra esteve circunscrita nas últimas décadas (BARBOSA, 2003) provocou uma redução significativa na qualidade das construções com terra, principalmente quando a metodologia é adotada sem o devido conhecimento técnico necessário, como afirmam Canteiro e Pisani (2006). Situação essa que pode vir a ocasionar manifestações patológicas nas estruturas, propiciando a proliferação de doenças em seus usuários e justificando os receios e as desconfianças da população com o material (SILVA, 2000). Portanto, para a aplicação da terra é imprescindível uma abordagem científico tecnológica, ou seu uso pode levar ao surgimento de edificações precárias, que não incorporam as vantagens que o solo empregado com fins construtivos pode proporcionar a seus usuários.

Nessa perspectiva, tem-se em vista não a reversão, mas a tentativa de contribuir com a modulação das consequências de séculos de uma hegemonização das tipologias arquitetônicas, que não apenas hierarquizaram as técnicas antes empregadas, independentemente das condições do entorno, mas também planificaram os conhecimentos até então vigentes, levando as práticas tradicionais ao esquecimento. Visando a ampliar o potencial e a compreender melhor as limitações do emprego de adobe em áreas periféricas, esse trabalho propõe inicialmente a contextualização histórico social da técnica construtiva e a investigação dos contextos e situações de sua aplicação. Esse escopo foi amparado por uma abordagem que ressaltou a relação que se dá entre o método construtivo em pauta com

as circunstâncias sociais e econômicas do meio em que é empregada, levando em consideração a carga cultural e ideológica inerente aos materiais industrializados e importados. Objetivou-se realçar as reais perspectivas da produção do adobe na atualidade e as contradições entre um material construtivo dito alternativo com um contexto que se baseia em uma lógica na qual a produção é um fim em si mesmo.

Na análise do potencial construtivo, e do caráter histórico social da terra como material construtivo, duas questões determinantes da problemática da viabilização da arquitetura com terra no cenário atual ficaram evidentes. A relação entre a investigação científica e a questão social ganhou relevância, da mesma maneira que a necessidade, por parte dos membros associados, da compreensão do momento e do contexto histórico em que suas ações se situam adquiriu papel de destaque. Por meio de uma metodologia que evidenciasse a adaptabilidade do adobe em relação à variada gama de possíveis aglomerantes presentes nas áreas rurais, e que considerasse os resíduos característicos dessas regiões que manifestam um potencial construtivo quando em associação com o solo, é que se explorou uma possível otimização das principais características do composto através da adição de estabilizantes naturais, visando a sua aplicação social. A procura por uma menor retração fundamentou o acréscimo de fibras de coco na mistura, exercendo a função de armação natural, enquanto a utilização de cinzas vegetais se baseou na busca de uma variação da performance mecânica do solo através da incorporação de um material de aspecto pozolânico que também diminuísse a sua variação volumétrica.

A trabalhabilidade do solo e sua resistência mecânica foram avaliadas de acordo com o acréscimo de duas adições vegetais características de áreas rurais e geralmente caracterizadas como resíduos, as fibras de coco e as cinzas de eucalipto. Ensaio de caracterização, de retração, e absorção por capilaridade, por um lado, e as resistências à compressão simples e à compressão diametral (tração), por outro, permitiram escolher a mistura mais propícia à fabricação de adobe, que foram confeccionados com o objetivo de construir um protótipo de silo de adobe para armazenamento de grãos. Através da busca por otimizações qualitativas do material, foram investigadas diferentes maneiras de aplicação da terra como elemento de construção para fins diversos.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos acrescentar algumas considerações sobre a construção com terra e fazer uma análise do comportamento físico e mecânico do solo visando a aplicação em adobe com a presença de adições naturais, cinzas de eucalipto e fibras de coco, com o objetivo de reintroduzir a utilização dessa metodologia construtiva em pequenas comunidades no Estado de Minas Gerais, a partir das seguintes etapas:

1. Analisar o desdobramento histórico da conjuntura que levou à desvalorização do solo cru como material de construção, colocando-o em segundo plano em relação aos materiais industriais;
2. Verificar o comportamento físico do solo com adição de diferentes proporções de resíduos vegetais;
3. Avaliar o comportamento mecânico do solo natural estabilizado granulometricamente ou com cinzas e fibras sob esforços de compressão e tração;
4. Selecionar a mistura ideal para a construção em alvenaria de um silo de armazenamento de grãos de pequeno porte;
5. Estudar a influência das fibras de coco no desempenho mecânico do solo.
6. Divulgar o trabalho visando difundir o conhecimento sobre os benefícios de utilização de adobe na construção.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A construção com terra em perspectiva: a mercantilização dos materiais de construção no Brasil

A ampla diversidade de metodologias construtivas vernaculares incidentes nas mais adversas situações climáticas e geográficas propiciaram a propagação de edificações arquitetônicas à base de terra em vastas localizações, atendendo assim a uma variada gama de solicitações estruturais e culturais ao longo da História. Esse saber milenar de construção abrange desde a utilização do adobe e de blocos recortados diretamente do solo à taipa de pilão de relativa complexidade, e destaca o barro cru como um excelente material estrutural, pois possui ótimas plasticidade e flexibilidade construtivas e uma capacidade de aprimoramento físico e mecânico comparativamente simples. Entretanto, mesmo com o caráter secular dessa prática construtiva, da sua praticidade, economia e durabilidade, os conhecimentos de construção com terra foram sendo postos em segundo plano a partir do processo de urbanização e industrialização (BARBOSA, 2003; BARBOSA e GHAVAMI, 2017). Esta transformação histórica é determinante do atual estado de informalismo que permeia as práticas contemporâneas de arquitetura com terra, e que não condizem com o seu histórico de uma utilização ampla, que, como afirma Dethier, (1982, p. 27), não se restringia à uma classe social específica ou à uma determinada sociedade ou cultura, sendo adotada tanto em estratégias militares quanto nas construções civis ou públicas e monumentais. Uma aplicação de caráter secular, mas que atualmente, mesmo ainda sendo adotada por cerca de 30% da população mundial, principalmente dentre as classes desfavorecidas dos países subdesenvolvidos, é concebida somente como uma alternativa em relação aos produtos industriais (BARBOSA e GHAVAMI, 2014).

Uma contradição histórica entre a atual concepção dessa metodologia construtiva e seu passado de ampla aceitação, consequência de séculos de uma hegemonização das tipologias arquitetônicas, que não apenas hierarquizou as técnicas antes empregadas, independente das condições do entorno, mas também planificou os conhecimentos até então vigentes, levando as práticas tradicionais ao esquecimento (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1981). Situação essa que não foi capaz de impedir diversos

movimentos paralelos à essa padronização, seja de maneira prático social (MERRIL, 1947), ou seja teoricamente (TORGAL e JALALI, 2012). Porém, por mais expressivos que tenham sido as contribuições no resgate técnico e na divulgação científica e popular dessa metodologia construtiva como alternativa ecológica e socialmente viável, como afirma Barbosa et al. (2007), esses empreendimentos não são suficientes para elucidar as razões que levaram ao ofuscamento dessa prática arquitetônica.

A tentativa de investigar essas causas deve analisar a dinâmica histórica inerente a essa transformação dos métodos de construção, o que permite uma avaliação da evolução da humanidade e do desenvolvimento de sua capacidade de manipulação da realidade prático-material com fins construtivos. É através de uma perspectiva historiográfica e crítica que será possível ampliar a base de discussão, evidenciando a necessidade da consideração das eventuais forças sociais e econômicas contrárias a esse movimento paralelo à indústria construtiva especulativa. Neste sentido, analisaremos neste trabalho o contexto de maior relevância no percurso histórico das construções humanas com terra, ou seja, quando essas foram relegadas ao segundo plano pelos produtos industriais de construção, tendo o Brasil como principal objeto de estudo.

3.1.1 Condicionamentos econômicos, políticos e sociais como forças históricas

Ao longo da história do homem, a arquitetura de terra esteve presente como recurso fundamental na sua sobrevivência e desenvolvimento, adquirindo ampla aceitação e suscitando diferentes formas de emprego por parte de seus usuários, sendo até mesmo reservada para construções religiosas (ROMERO E LARKEN, 1994). Em todos os cenários, a adoção de materiais construtivos esteve determinada, por um lado, pela disponibilidade natural no meio circundante e pelas tradições construtivas locais, como demonstrado por Revuelta e Merino (2013), e, por outro, pelo status social ou pelo poder aquisitivo do habitante (PULGARÍN, 2016). Porém, ao longo do tempo o último fator tornou-se preponderante, mas não simplesmente pela maior oferta de materiais, mas também, como afirma Marx *et al.* (2013), reflexo constituinte de uma tendência universal da abstração financeira e mercadológica dos produtos humanos no modo de produção capitalista, através da predominância do valor de mercado sobre sua conveniência como instrumento prático.

É nesse sentido, de uma transformação das necessidades da humanidade ao longo do enriquecimento de sua vivência, que em uma avaliação linear, contínua e homogênea de um determinado aspecto abstraído da evolução do homem no processo civilizatório, a relevância que se atribui aos condicionamentos históricos irá variar de acordo com a amplitude temporal da investigação. E por isso, essa delimitação cronológica pode vir a se configurar como uma perspectiva seletiva na disposição mecânica e causal dos fatos, o que se destacaria em um nivelamento dos acontecimentos históricos e acarretaria em uma noção de justificativa do presente; mas ela também se caracteriza por uma desconsideração dos retrocessos no enfoque evolutivo do desenvolvimento humano, atitude evolucionista que se encontra impregnada por um conformismo em relação aos prováveis cenários futuros. Não é o caso da análise que ressalta a concepção da dinâmica do processo histórico em relação, e a partir dos cortes do “continuum” da História, na qual o determinismo da evolução tecnológica de produção é posicionado em evidência tanto no que se refere ao caráter condicionante da estrutura social em vigor, quanto à capacidade fecundante ou limitativa do patrimônio cultural e ideológico. Ou seja, uma avaliação das forças históricas que leva em conta uma ideia de descontinuidade do fluxo temporal, e que, ao relacionar a casualidade com o caráter homogêneo da causalidade programada, contribua com a compreensão dos demais aspectos que interagem nessas transformações ao salientar o trabalho socialmente necessário como o principal mediador das relações humanas. (RIBEIRO, 1970; BENJAMIN, 2013)

Dentro dessa concepção é que podemos afirmar que, também no que se refere à arquitetura de terra, é a estrutura sócio-econômica de produção da sociedade que determinará a hierarquia de importância dos fatores que possibilitam suas variações técnicas de construção: de ordem cultural, climática e material (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1981, p. 7-18). Como por exemplo, têm-se as habilidades construtivas dos povos do Norte da Costa do Marfim, local de clima desértico e pouco ameno, mas cujas relações sociais-produtivas determinavam as prioridades arquitetônicas. O domínio antecipado de práticas de agricultura permitiu a auto-suficiência das comunidades, levando à formação de grupos cada vez maiores de pessoas e ao desenvolvimento de comportamentos sedentários. Nesse sentido, a agricultura é o ponto de partida da organização social com especialização planejada de atividades, o que por sua vez permitiu o mais complexo desenvolvimento

das tradições da região. Ou seja, além das especificidades climáticas locais, o “primeiro elemento determinante” é o comportamento sedentário, que permitiu uma otimização dos métodos construtivos capaz de aumentar a durabilidade das construções, assegurando assim a permanência da população. Dessa forma, a aplicação da terra como material de construção por essas comunidades serviu como uma resposta às suas necessidades objetivas, proporcionadas por um modo de vida e uma condição climática específicos. Esses povos descobriram que as construções de adobe (tijolos de terra) eram mais resistentes que as antigas construções típicas da região, espécie de taipa de palha que eram executadas pelas mulheres da comunidade. Descobriram também que esses tijolos eram mais propícios às edificações em formas cilíndricas, o que foi eficaz para a proteção contra as tempestades de vento. Mas a utilização desse novo material e o desenvolvimento de uma metodologia mais complexa e trabalhosa de construção só pôde ser alcançada após a passagem ao estado sedentário e à racionalização da organização na produção construtiva. Este caso é diferente de seus vizinhos do sul que se situavam nas florestas tropicais na costa litorânea, e que viveram baseados na coleta extrativa do bioma local em um comportamento nômade que não necessitava de construções mais resistentes, fazendo o uso de materiais vegetais nas edificações temporárias chamadas “ramajes” (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1981, p. 37-38).

Outro exemplo histórico da determinação do modo de produção social sobre a construção arquitetônica com terra são os índios “Pueblo” na América do Norte, cujo processo de transição de uma vida nômade, passando por um estágio semi-sedentário, até a chegada ao sedentarismo por completo pode ser verificada no seu estilo arquitetônico ao longo do transcurso cronológico. Possibilitados pelas novas condições sociais, os desenvolvimentos dos métodos construtivos vinham atender a novas necessidades, como o crescimento demográfico proporcionado pela evolução da agricultura e a procura por maior durabilidade das construções, fruto da recente priorização da qualidade construtiva em relação ao imediatismo do abrigo temporário. O surgimento do feitiço de ladrilhos de barro, por exemplo, permitiu uma maior eficiência construtiva (mais prático e plástico) em um contexto de aumento populacional, possibilitando também a manutenção das construções piramidais tradicionais, mesmo em zonas escassas em pedras (ibidem, 62). A própria disposição vertical das residências dos povos indígenas “Pueblos” do Novo México e do Arizona nos Estados Unidos da América (E.U.A.) são resultado, principalmente, da

organização matriarcal da população, que necessitava de ampliações de acordo com as necessidades de novos membros (genros) ou daqueles que retornam (irmãos viúvos ou solteiros da matriarca) (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1981, p. 51-54).

Para os povos “Pueblos”, esse aspecto tradicional persistiu à época da chegada dos europeus na América, período em que as primeiras edificações dos colonizadores valeram-se dos materiais naturais disponíveis no meio, assim como das técnicas e estratégias de sobrevivência dos povos originais. O compartilhamento desses saberes, ao menos de imediato, foi recíproco, com os nativos também se beneficiando dos conhecimentos técnicos trazidos da Europa. Os índios “Pueblos” já utilizavam o adobe como material construtivo, mas o contato com os espanhóis possibilitou a otimização dessa prática: assimilaram novas formas de moldar os tijolos, aprenderam a construir fornos circulares de uso comunitário, e também se beneficiaram da difusão de ferramentas metálicas, que permitiram otimizar o manuseio da madeira como suporte estrutural (ROMERO e LARKIN, 1994, p. 18-21). Também no território no qual atualmente se encontra o estado de Dakota, nos E.U.A., os indígenas utilizavam o adobe como material construtivo, fato que motivou um dos poucos interessados na metodologia da taipa de pilão (barro moldado dentro de formas de madeira deslocáveis na vertical) (Elbert Hubbel), como também o seu antecessor e conterrâneo Ralph Patty, à construir estruturas em “pisé” para os índios (MERRIL, 1949, p. 40-41). Já na área de colonização inglesa no norte do continente americano, além dos tijolos não queimados, foram adotadas duas metodologias de construção já presentes na Inglaterra: o pau-a-pique (“wattle and daub”), que veremos a seguir, e o adobe monolítico, feito com barro, palha e esterco. Os colonizadores também se utilizaram de blocos de terra recortados do solo no território dos planaltos do Meio Oeste, quando a demanda era a construção de abrigos temporários, ao passo que na Pensilvânia foram empregados muros de madeira com reboco de barro, devido à necessidade de proteção aos ataques incendiários dos indígenas. (ibidem, p. 73). Mas, de modo geral, em ambas as situações espanhola e inglesa de exploração da América do Norte, e nas ocupações dos territórios ao sul do continente americano, os colonizadores europeus valeram-se, especialmente nos primeiros séculos de colonização, dos materiais locais para as construções, o que levou inicialmente a uma relativa homogeneidade entre as diferentes classes de cada região, como afirmam Lacoste *et al.* (2012), apesar das múltiplas possibilidades que o contexto local disponibilizava.

Essa reciprocidade inicial no compartilhamento de conhecimentos construtivos entre civilizações também se evidencia em outras regiões do continente americano. No Brasil, antes da colonização portuguesa, não existiram civilizações ou culturas sedentárias cuja estabilidade houvesse promovido tradições arquitetônicas que deixassem vestígio da aplicação da terra como material (HOFFMANN, 2017). No entanto, podem ser encontrados exemplos de aplicação de técnicas similares por tribos indígenas semi-nômades, como as casas subterrâneas e semi-subterrâneas encontradas nas regiões sul e sudeste (WEIMER, 2006, p. 18-21) (que também já foram verificadas entre tribos no norte do Sahara, nos índios Pueblos na América do Norte e na China, devido ao eficiente isolamento térmico que proporcionam (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1981, p. 7; 148)), ou as construções ocasionais realizadas pelos indígenas pampeanos semi-nômades. Este último grupo utilizava-se do barro na edificação de sepulturas e o aplicava estruturalmente na montagem de uma base plana, quando no contexto de terrenos pantanosos. Especialidade essa que foi explorada pelos conquistadores europeus para as construções de fortes litorâneos, e que facilitou, por parte dos indígenas, o aprendizado do método construtivo dos torrões prismáticos de terra, de acordo com Weimer (2006, p. 12-21).

Também há registros de outras tribos que empregavam procedimentos similares ao pau-a-pique (ou taipa-de-mão, que consiste numa técnica de prensagem da argila em uma trama vegetal) (CANTEIRO e PISANI, 2006). Tal método, em um contexto de abandono financeiro e de sucateamento por parte da Coroa Portuguesa que predominou ao longo da história dos Brasis Colônia e Império (WEIMER, 2006, p. 39-40), terminou por constituir-se no principal recurso construtivo em todo o território nacional por sua praticidade e economia, como afirma Vasconcellos (1979, p. 33). Esse estilo simples de estrutura era utilizado principalmente nas divisórias internas das construções tanto na América portuguesa quanto nas colônias espanholas. Foi inclusive um costume em todo o litoral do mediterrâneo por muitos milênios, adotado no levantamento de cercas e divisões de vinhedos e hortas, por sua capacidade em armazenar a radiação solar e irradiar a temperatura ao campo ou aos animais durante a noite, e sendo também utilizado pelos colonizadores ibéricos nos muros defensivos nas colônias do novo continente, tornando-se parte da cultura latina (LACOSTE et al., 2012). Outro exemplo de assimilação de patrimônio cultural arquitetônico de outras sociedades é o fato de que podiam ser encontradas também soluções árabes na harmonização do conforto térmico das construções

nas cidades e vilas litorâneas, não apenas em razão das rotas comerciais marítimas dos portugueses, mas também pela influência moura depois de séculos de ocupação sobre a Península Ibérica (SOUZA, 2012).

Mas, além dos costumes tradicionais, os condicionamentos sócio-políticos também foram centrais nas práticas arquitetônicas durante a colonização ibérica. Em São Paulo, local em que ainda hoje os oleiros do interior selecionam empiricamente a argila apropriada para a construção, tanto a taipa de pilão quanto a taipa-de-mão tornaram-se predominantes em razão da dificuldade em se encontrar jazidas de pedra nos campos de Piratininga. Motivo pelo qual não eram comuns nas residências paulistas, diferentemente das de Minas Gerais, a presença de alvenarias de pedra abaixo das vigas de baldrames (CANTEIRO e PISANI, 2006). No entanto, como demonstrado por Vasconcellos (1960, p. 65), a diferenciação dos elementos construtivos entre os dois territórios se deu principalmente em razão das diferentes formas de expansão urbana que ocorreram em São Paulo e Minas Gerais. Os territórios mineiros, mesmo tendo sido descobertos pelos bandeirantes originários do primeiro, demonstraram, já nos primeiros séculos, uma predominância dos artesãos e construtores portugueses. O rápido interesse da Coroa nas minas recém-descobertas fez com que o influxo de forasteiros ibéricos sobre plantasse os exploradores paulistas, através de técnicas e instrumentos de exploração mais eficientes que os métodos elementares dos bandeirantes, de acordo com Oliveira et al. (2013, p. 146). Ou seja, dentro desse caso podemos verificar que, assim como exemplificado no caso dos E.U.A., o predomínio da terra como recurso construtivo ao longo da história brasileira, além de diretamente relacionado aos materiais disponíveis, era também, como afirma Hoffmann (2017), determinado pela cultura construtiva praticada em cada localização, o que fica evidente desde o início da colonização.

Nos territórios portugueses do novo continente, as primeiras residências erguidas intencionalmente com o intuito de serem permanentes e resistentes foram os fortes e as casas-grande nos litorais do norte da colônia. Estas últimas eram à base de taipa de pilão ou então constituídas por pedra com argamassa de barro ou cal, expressando a necessidade de proteção que se fazia necessária contra os indígenas ou os estrangeiros nessa fase inicial, dos primeiros séculos de ocupação (XV e XVI). Tais construções eram feitas a partir de madeira, barro e fibras vegetais, com o emprego da alvenaria de pedra e

argamassa de cal ou barro adquirindo certa relevância, prestígio e até mesmo eventual hegemonia em certas localidades e classes sociais. Após o século XVII, o uso das técnicas de construção com fins bélicos começa a entrar em declínio, ao passo que a assimilação dessas habilidades na edificação de hospedarias ou de santa-casas se tornou cada vez mais expressiva (FREYRE, 2015, p. 36). Entretanto, esse caráter de defesa persistiu ao longo do período colonial, no qual as construções públicas eram escassas e erguidas apenas quando do interesse imperialista de Portugal. Essa situação foi mais evidente nas fronteiras do sul, como afirma Weimer (2006), local em que as disputas territoriais eram mais recorrentes, fossem com os espanhóis ou com os nativos indígenas, e onde as poucas edificações públicas foram basicamente instituições de defesa e/ou de coerção interna (fortes, quartéis, prisões, igrejas) por muitos séculos. Tais características ajudam a esclarecer o fato de que os militares estiveram, em grande medida, encarregados dos projetos e das construções oficiais no país até o início do século XX.

Nesse mesmo sentido de um condicionamento político, econômico e social na arquitetura, o isolamento material, geográfico e militar imposto sobre a região de Minas Gerais acarretou uma autonomia construtiva e um estilo arquitetônico particular. Essa condição de especificidade, somada à alta demanda da eminente concentração de renda fomentou o aparecimento de um mercado artesanal profícuo para o qual se deslocou uma parcela significativa dos trabalhadores livres, promovendo assim o surgimento de diferentes peculiaridades estilísticas nas obras (VASCONCELLOS, 1960, p. 103). Algo similar ocorre no sul do território da colônia portuguesa com a prática de taipa de pilão, técnica adotada pelos bandeirantes em suas peregrinações, quando estes exploraram de São Paulo até o norte do rio Prata, no atual Rio Grande do Sul. Isso ocorreu por influência do Império Português, que procurava por terras propícias à uma pecuária extensiva para abastecer Minas Gerais, território no qual havia sido proibida a prática de qualquer outra atividade que não fosse a mineração (WEIMER, 2006, p. 29-36).

Observa-se que nos primeiros séculos da colônia portuguesa a cultura construtiva no Brasil constituiu-se através de um cruzamento entre diferentes estilos arquitetônicos adaptados ao novo contexto, principalmente entre as características indígenas, africanas e europeias (LE MOS, 2011). Entretanto, como coloca Vasconcellos (1960, p. 63), as construções coloniais no território português na América não se configuram enquanto uma arquitetura

brasileira propriamente dita. Suas peculiaridades representaram menos características autóctones e originais, manifestações de uma cultura nativa em formação, do que adaptações e soluções que o novo contexto a ser explorado exigia das normas, técnicas e valores transplantados de outras sociedades (HOLANDA, 1999, p. 31).

Esse cenário de contrastes e de empirismo experimental na construção com terra no Brasil, articulado à instabilidade de uma economia frágil e descontínua, manifesta-se em uma arquitetura que, em seus aspectos gerais, era essencialmente precária e de caráter transitório. Esse fator se destaca principalmente na construção das residências, em que a aquisição de materiais era dependente de uma estrutura financeira doméstica bastante vulnerável, característica de uma economia essencialmente agroexportadora e completamente suscetível às vicissitudes do comércio mundial. As oscilações no valor dos produtos primários no câmbio internacional tinha reflexos expressivos no funcionamento do mercado interno, não sendo, portanto, uma força determinante no fomento de construções arquitetônicas “vultosas ou requintadas” (VASCONCELLOS, 1960, p. 64). Não obstante, o controle exercido pela Coroa Portuguesa sobre a insignificante indústria manufatureira da colônia (que exigia até mesmo a importação dos materiais de construção no levantamento de edifícios oficiais de relevância (VASCONCELLOS, 1979, p. 24)), associado à falta de interesse em aplicar o capital excedente em atividades fora do ramo agro-exportador, e também o preconceito e o repúdio ao trabalho manual (típicos de uma sociedade baseada na escravidão) perpetuaram a dependência externa da economia local, assim como impediram a formação de um mercado nacional amplo e diversificado (PRADO JÚNIOR, 2001). A escassez de produtos básicos atingia todos os setores da vida social, inclusive o da construção civil (mencionemos por exemplo a cal, que por muito tempo foi substituída pelo barro ou por conchas e mariscos queimados, de acordo com Vasconcellos (ibidem, 1979, p. 62)). Essa situação começa a se transformar em seguida a abertura dos portos no Brasil, que se deu após a chegada da corte portuguesa no país. A partir desse momento, as características arquitetônicas que resultaram da miscigenação de povos foram perdendo a sua predominância, como afirma Souza (2012). Para se ter uma ideia, as construções à base de taipa-de-mão, presentes no município de São Paulo até a década de 1940, já dividiam espaço com os tijolos maciços em 1850 (CANTEIRO e PISANI, 2006). Mas esse cenário não estava distante dos demais centros populacionais que se encontravam dentro da esfera de influência do mercado europeu, nos quais as técnicas

de construção com terra foram abandonadas devido ao fato que as relações sociais do homem modificaram-se nos últimos tempos em uma escala planetária, como “as necessidades de construção, seu modo de produção, o tempo dedicado à construção e as atividades dos homens” (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1982, p. 32).

Mudanças essas que se relacionam às transformações mundiais inerentes à ascensão de uma nova ordem social nos centros industriais, que se fundamentaram no estabelecimento de outra organização econômica. Nos países onde a acumulação de capitais provindos do comércio mercantil se deu de forma mais acentuada, setores da burguesia assumiram relevância econômica e política, especialmente após se associarem ao capital financeiro e constituírem conglomerados industriais capazes de pautar as questões nacionais, e de reger o poder político de acordo com suas necessidades. Eventualmente, esse cenário acarretou na concentração e no aumento da produtividade no centro do comércio mundial, suscitando a queda da taxa de lucros e da necessidade de escoar as mercadorias de uma produção que crescia tendo em vista o corte de custos, o que motivou a busca por novos mercados, como as antigas áreas de exploração mercantil. Essa contradição interna do processo de industrialização, em que a expansão do mercado de produtos industriais e a maior circulação de moeda são imanentes à uma maior concentração de renda, não poderia deixar de, eventualmente, submeter não apenas os seus mercados internos, mas também os territórios periféricos. Isso se deu através da adoção de métodos coercitivos próprios, que sobrepôs ao processo produtivo a fetichização do valor de troca em associação à concepção da otimização produtiva como dotada de um fim em si mesma. (MARX *et al.*, 2013; LENIN, 2012; WOOD, 2014)

Nos Estados Unidos, os oligopólios industriais e financeiros nacionais exerceram uma oposição declarada contra as poucas, mas notórias iniciativas de uma divulgação mais ampla da terra como material construtivo, fosse em casos de uso particular ou com objetivos sociais, como demonstra Merrill (1949, p. 23-39). São situações como as de S. W. Johnson em Nova Brunswick, no ano de 1806, de Williams-Ellis, em 1918, de Du Moulin, em 1930, e de Tom Hibben no Alabama, em 1936, que suscitaram uma intensa pressão por parte de setores da indústria de construção, de madeira e de alvenaria, que temiam perder uma parcela de seu mercado. O arquiteto Anthony Merrill classifica este argumento como ignorante, e esclarece que os métodos construtivos rudimentares são empregados

principalmente por pessoas que não possuem recursos para adquirir tijolos queimados em grande quantidade. Merrill questiona também as possíveis razões da indústria de madeira em não reconhecer que poderia lucrar fornecendo materiais para o acabamento dessas residências, bem como o fato dos sindicatos de trabalhadores não identificarem os investimentos que poderiam ser aplicados na mão-de-obra da taipa de pilão ao invés de serem direcionados para a compra de materiais industriais.

Esses conflitos de interesses entre civis e empresários que a construção com terra levantou nos E.U.A. no começo do século XX, podem ser vistos na tendência partidária do governo americano em relação aos últimos, que fica evidente nas sucessivas tentativas governamentais em dispersar quaisquer publicações a respeito do assunto (como por exemplo o “Boletim do Agricultor Nº 1500” e os resultados surpreendentes dos experimentos em taipa de pilão do “Bureau of Standards”, ambos censurados inúmeras vezes). Houveram também diversas formas de impedimentos legais, como a insistência por autoridades governamentais na utilização de recobrimentos com cimento, que aumentavam exponencialmente os custos de implantação (MERRIL, 1949, p. 37-41). Ou inclusive a própria proibição da utilização da terra como material construtivo em áreas urbanas até a primeira metade do século XX, através das legislações locais (ibidem, p. 64). O arquiteto David Wright já criticava o impedimento que se encontrava no Código de Construção da Califórnia até a segunda metade do século vinte, que exigia uma armação de metal nos muros de adobe, elevando as despesas na construção sem aproveitar a maior flexibilidade e elasticidade do material (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1981, p. 152).

Mas essa situação de uma formação de oligopólios industriais se caracteriza como uma realidade específica, que não condiz com a realidade de outras regiões já condicionadas à posição de periferia. No restante do continente americano, a retrospectiva do processo de transição dos materiais construtivos deve ser realizada sob outra perspectiva. A limitação da contextualização histórica sobre a evolução formal da técnica como um objeto abstrato da realidade, pode vir a originar um ângulo de análise que é condizente com uma concepção linear e evolucionista da história humana. Essa perspectiva desconsideraria a particularidade de territórios incorporados posteriormente à esfera do capital financeiro, assim como não levaria em consideração os eventuais conflitos relacionados à assimilação de ideias e tecnologias estrangeiras impostas em áreas alhures aos locais em que foram

fundamentadas. Pois, apesar dos desdobramentos similares da absorção dessas regiões pelo que viria a ser a ordem de interesses capitalistas, todas apresentavam um percurso histórico diferente entre si, muitas vezes não sendo capazes de assimilar tais ideias e instrumentos de modo efetivo e autônomo, devido às limitações internas e aos interesses externos (WOOD, 2014; LOWY, 1985; LINERA, 1989). Nessas áreas, o condicionamento ambiental e geográfico dos métodos construtivos deixaria de ser determinante ao longo dos séculos, porém, não em razão do desenvolvimento pragmático das tecnologias pela sociedade local, mas devido à uma nova abordagem de colonização proveniente da expansão imperialista do capital.

Em pleno aumento da produtividade da burguesia através do desenvolvimento tecnológico associado como causa e consequência da acumulação de capital durante a expansão mercantil, a análise do restante do continente americano, diferentemente do caso dos E.U.A., evidencia de forma mais nítida a disputa geopolítica internacional. É através da manutenção da disparidade entre nações que os interesses do capital internacional não só impediram as tentativas de descentralização e popularização dos materiais industriais de construção no mundo periférico, como também incentivaram a monopolização dos mercados domésticos pelos oligopólios internacionais, como veremos a seguir de acordo com (DETHIER, 1982) e (BANDEIRA, 1975).

Segundo Dethier (1982, p. 10), essa estratégia econômica se deu principalmente pela limitação dos financiamentos e empréstimos concedidos ao Terceiro Mundo, canalizando-os à beneficiarem apenas as indústrias pesadas, como as multinacionais do setor cimentício. Essas companhias, diferentemente do momento de sua concepção em seu país sede, não provocavam a otimização dos processos produtivos e o desenvolvimento econômico das novas áreas de atuação. Através das práticas de trustes e de cartéis, além da formação de consórcios e do controle de patentes, essas empresas possibilitaram a manutenção do seu domínio dos mercados periféricos, assim como também inviabilizaram a formação de grandes indústrias nacionais, eventualmente asfixiando-as ou adquirindo fatias de seu capital. Dessa forma, o desenvolvimento da base industrial de estados periféricos era restringida em função de ínfimos investimentos provenientes das matrizes de multinacionais, enquanto estas, por sua vez, retornavam remessas cada vez mais volumosas de lucro. Também condicionavam os governos (quando isso não era realizado

voluntariamente por eles mesmos) a subsidiarem as importações de insumos e de maquinarias já datadas, além de concederem terrenos que garantiam o controle das matérias primas em território brasileiro (BANDEIRA, 1975).

No entanto, além de estarem vulneráveis à pressão externa de um desenvolvimento desigual entre as nações, essas periferias do centro produtivo mundial também carregam o peso histórico de seus conflitos e discrepâncias sociais internas não resolvidas. De modo que podemos então compreender, que enquanto as grandes potências vivenciaram um desenvolvimento acelerado e se consolidaram com a produção de inovações tecnológicas, as regiões afetadas direta ou indiretamente pelas expansões imperialistas das economias industriais, na impossibilidade de incorporarem criticamente as inovações, viram seus modos de sociedade particulares serem afetados e modificados como um todo. Essa assimilação de ideias e tecnologias abstratas, oriundas de outras experiências históricas, levou, como coloca Ribeiro (1970, p. 35), ao esvaziamento das experiências históricas particulares.

Assim explica-se que, no decorrer do século dezenove e vinte foi adotado nos países da América Latina um modelo de desenvolvimento que priorizava a importação de produtos manufaturados, ao invés da busca por uma relativa autonomia na produção material e intelectual. A política econômica era diretamente dependente dos centros tecnológicos e de pesquisa localizados nos centros industriais, dando prioridade para a implementação de grandes multinacionais em territórios nacionais, que disponibilizavam uma baixa folha salarial e prioridade na aquisição do controle de recursos naturais. O mesmo vale para a substituição de importações através da abertura às tecnologias industriais e aos conhecimentos técnico-científicos estrangeiros. Esses, não apenas deixavam de avaliar os reais interesses materiais das populações nacionais mais vulneráveis, como também, ao consolidarem a infraestrutura fabril nacional como dependente das estrangeiras, não demonstravam interesse em solucionar a má distribuição e aquisição desigual de produtos. Ao vincularem as bases produtivas regionais aos bens de capitais importados, restringiram as possibilidades de inovações tecnológicas e científicas locais, que não interessavam aos negociantes brasileiros que importavam máquinas, da mesma maneira que reforçavam a condição de dependência internacional. (LOPES, 1978)

Esse contexto levou à uma crescente importação tecnológica, que levou à uma incorporação das ideias e visões de mundo inerentes ao contexto em que elas foram concebidas, o que viria a provocar a transformação da perspectiva de realidade das populações periféricas (SCHWARZ, 2000). Em relação aos materiais de construção, a aceção da eficiência prática e do conforto do usuário foram ofuscadas pela incorporação do moderno como categoria mercadológica, como Arantes (2014) demonstra no caso da arquitetura modernista. Por outro lado, a presença dos costumes construtivos tradicionais foram sendo renegados à medida que o abandono dos conhecimentos metodológicos eram abandonados, e sua inserção no conhecimento popular foi ocupado por conceitos pré concebidos (SILVA, 2000). Uma conjuntura de condicionamentos econômicos, sociais, políticos e culturais que configuram o atual cenário de informalismo e de descrédito ao qual a arquitetura de terra se encontra nessas regiões periféricas.

Porém, o olhar crítico que foi lançado sobre as novas formas de produção vai além do romantismo nostálgico com as construções coloniais. Não apenas pelo fato de que essas construções originaram-se em um momento histórico específico, e de que seu retorno não passaria de uma nostalgia abstrata, mas também, ao negar o valor dos novos conhecimentos, estaríamos desconsiderando uma etapa da formação histórica das próprias sociedades periféricas. A replicação das técnicas de arquitetura de terra e os estudos de sua viabilidade no contexto atual devem levar em consideração o caráter de reprodução da civilização contemporânea e a concepção sócio-econômica inerente a ela. O que inviabiliza um desenvolvimento econômico e social somente baseado em tecnologias de baixa escala, simples e de uso intensivo de mão de obra, e evidencia a necessidade de assegurar a soberania nacional com o desenvolvimento das populações periféricas. Ao não levar em consideração a susceptibilidade do mercado interno às investidas das nações industriais, o desenvolvimento desigual entre as nações é desconsiderado, da mesma forma que se descarta o papel essencial que o aprimoramento tecnológico poderia ter no atendimento aos interesses sociais, caso sua incorporação não fosse mediada somente por indicadores econômicos e técnicos. O que está em discussão é a possibilidade de uma forma de desenvolvimento próprio que, fundamentando-se nas especificidades regionais e na posição que essas ocupam em uma ordem mundial, propicie uma incorporação crítica das inovações tecnológicas e científicas de alhures, visando atender demandas e prioridades que vão além daquelas mediadas por interesses de mercado.

Buscou-se ao longo desse texto, com o objetivo de contribuir com o debate a respeito das tecnologias de construção ditas não convencionais, analisar as razões da mudança histórica dos hábitos construtivos, posicionando em destaque os aspectos determinantes dessa dinâmica sob uma nova visão. Através da contextualização histórica das mediações econômicos, sociais, políticos e culturais que possibilitaram essa contradição entre a atual concepção da metodologia de construção com terra e seu histórico de ampla adoção, foi possível compreender de forma mais clara os entraves que perpetuam essa condição de abandono à qual sua *práxis* se encontra. A avaliação da correlação de forças históricas que possibilitam a atual inserção da construção com terra na sociedade pode auxiliar na elucidação das razões que levaram ao abandono de uma tecnologia milenar, assim como contribuir para um maior esclarecimento da situação atual, possibilitando a formação de uma renovada perspectiva em relação à arquitetura com terra e uma maior divulgação de seu conhecimento.

3.2 O solo como material construtivo: a relevância social e científica das pesquisas que investigam o resgate qualitativo da metodologia de construção com terra

A condição de informalismo ao qual a arquitetura de terra esteve circunscrita nas últimas décadas (BARBOSA, 2003) suscitou uma redução significativa na qualidade das construções com terra, principalmente quando esse método é adotado sem o devido conhecimento técnico necessário, como afirmam Canteiro e Pisani (2006). Situação essa que pode vir a provocar manifestações patológicas nas estruturas, propiciando a proliferação de doenças em seus usuários e justificando os receios e as desconfianças da população com o material (SILVA, 2000).

Como agravante, as iniciativas de promover a terra como alternativa viável na construção e as tentativas de divulgar recomendações construtivas benéficas também estão sendo pressionadas constantemente pelas mais diversas objeções. Por um lado, existem os atrativos dos produtos industriais, como sua eficiência e praticidade ressaltadas por Sharma (2015), além do domínio econômico e ideológico inerente à forma de produção concentradora desses materiais (BARBOSA e GHAVAMI, 2014). Também há as próprias

propagandas oficiais e/ou informativas de fins sanitários e epidemiológicos que, ao invés de recomendarem as manutenções necessárias a cada forma construtiva, fornecendo também uma nova perspectiva sobre o problema, como sugerem Canteiro e Pisani (2006), incentivam a substituição das técnicas ditas alternativas pelas convencionais (SILVA, 2000; MONTANER et al., 2016). Por outro lado, é notório ressaltar elementos do senso comum que, ao menos de imediato, ressaltam a incompatibilidade de certos aspectos da construção civil com a metodologia de edificação com terra nos dias atuais, como a sua requisição de manutenções periódicas e o seu estilo de organização construtiva diversa daquele de nosso cotidiano de grandes aglomerações urbanas (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1981, p. 7-18).

No entanto, essa metodologia construtiva ainda é adotada por cerca de 30% da população mundial (SEIJO, 2018), cuja ampla maioria carece de um amparo técnico, e se encontra em uma condição de vulnerabilidade socioeconômica, como coloca Dethier (1983, p. 21). E, nos últimos séculos, além de iniciativas pontuais de construção com terra (tais como a aplicação militar pelos Estados Unidos na Segunda Guerra Mundial, ou do modo como foi adotada com interesses sociais por François Cointeraux (ibidem, p. 9), por Hassan Fathy (FATHY, 1980), e por Tom Hibben (MERRIL, 1949, p. 15)), o abandono desse conhecimento construtivo tem sido mitigado através das investigações científicas a respeito do incremento qualitativo do solo como material construtivo (TORGAL e JALALI, 2012). Essa é uma tendência que fica cada vez mais evidente, seja pelo aumento das pesquisas e publicações sobre o tema, como afirmam Torgal e Jalali (2012), ou então pelo crescente número de exemplos de experiências empíricas e investigativas que visam restaurar essa metodologia construtiva através da elaboração de uma nova inserção político, social e cultural (REVUELTA e MERINO, 2014; RAMAGE *et al.*, 2009).

Dentro desse contexto, essas pesquisas de caráter científico só têm a contribuir com a iniciativa de modular esse quadro, disseminando informações primordiais e promovendo essa tecnologia como mais um recurso possível na construção em geral, como afirma Sharma (2015). A partir dessa perspectiva, esse texto irá abordar a interação entre a construção com terra e a *práxis* científica nas últimas décadas, procurando evidenciar as contribuições de maior relevância que essas investigações promoveram através do

aprimoramento qualitativo do material como forma de divulgação dessa prática e da ampliação de seus conhecimentos tradicionais.

3.2.1 Propriedades características do solo

A aplicação do solo para fins construtivos foi de grande utilidade no atendimento das necessidades imediatas dos assentamentos humanos embrionários ao longo da história do homem. Novos métodos de manusear e trabalhar o solo surgiram de acordo com o desenvolvimento dos conhecimentos humanos de domínio da natureza, e por meio das diferentes requisições materiais e culturais suscitadas pelo enriquecimento de sua vivência. Isso fica evidente quando se considera questões como as ressaltadas por Barbosa e Ghavami (2017), a saber, as múltiplas inserções desse método construtivo em diferentes sociedades e processos produtivos, ou a sua capacidade de suportar elevadas variações de temperatura, bem como sua praticidade de construção e o baixo consumo de matéria prima. Por outro lado, a difusão desse método construtivo se expressa pelas variadas maneiras de manusear o solo que existem, resultantes do contato de diferentes culturas com os seus respectivos conhecimentos (ROMERO e LARKIN, 1994), e também em razão da ampla gama de tipos de solos, que demandaram diferentes respostas e modificações ao longo do tempo, como detalha Revuelta e Merino (2014).

Um aspecto determinante desse processo construtivo caracteriza-se pela amplitude do espectro de tamanhos das partículas do solo de cada localização, que diz bastante a respeito de suas propriedades e incita tentativas de melhoria de sua composição e do estabelecimento de misturas ótimas para fins determinados (BARBOSA e GHAVAMI, 2017). No entanto, algumas características são válidas para todas as situações, como o fato de que taxas consideráveis de silte poderem comprometer a resistência da estrutura (WEST, 2014), e que alguns tipos de argila com taxa de expansão significativa (montmorilidrita) devem ter o seu emprego evitado na construção (BARBOSA *et al.*, 2015). Outra peculiaridade que pode vir a se manifestar é a dos terrenos com elevados teores de óxido de ferro e baixo caulínico, que podem apresentar o efeito contrário e retraírem no contato com a umidade, como especificado por Corrêa (2003). E, como cada metodologia construtiva terá requisições específicas, como o fato da taipa de pilão não ser compatível com solos predominantemente argilosos, é possível compreender que a

definição do modo de construção a ser selecionado dependerá das características do terreno de cada região (NEVES, 2002).

A variação da demanda por umidade consiste também em um fator de indeterminância da construção com terra, podendo ser responsável por índices significativos de variação volumétrica e elevada porosidade dos solos, principalmente nos argilosos, o que suscita recomendações de Limite de Liquidez (LL) e de Índice de Plasticidade (IP), de no máximo 55% e 45% (BARBOSA e GHAVAMI, 2017). No entanto, o controle desses fenômenos pode ser exercido através da adição de areia média, como afirma Silva (2000). Essa correção granulométrica provoca a redução do LL e o aumento do IP do solo, além de diminuir a sua necessidade de água e de modular a ocorrência de fissuração e de formação de trincas durante o processo de secagem. No entanto, e apesar dessas adições também diminuir o índice de vazios do solo, elas podem comprometer a sua resistência mecânica, como exposto por Corrêa (2003) e Corrêa *et al.* (2015), o que demanda a sua otimização através de adições complementares.

3.2.2 Aprimoramento do potencial construtivo do solo

O acréscimo de areia média para a correção granulométrica do solo caracteriza-se por uma das formas de estabilização do mesmo, podendo também ser exercida através da introdução de outros materiais na terra, a fim de modificar seu comportamento, como afirmam Barbosa e Ghavami (2014). Nas últimas décadas, a abordagem de caráter científico que os métodos de construção com barro têm recebido permitiu a expansão das possibilidades de sua otimização e uma quantificação mais apurada de seus diferentes métodos de manipulação, como veremos a seguir.

Em relação ao último caso, de um aprofundamento, é interessante notar o caso da aplicação de reboco à base de terra com adições de cimento ou de cal sobre uma superfície não estabilizada, antes recomendada como um acabamento necessário e eficiente como solução para esse tipo de construção (MERRIL, 1949, p. 227), e que, atualmente, é contraindicada na norma E2392/E2392M-10 (ASTM, 2016). Isso se deve ao fato de que, apesar da capacidade em reter as variações volumétricas do solo, esses aglomerantes aumentam a porosidade da estrutura, intensificando a ocorrência de capilaridade e, conseqüentemente,

de anomalias ocasionadas pela umidade (GOMES et al., 2016). Limitação essa que pode ser contornada pela aplicação de betume na argamassa do reboco, uma prática milenar segundo Barbosa e Ghavami (2017), e que teve suas possibilidades ampliadas a partir dos materiais derivados do petróleo, que vieram a serem utilizados principalmente na pavimentação de estradas no século vinte (SOLMINIHAC *et al.*, 1989).

Investigações de caráter teórico também permitiram verificar a eficiência na associação entre diversos outros materiais industriais de edificação com diferentes métodos construtivos com terra, gerando aspectos estéticos e formais agradáveis, como também evitando a formação de eventuais patologias, como afirmam Canteiro e Pisani (2006). Esse é o caso do solo-cimento, cujo uso era incentivado em escala mundial principalmente através da “Portland Cement Association” (PCA), já sendo utilizado nos Estados Unidos na década de 1930 (MERRIL, 1949, p. 39), e dispondo, na mesma época, de um método de dosagem de cimento no Brasil pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), de acordo com Neves (2006). Além disso, a autora relata que na década de 1970 no Brasil, como consequência das questões habitacionais ocasionadas pelas migrações urbanas, a combinação solo-cimento na construção foi estudada no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) através da produção de tijolos e blocos comprimidos. Iniciativa semelhante também foi realizada pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED), que pesquisou o emprego desse material na fabricação de painéis monolíticos para fundações e paredes, e, a partir da comprovação de sua qualidade, buscou compartilhar esse conhecimento (NEVES, 2006).

A incorporação de cimento como aglutinante do solo para fins construtivos ampliou as alternativas possíveis de comportamento estrutural e plástico do terreno, como afirma Neves (2005). E esse uso também indica como se avançou significativamente em relação à sua estabilização sintética ou química, seja com o advento de novos métodos, ou através da otimização no emprego de materiais já conhecidos. Um bom exemplo de aprimoramento do conhecimento técnico é o da cal, que é mais compatível com granulometrias finas, como atestado por Solminihac *et al.* (1989), e que pode, em determinadas doses, diminuir a densidade e/ou incrementar a trabalhabilidade do solo (HOFFMANN, 2004), apesar de não poder ultrapassar uma incorporação superior a 10% por questões mecânicas, e não ser inferior a 6%, devido à sua ineficiência, como determinam (BARBOSA e GHAVAMI,

2017). Em relação aos novos métodos, podemos mencionar a baba de cupim sintética como possível aglutinante (CORRÊA *et al.*, 2014), e a ativação alcalina, que pode ser executada com silicato industrial ou com resíduos cerâmicos, segundo Félix *et al.* (2015).

Pela sua praticidade, também tem sido disseminada a estabilização mecânica do solo por meio do esforço de compressão, que ganhou destaque após a invenção de CINVA-RAM na Colômbia nos anos de 1950 (BARBOSA e GHAVAMI, 2017), e cuja origem remete à prensa mecânica concebida por François Cointeraux em 1789, denominada “la Crécise” (DETHIER, 1982, p. 9), que era capaz de produzir blocos prismáticos como forma alternativa para a construção de abóbadas, arcos e pilares, como afirmam Munõz *et al.* (2014). Essa técnica requer um equipamento específico, que pode vir a necessitar de um suporte energético elétrico ou de combustível fóssil (RAMOS *et al.*, 2001). Além disso, possui especificidades que precisam ser consideradas, como indicam ensaios realizados por Corrêa (2003), como o fato da correção granulométrica do solo por adição de areia média não ser uma medida compatível com a fabricação de blocos de terra comprimida (BTC); ou, dependendo das condições de execução, a possibilidade de não ser aplicada pressão suficiente para prover resistências superiores às do adobe.

No que se refere ao uso de componentes naturais na estabilização do solo, uma categoria de material que ainda instiga pesquisas e levanta opiniões divergentes quanto à eficiência e à durabilidade na construção com terra é a das fibras. A presença de materiais fibrosos pode incrementar aspectos diversos da performance do solo, e se constitui por uma estratégia adotada em diversas regiões e diferentes grupos humanos ao longo da história do homem, como colocam Binici *et al.* (2005). Tal prática se refere principalmente àqueles contextos que possuem uma produção tipicamente agrícola, cujos restos fibrosos ou carburados podem ser incorporados na moldagem dos materiais edificantes, como estudos arqueológicos do começo do século passado já evidenciaram (DARRAH, 1938; PARKER, 1938; BURKE *et al.*, 2017). Algumas dessas pesquisas foram pioneiras ao investigarem evidências orgânicas encontradas em adobes de monumentos históricos, permitindo delinear com maior exatidão a contribuição de determinados povos na disseminação de espécies vegetais (HENDRY, 1931). Possibilitaram também uma melhor compreensão dos critérios de seleção dos materiais utilizados nas construções dos colonizadores da América do Norte (HENDRY; KELLY, 1925). Analisando amostras retiradas de missões jesuíticas

e de assentamentos mexicanos dos séculos XVII e XVIII, Hendry e Kelly (1925) constataram que, apesar da maior parte das fibras se apresentarem padronizadas com comprimento médio de cinco centímetros, esses grupos faziam uso de diversos materiais orgânicos em sua construção. A escolha era determinada pela estação do ano e pela qualidade do solo, havendo mais resíduos nas argilas com textura leve, e sendo encontradas adições de todos os tipos e espécies disponíveis, como gramíneas, galhos e sementes, apesar de uma concentração maior de trigo e cevada.

Mais recentemente, segundo Barbosa (2003), e da mesma forma que no caso do resgate técnico de caráter científico da construção com terra empreendido no século vinte, a conscientização ecológica fomentou pesquisas que exploram o aprofundamento de formas não usuais de transformação na performance do solo. Como exemplo, temos o reaproveitamento de resíduos naturais e industriais até então desconsiderados, caso das sobras da extração da castanha de caju (SILVA *et al.*, 2005), e artificiais, como o papel “Kraft” de saco de cimento (BUSON, 2009), que estão sendo explorados como alternativas viáveis de aperfeiçoamento da performance do solo a partir de resíduos industriais.

Em relação aos aspectos físicos da mistura do solo com materiais fibrosos, as investigações científicas atuais demonstraram que os terrenos argilosos apresentam uma maior compatibilização do que os terrenos arenosos (BOUHICHA *et al.*, 2004), tendência essa que as pesquisas históricas também evidenciaram. Essas investigações concluíram também que uma maior quantidade de argila também é capaz de expandir o potencial desse material em receber maiores quantidades de resíduos de celulose, como afirmam Yetgin *et al.* (2008). Mas, no geral, o reforço com fibras tem múltiplas utilidades: pode prevenir a expansão transversal e aumentar a elasticidade do composto em razão do Efeito de Poisson (BINICI *et al.*, 2005); é capaz de aprimorar a ductilidade do solo e reduzir a sua retração linear, diminuição essa que se torna mais evidente quanto maior for o comprimento das fibras (BOUHICHA *et al.*, 2005); e também, mesmo reduzindo a massa específica da mistura, pode aperfeiçoar a eficiência do isolamento acústico (CAZZONATO *et al.* 2014) e térmico (GARCÍA *et al.*, 2013). Este primeiro fenômeno sonoro ocorre devido ao rebaixamento da densidade do adobe, e pode ser induzido após a adição de outros materiais como as fibras de plástico, a palha ou resíduos de tecido poliestireno, que apresentaram

valores de coeficiente de absorção de sons superiores aos de tijolos estabilizados com pedra-pome, de acordo com Binici *et al.* (2009).

Outro aspecto visado quando da estabilização do solo pela incorporação de fibras é a sua resistência mecânica. Nesse quesito, é importante levar em consideração que esse reforço pode acentuar certas limitações, e, por esse motivo, precauções devem ser tomadas. Isso ocorre principalmente no caso das fibras naturais, que possuem uma força com resistência pouco significativa em sua fase plástica e um Módulo de Elasticidade baixo (YETGIN *et al.*, 2008), em uma relação inversa com o diâmetro das fibras, especialmente às de sisal. Da mesma forma, o comprimento também determinará os resultados finais, assim como com Nasim e Marwan (2015), que obtiveram resistências superiores para fibras de banana com 5,0 centímetros de extensão, quando comparadas às que possuíam 2,5 centímetros. Outra possibilidade a ser considerada é a instabilidade da construção de uma armação interna feita de fibras com origem natural: elas aumentam, principalmente de início, a resistência do solo umedecido, mas diminuem ligeiramente a resistência final do bloco de terra seco (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1981, p. 14).

As especificidades dos materiais fibrosos naturais são visíveis quando comparados com as fibras sintéticas, que possuem propriedades menos heterogêneas e podem, por isso, alcançar resistências duas vezes maiores do que as naturais, além de não estarem sujeitas a serem deformadas por técnicas usuais de medição. Mais especificamente, algumas subespécies de plantas podem produzir fibras que manifestam fragilidades características, como a ocorrência de pequenas e inconstantes quedas nas curvas de resistência à tração nos testes com as fibras de curaua e de bambu, como atestado por Monteiro (2009 *apud* MONTEIRO *et al.*, 2011). Da mesma maneira, as fibras de coco que, mesmo com um diâmetro em média duas vezes maior do que as fibras de sisal, possuem uma umidade natural e uma variação volumétrica similar à essa. No entanto, estas últimas manifestam uma resistência à tração até quatro vezes maior do que as primeiras, e uma absorção d'água significativamente mais elevada (GHAVAMI *et al.*, 1999). Por essas e outras razões, Binici *et al.* (2005) encontraram em seus experimentos resistências à compressão 20% maiores para adobes reforçados com fibras de plástico, quando em comparação com os tijolos com a mesma porcentagem de palha. Destaca-se também a utilização de macrófitas aquáticas na

estabilização do adobe, que não alteram a sua resistência mecânica quando acrescentadas em até 3,5% do total da massa segundo Faria (2002).

Essa contradição torna-se apenas aparente quando levamos em consideração que a adesão entre o reforço fibroso e o solo é afetada diretamente pelas propriedades coesivas deste último, de sua resistência ao atrito da interação com as fibras e as eventuais forças que resultam da variação volumétrica dos materiais (GHAVAMI *et al.*, 1999). No entanto, é possível compreender que sejam constatadas tendências experimentais opostas em diferentes trabalhos, ou que se recomendem limites para sua adição, a partir do balanço das particularidades desses resíduos na interação com o solo umedecido. Enquanto Yetgin *et al.* (2008) verificaram a redução da resistência à tração e à compressão do adobe estabilizado com fibras, explicando que elas podem se evadir quando comprimidas, Binici *et al.* (2005) encontrou a relação oposta, e sugere que a aglomeração heterogênea das fibras nos tijolos podem terminar por comprometer as suas performances. Já Vega *et al.* (2011) constatou que porcentagens elevadas de materiais fibrosos (acima de 25% do volume total) podem reduzir a resistência à flexão. Em relação ao esforço de compressão, como as fibras de bambu por si só não demonstraram eficiência quando em teores abaixo de 2% da massa seca, Barbosa *et al.* (2015) as associou à estabilização química para alcançar resistências mecânicas elevadas. Bouhicha *et al.* (2015), ao contrário, estabelece um limite máximo de 1,5% de fibras na massa total para que não se prejudique a resistência ao esforço de compressão e para que se evite a possibilidade de esfacelamento do solo em seu rompimento, que, de acordo com Ghavami *et al.* (1999), também se torna menos brusca com a presença das fibras. Alguns autores inclusive chegam a recomendar que se evite o emprego de materiais fibrosos em construções com terra, para que a durabilidade não fique prejudicada, a não ser que sua incorporação esteja associada a um outro estabilizante.

Devido à variação volumétrica das fibras quando em interação com a água, Barbosa *et al.* (2015) afirmam que o contato com a umidade pode aumentar o seu volume e acelerar a sua degradação, o que provoca uma redução na densidade do adobe, principalmente em razão da elevação do índice de porosidade durante o processo de secagem. Essas cavidades que se formam em seguida a essa decomposição dos resíduos materiais também é propícia à passagem de insetos, o que compromete ainda mais a vida útil do composto (BUTLER, 1973; BEL-ANZUÉ *et al.* 2016).

Mas, além do caráter expansivo e da durabilidade debilitada dos materiais fibrosos e naturais quando em associação com a água, há outro fator inerente a esses resíduos que suscita diferentes opiniões e interpretações a respeito da suas interações com o solo, tornando necessária a utilização de outra forma de estabilizante em associação com as fibras, como afirmam Barbosa e Ghavami (2014). Como demonstram Barbosa *et al.* (2015) pelo ensaio de capilaridade, a presença de fibras pode aumentar a área de exposição à umidade, em que a incorporação de partícula de bambu aumentou a taxa de absorção do adobe devido à rede de conexão que se formou entre os poros, ampliando assim a taxa de infiltração d'água e podendo comprometer a durabilidade dos tijolos. Os espécimes estabilizados apenas com o bambu não resistiram e se desintegraram sob a presença de água, indicando a necessidade de outro aglomerante, sendo no caso um agregante químico, a baba de cupim sintética. Esse produto, em combinação com os resíduos de bambu, pode reduzir a capilaridade d'água em cerca de 15% devido à maior aglomeração das partículas, como podemos inferir das conclusões expostas por Cazzonato *et al.* (2004). Além do mais, as fibras podem ser tratadas previamente visando a sua maior impermeabilidade através de soluções betuminosas como a “ciplá” e o piche, com destaque para este último, que possibilitou menores índices de absorção, principalmente quando em relação com as fibras de sisal (GHAVAMI *et al.*, 1999). Também é possível atingir um aumento de até 17% na resistência das fibras através de um tratamento prévio de imersão em hidróxido de sódio, que diminuirá o seu índice de finura, provocando maiores pontos de contato com o solo (MOSTAFA e UDDIN, 2015).

3.2.3 Cuidados e limitações da construção com terra

O excesso de umidade representa o maior perigo para as construções com terra, sendo que a possibilidade de desabamentos de estruturas atingidas por alagamentos já era um dos motivos para que essa metodologia fosse desaconselhada pelos órgãos oficiais no Brasil no século XIX, como narrado por Lacoste *et al.* (2012). Tanto em relação à presença em edificações já concluídas ou em processo de conclusão (VARUM *et al.*, 2007), o solo não queimado apresenta uma vulnerabilidade à ação da água, tendo em vista que o aumento na quantidade de líquido reduz sua densidade e, em consequência, a força da unidade de tijolo, como afirmam Yetgin *et al.* (2008). No entanto, essa vulnerabilidade pode ser

modulada devido à capacidade da argila em limitar a penetração de umidade até certos níveis através da redução da porosidade (RAMOS *et al.*, 2001).

Um método possível no controle do processo de secagem como afirmam Yetgin *et al.* (2008), consiste no acréscimo de materiais fibrosos na terra durante a moldagem. Essa adição tem a capacidade de reduzir o tempo necessário, em razão da formação de canais de ar internos que aceleram a evaporação (BOUHICHA *et al.*, 2005), os mesmos canais que, como visto, aumentam a vulnerabilidade do solo já seco à água, apesar que, como pontuado por Munõz *et al.* (2014), determinados tipos de solo são capazes de evitar a putrefação da palha. Também é recomendado que se evite o alisamento das superfícies das construções com terra ainda umedecidas, para que não se obstrua as micro-passagens de ar e se dificulte a perda de umidade (WEST, 2014).

Outra alternativa simples é a secagem dentro de sacolas de plástico, que pode ocasionar produtos estáveis (BINICI *et al.*, 2005), porém, como constatou Hoffmann (2004), esse processo não é recomendado em secagens prévias da terra para a fabricação de tijolos, antes da moldagem do solo. Tomando como base bibliografias estrangeiras que abordam solos de alta plasticidade, e seguindo as recomendações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) do Brasil, o autor averiguou a baixa compatibilidade do procedimento da secagem anterior à confecção de elementos próprios para a construção com terra. Descobriu-se que, mesmo incrementando alguns aspectos do solo, foi possível notar a perda da sua capacidade de aderência.

No que se refere à construção e à proteção de edificações habitacionais ou com fins diversos contra as águas pluviais, as coberturas e as fundações exercem um papel de destaque na impermeabilização da estrutura. Em relação às edificações, recomenda-se a aplicação de uma camada de proteção com cera de óleo de linhaça para que a transmissão do excesso de umidade seja impedida (WEST, 2014). Para que se evite o processo de capilaridade pela base da construção, deve ser realizado o isolamento da estrutura em relação ao solo, que pode ser feita através de uma fundação de pedras, assentadas com argamassa de cimento para construções maiores, ou pastas de terra e areia em construções menores. Além disso, devido ao fato das manifestações patológicas do solo seco e maciço se darem mais em função do impacto brusco da água sobre uma superfície, do que pela

umidade em si, a definição do telhado é primordial em regiões propícias à chuvas com vento (MERRIL, 1949). Recomenda-se para esses locais, a adoção de um beiral de no mínimo meio metro (BARBOSA, 2015).

3.2.4 Construção com terra como evidência histórica

Da mesma maneira que a ciência tem contribuído para o aprimoramento tecnológico da construção com terra, esta também é responsável por auxiliar com o saber científico como uma evidência histórica de tempos passados. Foi mencionado anteriormente a investigação do uso de estabilizantes naturais com adobes em construções históricas, fato que permitiu o reconhecimento do papel dos colonizadores europeus na disseminação de espécies vegetais no norte do continente americano. Esses estudos também permitiram atestar as capacidades de contenção de atividade bacteriana do solo, através da comprovação de germinação de algumas unidades de sementes centenárias recolhidas no mesmo local e datadas do mesmo período (SPIRA e WAGNER, 1988). Nesse mesmo sentido de uma reciprocidade entre as duas atividades, a avaliação das condições das taipas-de-pilão em regiões do Chile permitiram uma maior compreensão da distribuição fundiária, como avaliado por Lacoste et al. (2012). As informações técnicas dos registros coloniais, que dizem respeito à extensão longitudinal dessas construções utilizadas como cercas divisórias, fornecem uma percepção da alta concentração de terras em “Mendoza” e em “San Juan”.

Essa convergência também se manifesta em relação à preservação arquitetônica de construções à base de terra. As conservações desses monumentos, que representam quase que a totalidade dos patrimônios mundiais da *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO, 2012), tem sido facilitada pelo avanço do conhecimento científico de métodos restaurativos de construção com terra mais compatível com o material original. Por exemplo, temos as investigações científicas que descobriram que o uso do silicato de etila é benéfico na manutenção de estruturas de taipa de pilão (HOFFMANN, 2017), enquanto o preenchimento com argamassa de terra estabilizada demonstrou resultados mais eficientes que aplicações pintadas ou de spray (TAYLOR, 1990). No entanto, esse empreendimento do resgate da construção com terra não está isento de dificuldades e limitações. Essas estruturas geralmente estão recobertas por elementos diferentes do original, que podem ter sido adotados por eventuais reformas e reforços, impedindo uma melhor apuração dos dados históricos, como pontuado por Butler

(1973). Outro empecilho à real análise das tradições arquitetônicas (principalmente as africanas) são os prejuízos causados por uma concepção evolucionista da história, que considera as sociedades primitivas como imaturas, descartando a possibilidade de avaliação das suas práticas sociais de construção (PRUSSIN, 1974).

3.2.5 Normatização da construção com terra

As investigações teóricas e práticas também têm contribuído com a regeneração do conhecimento de construção com terra, através da codificação regulamentada de suas principais diretrizes de preparo, planejamento, design e técnicas de edificação, de acordo com (SHARMA *et al.*, 2015). A promoção e a disposição de critérios de segurança razoáveis e empiricamente verificados para essa forma de construção, iniciativa essa que, mesmo possuindo precedentes históricos, ganha uma maior dimensão através do desenvolvimento moderno do comportamento científico do homem, como veremos a seguir, tem visado mitigar sua atual condição de informalismo.

Nos princípios dos tempos modernos, como reação à proliferação de produtos industriais, a partir do século XVIII os métodos e as tecnologias de construção com terra adotados na Idade Média passaram a serem valorizados pelos arquitetos teóricos do ocidente. Podem ser encontrados cinco tratados de arquitetura rural na Espanha até o final do século XIX, enquanto na França, François Cointereaux e outros arquitetos já haviam iniciado uma divulgação de artigos sobre o tema no final do século XVIII, adquirindo ampla repercussão em outros países. Caso da Inglaterra, da Itália e dos Estados Unidos, onde a construção com terra já era conhecida há séculos através de métodos específicos, mas onde a tradução adaptada das obras de Cointereaux suscitou o aprendizado da técnica de taipa de pilão, e incentivou a adoção de novos padrões de qualidade para as construções populares. Situação diferente de outros países, em que as publicações traduzidas do francês serviram para aprimorar formas construtivas já conhecidas, e promover novas iniciativas de divulgação e de preservação das construções com terra em ambientes rurais, como na Rússia, na Suíça e na Alemanha (MUNÕZ *et al.*, 2014).

Nas últimas décadas, multiplicaram-se as iniciativas civis e públicas de normatização dos procedimentos técnicos e dos materiais na construção com terra, dentro conforme os

termos de segurança e as expectativas estruturais atuais, como afirmam Torgal e Jalali (2012). Essas normas têm contribuído com um maior esclarecimento a respeito dessa tecnologia, tenha esse documento valor oficial, como a chilena NCh 3332 (FUENTES, 2018), ou se manifestem em um caráter recomendatório, caso da australiana HB 195 (2012) e do código regional de construção do Novo México NMAC 1474 (1999), assim como aquelas de reconhecimento internacional, como o International Building Code (IBC, 2015) e a americana E2392/E2392M-10 (ASTM, 2016). Cañas *et al.* (2011) catalogam as principais normas construtivas com terra atualmente, categorizando-as pelo órgão de origem e por seus temas, dentre as quais se destacam as neozelandesas NZS 4297-9, que abrangem uma extensa variedade de métodos construtivos.

O desamparo técnico e político em que muitos dos usuários de construção com terra se encontram em países periféricos justifica o maior interesse dessas nações em promover esses convênios construtivos. E a informalidade que ainda paira sobre esse modo construtivo fica evidente quando se verifica que parte significativa dessas estruturas se encontram nos países com as maiores desigualdades socioeconômicas, e que a maior parte delas é produto da necessidade imediata das classes baixas que não possuem condições de acesso aos materiais construtivos comerciais, como demonstrado em UNESCO (2012). Esse é o caso do Peru, onde se estima que cerca de 50% de sua população se enquadra na situação especificada acima. A primeira norma nacional peruana de construção com adobe data de 1985, sendo reeditada em 2007 com o acréscimo de recomendações antissísmicas, e cuja origem foi motivada pela preocupação que se seguiu ao exorbitante número de vítimas após o terremoto que atingiu o país em 1970, afetando principalmente as residências mais simples (ECOSUR, 2007). Essas iniciativas contribuem com a valorização de métodos construtivos tradicionais, que vêm demonstrando uma resistência aos desastres naturais de maneira mais eficiente do que as construções convencionais (RAKHMAN, 2018).

No Brasil, território em que as primeiras edificações com terra datam da colonização portuguesa, as classes desfavorecidas sempre se serviram de uma técnica mista de troncos vegetais e de terra desde a colonização (VASCONCELLOS, 1979) até os dias atuais, segundo Silva (2000). A partir da década de 1970, com a expansão urbana não planejada nas áreas metropolitanas, vários esforços foram empreendidos para auxiliar na fortificação

das construções ditas informais e na disseminação de técnicas construtivas simples e de resistência satisfatória, como no caso dos CEPEDs estaduais e das treze normas brasileiras de construção com solo-cimento da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de acordo com Neves (2006). Apesar dessas últimas se limitarem à abordar o solo estabilizado com cimento, a ABNT tem procurado ampliar os regulamentos voltados à outros estilos construtivos, como o adobe (BARBOSA e GHAVAMI, 2017).

Em relação aos procedimentos necessários para a caracterização e avaliação do solo, esses podem ser realizados através dos ensaios laboratoriais de peneiramento, que no Brasil são descritos NBR 7181 (ABNT, 1984), ou então por ensaios de campo e empíricos, como o teste do vidro (SILVA *et al.*, 2005). Esse último, apresenta um caráter de praticidade e agilidade, apesar da simplicidade, e permite a manifestação dos diferentes componentes granulométricos do solo de acordo com a sedimentação de suas partículas em um meio aquoso, sendo que a verificação deve ser feita uma hora após chacoalhar um pote de vidro que contenha $\frac{2}{3}$ de água, $\frac{1}{3}$ de amostra de solo e uma pequena porção de sal.

Também são regulamentados experimentos cujas práticas são apropriadas para o manuseio em campo, com seus métodos e parâmetros podendo serem conferidos em Neves *et al.* (2005), e que foi elaborado pela organização Proterra, com uma compilação de uma variada gama de experimentos empíricos de uso corrente na construção com terra na América Latina. Neste trabalho, é possível analisar três experimentos de identificação do solo: o teste do cordão, que faz uma verificação preliminar da resistência e é recomendado pela norma E2392/E2392M-10 (ASTM, 2016); o teste da fita, que mede a plasticidade e também está na norma americana; e a caracterização tátil-visual. Esse último ensaio incorpora quatro critérios de análise, a saber, pelo tato, através do tamanho das partículas, além de aspectos visuais como cor e brilho.

O primeiro ensaio consiste na interpretação da força necessária para a ruptura de uma amostra do solo a uma umidade específica, sendo que quanto mais resistente à pressão exercida, maior a quantidade presente de argila. O teste da fita, que segue a mesma umidade do último experimento, toma como critério de avaliação a facilidade de compressão manual de uma amostra de solo cilíndrica com dez centímetros de

comprimento e três milímetros de espessura, no qual quanto maior a dificuldade de comprimi-lo, menor o percentual de argila na mistura.

Já no que se refere à resistência ao esforço de compressão, são diversos os valores de referência recomendados para um comportamento mecânico eficiente do solo. Como coloca Vega *et al.* (2011), algumas instituições como a UNESCO, estabelecem um mínimo de 1,0 N/mm², enquanto a norma peruana NTE E0.80 sugere que os esforços ótimos sejam considerados a partir da marca de 1,2 N/mm². O código de construção australiano coloca a marca de 2,0 N/mm², ao mesmo tempo que as especificações da norma espanhola MOPT colocam como critério os valores de 0,75 e 2,25 N/mm² para solos fracos e resistentes, respectivamente.

Mas em todos esses casos, o que se almeja é um refinamento do conhecimento que garanta um aprimoramento das construções locais, e que possibilite a promoção da qualidade de vida da população, através de uma assimilação profícua dessas transformações de ordem reprodutiva com os conhecimentos empíricos e de escala reduzida que foram olvidados e abandonados com o tempo.

Tendo em vista o cenário atual dessa metodologia construtiva, de uma inserção em um contexto de desinformação é que, através da adaptação das propriedades qualitativas do solo aos padrões de construção atuais, as iniciativas científicas de resgate do conhecimento técnico da arquitetura de terra procuram promover uma nova perspectiva sobre esse material nas práticas modernas. A associação desse recurso construtivo à condição de informalismo não nega, antes evidencia, o fato de que uma parcela significativa da população ainda faz uso do mesmo quando na falta de recursos para obter produtos industriais. E é nesse sentido que, possibilitadas pelas investigações de caráter científico das últimas décadas, o levantamento de informações construtivas voltadas às edificações de terra e a elaboração de novas formas possíveis em sua manipulação promoveram uma maior divulgação de conhecimento conveniente aos usuários. Também possibilitaram que instituições governamentais adotassem políticas sanitárias mais realistas, que consideram as condições objetivas das populações vulneráveis, promovendo o solo como material viável na construção.

3.3 Potencial de aplicabilidade da construção com terra em populações vulneráveis

As qualidades estruturais e arquitetônicas que a metodologia de construção com terra proporciona indicam vantagens que não se restringem às economias financeiras obtidas através da substituição de materiais industriais, mesmo considerando as localidades relativamente afastadas de grandes centros comerciais e com elevados custos logísticos. Aspectos de relevância social e ambiental também podem ser atendidos e aprimorados, como é o caso da assimilação visual e compatibilização material das construções ao ambiente do entorno, no qual as edificações de adobe podem apresentar maior harmonia em relação ao contexto no qual são introduzidas. Outra característica relevante é o menor impacto ecológico que as práticas em estudo proporcionam, bem como o isolamento térmico e acústico proporcionados sem a demanda de energias extras (CARVALHO, 2012; PEREIRA *et al.*, 2014). Do ponto de vista social, tanto a praticidade e a economia da correção da mistura do material, assim como a possibilidade de utilização de matéria prima local para a confecção de tijolos com alta resistência, associam-se à utilização de mão-de-obra da região para a realização de metodologias construtivas de simples assimilação. Essa experiência construtiva adquirida pode se transformar em atividades profissionais mediante sua eficiente incorporação na produção rural e, eventualmente, tornando-se um diferencial qualitativo na produção artesanal regional e também uma possível fonte de incremento na renda (SERTORI *et al.*, 2010; FOLZ *et al.*, 2009).

Porém, a tendência das populações mais vulneráveis em adotar para a construção civil os produtos manufaturados em lugar da terra como material construtivo levou à progressiva perda dos conhecimentos tradicionais, que eram transmitidos oralmente, como afirma Dethier (1982). Isso ocasionou a redução do caráter qualitativo historicamente associado à essa tecnologia (BARBOSA, 1999), acelerando o seu abandono e seu estado de informalismo, apesar de ela ainda sendo adotada por 30% da população mundial, parcela na qual a maior parte não tem condições de adquirir os novos produtos artificiais, de acordo com Seijo (2018). Essa situação de esvaziamento histórico das tradições populares e construtivas das sociedades que historicamente fizeram uso desse conhecimento contribui ainda para a formação de preconceitos e estigmas em relação a essa prática de caráter milenar que, progressivamente vão se consolidando com o passar do tempo (SILVA, 2000).

Essa mudança de perspectiva pode ser compreendida, ao menos de imediato, se considerarmos a otimização qualitativa que os materiais industriais proporcionaram (SHARMA, 2015). No entanto, este argumento não se mantém quando a durabilidade das construções com terra é levada em conta, fator que pode até superar os alcançados pelos primeiros, como já demonstrado por Neves (2006). De modo semelhante, ao argumentar que a construção com barro necessita de atenções e cuidados periódicos específicos que podem desestimular a persistência dessa prática nos dias atuais, Sharma (2015) pode fazer alusão às mudanças comportamentais vivenciadas pela civilização nos últimos séculos. Contudo, o autor não leva em consideração a resistência espontânea que atualmente as pessoas chegam a manifestar sobre este método, ainda que em situações de extrema suscetibilidade, quando seu baixo poder aquisitivo os impedem de adquirir materiais manufaturados, como nas situações retratadas por Fathy (1980) e Merrill (1949, p. 23-24). E é nesse setor da sociedade que a renúncia das práticas e costumes da arquitetura com terra se torna mais evidente, em uma negação dos conhecimentos tradicionais em prol de uma nova concepção da realidade que é imposta sobre eles por forças político econômicas, fazendo tabula rasa de seus conhecimentos empíricos (QUINTANA *et al.*, 2013; BARBOSA e GHAVAMI, 2014).

Essa transformação de pensamento é característica das populações marginalizadas, e, apesar de manifestar uma aparência objetiva, apresenta uma coerência apenas aparente ao associar morais passadas e elementos da ciência moderna de maneira “ocasional e desagregada”, como categoriza Paulo Freire (1971, p. 28-9). Uma consciência condicionada e que, segundo o autor, aliena o indivíduo de sua realidade naturalizando-a ao abstrai-la de seus componentes e precedentes históricos, de acordo com Freire. Essa questão fica mais clara quando se considera que a transformação cultural dessas práticas arquitetônicas é inerente às mudanças socioeconômicas, culturais e comportamentais que essas sociedades vivenciaram nos últimos séculos, ou, como indicam Bardou e Arzoumanian (1982, p. 32), “as necessidades de construção, seu modo de produção, o tempo dedicado à construção e as atividades dos homens”.

Sob essa perspectiva, de um condicionamento dessa prática arquitetônica pelas mais diversas esferas da realidade, a viabilidade prática em adotar a terra como material

construtivo nesse cenário de informalismo só será possível, através de uma abordagem prática científica capaz de atender essas múltiplas circunstâncias e superar esse estado de desinformação dos participantes. Visando evidenciar o potencial sociopolítico que a apreensão interessada desse conhecimento pode proporcionar, neste trabalho buscaremos demonstrar, através da análise de casos particulares, que o resgate da construção com terra como recurso construtivo a partir de uma contextualização histórica e cultural pelos participantes é capaz de contribuir com o esclarecimento dessas questões. Ao priorizar o diálogo no processo de formação dos participantes, essa interação pode vir a aperfeiçoar o processo pedagógico de apreensão dessa tecnologia e proporcionar uma concepção da realidade que busque transformar as condições objetivas dos indivíduos com postura participativa, superando qualitativamente eventuais limitações e condicionamentos históricos.

3.3.1 Os condicionamentos socioculturais

O retorno do interesse pela construção com terra se deve ao fato que as qualidades funcionais extra-econômicas do material voltaram a serem consideradas na até então desfavorável competição mercadológica com os materiais industriais, principalmente em razão das atuais preocupações energéticas. Nos países ricos, como especificam Bardou e Arzoumanian (1981, p. 10; 32), a “reivindicação ecológica” pode fomentar o resgate dos métodos de construção com terra, que se destinam principalmente à locais recreativos e ambientes que as valorizem por seus “aspectos folclóricos e arcaicos”, enquanto nos países pobres, a utilização da terra como material construtivo está correlacionada com questões sociais imediatas.

Essa diferença entre contextos fica evidente no que se refere ao aprendizado teórico e prático desse conhecimento. Nas regiões periféricas, o aprendizado da construção com terra pode vir a deparar-se com barreiras historicamente determinadas como veremos a seguir, em que, se o conhecimento não for devidamente compreendido e identificado, tem a possibilidade de assumir um aspecto que vai contra a natureza ou os valores da perspectiva de mundo daquele que os percebe, contraste que provocaria, segundo Iasi (1999), o simples dar-se conta ou o estranhamento voluntário destes novos saberes adquiridos. Porém, a questão fundamental no que se refere à viabilidade de apreensão do

conhecimento em um processo pedagógico, como coloca Freire (1971, p. 27), será a metodologia empregada no processo de formação dos voluntários participantes, se a teorização dos questionamentos da realidade será abordada como uma extensão de um conhecimento a ser aceito pelo grupo como “instrumento para a adaptação do homem” ao mundo; ou se essa reflexão consistirá em um questionamento a ser realizado com e pelo grupo, a partir do confronto com os saberes já acumulados por este.

As iniciativas de aplicação da arquitetura de terra entre as camadas mais baixas, invariavelmente se deparam com essa questão. Nestas, ao menos de início, os integrantes necessitam de alguma forma de gratificação assalariada pelo seu comprometimento em uma dinâmica com a qual não se identificam de imediato, como relatam Fathy (1980) e Merrill (1949, p. 23-24). Esse ceticismo em relação aos novos conhecimentos se dá, seja devido à conceitos já consolidados que subjagam essa metodologia em relação aos produtos industriais (SOUSA, 2000); seja em razão à uma desconfiança ou rejeição espontâneas que se manifestam perante os novos conteúdos aos quais são somente apresentados, como afirma Freire (1971, p. 31). Nesse sentido, de uma expectativa de reações culturais com o aprendizado de uma nova metodologia construtiva, uma iniciativa que se propõe a contribuir com a restauração desses conhecimentos e saberes sob uma base científica em localidades com dinâmicas particulares, deve levar em consideração os mais diversos aspectos comportamentais dessa realidade. Como o caso dos empreendimentos autogestores de construção com terra que, segundo Dethier (1982, p. 33), ao resgatar procedimentos construtivos até então esquecidos ou desconhecidos por comunidades tradicionais, possibilitam a perspectiva necessária para um salto qualitativo nas condições sociais e na capacidade de autoafirmação dessas populações.

Hassan Fathy foi um dos pioneiros que em promover nos últimos séculos a reinserção da construção com terra abordando todas as esferas que esse método engloba. Desde o aspecto econômico e financeiro, com a redução de custo pela utilização de materiais locais, à relação da comunidade com o trabalho ativo e associativo de produção de seu próprio espaço de residência; evidenciando os benefícios de se difundir uma habilidade especializada e capacitada, ao mesmo tempo que discutindo o caráter artístico do projeto, com representações teatrais do empreendimento pelos próprios moradores (FATHY, 1980). Este último aspecto também se configura como uma etapa do processo de formação

pedagógica, como categoriza Freire (1971, p. 27), no qual, através da apreensão estética dos fatos cotidianos, torna-se possível a apreensão e o conhecer críticos por parte de cada um através do reconhecer-se entre si nas questões suscitadas, afirmando-se como sujeitos conscientes dos potenciais e das limitações de seus atos.

Outro exemplo de uma abordagem histórico cultural da metodologia de construção com terra com fins sociais pode ser observada no experimento realizado por Montaner *et al.* (2016). Em ambas as iniciativas, os participantes se apresentavam interessados em contribuir na satisfação de suas necessidades imediatas (habitacional), assim como nas outras esferas de relações ali desenvolvidas, de ordem política, cultural e familiar. A formação da consciência crítica e da capacidade profissionalizante do coletivo não era concebida como uma simples transferência de conteúdos acabados e de teor abstrato. Constituía-se antes em uma atividade humanizadora que, a partir da própria experiência e do conhecimento dos participantes, viabilizou que estes apreendessem, sob uma nova perspectiva, as relações presentes no contexto ao qual estavam inseridos. Ou seja, vai além da questão da capacidade de reivindicação dos homens associados e da identificação das contradições objetivas, e, como afirma Iasi (1999) a respeito da formação da autoconsciência do homem, esse processo de racionalização das condições objetivas torna-se uma problemática sobre a possibilidade de ação e do interesse desses indivíduos na participação pela transformação da realidade. Segundo o autor, esse processo emancipatório culmina, eventualmente, na superação da mera opinião e da pura constatação da presença isolada dos eventos por parte dos indivíduos, relacionando-as aos outros fatores concretos e culturais à que suas ações, técnicas e comportamentos estão condicionados.

Nesse sentido, e em relação às reivindicações por melhores condições habitacionais ou de infraestrutura, as lutas de caráter ecológico ou de questionamento social podem então, quando se considera o potencial transformador da apreensão da construção com terra, tornarem-se questionamentos da realidade de mesmo nível, em que suas diferenças fossem somente uma questão de grau. Como já foi observado, o principal fator de discrepância é o fato de que nos territórios que se classificam como periferia do centro econômico, os conflitos históricos apenas parcialmente superados potencializam as contradições internas das mudanças de ordem mundial, evidenciando, nos mais diversos aspectos, a luta de

classes e a vulnerabilidade das classes despossuídas (essa questão é bem detalhada no capítulo 1). A necessidade de politização dos movimentos sociais toma maiores proporções em um contexto em que, a segregação dos setores da sociedade não ocorre através do mercado, no acesso aos produtos, mas “é uma exclusão do campo de direitos”, como afirma Oliveira (2004).

Essa condição de exclusão se destaca quando se analisa os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2013), que indicam que a quantidade de imóveis vagos e com condições de serem habitados supera em termos absolutos o déficit habitacional brasileiro, tanto em áreas rurais, quanto nas regiões urbanas. Essa incoerência aparente destaca o fato de que a desigualdade social, como especifica Oliveira (2018), não é somente uma mera questão de má gestão de recursos materiais e de capitais. Da mesma forma que evidencia que não é um problema que possa ser resolvido individualmente (GUERRA *et al.*, 2013), o que reforça a necessidade de um processo pedagógico que aborda a inserção do aprendizado dessa tecnologia como um recurso viável na sociedade capitalista atual, mas através de um posicionamento político e coletivo. Ou seja, em uma dinâmica na qual os sujeitos se identificam através do próprio objeto de estudo e trabalho, a construção com terra. É a partir dessa perspectiva que podemos compreender a observação de Neves (2002) a respeito da eficiência da divulgação de técnicas construtivas com terra em comunidades latinas pelo PROTERRA, na qual afirma que dentre os elementos presentes nas metodologias implementadas nos diferentes países da região ao longo de anos, o fator mais determinante no processo é a procura espontânea dos participantes pelo conhecimento, o que Freire (1996, p. 39) denomina de “curiosidade” epistemológica.

Esse relato evidencia a necessidade e a importância em contribuir com a otimização tecnológica e metodológica das formas de produção que promovam um maior diálogo participativo, ou, como coloca Kapp (2008), autogestoras; assim como da capacidade de identificação com outros movimentos de cunho social, entendendo o valor de uma interação esclarecedora de reforço e soma na resistência com outros setores progressistas da sociedade, como afirma Altieri (2012). Um exemplo é o caso de mutirantes associados que decidiram construir as próprias residências com materiais não convencionais na periferia urbana de Brasília, atraindo a participação voluntária de movimentos artísticos e

com repercussão nacional, conciliando a consciência do conflito de classes à qual estão inseridos com um trabalho conscientizador aos demais setores da sociedade civil (MTST, 2018).

Apesar da organização e da dinâmica dos trabalhos coletivos serem diferentes entre áreas urbanas e rurais, ela é de extrema importância para ambos, podendo significar, no caso dos últimos, a própria permanência do agricultor no campo, o que pode ser facilitado pela associação prévia dos mutirantes sob interesses em comum, como no caso da luta fundiária, segundo Tavares e Ino (2010) e Prompt e Borella (2010). No entanto, em assentamentos rurais, é comum haver um preconceito em relação ao uso da terra como material construtivo, por esse ter sido adotado quando da construção de habitações provisórias no começo da ocupação do terreno (CARDOSO *et al.*, 2009).

Visando a ampliar a viabilidade de adoção da terra em associações organizadas em ambientes interioranos, serão propostas aplicações da terra como material construtivo com fins diversos aos de requisição habitacional, como o incremento da produtividade do pequeno agricultor e a proposição de métodos com potencial de se tornarem meios de capacitação e especialização profissional. Teremos como finalidade posicionar esse conhecimento construtivo como um possível recurso a ser utilizado por setores da sociedade, tanto na construção de suas residências, como na formação de sua autoconsciência e no reconhecimento de sua capacidade em controlar sua própria realidade.

3.3.2 Perspectivas de aplicação

Cúpulas e outras coberturas abobadadas

O fato dos telhados em habitações de interesse social poderem representar até um terço do orçamento total da construção (JOVÉ *et al.*, 2016), leva à busca por métodos alternativos de cobertura, como afirma Barbosa (2015). E a arquitetura popular de terra no campo foi capaz de produzir elementos de beleza e funcionalidade para o trabalho campestre, mesmo através de uma transmissão oral e fora dos meios acadêmicos, como no caso das cúpulas de adobe. (REVUELTA e MERINO, 2014).

De acordo com Jové *et al.* (2016) as abóbadas características da região de Núbia no atual Sudão, e, mais recentemente, as cúpulas Mexicanas e originárias desta última (AGUIRRE, 2011), são totalmente feitas a partir de adobes, sem a necessidade de madeira durante a fase de escoramento. Essa metodologia consiste em uma tradição secular de acordo com Fathy (1980), sendo que, atualmente, vem sendo empregada em projetos de interesse social (JOVÉ *et al.*, 2016). Na região de *Tierra de Campos* na Península Ibérica, as construções em abobadadas feitas com barro foram dominantes ao longo da história humana, perdendo sua funcionalidade no trabalho do campo a partir da necessidade de amplos galpões no armazenamento e máquinas, como afirmam Revuelta e Merino (2013).

Mas o seu potencial de aplicação nesses contextos ainda se faz latente. O próprio formato das cúpulas fornecem um ótimo conforto térmico aos usuários, devido à pressão que o ar aquecido exerce sobre as camadas inferiores, podendo apresentar uma redução de até 40% na transmissão de calor externo se comparado às coberturas planas. Além disso, seu caráter estético e sua praticidade propiciam sua concepção como um estilo arquitetônico diferenciado, o que possibilita a profissionalização rentável daqueles que adquirem seu conhecimento construtivo (REVUELTA e MERINO, 2014). Em relação às suas especificidades, os autores afirmam que as cúpulas necessitam de ao menos uma camada de cobertura externa, como reforço estrutural e para melhor conduzir as águas pluviométricas, o que evita seu acúmulo no interior da estrutura, também sendo possível adicionar uma capa extra estabilizada e que deve ser reposta periodicamente, etapa que pode ser realizada através de uma mistura de cal com macerado de cacto, como demonstrado por Aguirre (2011).

Silo

A construção de silos circulares feitos de terra para armazenamentos de grãos é uma característica de sociedades rurais e localizadas em ambientes com uma relativa dificuldade em manter a subsistência alimentar ao longo do ano, principalmente devido ao seu formato cilíndrico, que contribui com a concentração da radiação térmica absorvida ao longo do dia. (PRUSSIN, 1974, p. 195-6).

A condutividade térmica do solo, só alcança níveis significativos em construções espessas (com 1,60 a 2,0 metros de espessura segundo Bardou e Arzoumanian (1981, p. 7-18; 146)), não sendo, portanto, uma característica intrínseca da terra, mas que pode ser aprimorada pela presença de agregados ou até mesmo pela estabilização mecânica (RAMOS *et al.* 2001). Em uma avaliação da influência de diferentes adições no desempenho de isolamento térmico do adobe, Bahobail (2012) averiguou que a presença de cinzas vegetais diminuiu o índice de transmissão de calor, enquanto outros materiais como esterco bovino, sabonete e óleo de palmeira produziram o efeito contrário. A associação de restos da queima vegetal com a cal, pode inclusive, simular o efeito do cimento como estabilizante da terra, como afirmam Barbosa *et al.* (2017), com a vantagem de associar resistências consideráveis com altas taxas de mistura, diferente dos materiais cimentícios, que não devem ser incorporados em índices acima de 12%, por questões físicas e econômicas, de acordo com Barbosa e Ghavami (2017). As fibras vegetais também são capazes aprimorar o isolamento térmico do solo (CAVERO e JOVÉ, 2012).

Enquanto a decisão em se utilizar ou não sistema de silagem deve estar baseada nos potenciais qualitativos do material a ser ensilado, da técnica utilizada e, no caso da produção leiteira, na própria genética dos animais, o seu dimensionamento depende da expectativa de produção de estoque a ser armazenado e da taxa de remoção de silagem, apesar de que sua capacidade de armazenamento também depende das características do produto armazenado. Os silos podem apresentar uma estrutura vertical e cilíndrica (meia-encosta, cisterna ou torre) ou uma disposição horizontal (trincheira, de superfície com ou sem proteção lateral), apesar que o tipo cilíndrico apresenta menores taxas de perdas de matéria seca durante o processo, seja por apodrecimento, fermentação ou lixiviação, do que os silos de trincheira ou de superfície, além de demandar uma reduzida área de plantio necessária, principalmente se comparado ao de superfície. (VILELA, 1985)

Forno à lenha

Muitas vezes, as peculiaridades da necessidade de forno à lenha no meio rural são desconsideradas em projetos habitacionais que se inspiram em planos pré-estabelecidos para o ambiente urbano (CARDOSO *et al.*, 2009). A construção correta dos fornos domésticos pode contribuir na higienização dos usuários, com uma cobertura estufada e

uma via de escape, pode evitando o desenvolvimento de doenças características da intoxicação por fumaça (WILD, 2007). Só na Nicarágua, estima-se que cerca de 4 milhões de pessoas utilizam um forno aberto nas atividades cotidianas. A construção de um canalizador de fumaça, assim como de uma câmara de combustão larga para facilitar o posicionamento da lenha podem contribuir com a saúde pública dessa população (CARRILLO e RICA, 2013).

Partindo da análise da interação entre o conhecimento de construção com terra e de populações em uma conjuntura vulnerável foi possível, através de um aprofundamento teórico na metodologia da abordagem pedagógica, retornar às situações particulares de modo a contribuir com os seus desenvolvimentos, expandindo as formas de diálogo e de identificação dessa tecnologia dentro da sociedade atual; também foi colocado em evidência que a mudança de perspectiva por parte de todos os participantes é capaz de esclarecer questões determinantes para o processo de formação. Ou seja, a presença interessada dos integrantes no processo construtivo é de fundamental importância para a construção de um espírito de associativismo entre os mutirantes, processo fundamental durante o período de execução da obra e para um convívio harmonioso no seu pós-ocupação.

Além de toda a experiência profissional adquirida, até mesmo por indivíduos que nunca haviam exercido qualquer tipo de função na construção civil, existem também as recordações que os integrantes dos movimentos carregarão pela vida, e a reflexão coletiva entre as pessoas associadas possibilita um salto qualitativo tanto na maneira como os participantes viviam e em suas percepções e apreensões da realidade, quanto em suas *práxis* construtivas. Longe de caracterizar as famílias envolvidas como meras “beneficiadas” de uma política pública que se pretende assistencialista, a construção coletiva e autogestora com terra permite que os cidadãos envolvidos no projeto adquiram maior responsabilidade e autonomia no seu destino e nos processos de decisão em relação aos meios materiais do seu entorno. As relações conflituosas que, em outra perspectiva e dinâmica pedagógica poderiam vir a limitar a real apreensão de um conhecimento adquirem um potencial catalisador de transformação, assumindo uma posição política no processo de aprendizado e de autoafirmação.

3.4 Adequabilidade de solos para a produção de adobes e sua estabilização com fibras de coco e cinzas de eucalipto

A terra é utilizada como material de construção desde os tempos mais remotos da formação do homem, fato que permitiu que fossem encontrados vestígios de sua aplicação nas mais diversas regiões do planeta, apesar da variabilidade de composição que os solos podem apresentar.

Estes se originam da decomposição das rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre. A decomposição é decorrente de agentes físicos e químicos. A maior ou menor concentração de cada tipo de partícula num solo depende da composição química da rocha que lhe deu origem (PINTO, 2011).

Essa diversidade se reflete nos conhecimentos construtivos com terra. Em cada cultura construtiva, as técnicas e os saberes de construção com terra estão diretamente correlacionados às características da matéria prima encontrada na região, a saber, o solo. De acordo com DAS (2012), este se constitui por um aglomerado de grãos minerais que, em associação com outras partículas orgânicas carregadas ao longo do tempo, compõe o solo. Ainda segundo o autor, esses grãos resultam da erosão de rochas da crosta terrestre, um processo esse que pode durar milhares de anos, e determinam, de acordo com os seus tamanhos, formatos e composições químicas, as propriedades do solo.

A composição do solo, portanto, depende da composição química das rochas de origem e de fatores climáticos que podem influenciar a velocidade de degradação das mesmas. Além dessas características, os solos, constituídos por materiais sedimentares provindos da natureza e dispostos de forma heterogênea, também são preenchidos por líquidos, geralmente água e ar nos seus espaços vazios, de acordo com Pinto (2011).

Devido à ampla diversidade de grãos presentes nos mais diversos solos, costuma-se adotar classificações pré-determinadas para a categorização das partículas. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) diferencia, na sua norma NBR 7181 (ABNT,

1988), os grãos de areia entre grossa, média e fina, sendo que essa última fração se constitui por grãos com dimensões entre 0,05 a 0,42 milímetros (mm). Entretanto, costuma-se adotar como limite inferior entre os grãos de areia e silte o tamanho de 0,075 milímetros, que corresponde à malha da peneira de número 200, que é a mais fina peneira utilizada em ensaios laboratoriais.

Mas, em razão da diversificada gama de solos, e das diferentes culturas que se apropriaram desse estilo arquitetônico com terra, um vasto conhecimento técnico de construção foi produzido (DETHIER, 1982). E, dentre as mais diversificadas metodologias construtivas com esse material, o levantamento de estruturas através da edificação com adobes se destaca não apenas pela sua praticidade e semelhança com as atuais formas construtivas, mas também por possuir uma ampla aceitação em diferentes períodos e regiões do planeta, além de ter sido utilizada por diferentes civilizações ao longo da História (BARBOSA e GHAVAMI, 2017). Essa prática consiste na construção em maçonaria de tijolos de barro queimados ao sol, e alternados por argamassa de terra com a mesma mistura, mas com outra consistência, de acordo com a norma americana E2392/E2392M (ASTM, 2016).

A construção com adobe, assim como qualquer outra metodologia da arquitetura de terra deve seguir determinadas diretrizes que visam aperfeiçoar a performance dos tijolos. Recomendam-se, para a fabricação de adobes, que sejam utilizados solos que evitem uma elevada demanda de água para a moldagem, evitando retrações e a formação de trincas excessivas, mas mantendo a consistência necessária para a moldagem dos blocos (BARRIOS *et al.*, 1986).

Essas propriedades podem ser alcançadas através da correta distribuição das partículas de solo, uma vez que, por possuírem diferentes tamanhos, podem apresentar características variadas, como já demonstrado por (DAS, 2012). O autor afirma que existem diferentes critérios de classificação dos grãos através de seus tamanhos e que não se diferem muito uns dos outros, mas que um dos mais adotados é o da Associação Americana de Rodovias Estaduais e Autoridades de Transporte (AASHTO). De acordo com essa instituição, os grãos de areia apresentam dimensões entre 2,0 e 0,075 milímetros, sendo que, acima de 2,0 milímetros esses já podem ser considerados pedregulhos, enquanto que, abaixo de 0,075 mm, as partículas são classificadas em silte, entre 0,075 e 0,002 milímetros, e argila, com

tamanho inferior a 0,002 mm. O espectro de grãos de silte e de areia é denominado como fração de finos do solo, enquanto o conjunto formado por areia e pedregulho é denominado fração grossa do mesmo (PINTO, 2011).

Ainda segundo o mesmo autor, a caracterização granulométrica do solo pode ser realizada através dos ensaios de peneiramento e de sedimentação. O primeiro avalia a porcentagem de solo que passa as respectivas peneiras, sendo que a de menor malha possui uma abertura de 0.075 milímetros, a peneira de nº 200. O segundo ensaio, de sedimentação, avalia a velocidade de queda das partículas do solo em um meio aquoso de acordo com a densidade de seus grãos, baseando-se na Lei de Stokes.

De acordo com Pinto (2011, p. 24), a análise da distribuição granulométrica das partículas não é suficiente para caracterizar corretamente o comportamento de determinado solo, sendo necessário avaliar índices de aderência em presença de líquidos (Limites de Atterberg - LL e LP); e isso ocorre principalmente com os solos argilosos, cuja finura das partículas resulta em maiores superfícies específicas, o que ocasiona comportamentos particulares quando na presença de líquidos. A diferença entre os dois índices, LL e LP é denominada de Índice de Plasticidade (IP) e corresponde à consistência e à trabalhabilidade do mesmo, já que a plasticidade do solo se expressa pela liberdade das partículas do mesmo em deslocar-se entre si.

O Limite de Liquidez pode ser verificado através do ensaio padronizado na norma NBR 6459 (ABNT, 1984) que utiliza o aparelho de Casagrande, e que verifica a umidade necessária para que o solo feche uma ranhura com 25 golpes em uma concha. O Limite de Plasticidade também é normatizado na norma NBR 7180 (ABNT, 1984), e consiste no índice de umidade mínimo para a moldagem de um cilindro de 3 mm de diâmetro com a palma da mão.

Como os Limites de Atterberg podem ser influenciados tanto pela presença dos argilominerais, quantos pelas partículas de areia, apesar dos índices indicarem a influência do aspecto de finos do solo, faz-se necessário comparar o valor obtido pelos limites com a fração de grãos argilosos presente no solo. Isso pode ser obtido através da divisão do IP pela fração de argila (grãos menores que 0,002 mm). Uma razão entre 0,75 e 1,25 indica

uma argila normal, sendo que valores abaixo de 0,75 correspondem à uma argila inativa, enquanto que, se maiores que 1,25, a argila é considerada ativa.

A resistência de determinado solo em relação às tensões são transmitidas de partícula em partícula, da mesma forma que se dá com a sustentação da água que preenche os vazios entre os grãos (PINTO, 2011). Como a transmissão de forças se faz através do contato entre as partículas, esse fenômeno irá depender do tipo de mineral, sendo que os grãos mais finos como as argilas, por possuírem uma conexão pouco significativa, podem realizar essa transferência de forças através da água que circunda as partículas. No que se refere à distribuição granulométrica do solo para a fabricação de tijolos de terra, a norma de construção peruana NTE E0.80 (2003) estipula que, para a produção de adobe, a granulometria do solo deve possuir entre 55% e 70% de areia em sua composição, enquanto Faria *et al* (1984 apud Silva *et al*, 2005) afirmam algo similar, de que a mistura mais adequada consiste em um terreno arenoso com 30% de argila. Já o Centre Georges Pompidou (DETIER, 1982), através ensaios e da revisão de pesquisas e normas de construção internacionais, estipula limites para concentração de pedregulho, areia, silte e argila entre 0%-10%, 45%-75%, 10%-45% e 15%-35%, respectivamente, de maneira similar às recomendações antes mencionadas. Outro exemplo de similaridade nas limitações sugeridas pode ser encontrado em Bahobail (2011), que estipula taxas para pedregulho, areia, argila e lama de 15%, 50%, 15% e 30%, respectivamente.

No entanto, outras composições granulométricas que fogem à esses critérios da produção de adobe não necessariamente devem ser descartadas dessa metodologia construtiva, já que é possível verificar exemplares históricos de blocos de terra que não podem ser classificados de acordo com parâmetros atuais, como veremos a seguir.

A produção do adobe pode ser realizada por meio das mais diferentes composições de solo, como afirmam Delgado e Guerrero (2007), evidenciando que a técnica do adobe é uma das mais flexíveis. Através da revisão de diferentes normas técnicas e trabalhos internacionais, os autores concluíram que a mistura produzida para a produção de adobe pode possuir entre 5% e 70% de argila e silte. No entanto, o mesmo trabalho cita outras pesquisas que verificaram adobes de monumentos históricos que possuíam percentuais de até 4% de argila, o que os levou a questionar se os grãos argilosos seriam os únicos que crumpem o

papel de ligação entre as partículas (SMITH e AUSTIN, 1996, apud DELGADO e GUERRERO, 2007).

Em uma análise de amostras de adobes de diferentes períodos históricos da ilha de Cyprus, Castrillo *et al.* (2017) notaram que, diferentemente das espécimes datadas da pré-história e do mesmo local, alguns exemplares contemporâneos dos séculos dezenove, vinte e vinte e um possuíam uma porcentagem de argila e silte acima de 70%. De acordo com os autores, essa diferença histórica provavelmente se deve à perda do conhecimento construtivo ao longo do tempo, ocasionando uma perda qualitativa do material.

Mas além da verificação da composição granular dos solos, outro critério que deve ser considerado na hora de avaliar o material é a sua plasticidade que, em associação à distribuição granulométrica, pode indicar o real comportamento físico do solo em estudo, já que determinadas partículas de argila podem apresentar um desempenho pouco reativo, e abrir margens para outras interpretações do solo, como afirmam Uguryol e Kulakoglu (2013).

De acordo com Pinto (2011, p. 14), a plasticidade do solo se expressa pela liberdade das partículas do mesmo em deslocar-se entre si, o que corresponde à consistência e à trabalhabilidade do mesmo. Essas características do solo irão depender da quantidade de água e do tamanho das partículas de grãos presentes no mesmo, sendo que as partículas finas, como as de argila, podem apresentar uma coesão similar à líquida a partir da água e da interação eletroquímica presente entre essas (DAS, 2012).

No que se refere à avaliação da consistência plástica que o solo apresenta, a fabricação de adobe requer uma maleabilidade considerável, o que pode vir a originar um Índice de Plasticidade (IP) elevado, se comparado com outras técnicas, como a taipa de pilão, de acordo com Delgado e Guerrero (2007). Os autores basearam-se em fontes que limitaram o conteúdo de umidade para moldagem entre 5% e 40%, enquanto que para a taipa de pilão e para os tijolos comprimidos mecanicamente, os índices de umidade presente nos adobes apresentaram uma variação mais limitada, entre 5% e 15% (HOUBEN e GUILLAUD, 1994 apud DELGADO e GUERRERO, 2007).

No entanto, a taxa de umidade para a produção de adobes não pode ser determinada pelo ensaio de compactação, pelo fato deste não fornecer uma quantidade de umidade necessária para a perfeita moldagem do solo nas formas de adobe, como afirmam Barbosa e Ghavami (2017). Ainda segundo os mesmo autores, para o solo adquirir uma trabalhabilidade ideal, deve ser acrescentada água até que a umidade da terra alcance valores próximos ao do Limite de Liquidez do solo, porém, inferiores a este.

Nesse sentido, de priorizar a consistência do solo na avaliação da umidade propicia à modelagem, os autores sugerem a verificação da mesma através do Teste da Bola, que também é recomendado pela norma americana E2392/E2392M-10 (ASTM, 2016). Esse ensaio consiste no lançamento de uma amostra de solo úmida de uma altura de um metro e meio, avaliando a sua dispersão sobre o solo e a eventual formação de rachaduras, sendo que a ocorrência desse último fenômeno com o material ou de sua dissipação em torrões são ambas as situações indicativas da necessidade de maiores quantidades de líquido. Enquanto que, se a sua altura final for menor do que um terço do diâmetro da bola já em repouso faz-se necessário acrescentar terra na mistura até que essa relação resulte em cerca de 1/3 (SILVA *et al.*, 2005; NEVES *et al.*, 2005).

Outro fator físico do solo que pode vir a influenciar o desempenho à compressão dos adobes é a densidade dos mesmos, aspecto esse que é determinado pela umidade utilizada para sua moldagem. Os autores WU *et al.* (2013) investigaram a relação entre a densidade final dos adobes e a força de resistência, na qual não há uma correlação linear e direta, e que pode ser melhor classificada pela presença de grãos finos, de argila e silte, já que eles são os principais responsáveis por elevadas demandas de umidade para a moldagem. Esse fato explica o porquê de certos autores serem conservadores na limitação da presença de grãos de argila na mistura, como no caso de Yetgin *et al.* (2008), que determinam limites entre 13% e 17% de grãos argilosos para a produção de adobes não estabilizados, podendo expandir para 10% e 20%.

O percentual de umidade para a moldagem do adobe é de extrema importância para a resistência final do produto já seco, já que sua plasticidade determinará a formação de poros e de retração durante o processo de secagem. Os autores Dhandhukia *et al.* (2013) especificaram mais detalhadamente essa relação que há entre os limites de umidade entre

os estados físicos do solo, e a resistência à compressão dos adobes. De acordo com os autores, o solo que apresenta uma resistência ótima possui um LL entre 24% e 25%, sendo que qualquer variação maior ou menor que esses índices pode limitar seu desempenho; nesse mesmo sentido, também foi determinado que a força à compressão máxima do solo pode ser obtida através de um LP de 21% ou 22%, em que, quanto maior esse índice, menor a resistência à compressão, em razão da capacidade do solo em reter umidade ser mais elevada.

O solo utilizado neste trabalho foi coletado na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), próximo ao Campus Coração Eucarístico da universidade Pontifícia Universidade Católica (PUC). Nessa região ocorre o solo Argissolo vermelho-amarelo distrófico, como é possível verificar no Mapa de solos de Minas Gerais, de acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2010). Esse solo é constituído em média por uma granulometria cuja composição manifesta um percentual de grãos de areia entre 55% e 60%, de acordo com ROSETA *et al.* (2011).

De acordo com Pinto (2011, p. 16-18), os argilominerais correspondem a parcela mais fina dos solos, com grãos geralmente menores que 2,0 milímetros. Provenientes da degradação dos minérios Feldspatos, essas partículas possuem tamanhos e constuições mineralógicas que proporcionam um comportamento particular em relação aos grãos de silte e areia, que geralmente são constituídos por aglomerados de quartzo. De acordo com o autor, a particularidade dessas partículas deriva da presença de cátions livres nos solos, que se aderem aos grãos argilosos cuja tendencia é de manifestar uma carga negativa. Essa composição mineralógica corresponde a uma organização das partículas em camadas contíguas, mas com ampla liberdade de movimento, o que provoca a elevada absorção de água característica de alguns solos.

Mas além dos fatores naturais, outros critérios da produção devem ser considerados para uma melhor confecção dos adobes. O formato dos tijolos também é de extrema importância, sendo estipulado na mesma norma do Peru antes mencionada, devendo haver uma relação proporcional de $\frac{1}{2}$ em relação à largura e ao comprimento dos tijolos NTE E0.80 (2003). Situação essa similar à do Brasil, onde, de acordo com Silva *et al.* (2005), a forma de molde mais comum para adobes possui dimensões de 20x40x20 centímetros.

Porém, há uma tendência entre os pesquisadores de utilizarem formas que diferem entre si, assim como o fato de que as normas, geralmente estabelecem diferentes padrões a serem seguidos (MURMU e PATEL, 2018).

Um critério que costuma ser utilizado na escolha do formato dos adobes é a da espessura das paredes a serem construídas, que dependerá principalmente das condições climáticas do local de construção, como colocam Barbosa e Ghavami (2017). Os autores colocam que para regiões com elevadas variações térmicas, como nas zonas temperadas, uma espessura de pelo menos vinte centímetros é necessária, enquanto que nas zonas tropicais, como no caso do Brasil, quinze centímetros são suficientes para uma boa construção. Além disso, os moldes utilizados podem variar bastante ao longo do tempo e das diferentes regiões, sem mencionar a possibilidade de se encontrar construções que sejam compostas por adobes de tamanhos variados, como demonstrado por Fodde (2009).

O autor explica que é possível encontrar monumentos históricos na Ásia Central e do começo da nossa Era, com dois formatos diferentes de adobes alternados entre si, um retangular com 55x45x10 cm, e outro quadrado com 44x44x10, ou 42x42x10 cm. Apesar de que, a partir dos séculos três e quatro, os adobes utilizados em grandes construções naquela região passaram a apresentar uma tendência à padronização em uma dimensão quadrada com 40x40x10-11 cm, ou 41x41x10-12 cm.

Também há outros formatos possíveis de adobe, que são utilizados dependendo da função às quais serão empregados. É o caso daqueles que apresentam uma leve curvatura, empregados na construção de paredes curvas, ou então dos tijolos que possuem encaixe macho e fêmea, visando uma melhor aderência entre as peças (RABIE, 2016). Outro exemplo são os adobes trapezoidais encontrados por Rapoport e Nieralsik (1984, apud Fodde, 2009) na Ásia Central na construção de cúpulas e abóbadas de cobertura, com 40 centímetros de altura e lados de 18x21 e 40x8 cm.

Em relação ao formato dos adobes ensaiados no experimento de compressão, a norma do Novo México 14.7.4:2009 (2006), de maneira similar ao recomendado pela norma peruana NTE E0.80 (2003), recomendam um comprimento no mínimo duas vezes maior do que a largura, não sendo comuns normatizações para tijolos não retangulares. Outros estudos já

demonstraram a influência das dimensões do adobe em relação à sua resistência à compressão, sendo que Wu *et al.* (2013) especificam que há uma relação indireta entre a razão do comprimento com a altura e a força aparente, sendo que, quanto maior a primeira, menor a segunda.

Em relação às variações no desempenho mecânico do adobe, no que se refere à influência da granulometria das misturas, os mesmo autores encontraram uma tendência não linear em relação a presença de finos (argila e silte), e a resistência à compressão, sendo que as diferentes amostras de solos possuíam uma variação de partículas finas entre 44 e 55%, e apresentaram resistências entre 1,39 e 1,70 MPa. Já Dhandhukia *et al.* (2013), determinaram que entre as mais diferentes composições granulométricas experimentadas, as que resultaram nas melhores misturas para a produção de adobe possuíam um percentual predominantemente silto argiloso, com o LL menor que 40 e PI menor que 10, apresentando resistências à compressão entre 3,5MPa e 4,0MPa, e manifestando uma razão entre areia e argila de 1,0, na massa total.

Outras três amostras similares, mas com índice de 0,66 entre as duas formas de grãos, também alcançaram resistências similares, porém, a melhor resistência à compressão foi obtida por um solo cujo índice de silte era praticamente nulo, obtendo um valor médio de 5,05 MPa. Essas diferenças entre valores estão de acordo com a informação já mencionada de que, para todas as técnicas construtiva com terra, as taxas consideráveis de silte podem vir a prejudicar a performance mecânica final da estrutura, como afirma West (2014).

A norma americana E2392/E2392M (2010) estabelece como valor mínimo aceitável para a resistência à compressão dos adobes isolados como sendo de 0,241 MPa, ao mesmo tempo que Barbosa e Ghavami (2017) estipulam que os blocos de adobe devem apresentar entre 0,6 MPa e 2,0 MPa, critérios esses que não podem ser comparados à exemplares de monsonaria ou de prismas de adobes experimentados, que possuem outros critérios de segurança. Caso da norma peruana já mencionada, que estabelece 1,2 MPa como valor mínimo que um prisma de adobes não estabilizados deve suportar (NTE E0.80, 2003).

A norma da Nova Zelândia NZS 4297:1998 (1998) estabelece que o Módulo de Elasticidade do adobe deve ser considerado como 300 vezes a resistência à compressão

axial, tendo-se em consideração que essa fórmula pode não corresponder corretamente para solos siltosos. No entanto, estudos recentes encontraram valores discrepantes, como Caporale et al. (2015), que calculou um fator de multiplicação de 160 para amostras de adobe não estabilizadas.

Já Silveira et al. (2013) determinou como 173 esse valor, baseando-se em adobes históricos da região de Aveiro, em Portugal, e que foram avaliados *in situ*, apresentando também um coeficiente de Poisson de 0,1, menor que de outros materiais. Enquanto que uma pesquisa similar realizada em amostras de adobe de monumentos históricos da Ilha de Madeira, encontrou uma relação entre o Módulo de Elasticidade e a resistência à compressão entre 77 e 200 (CIVIDINI, 2017).

O processo de secagem dos tijolos irá depender do solo utilizado e das condições ambientes, apesar de que determinados recursos podem ser adotadas, como o caso da cura prévia do material antes de ser moldado. Os autores Barrios et al. (1986) estipulam que o barro deve ser muito bem misturado e deixado amolecendo certa de 48 a 72 horas antes da moldagem, com o objetivo de umidificar todas as partículas e evitar que as partículas de argila se mantenham conectadas em razão das ligações elétricas e formem bolores heterogêneos na mistura. Outra alternativa de característica simples é a secagem dentro de sacolas de plástico, que pode ocasionar produtos estáveis (BINICI et al., 2005), ou possibilitar que se atinja temperaturas elevadas que permitam uma ativação alcalina (FELIX et al., 2015). Porém, como constatou Hoffmann (2004), não é recomendada a realização de curas prévias antes da moldagem do solo, quando este será destinado à uma solicitação estrutural. Tomando como base bibliografias estrangeiras que abordassem solos de alta plasticidade, e seguindo as recomendações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), o autor averiguou a baixa compatibilidade do procedimento com a construção com terra crua; descobriu-se que, mesmo incrementando alguns aspectos do solo, após a cura prévia da mistura foi possível notar a perda da capacidade de aderência da mesma.

Mas, no geral, devido ao risco de comprometimento do material, o fenômeno da variação na densidade do adobe após sua moldagem, relacionado à formação de vazios em seu interior ao longo da evaporação, demanda atenção especial durante a secagem dos mesmos

(BARBOSA e GHAVAMI, 2017). Esse fato permite compreender os diferentes critérios que podem ser encontrados para a secagem do solo, já que esse processo será condicionado principalmente pelas condições locais, como afirmam Pereira *et al.* (2014).

Os autores Vega *et al.* (2011) recomendam que o processo de secagem usual do adobe consista em duas a três semanas, apesar de que no caso do estudo em questão, atingiu-se quatro semanas. Já Soares (2008) menciona um tempo mínimo de sete dias em espaço coberto e alguns sob o sol, enquanto Silva (2000) afirma que, em relação aos tijolos de terra, o processo de perda de umidade deve consistir em três dias ensolarados ou de cinco dias chuvosos sem tocar uns nos outros, e podendo ser empilhados após duas semanas.

Todas essas alternativas, mesmo que referentes a ambientes e solo diferentes, colocam em evidência, principalmente, a necessidade de controle da velocidade de perda de umidade. Nesse sentido, o trabalho desenvolvido por Corrêa (2003) avaliou, entre outros parâmetros, a influência do local em que o adobe é posicionado para a secagem. E, mesmo encontrando evidências de que esse fator não suscitou a variação da resistência à flexão, o tempo requerido para perda de água foi diferente para cada um dos espaços avaliados, a saber, ambiente coberto, descoberto e exposto às intempéries. Após 35 dias de secagem, constatou-se que os adobes que secaram em galpão coberto apresentaram umidade propícia para o trabalho, enquanto os que permaneceram em ambientes fechados tiveram uma perda de umidade muito lenta e ainda estavam úmidos, e aqueles que permaneceram em exposição às intempéries manifestaram uma acelerada perda de umidade.

Outra questão determinante para o desempenho do adobe, e que está relacionada à composição do mesmo é a presença de sais solúveis no solo, que, de acordo com a norma de construção do Novo México 14.7.4:2009 (2006), não deve exceder o percentual de 2% da massa total do material.

A estabilização da terra também se constitui como um critério que influencia os desempenhos físicos e mecânicos dos tijolos de adobe, e que pode ser realizada com as mais diferentes adições naturais ou artificiais, além de diferentes equipamentos de compressão mecânica, como já verificamos.

Veremos a seguir as principais características de duas formas de estabilização natural do solo, a saber, com fibras de coco e cinzas de eucalipto.

3.4.1 Fibras de coco

Os resíduos de coco no Brasil podem corresponder a até 70% dos restos sólidos nas grandes cidades litorâneas, e com uma tendência de crescimento de seu consumo em cerca de 20% ao ano, faz-se necessário maiores estudos em relação a um descarte apropriado de seus restos após o consumo, inclusive havendo legislações nacionais que incentivam, através de desonerações, a reutilização de suas fibras (SOARES *et al.*, 2008).

Nas últimas décadas, diversos estudos nacionais e internacionais permitiram expandir as perspectivas de aplicação dessas fibras, como exposto por Silva e Jerônimo (2012), que menciona usos como a adubação, produção de energia térmica, o artesanato e o preenchimento de estofados.

Outra alternativa variável é a sua aplicação na construção civil, podendo ser utilizado tanto na fabricação de concreto, desde que acompanhada de outras adições como cinzas volantes e plastificante, como demonstram Khan e Ali (2018), quanto na produção de adobes, como visto anteriormente. No entanto, as fibras de coco possuem especificidades que precisam ser levadas em consideração para ambos os casos. As fibras de coco apresentam um comportamento particular quando comparada com outras fibras naturais, como as de sisal, devido ao fato das de coco possuírem menos celulose em sua composição e uma proporção até duas vezes maior de lignina que essa última, como ressaltam Passos (2005 e SILVA 2003, apud SILVA e JERÔNIMO, 2012)). De acordo com Haque et al. (2010), os resíduos fibrosos das cascas de coco podem vir a manifestar uma elevada absorção d'água e limitações na sua aderência com outras superfícies, em razão dos agrupamentos de hidróxidos que estão presentes na composição química dessas fibras.

Os mesmos autores também comprovaram, através de experimentos e análises microscópicas, que essas deficiências que se manifestam quando da utilização de fibras de coco podem ser moduladas através da aplicação prévia de tratamento químico nas mesmas. O tratamento com cloreto de benzenodiazônio aprimorou o potencial de aderência das

fibras em relação às matrizes de polipropileno biodegradáveis, o que resultou em uma melhora do desempenho mecânico dos mesmos. Entretanto, o rompimento do composto formado com fibras tratadas foi menos dúctil se comparado às fibras em estado natural, como é possível verificar na superfície mais lisa do exemplar com as fibras já trabalhadas na análise microscópica exposta na Figura 1, a seguir.

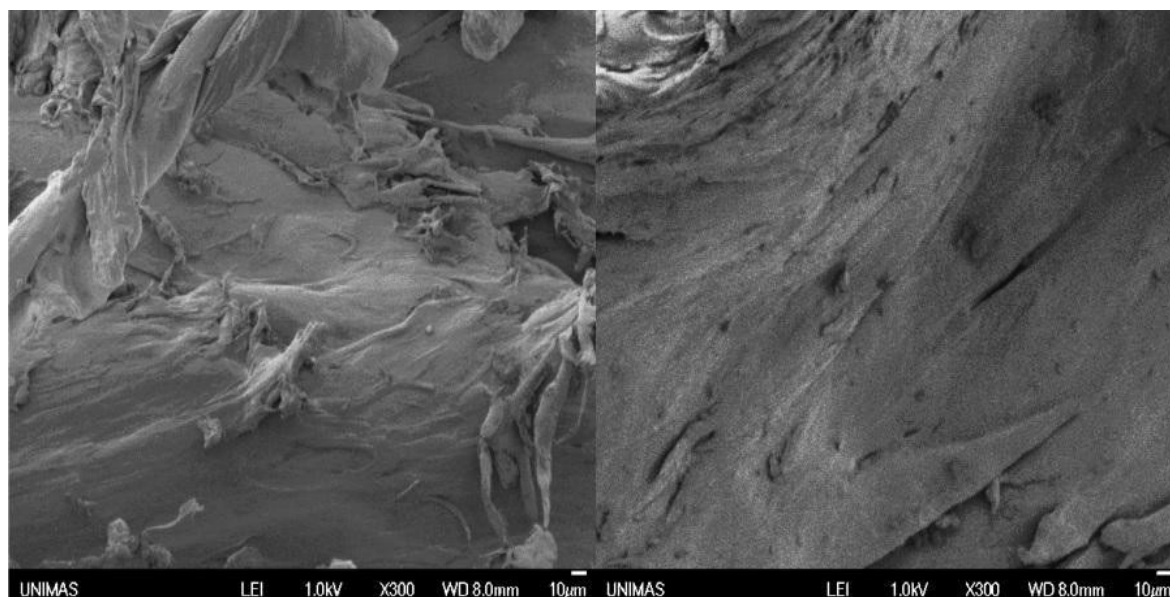


Figura 1 – Microscopia de tecido de polipropileno com 20% de fibras de coco cru (esquerda) e 20% de fibras com tratamento (direita).

Fonte: HAQUE *et al.*, 2009.

3.4.2 Cinzas de eucalipto

Da mesma maneira que no caso das fibras de coco, os resíduos provenientes da plantação de eucalipto demandam uma atenção especial para o seu encaminhamento, em razão do crescimento do cultivo dessa espécie em território brasileiro. Desde a década de 1940, as técnicas de cultivo dessa espécie vêm sendo otimizadas, tanto através da seleção de sementes e dos estudos de adaptação em climas diferenciados, até as modificações genéticas de bioengenharia que reduziram o tempo de vida necessário para a poda, ou seja, mesmo sem uma expansão territorial das áreas de plantio, os volumes produzidos e descartados vêm aumentando, como afirma Castrol *et al.* (2016).

Além das questões comerciais e mercadológicas, a utilização do eucalipto também é adotada no reflorestamento e na requalificação de solos já exauridos (LIMA *et al.*, 2008).

Porém, os resíduos provenientes da poda podem se configurar como um empecilho se não forem devidamente alocados, o que impede uma efetiva adoção de todos os benefícios que essa espécie é capaz de promover, como colocado por Arruda *et al.* (2016) para o caso das cinzas originárias da queima do eucalipto.

Uma possibilidade viável de reutilização dessas cinzas é através da construção civil, como substituinte de produtos manufaturados tradicionais, como no caso do cimento e da cal, por possuírem propriedades e efeitos similares. Nas últimas décadas, fica latente o aumento do interesse nessa adoção das cinzas de biomassa na construção, o que se evidencia através do aumento significativo de publicações a esse respeito, tanto por parte de pesquisadores nacionais, quanto por estrangeiros, demonstrando também o interesse generalizado através da troca internacional de informações, como demonstram Júnior *et al.* (2018).

Os autores também categorizaram uma série de pesquisas relacionadas a esse tema, em dois diferentes grupos, a saber, os de caráter quantitativos, característicos de trabalhos de engenharia, e os qualitativos, voltados à uma classificação bibliográfica dos resultados já existentes.

Os primeiros se constituem por resultados numéricos obtidos em análises empíricas em experimentos normatizados e padronizados, visando a uma coleta de dados práticos. Já a segunda categoria de pesquisa tem como objetivo compilar dados já encontrados, de forma descritiva e de caráter bibliográfico, buscando direcionar quais os novos rumos que devem ser tomados pelas próximas pesquisas que queiram iluminar pontos cegos do conhecimento.

No entanto, e da mesma maneira que na situação das fibras naturais, as cinzas da queima de eucalipto possuem uma configuração bastante heterogênea, e dotada de especificidades que devem ser levadas em consideração. Isso se dá, por exemplo, em relação ao aumento da demanda de água por parte da mistura após a sua adição, principalmente em razão da elevada “presença de óxidos de metais alcalinos terrosos”, e pelo tamanho reduzido de suas partículas constituintes, como afirmam Couto *et al.* (2018). Os autores ainda constataram que, quando da sua adição em matrizes cimentícias na substituição dos agregados miúdos, sua incorporação não provoca grandes limitações se adicionados em até 20% em massa.

As partículas de cinzas de eucalipto possuem um índice de finura menor que as cimentícias, no entanto, sua curva de distribuição é bastante ampla, o que promove um melhor empacotamento da mistura, que necessita de tamanhos de grãos diversificados, como afirmam França *et al.* (2016). Os autores analisaram ensaios empíricos que atestaram esse potencial das cinzas de biomassa quando essas são acrescentadas em misturas com fins construtivos, no qual a microscopia revelou a continuidade da curva de distribuição granulométrica, além de que as análises de difratograma de raios-X revelaram uma elevada presença de sílica (SiO₂) e de óxido de cálcio (CaO), altamente compatíveis com a construção civil. A Figura 2 abaixo representa os resultados obtidos através dos ensaios com raio X.

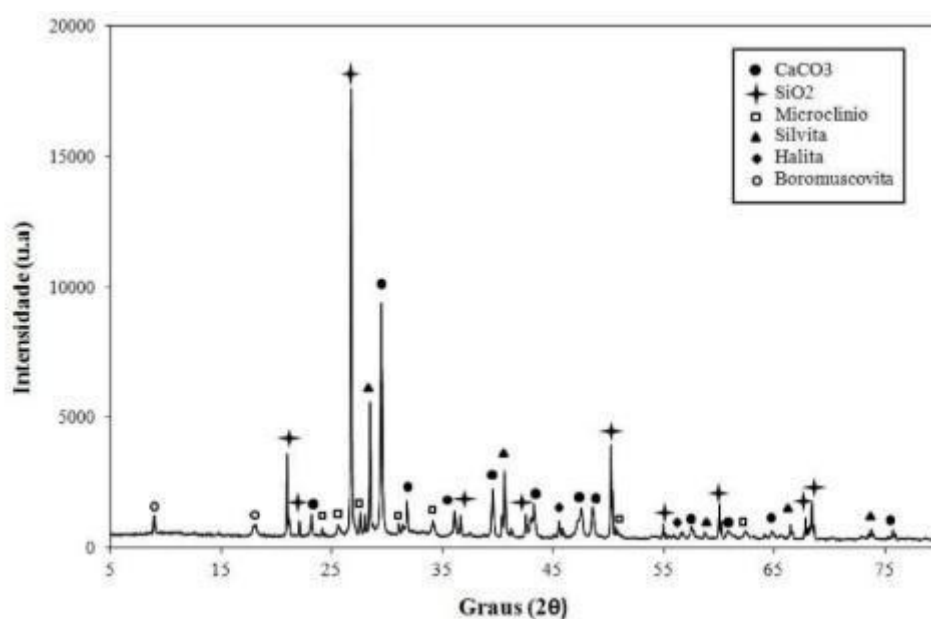


Figura 2 – Difração por raio-X das cinzas de eucalipto.

Fonte: FRANÇA *et al.*, 2016.

Na figura acima é possível constatar as fases cristalinas do material após a combustão em 450°, o que resultou em uma elevada predominância de quartzo, o que dificulta um potencial de reatividade pozolânica das cinzas quando em associação com outros materiais. Outras particularidades que a utilização desses materiais pode vir a provocar, além da redução da trabalhabilidade inicial em razão da maior demanda de água devido à maior área específica de suas partículas, é a alteração da reologia da mistura. Esse último fator propicia uma maior captação de ar pelo composto, e aumenta a fluidez interna das partículas, como atestado por França *et al.* (2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho compreendeu ensaios físicos e mecânicos no solo cru que permitiram selecionar a mistura ideal para a confecção de adobe, visando a construção de um protótipo de silo de armazenamento de grãos em alvenaria, de acordo com parâmetros de durabilidade e eficiência mecânica.

4.1 Materiais constituintes

As matérias primas utilizadas foram selecionadas tendo como base a sua incidência em áreas rurais em que a construção com terra ainda se faz presente, e de acordo com conhecimentos prévios a respeito de sua interação com o solo, caso das adições de areia, de cinzas de eucalipto e de fibras de coco que também foram adotadas como estabilizantes.

4.1.1 Solo

Proveniente da região nordeste do município de Belo Horizonte, e apresentando uma constituição areno-argilosa de tom avermelhado, o solo utilizado foi submetido às avaliações tátil-visuais e aos estudos granulométricos, com vistas a uma caracterização de suas principais propriedades físicas, como massa unitária, limite de liquidez, índice de plasticidade e tamanho dos grãos.

4.1.2 Areia

A areia utilizada como adição na correção granulométrica do solo foi uma areia de uso corrente na construção civil e que se encontra na zona ótima de utilização de acordo com a Norma 7211 (ABNT, 2005).

4.1.3 Cinzas de eucalipto

As cinzas vegetais incorporadas no solo são provenientes da queima de madeira de eucalipto em forno de alvenaria a uma temperatura média de 400° C. Após o seu recolhimento, foram submetidas a um peneiramento na peneira de malha 16 (1,18

milímetros).

4.1.4 Fibras de coco

As fibras de coco adotadas são típicas da prática de jardinagem e tinham em média um comprimento de 5,0 centímetros e um diâmetro variando entre 2,0 e 3,0 milímetros, apresentando uma superfície áspera e pouco homogênea.

4.2 Procedimentos experimentais

Com as amostras de solo coletadas foram realizados ensaios físicos e mecânicos visando a selecionar a mistura mais adequada à fabricação de adobe, tomando como critério a resistência mecânica e a interação com a umidade, seja na variação volumétrica durante o processo de secagem ou em relação à absorção de água após a confecção. Os ensaios de caracterização, de retração, e absorção por capilaridade, por um lado, e as resistências à compressão simples e à tração, por outro, permitiram analisar a variação do comportamento do solo de acordo com as diferentes adições.

4.2.1 Ensaios físicos do solo sem e com correção granulométrica

Caracterização do solo

A caracterização do solo foi realizada através do ensaio de granulometria de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984), e, a título de comparação, também foi executado o teste do vidro (NEVES *et al.*, 2008). Foram mensurados em seguida o LP e o LL de acordo com as normas NBR 7180 (ABNT, 1984) e NBR 6459 (ABNT, 1984), respectivamente, além de sua massa unitária conforme a norma NBR 9776 (ABNT, 1987). Em relação aos ensaios propícios para serem aplicados no campo, este trabalho adotou, além dos exames tátil-visuais, os testes do cordão e da fita, que avaliam a plasticidade, de acordo com a norma E2392/E2392M-10 (ASTM, 2016).

Misturas e proporções de solos para a confecção das misturas

O conhecimento da multiplicidade de tipos de solo na superfície terrestre, mesmo quando consideradas áreas pouco extensas, suscita a investigação de estudos que buscam otimizar a correção da distribuição de partículas do solo em análise. Levando em consideração a recomendação da norma NTE E0.80 (2000), que limita entre 55% e 70% a areia na composição do solo em relação à fabricação de adobes, foram avaliados mais duas misturas granulométricas além do natural, de modo que a correção se deu pela adição de areia média no solo seco.

Considerando que o solo utilizado apresentou um percentual de areia de 42,5% de sua composição em associação a um elevado teor de argila, e visando a atender às recomendações da norma peruana de construção com terra NTE E0.80 (2000), que estipula limites entre 55% e 70% para a presença de grãos maiores que 0,06 milímetros quando da fabricação de adobes, foram realizadas duas correções granulométricas através da adição de areia média, obtendo-se valores de areia da ordem de 52% e 59%. Ao longo da apresentação dos resultados experimentais, o solo de referência será denominado como solo natural, enquanto os outros dois com correção serão designados por corrigido (52%) e corrigido (59%), de acordo com o percentual total de grãos de areia em sua composição.

Preparo das misturas dos corpos de prova (CPs)

As amostras de solo coletadas foram homogeneizadas previamente à realização dos ensaios de caracterização, sendo peneiradas em uma malha de 2,4 milímetros e utilizadas com a umidade natural, por se tratar de terreno com aspecto argiloso, promovendo assim uma homogeneização entre as diferentes retiradas de material para os processos experimentais.

Com a intenção de evitar a formação de bolores ou parcelas heterogêneas no interior dos compostos resultantes, as misturas foram realizadas anteriormente ao despejo de água, tanto no caso do acréscimo de areia média para a correção granulométrica, ou sempre que fossem adicionados novos resíduos. A água foi acrescentada gradualmente nas misturas,

possibilitando que sempre fosse averiguada, através do teste da bola, se a umidade ideal já havia sido alcançada.

Na confecção dos CPs os moldes de metal foram untados de antemão com óleo queimado, com os objetivos de diminuir a aderência entre o composto de mistura e a superfície metálica, e de facilitar a retirada dos corpos de prova. As misturas de solo eram lançadas nas formas em pelo menos três camadas, sendo executada a compressão manual logo em seguida, processo esse que culminou posteriormente no nivelamento da superfície superior por uma espátula e no seu desmolde, que era realizado imediatamente. Em seguida, os corpos de prova eram posicionados em uma superfície lisa para a secagem e armazenados fora da incidência de luz solar por 7 e 28 dias, em um ambiente fechado com temperatura média de 25°.

Retração linear do solo

A variação volumétrica do solo, ocasionada pela perda de umidade e responsável pela formação de fissuras, é geralmente avaliada a partir da sua contração em um único plano. Esses ensaios, com base na análise de variações quantitativas dos aspectos físicos após sete dias de secagem, permitem constatar o potencial de retração e de fissuração do solo.

Procurando estabelecer avaliações que vão além do atendimento às normas vigentes, e visando a uma análise comparativa entre os valores absolutos das retrações lineares de cada mistura, foi utilizada uma forma de metal com três vãos de dimensões de 4x21x4 centímetros e com fundo metálico, sendo avaliadas três amostras para cada mistura. Após sete dias de secagem em ambiente fechado, obtém-se a média das três contrações.

Absorção por capilaridade de corpos de prova

O ensaio de absorção por capilaridade, fenômeno que pode vir a ocorrer em edificações à base de terra, especialmente nas situações em que não há fundações ou alicerce entre o solo e a estrutura, permite verificar a interação entre o composto e a umidade através da capilaridade dos seus poros. A taxa de absorção fornecida se dá em função da alteração do comprimento vertical de água que penetrou no CP cilíndrico de 5x10 cm ao longo do

tempo, e esta pode ser conferida nas superfícies externas dos corpos de prova. Segundo as recomendações da norma UNI EN 15801 (2010), os corpos de prova cilíndricos, e previamente secos em estufa a 110°, foram posicionados na vertical em uma bandeja de metal quadrada com 30 centímetros de aresta e cinco de altura, sendo em seguida despejada água até que toda a superfície metálica de apoio estivesse coberta por uma camada de líquido, que atingiu uma altura de 0,5 centímetros. Por meio da realização de cinco ensaios para cada mistura, o índice de capilaridade foi obtido após vinte e quatro horas decorridas de experimento, sendo realizadas novas medições a cada hora. Devido ao fato de os corpos de prova apresentarem o formato cilíndrico, três medições foram averiguadas nas superfícies laterais de cada um dos corpos de prova a fim de se obter uma média.

4.2.2 Ensaios mecânicos do solo com correção granulométrica

Resistência à compressão dos corpos de prova

O ensaio de resistência à compressão seguiu as recomendações na norma NBR 12025 (ABNT, 1992), com a modificação da forma dos corpos de prova cilíndricos de 10x12,7 centímetros para 5x10 centímetros, de acordo com Pinto (2016). Para cada mistura foram moldados cinco corpos de prova para 7 dias e 5 corpos de prova para 28 dias, cujas médias dos resultados foram obtidas através de um fator de correção de 5%, de acordo com as exigências da norma ACI 214.4R-03 (2003). A prensa utilizada foi a Emic DL 2000.

Resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova

A resistência das construções aos esforços estruturais de tração também costumam ser avaliados no Brasil, não obstante ao posicionamento geográfico do território nacional sujeito a insignificantes abalos sísmicos, de acordo com Munõz *et al.* (2004). A avaliação da resistência à tração foi realizada com base na norma NBR 7222 (ABNT, 2011), cuja metodologia adota a compressão diametral como procedimento, e adaptada com CPs de 5x10 centímetros de acordo com Pinto (2016). Da mesma forma que no ensaio à compressão, o número de repetições de amostras para 7 e 28 dias, assim como o fator de

correção, de 5 unidades e 5%, respectivamente, tomaram por base a norma ACI 214.4R-03 (2003). A máquina utilizada para os ensaios também foi a mesma, a Emic DL 2000.

4.2.3 Seleção da mistura de referência para a produção de adobe

Os mesmos procedimentos físicos e mecânicos foram efetuados no que se refere às adições de resíduos acrescentadas na mistura, com a ressalva de que as diferentes taxas de substituição do solo seco foram praticadas somente na mistura que apresentou os melhores resultados preliminares sem e com correção granulométrica, tomando como parâmetro as propriedades mecânicas e a durabilidade.

Com relação às cinzas de eucalipto, adotaram-se três percentuais (20%, 30% e 40%) de substituição da massa seca do solo de acordo com as constatações de Lavinsky *et al.* (1998 apud Corrêa, 2003), que, no que diz respeito às cinzas provenientes da extração de cacau, estipula 30% como taxa ótima de incorporação do material na confecção de adobes. Já no que se refere às fibras de coco, foram adotadas misturas que permitissem uma mistura homogênea do composto, ao mesmo tempo em que fornecessem variações significativas dos aspectos e mecânicos, com incorporações de 0,13% e 0,2% de substituição em massa do solo pelas fibras.

4.2.4 Ensaios físicos do solo com adição de cinzas de eucalipto

Retração linear do solo

A retração linear do solo foi medida da mesma maneira que a do solo de referência e do solo com correção granulométrica, através da confecção de três amostras para cada mistura.

Absorção por capilaridade de corpos de prova

O ensaio de absorção por capilaridade dos corpos de prova com adição de cinzas de eucalipto também seguiram as recomendações da norma UNI EN 15801 (2010), sendo realizados cinco ensaios para cada mistura, e medindo o índice de capilaridade a cada hora

decorrida de experimento.

4.2.5 Ensaios mecânicos do solo com adição de cinzas de eucalipto

Resistência à compressão dos corpos de prova

A análise prévia da resistência à compressão dos corpos de prova com adição de cinzas foi feita de maneira similar à do solo de referência, seguindo as recomendações na norma NBR 12025 (ABNT, 1992), com a modificação da forma dos corpos de prova cilíndricos de 10x12,7 centímetros para 5x10 centímetros, de acordo com Pinto (2016). Dois exemplares podem ser verificados na Figura 4, em que estão posicionados dois CPs, sendo um com cinzas e o outro sem, o que é possível diferenciar pela coloração mais escura do primeiro.



Figura 3 – Corpos de Prova após secagem, com adição de cinzas (esquerda) e sem (direita).

Fonte:Acervo do autor.

Para cada mistura também foram examinados cinco corpos de prova, em uma média obtida através de um fator de correção de 5%, de acordo com as exigências da norma ACI 214.4R-03 (2003). A prensa utilizada foi a Emic DL 2000, com uma taxa de incremento de 0,45 MPa por segundo.

Resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova

A avaliação da resistência à tração do solo com adições de cinzas também foi feita de maneira similar à do solo de referência, seguindo as recomendações na norma NBR 12025 (ABNT, 1992), e adaptada de acordo com Pinto (2016). Foram examinados cinco corpos de prova para cada mistura, com um fator de correção de 5% segundo ACI 214.4R-03 (2003), e com a mesma prensa Emic DL 2000.

4.2.6 Ensaios mecânicos do solo com adição de fibras de coco

Resistência à compressão dos corpos de prova

Assim como no caso das adições de cinzas, a resistência à compressão dos corpos de prova de solo com diferentes adições de fibras de coco seguiu as recomendações na norma NBR 12025 (ABNT, 1992), adaptada de acordo com Pinto (2016), com cinco corpos de prova para cada mistura. Também foram comparadas na resistência à compressão, amostras estabilizadas com material seco e espécimes com a mesma composição, mas com fibras previamente umedecidas. Em relação a essas últimas, foram inicialmente adicionadas fibras em uma proporção de 0,13% em gramas, mas já umedecidas e sem excesso de água, visando avaliar a interferência de sua absorção de líquido na estrutura do adobe durante o processo de secagem. O fator de correção de 5% e a prensa utilizada foram os mesmos que os adotados nos experimentos mecânicos anteriores.

Resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova

Também foi analisado a influência das fibras de coco sobre a resistência à tração do solo, seguindo os mesmos procedimentos dos ensaios do solo de referência, que se baseiam nas recomendações da norma NBR 12025 (ABNT, 1992), e adaptada de acordo com Pinto (2016). Foram examinados cinco corpos de prova para cada mistura, com um fator de correção de 5% segundo ACI 214.4R-03 (2003), e com a mesma prensa Emic DL 2000.

4.2.7 Ensaio mecânicos dos adobe

Moldagem dos tijolos

A composição adotada para a produção de tijolos e para a confecção da argamassa de assentamento foi selecionado com base no desempenho das diferentes misturas nos ensaios previamente descritos, cuja avaliação buscou equilibrar os incrementos das propriedades físicas com os respectivos comportamentos mecânicos. A composição de solo selecionada foi novamente comparada com o solo natural em relação à resistência à compressão, de acordo com a norma NTE E0.80 (2000).

Os corpos de prova constituintes foram confeccionados em uma forma de metal sem revestimento de fundo e com três vãos de dimensões de (4x16x4) centímetros, como demonstrado pela Figura 4. Como cada peça foi dividida verticalmente pela metade com uma espátula logo após o desmolde, eram moldados seis tijolos de dimensões de (4x8x4) centímetros a cada repetição do procedimento.



Figura 4 – Forma para moldagem dos tijolos.

Fonte: Acervo do autor.

As formas de molde, que eram previamente untadas com óleo queimado antes do lançamento do solo, eram retiradas em seguida ao nivelamento dos mesmos, permitindo a

repetição do processo. Em seguida, um tempo de secagem de 28 dias foi adotado para o preparo de assentamento dos prismas, que demandou mais 28 dias de secagem para a argamassa, antes dos ensaios.

Resistência à compressão simples de prismas sem e com adição de cinzas

Os prismas construídos para a realização do ensaio de compressão se constituem por quatro tijolos de terra assentados na vertical com argamassa da mesma mistura, possuindo uma esbeltez da ordem de aproximadamente três, conforme orienta a norma NTE E0.80 (2000), que estabelece um valor mínimo de 1,2 MPa como referência. Considerando a espessura das camadas de assentamento dos tijolos, o arranjo obtido possui altura e largura de 14 e 4 centímetros, sendo ensaiados cinco corpos de prova após uma secagem de 28 dias em espaço coberto. A mistura da argamassa de assentamento foi o mesmo adotado na fabricação dos tijolos, mas com maior umidade, e constituem em três camadas de 1 centímetro de espessura cada entre uma peça e outra, como mostra a Figura 5.



Figura 5 - Prismas produzidos para o ensaio de resistência à compressão.

Fonte: Acervo do autor.

Foram examinados cinco prismas para os solos naturais e outros cinco corpos de prova para a mistura ótima de referência selecionado nos ensaios prévios, cuja média dos resultados foi obtida através de um fator de correção de 5%, de acordo com as exigências da norma ACI 214.4R-03 (2003). Os prismas foram confeccionados após os tijolos terem apresentado massa constante, enquanto os experimentos foram realizados após a secagem da argamassa de assentamento.

4.3 Dimensionamento e montagem da maquete de silo

Com os objetivos de contribuir com a difusão do conhecimento de construção com terra, e de demonstrar a viabilidade desta metodologia em fins variados foi elaborado um protótipo de silo de armazenamento de grãos em alvenaria. A ideia é que esse equipamento possa fomentar e incentivar novas pesquisas que abordem de maneira ampla as questões de relevância imediata para setores da população que queiram superar a condição periférica em que se encontram.

A maquete representa um silo cilíndrico com meio metro de altura e um diâmetro interno de 21 centímetros, apresentando uma relação proporcional entre altura e diâmetro de cerca de 2,3. Ambos os projetos para o silo em escala real e a maquete podem ser verificados na Figura 6 abaixo.

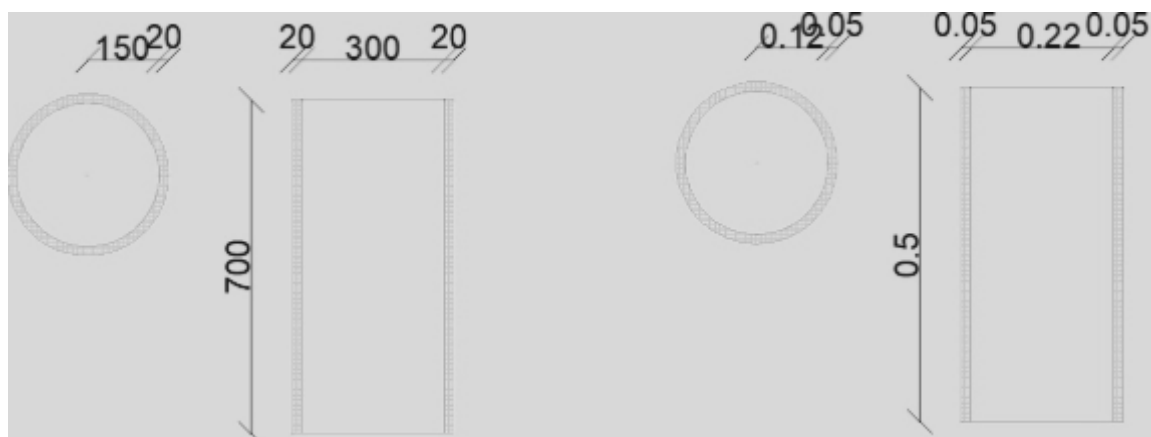


Figura 6 – Projeto em AutoCAD para o silo em escala real (esquerda) e em miniatura (direita).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses valores foram obtidos através de uma escala de redução de 1:14 aproximadamente, a partir das dimensões de 3,0 x 7,0 metros fornecidas por Vilela (1985) para um silo de pequeno porte (área cultivada de 0,98 hectares ou capacidade para alimentar até 9 animais considerando um consumo diário de 15 quilos por animal por 150 dias).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos abrangem uma variada gama de propriedades do solo, cuja fecundidade de soluções e possíveis combinações visam não apenas a atender as normas vigentes, mas também a servir como parâmetro de referência na otimização da seleção do solo de acordo com as finalidades de sua aplicação. Os ensaios mecânicos realizados com o solo coletado tiveram como objetivo alcançar linhas de tendência na variação de sua resistência aos esforços estruturais a partir das diferentes adições, visando a que servissem de fundamento à escolha das melhores misturas para determinadas aplicações do material. Todos os resultados aqui apresentados são provenientes da média de cinco repetições para cada composição granulométrica analisada, tendo sido eliminadas as que variaram mais ou menos que 5% da média inicial.

5.1 Solo sem e com correção granulométrica

5.1.1 Propriedades físicas do solo

O solo utilizado neste trabalho foi coletado na região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), próximo ao Campus Coração Eucarístico da universidade Pontifícia Universidade Católica (PUC) que, como vimos, é classificado como argissolo vermelho-amarelo distrófico, possuindo entre 55% e 60% de areia em sua composição granulométrica, e cujos argilominerais apresentam uma plasticidade tipicamente argilosa. Os ensaios experimentais realizados demonstraram que o solo utilizado possui um caráter argilo arenoso na fase plástica e uma massa unitária de 2,66 kg/dm³. A plasticidade foi atestada através do LP e do LL da ordem de 32,2% e de 47,7%, resultando em um Índice de Plasticidade (IP) de 15,5%. Levando em consideração esses dados e o fato de que a porcentagem de solo passante na peneira de (#200) é de 57,8% (argila e silte), o solo em questão pode ser classificado como do tipo A-7, ou solo argiloso, conforme a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), como pode ser observado em Das (2011).

No que se refere aos ensaios típicos de execução em campo, os resultados, apesar de fornecerem uma classificação menos específica, possibilitaram conclusões coerentes e condizentes com a experiência empírica. Os exames tátil-visuais das propriedades do solo indicaram um material com aspecto de textura fina, com indícios contundentes da presença de argila e facilidade no manuseio. O teor argiloso também foi apontado pela fragilidade constatada no teste do cordão e no teste da fita. A conceituação geral da amostra como de aspecto argilo-arenoso e de plasticidade média vai de encontro aos resultados obtidos em laboratório, apesar da graduação granulométrica do solo verificada no teste do vidro apresentar discrepância de 10% do valor encontrado no peneiramento (Figura 7).



Figura 7 – Teste do vidro após sedimentação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

As duas camadas superiores de solo no interior do vidro (areia e silte) indicam que o percentual de partículas menores que 0,06 milímetros foi de 63,3%, valor maior que o percentual de areia encontrado pelo peneiramento, e, conforme ressaltado anteriormente, esse último foi adotado como balizamento do trabalho.

Em relação à massa unitária, que por sua vez é diretamente relacionada ao tamanho dos grãos e da interação entre eles, também foi mensurada para a areia ($1,4 \text{ kg/dm}^3$), indicando

que sua presença diminuiu a massa unitária do solo, além do fato de prejudicar a trabalhabilidade para a moldagem

Teor de umidade adequado para a moldagem do solo

A avaliação do teor de umidade adequado para a moldagem foi averiguada pelo teste da bola, realizado em seguida à homogeneização do solo, e que era adotado após cada acréscimo de líquido, o que permitiu verificar uma redução da necessidade de água para cada mistura a partir da correção por adição de areia média, como é possível averiguar na Tabela 1:

Tabela 1 – Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica.

Tipos de solo	Porcentagem final de areia no solo (%)	Teor de umidade (%)
Solo natural	42	19,53
Solo corrigido	52	17,65
Solo corrigido	59	16,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

A representação gráfica dos índices relacionados ao teor de umidade e ao solo permitem uma melhor indicação em escala dessa variação entre as diferentes misturas. Na Figura 8 é possível observar que, apesar da taxa de umidade ter sido menor no solo cuja adição de areia média foi a mais significativa (59% do produto final), quando se leva em consideração a quantidade absoluta de material adicionado nas duas misturas corrigidas, a diminuição do teor de umidade foi proporcionalmente maior para a correção a 52% de areia do que para o de 59%, implicando uma redução de 9,6% e 13,8% respectivamente.

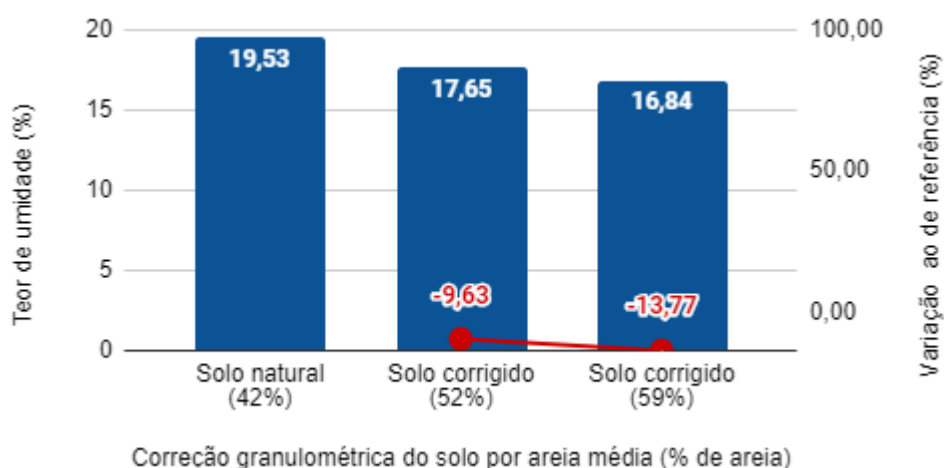


Figura 8 – Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica..

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados confirmam a capacidade da argila em reter a penetração de umidade até certos limites devido ao preenchimento dos poros, como havia sido verificado na revisão bibliográfica, indicando que o acréscimo de areia pode comprometer o comportamento mecânico do produto final.

Retração linear das misturas

Tendo em consideração o que foi mencionado anteriormente, de que neste trabalho não se almeja somente o atendimento às normas, sejam estas nacionais ou internacionais, mas também fornecer uma compreensão efetiva e empírica da interação do solo com adições diversas serão apresentados a seguir os resultados absolutos obtidos na avaliação da retração linear dos solos, a partir da média de três amostras para cada traço.

A adição de areia provocou uma diminuição dos fenômenos de retração e fissuração do solo, como demonstrado na Tabela 2, principalmente em razão da menor necessidade de água por parte das partículas de areia.

Tabela 2- Retração linear para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica..

Tipos de solo	Porcentagem final de areia no solo (%)	Retração (%)
Solo natural	42	4,44
Solo corrigido	52	4,13
Solo corrigido	59	3,18

Fonte: Elaborado pelo autor.

A correção granulométrica do solo pela adição de areia média provocou uma redução de caráter ascendente na retração linear dos mesmos, demonstrando a relação direta que há entre o fenômeno físico em questão com a quantidade de água que a mistura requer, como é possível analisar na Figura 9 a seguir:

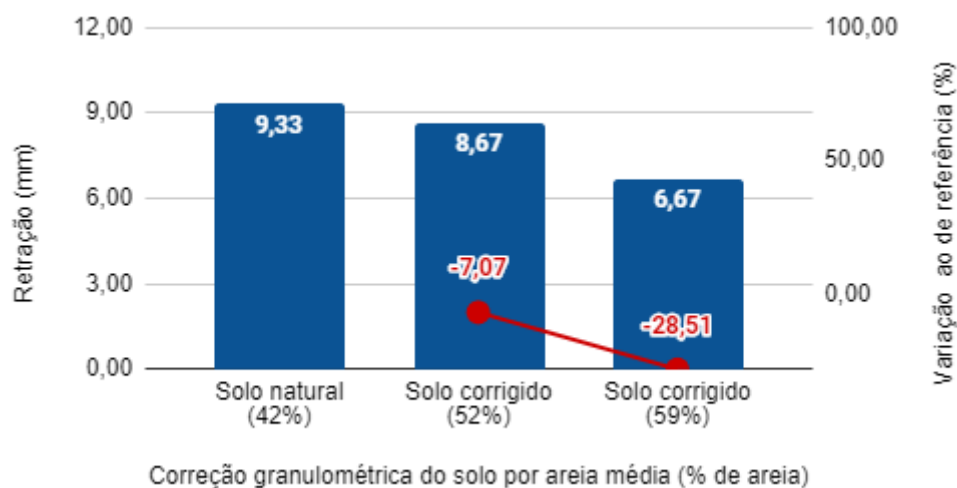


Figura 9 - Retração linear para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico demonstra que o acréscimo de areia amenizou o processo de retração em 7% no solo com correção de 52%, índice que aumentou para mais de 28% quando o teor total de areia foi de 59%.

Absorção por capilaridade do solo

A absorção de água simulada em laboratório através do efeito de capilaridade, permitiu

verificar que a correção granulométrica do solo tornou-o o mais vulnerável à ascensão capilar, indicando uma tendência contrária à encontrada na mensuração do teor de umidade necessário para a moldagem, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Absorção por capilaridade para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica..

Tipos de solo	Porcentagem final de areia no solo (%)	Coefficiente de Penetração por Capilaridade
Solo natural	42	0,92
Solo corrigido	52	0,94
Solo corrigido	59	0,98

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mostraram que para as amostras sem adição de resíduos, o índice de absorção por capilaridade aumentou à medida que a proporção de areia na mistura era mais elevada, o que atesta a afirmação de que a argila pode proporcionar uma limitação à penetração de excesso de umidade no solo. Como era de se esperar, a taxa de absorção pelo período de tempo foi mais acentuada nos corpos de prova com solo corrigido à 52% e 59%, como é possível verificar pela Figura 10:

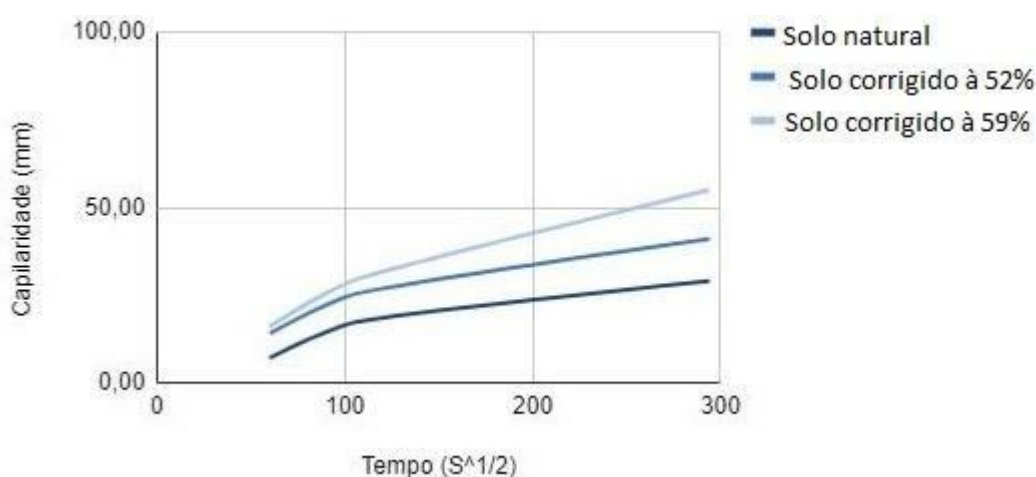


Figura 10 - Absorção por capilaridade para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os corpos de prova com solo em estado natural apresentaram valores que, mesmo na medição após 24 horas de ensaio, a altura atingida pela água ainda foi menor do que aquelas constatadas para os CPs corrigidos à 59% em três horas de experimento. O solo

com 52% de areia em sua composição não apresentou valores elevados como a outra mistura corrigida, mas a altura atingida pela água foi o dobro do solo de referência na primeira hora de ensaio, mesmo com essa proporção diminuindo com o tempo.

5.1.2 Propriedades mecânicas do solo

Resistência à compressão de corpos de prova

Os resultados numéricos provenientes dos ensaios de resistência à compressão simples dos corpos de prova sem adição de resíduos com 7 e 28 dias, alcançaram, em sua maioria, resistência superior a 1,0 MPa. Esta última observação foi realizada tendo em vistas as exigências da norma peruana NTE E0.80 (2000), que especifica um mínimo de 1,2 MPa para a resistência à compressão.

Em relação à influência da correção granulométrica pela adição de areia média na resistência do solo, podemos inferir a partir da Tabela 4 que as três misturas propostas, do solo natural (42% de areia) e das duas correções (52% e 59% de grãos de areia), manifestaram comportamentos discrepantes entre si.

Tabela 4 - Resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo sem sem e com correção granulométrica e com 7 e 28 dias.

Tipos de solo	Porcentagem final de areia no solo (%)	Resistência à compressão (MPa)		Variação com o tempo (%)
		7 dias	28 dias	
Solo natural	42	1,54	1,81	17,53
Solo corrigido	52	1,76	1,4	-20,45
Solo corrigido	59	0,95	0,96	1,05

Fonte: Elaborado pelo autor.

As amostras em estado natural apresentaram uma resistência inicial de sete dias da ordem de 1,54 MPa, aumentando em seguida para 1,81 MPa quando rompidas a vinte e oito dias, com um crescimento de mais de 17% na variação temporal. Os outros dois compostos avaliados exibiram desempenho singulares, tanto entre si, como em relação ao de referência. Os corpos de prova cuja porcentagem de areia foi corrigido para 52%

demonstraram resultados opostos ao do solo natural (42% de areia), em que, mesmo obtendo a maior resistência média com sete dias de secagem, de 1,76 MPa, obteve resultados 20% inferiores quando rompidos a vinte e oito dias, da ordem de 1,4 MPa. Já o solo com a segunda correção granulométrica (59%) praticamente não manifestou variação na resistência ao longo do tempo, obtendo resultados inferiores a 1,0 MPa nas duas medições, de 0,95 e 0,96 MPa, provavelmente em razão da menor umidade utilizada na mistura.

As expectativas que haviam sido elencadas a respeito da otimização do solo com fins construtivos através da adição de areia média, em acordo com a norma NTE E0.80 (2000), que estabelece limites entre 55% e 70% de areia para a composição do material que servirá para fabricação do adobe, não foram verificadas nesta etapa dos testes experimentais. Apesar de provocar otimização nos aspectos físicos avaliados anteriormente, o mesmo não foi constatado no ensaio mecânico de compressão simples, no qual a melhor mistura encontrado foi o de referência, do solo em estado natural, confirmando o que foi verificado na revisão bibliográfica. A representação gráfica das tensões obtidas permite observar de maneira mais apurada o que foi observado, como mostra a Figura 11:

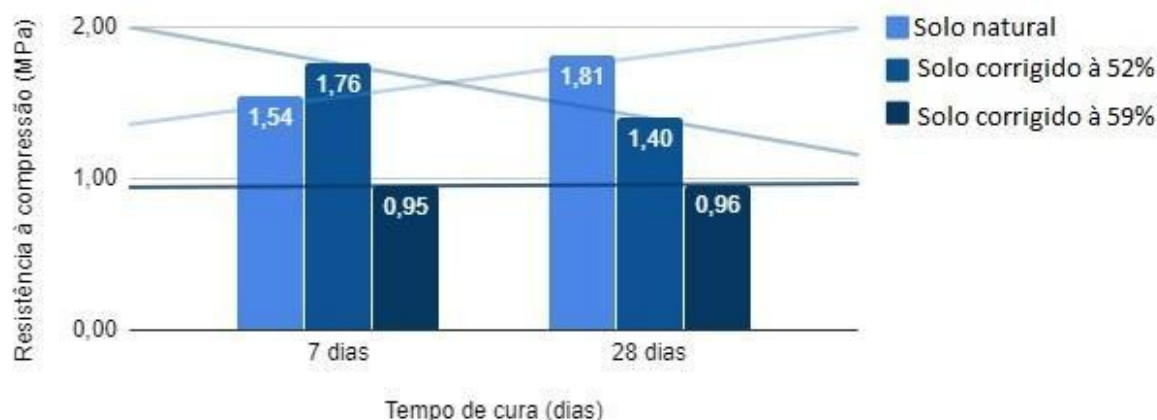


Figura 11 - Linhas de tendência da variação no tempo da resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir das linhas de tendência entre os valores para sete e vinte e oito dias de secagem de cada mistura, fica evidente o comportamento diametralmente oposto entre o solo de referência e o corrigido a 52%, enquanto o outro, com 59% de areia, manteve-se particularmente estável ao longo da variação temporal.

A abstração gráfica dos resultados obtidos com sete dias demonstra que há possibilidade de formulação da hipótese de um valor ótimo de correção granulométrica, como exposto na Figura 12. Enquanto a correção de 52% ocasionou um aumento de mais de 14% em relação à resistência mecânica do solo natural, resultando no maior valor obtido inicialmente dentre as três misturas analisadas, os corpos de prova que possuíam taxa de areia com 59% do total demonstraram o efeito contrário, com redução de 40% em relação ao de referência.

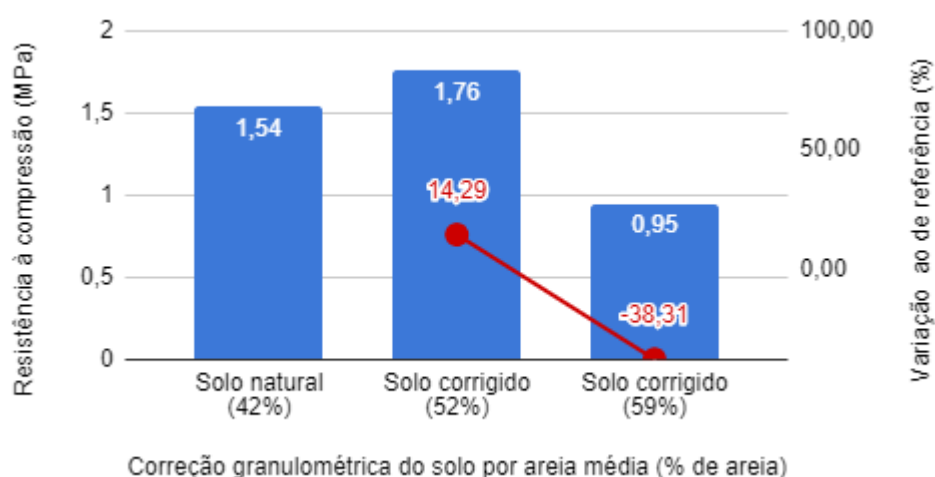


Figura 12 - Resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica e com 7 dias.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Porém, essa hipótese se torna inválida quando analisados os valores de resistência para 28 dias de secagem, que se encontram na Figura 13:

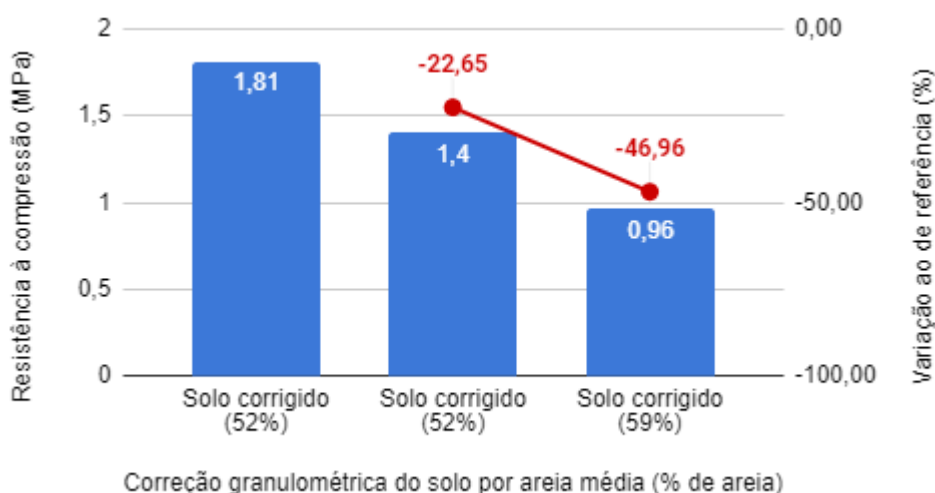


Figura 13 - Resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica e com 28 dias.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa situação é possível inferir uma segunda hipótese, de que a adição de areia prejudicaria a performance mecânica do solo argiloso. A mistura de referência obteve as melhores performances, levando em conta que o solo com correção de 52% resistiu a uma carga 22% menor, e esse índice aumenta para 47% com o solo corrigido a 59%.

Quando os valores obtidos são organizados graficamente com suas composições granulométricas, como mostra a Figura 14, é possível realizar uma melhor avaliação das duas hipóteses mencionadas anteriormente e da incompatibilidade entre as duas.



Figura 14 - Linhas de tendência da variação da resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica para 7 e para 28 dias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido à incerteza quanto à performance mecânica dos solos argilosos corrigidos granulometricamente, essas mesmas misturas foram descartados dos próximos experimentos, apesar do incremento das propriedades físicas atestado nos últimos ensaios.

Resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova

Outra propriedade mecânica também analisada foi a resistência ao esforço de tração, avaliado através do ensaio de tração por compressão diametral, tomando como base a norma NBR 7222 (ABNT, 1993). Como é possível analisar na Tabela 5 em relação às amostras sem e com adição de areia média, a única mistura que apresentou uma melhora da resistência ao longo da variação temporal foi o de referência com o solo em estado natural. Neste ensaio, o princípio da incerteza sobre a durabilidade deste solo quando corrigido granulometricamente é ainda mais evidente do que o atestado no experimento de

compressão simples, tendo em mente que nesse caso de agora, as duas misturas corrigidas tiveram suas resistência mecânica comprometidas. Entretanto, e apesar de ter tido a queda de valores mais expressiva entre os dois (28,6%), o solo com teor de 52% de areia apresentou uma resistência inicial a sete dias de 0,21 MPa, resultado superior ao mais elevado alcançado com vinte e oito dias, de 0,2 MPa, obtido pelo solo em estado natural.

Tabela 5 - Resistência à tração média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica com 7 e 28 dias.

Tipos de solo	Porcentagem final de areia no solo (%)	Resistência à tração (MPa)		Variação com o tempo (%)
		7 dias	28 dias	
Solo natural	42	0,14	0,2	42,86
Solo corrigido	52	0,21	0,15	-28,57
Solo corrigido	59	0,18	0,14	-22,22

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 15 estão representados graficamente os valores obtidos para a resistência à tração das amostras de solo sem adição de resíduos. Nela se torna evidente o fato da maior variação em função do tempo ocorrer no solo natural, o único de aspecto ascendente, enquanto nos outros dois casos há uma tendência decrescente, principalmente no solo com teor de 52% de areia em sua composição.

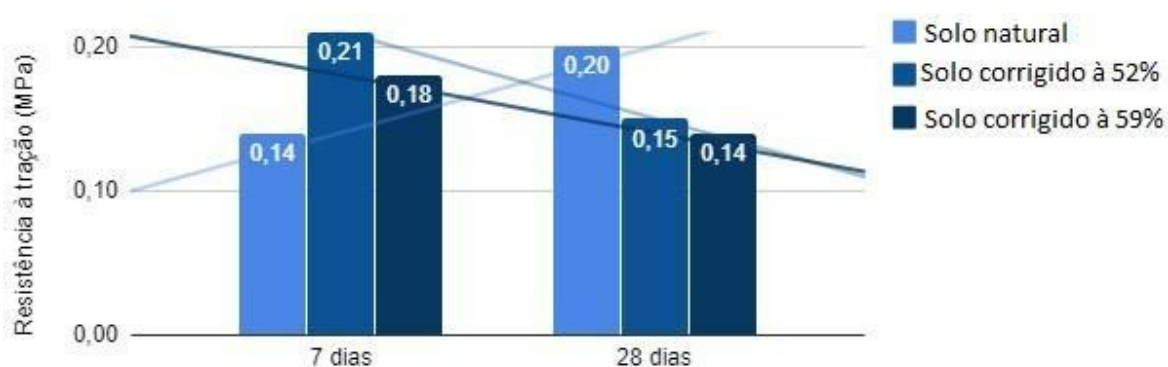


Figura 15 - Linhas de tendência da variação no tempo da resistência à tração média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Separando os resultados de acordo com o tempo de secagem, fica mais evidente a baixa confiabilidade na força do solo corrigido em suportar tensões de tração ao longo do tempo, como mostram as Figuras 16 e 17.

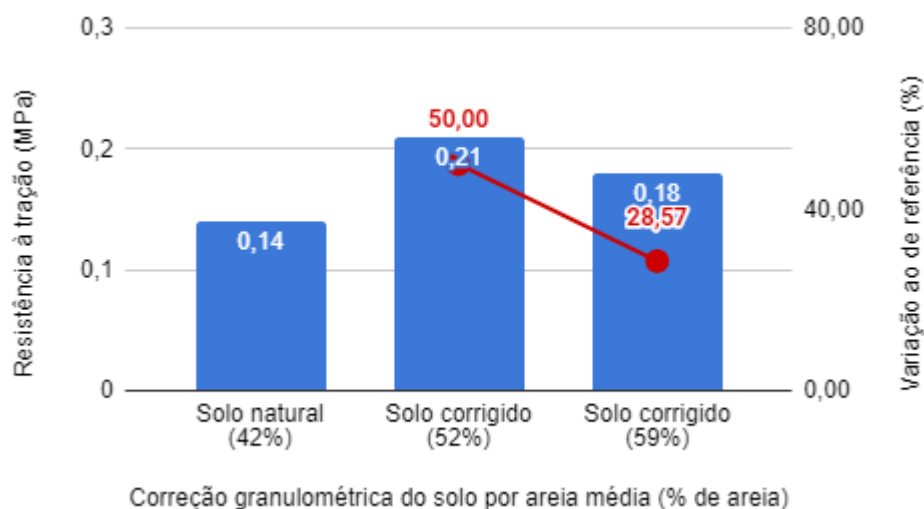


Figura 16 - Resistência à tração média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica com 7 dias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na primeira, os resultados encontrados nos corpos de prova ensaiado com sete dias não indicaram uma relação direta com a adição de areia, já que apesar da presença da correção aparentemente ter otimizado a resistência do solo natural, o melhor valor foi alcançado pelas amostras com 52% de areia em sua composição.

Em relação aos CPs ensaiados após vinte e oito dias de secagem, é possível elaborar-se uma conclusão contrária à última. Não apenas o solo natural apresentou o maior valor registrado, mas também, à medida que se aumentou a quantidade de areia na mistura, menores foram as resistências. Para a mistura com 52% de areia o resultado foi 25% menor do que o alcançado pelo solo natural, enquanto para o outro, com 59% de areia, essa taxa de redução foi de 30%, como é possível verificar na Figura 17:

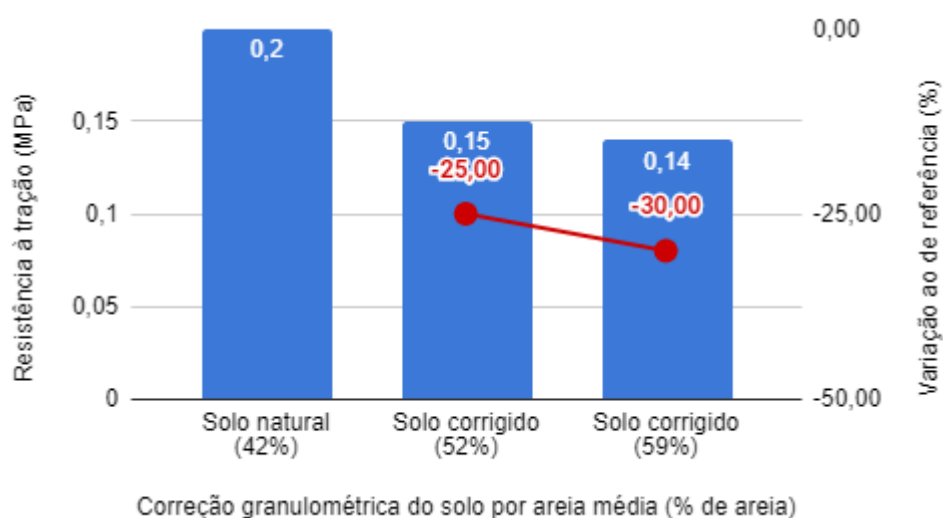


Figura 17 - Resistência à tração média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica e com 28 dias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em uma situação similar à encontrada nos ensaios de resistência à compressão simples, em que foram inferidas duas hipóteses opostas a partir dos valores resultantes de 7 e de 28 dias de secagem, as curvas de tendência no caso da tração manifestaram uma configuração praticamente invertida, como mostra a Figura 18:



Figura 18 - Linhas de tendência da variação da resistência à tração média para as diferentes misturas de solo sem e com correção granulométrica para 7 e para 28 dias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O agrupamento dos resultados de acordo com a composição permite observar que a imprevisibilidade também está presente quando o solo corrigido é submetido ao esforço de tração.

5.1.3 Seleção da mistura ideal

A incerteza provocada pela correção granulométrica no desempenho mecânico do solo através da adição de areia média compromete a sua utilização, apesar dos incrementos obtidos em relação à retração linear do mesmo. Foi então selecionado o solo natural, com 42% de areia em sua composição, como a mistura de referência para a análise das adições de resíduos naturais.

5.2 Solo com adições de cinzas de eucalipto

O solo natural foi estabilizado com cinzas de eucalipto nas percentagens em massa de 20%, 30% e 40%.

5.2.1 Propriedades físicas do solo

Teor de umidade adequado para a moldagem das misturas

Em relação ao acréscimo de cinzas de eucalipto, que foram adicionada à seco, antes do acréscimo de água, o teor de umidade adequado para a moldagem se manteve inalterado para o solo sem correção na primeira substituição de 20% em massa, mas manifestou uma variação 11% maior que essa, quando a adição foi de 30%, como mostra a Tabela 6:

Tabela 6 - Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural.

Tipos de solo	Percentual de cinzas (%)	Teor de umidade (%)
Solo natural	0,00	19,53
Solo natural	20,00	19,65
Solo natural	30,00	21,65
Solo natural	40,00	26,67

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi possível concluir a partir das observações da Figura 19, o acréscimo de cinzas de eucalipto ocasionou um crescimento de caráter exponencial no teor de umidade adequado para a moldagem em relação à amostra sem resíduos: um aumento de apenas 0,61% para a mistura com substituição de 20% em massa, e de 36,56% quando a participação dos restos da queima da madeira foi de 40%.

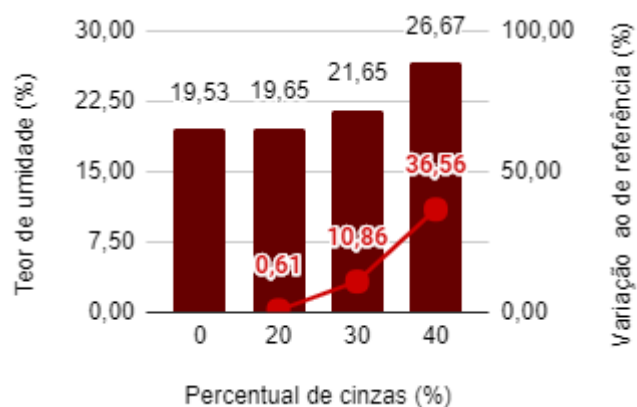


Figura 19 - Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda no que se refere à comparação da umidade requerida pelo solo sem e com correção granulométrica, podemos notar que a substituição por partículas finas (cinzas vegetais) provocou uma reação oposta à diminuição do teor de umidade adequado para a moldagem verificada nos solos com teores de areia alterados, o que confirma o que foi abordado na teoria, como é possível verificar na Figura 20:

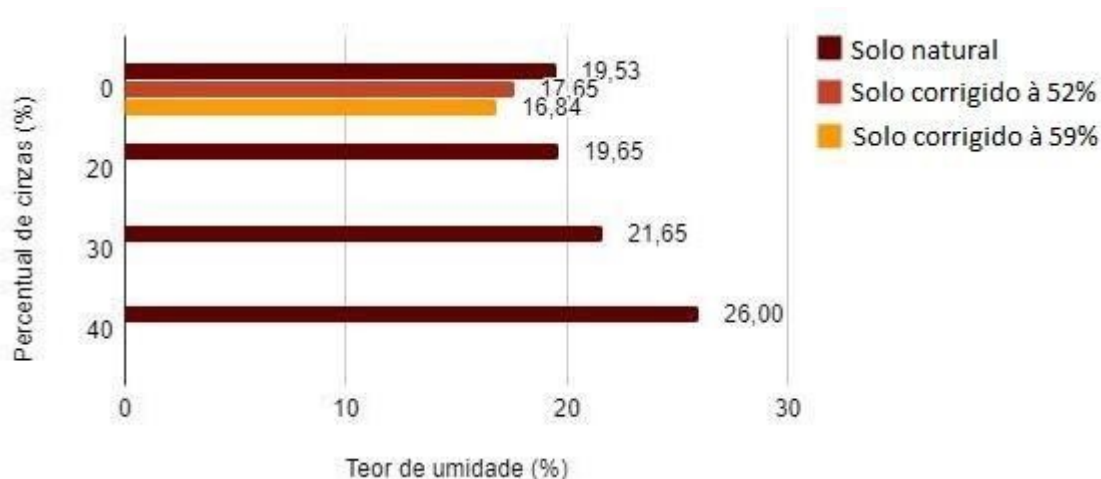


Figura 20 - Teor de umidade adequado para a moldagem para as diferentes adições de cinzas vegetais em solos sem e com correção granulométrica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A presença de partículas finas demanda uma maior quantidade de umidade no recobrimento da área de superfície entre os grãos.

Retração linear das misturas

O mesmo fenômeno também foi observado em relação às amostras estabilizadas com cinzas, mas em proporções diferentes, no qual a medida que o teor de resíduos aumentava, menor a retração observada, como demonstra a Tabela 7, que indica que a partir de um índice de substituição de 40% por cinzas é possível eliminar a contração:

Tabela 7 - Retração linear para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural.

Tipos de solo	Percentual de cinzas (%)	Retração (%)
Solo natural	0,0	4,44
Solo natural	20,00	2,06
Solo natural	30,00	0,50
Solo natural	40,00	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 21 abaixo confirma o que foi observado acima, da elevada eficiência das cinzas de em reduzir a retração do solo, evidenciando que sua capacidade aglutinante sobrepõe-se aos efeitos do aumento da taxa de umidade pelos resíduos. A substituição da massa seca da amostra de solo por 20% de cinzas diminuiu em mais de 50% o valor encontrado para a amostra em estado natural, enquanto que a substituição de 30% praticamente eliminou a ocorrência do fenômeno.

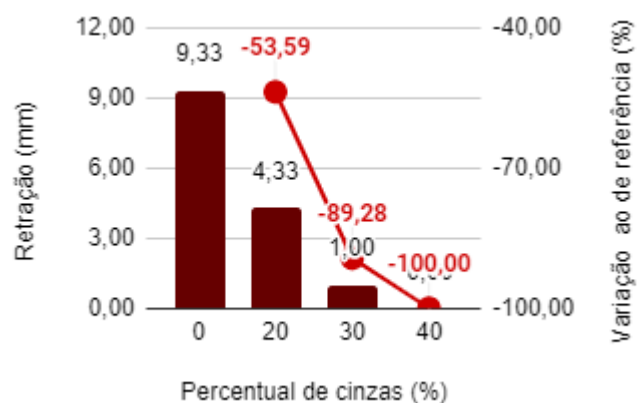


Figura 21- Retração linear para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A presença de cinzas vegetais por si só já é um fator que levou à redução do processo de retração do solo, de forma até mais eficiente do que pela adição de areia média, como é possível observar na Figura 22:

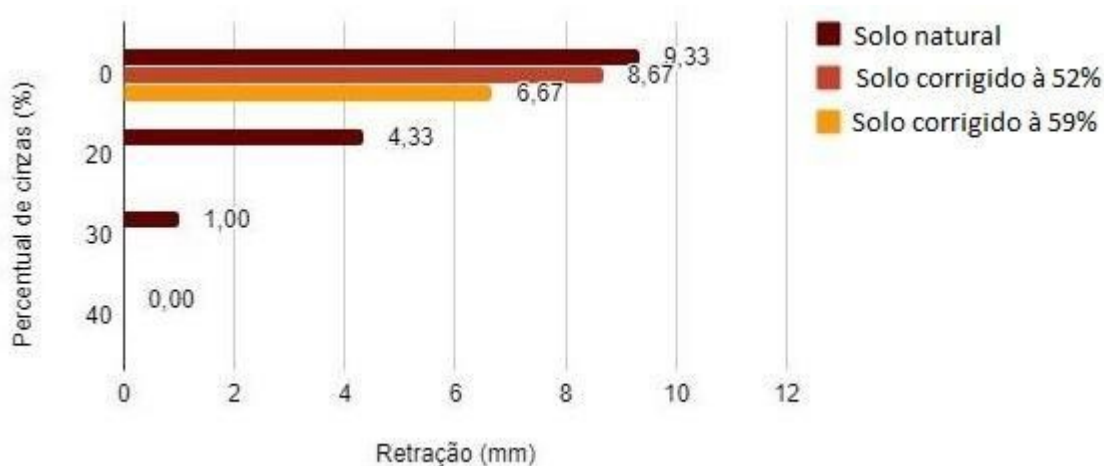


Figura 22 - Retração linear para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo sem e com correção granulométrica.
Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor da retração foi reduzido pela metade na substituição de 20% de cinzas em solo sem correção, atingindo um valor menor que o obtido pelo solo corrigido a 59%, sendo que essa redução se eleva a 90% para a mistura com 30% de cinzas.

Absorção por capilaridade do solo

Em relação à estabilização com cinzas, o seu acréscimo aumentou significativamente o índice de absorção de água do solo, como mostra a Tabela 8, em que o solo se apresentou

saturado no final das 24 horas de teste. Um crescimento elevado dessa taxa pode ser observado à medida que a presença de resíduos aumentava, devido ao maior índice de finura das partículas de cinzas, alcançando o valor de 1,0, ou de saturação completa para os CPs com 30% de cinzas.

Tabela 8 - Absorção por capilaridade para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural.

Tipos de solo	Percentual de cinzas (%)	Coefficiente de Penetração por Capilaridade
Solo natural	0,00	0,92
Solo natural	30,00	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A ascensão capilar nos CPs podem ser verificadas na Figura 23, a seguir.



Figura 23 – Ensaio de absorção por capilaridade em CPs com adição de cinzas.

Fonte:Acervo do autor.

A evolução do índice assume um aspecto mais acentuado de desenvolvimento exponencial quando representado graficamente, como na Figura 24, a seguir:

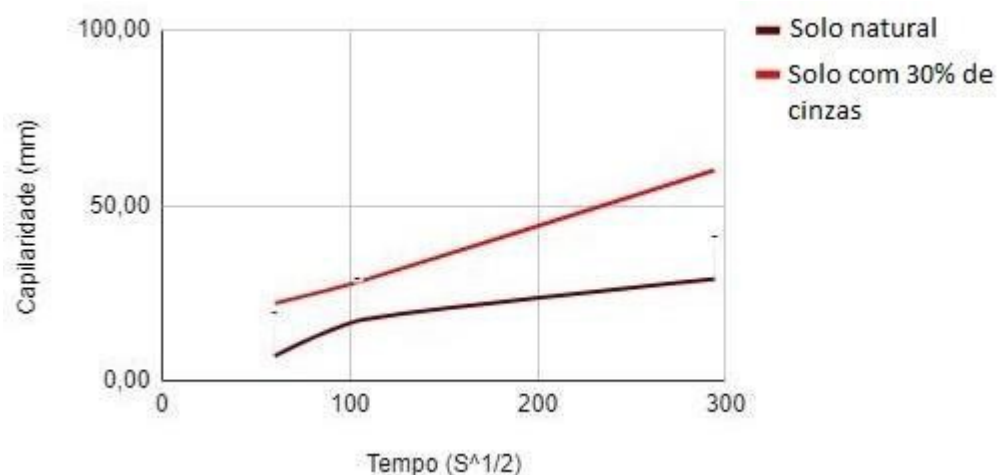


Figura 24 - Absorção por capilaridade para a adição de 30% de cinzas vegetais em solo em estado natural.
Fonte: Elaborado pelo autor.

De maneira similar à comparação entre os valores de absorção do solo natural com o corrigido à 59%, as amostras de 30% de cinzas em sua composição apresentaram, quando medidas após três horas, resultados semelhantes aos verificados nos CPs de referência em uma hora. Esse crescimento da susceptibilidade do solo após as adições de outros materiais, fica nítido quando os índices de absorção são esboçados graficamente, sejam eles areia ou cinzas, relação essa exposta na Figura 25:

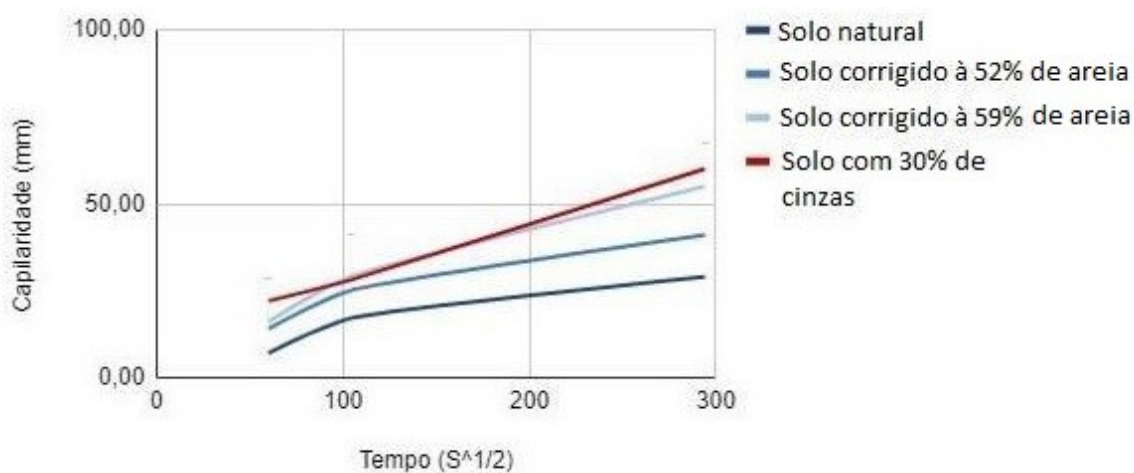


Figura 25 - Absorção por capilaridade para solo com adição de 30% de cinzas vegetais em solo sem correção granulométrica e para solos corrigido.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como um todo, os valores representam uma linha ascendente, o que confirma a capacidade de solos argilosos em retardar a infiltração de umidade e a maior demanda de água por

partículas menores, além de esclarecer o fato das cinzas de eucalipto acentuarem a absorção de forma mais significativa que a areia acrescentada.

5.2.2 Propriedades mecânicas do solo

Resistência à compressão de corpos de prova

No que se refere às misturas de solo estabilizados com diferentes percentuais de cinzas vegetais, um aumento de resistência foi detectado, como demonstrado na Tabela 9. Após vinte e oito dias de secagem, todos os três percentuais de resíduos levaram a resultados maiores do que o solo natural de referência, atingindo mais de 2,0 MPa nos três casos, dos quais a melhor performance alcançada foi a de 20% de cinzas, com 2,3 MPa, quase duas vezes maior que o mínimo de 1,2 MPa estabelecido pela norma peruana NTE E0.80 (2000). Com o objetivo de melhor compreender a influência das cinzas na perda de umidade em uma variação temporal, também foi realizado teste de resistência à compressão simples à sete dias em corpos de prova com 0% e 40% de resíduos. Nas duas situações, foram registrados valores acima de 1,5 MPa, no entanto, a mistura com 40% de substituição apresentou resultado 21% maior que o de referência, com 1,87 MPa, apesar de um menor crescimento com o tempo.

Tabela 9 - Resistência à compressão média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural com 7 e 28 dias.

Tipos de solo	Percentual de cinzas (%)	Resistência à compressão (MPa)		Variação com o tempo (%)
		7 dias	28 dias	
Solo natural	0	1,54	1,81	17,53
Solo natural	20	-	2,3	-
Solo natural	30	-	2,15	-
Solo natural	40	1,87	2,05	9,63

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando se observa separadamente as resistências para 28 dias de secagem, nota-se que, apesar do valor da mistura com 20% de cinzas ter sido 27% maior do que o do solo de referência, com 2,3 e 1,81 MPa respectivamente, há uma tendência decrescente à medida que se aumenta a presença de cinzas no composto, como mostra a Figura 26:

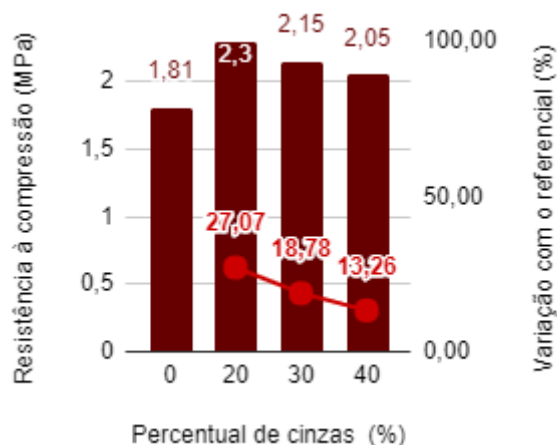


Figura 26 - Resistência à compressão média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 28 dias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 27 abaixo observa-se que, por meio do estudo das linhas de tendência da variação temporal das misturas com 40% e 0% de substituição da massa seca do solo por cinzas, este último, apesar de ter manifestado um crescimento relativamente mais expressivo de 1,54 para 1,81 MPa, não atingiu valores de resistência tão significativos quando comparada com o outro, que variou de 1,87 para 2,05 MPa.



Figura 27 - Resistência à compressão média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 7 e 28 dias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova

Já no que se refere à resistência à tração, a incorporação de cinzas de madeira de eucalipto no solo em estado natural melhorou sua resistência, como mostra a Tabela 10:

Tabela 10 - Resistência à tração média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 7 e 28 dias.

Tipos de solo	Percentual de cinzas (%)	Resistência à tração (MPa)		Variação com o tempo (%)
		7 dias	28 dias	
Solo natural	0	0,14	0,2	42,86
Solo natural	20	-	0,28	-
Solo natural	30	-	0,22	-
Solo natural	40	0,15	0,31	106,67

Fonte: Elaborado pelo autor.

A mensuração da resistência com sete dias de secagem para as misturas com 0% e 40% de substituição por cinzas encontrou valores aproximados, de 0,14 MPa e 0,15 MPa, respectivamente. Entretanto, quando avaliados com 28 dias, os corpos de prova da mistura de 40% apresentaram uma taxa de variação no tempo duas vezes maior que a referência, com 0,31 MPa e sendo o melhor resultado entre os encontrados.

De maneira semelhante à resistência à compressão simples com diferentes adições de cinzas, as resistências à tração evidenciaram que todas as porcentagens de resíduos conduziram a resultados superiores aos obtidos pela amostra natural de referência. No entanto, especificamente nesse caso, não foi possível observar uma variação linear de acordo com o índice de substituição por cinzas como exposto na Figura 28. Isso se deve ao fato de que a mistura com 30% de restos de eucalipto queimado apresentou valores inferiores aos CPs com 20% e 40%, mesmo apresentando resistências maiores que o de referência.

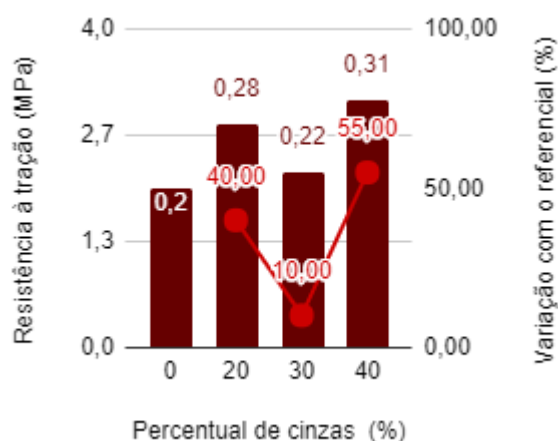


Figura 28 - Resistência à tração média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 28 dias.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 29 expõe com maior destaque a influência das cinzas de madeira de eucalipto no desenvolvimento das propriedades mecânicas do solo ao longo do período de secagem.

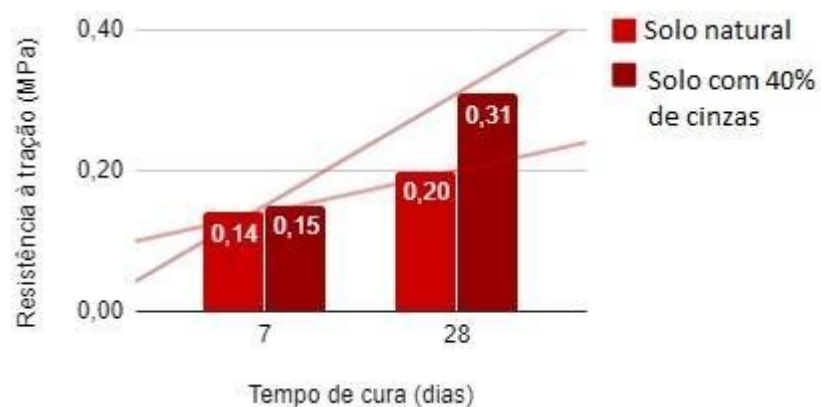


Figura 29 - Resistência à tração média para as diferentes adições de cinzas vegetais em solo em estado natural e com 7 e 28 dias.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A evolução da resistência à tração para as amostras com 40% de cinzas foi maior que o dobro das que foram atingidas pelo solo em estado natural, alcançando um valor duas vezes maior do que foi encontrado para a mesma mistura com 7 dias de secagem, em razão do empacotamento das partículas ocasionado pela maior umidade da mistura.

5.3 Solo com adições de fibras de coco

No que se refere à estabilização com fibras de coco, sua adição não alterou substancialmente a taxa de umidade para moldagem, provavelmente devido ao tamanho

reduzido dos CPs, e por isso não foram avaliadas sua influência em relação às propriedades físicas do solo. Foi feito então uma avaliação das propriedades mecânicas do solo com adição de fibras.

5.3.1 Propriedades mecânicas do solo

Resistência à compressão de corpos de prova

Em relação à adição de fibras na estabilização do solo, pode ser verificada uma oscilação da resistência dos CPs ao longo do processo de secagem. A presença das fibras, apesar de ter possibilitado um rompimento menos frágil, provocou uma redução direta nas resistências à compressão quando comparadas entre 7 e 28 dias, como mostra a Tabela 11. Enquanto o solo não estabilizado atendeu as expectativas e apresentou um crescimento de sua resistência em 17% com a perda de umidade, a adição de fibra de coco em 0,2% de massa diminuiu em mais de 40% a resistência entre o início e o fim das medições, enquanto 0,13% de resíduos ocasionaram uma variação também negativa, mas de apenas 10%. No entanto, as duas misturas estabilizados apresentaram valores iniciais e finais acima de 1,2 MPa, o mínimo recomendado para adobes na norma peruana NTE E0.80 (2000).

Tabela 11 - Resistência à compressão média para as diferentes misturas de fibras em solo sem e com correção granulométrica e com 7 e 28 dias.

Tipos de solo	Percentual de fibras (%)	Resistência à compressão (MPa)		Variação com o tempo (%)
		7 dias	28 dias	
Solo natural	0	1,54	1,81	17,53
Solo natural	0,13	1,58	1,42	-10,13
Solo natural	0,2	2,85	1,62	-43,16

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa inversão dos valores de resistência à compressão após a secagem confirma o que havia sido abordado na revisão bibliográfica para solos estabilizados com fibras naturais, e fica mais evidente quando os resultados são comparados de acordo com o tempo. Quando analisamos as resistências obtidas com sete dias de secagem, é possível supor que as fibras elevaram exponencialmente a resistência do solo em resistir à compressão, aumentando

2,60% em relação ao de referência quando estabilizados com 0,13% de fibras, e 85% com 0,2% de adição. Porém, os ensaios realizados com 28 dias apresentam uma tendência contrária, em que, mesmo com uma visível melhora a partir do aumento de 0,13% para 0,2% de fibras, ambas as misturas manifestaram uma redução em relação ao referencial de 21,6% e 10,5%, respectivamente.

A representação gráfica desses valores e de suas respectivas linhas de tendência ressaltam ainda mais a superioridade do resultado para os CPs com 0,2% de fibras a sete dias, assim como destaca a discrepância entre os dois valores dessa mistura, como exposto na Figura 30. As curvas de tendência indicam que um aumento da quantidade de fibras poderia aumentar essa diferença, além de fazer alusão à uma possível obtenção de resultados finais maiores para solos estabilizados com maiores proporções. Também é possível admitir que incorporações inferiores de fibras seriam capazes de apresentar valores similares aos obtidos pelo solo de referência.

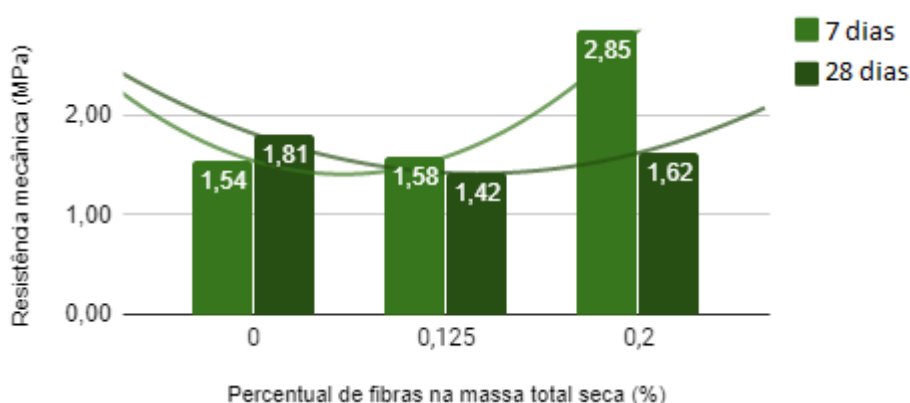


Figura 30 - Linhas de tendência da resistência à compressão média para as diferentes misturas de solo com adição de fibras e de acordo com o tempo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi examinada também a influência da umidade interior das fibras antes do processo de mistura, sendo realizados ensaios com corpos de prova estabilizados com 0,13% de fibras de coco previamente imersas em água, e acrescentadas na mistura antes do acréscimo de umidade para mistura. Essas, quando comparadas aos corpos de prova com fibras secas e na mesma proporção, apresentaram uma redução da resistência ao longo do tempo até três vezes mais elevada, atingindo valores abaixo do recomendado de 1,2 MPa, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Resistência à compressão média para fibras secas e umedecidas à 0,13% de massa em solo natural com 7 e 28 dias.

Tipos de solo	Percentual de fibras (%)	Estado das fibras	Resistência à compressão (MPa)		Variação (%)
			7 dias	28 dias	
Solo natural	0,13	Secas	1,58	1,42	-10,13
Solo natural	0,13	Umedecidas	1,76	1,12	-36,36

Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos verificar que, assim como foi visto na teoria, a variação volumétrica das fibras em contato com a água é prejudicial à performance estrutural do solo quando comparado ao comportamento do estado natural.

Resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova

Em relação à estabilização do solo com fibras de coco, os CPs manifestaram uma resistência à tração oposta àquela provocada pela adição de cinzas e semelhante aos resultados da resistência à compressão dos espécimes com materiais fibrosos, como é possível observar na Tabela 13. A adição de 0,2% de resíduos em massa causou uma variação negativa de 40% na resistência do solo à tração entre o início e o final dos experimentos, resultado praticamente contrário ao da mistura de referência, que por si só obteve valores significativos, como já visto. E apesar dessa variação caracterizar-se por uma oscilação similar ao verificado no esforço à compressão com a estabilização fibrosa, ela foi, no entanto, mais acentuada, e a maior proporção de fibras não gerou resistências maiores quando mensurada com 28 dias.

Tabela 13 - Resistência à tração média para as diferentes misturas de fibras em solo natural e com correção granulométrica com 7 e 28 dias.

Tipos de solo	Percentual de fibras (%)	Resistência à tração (MPa)		Variação com o tempo (%)
		7 dias	28 dias	
Solo natural	0	0,14	0,2	42,86
Solo natural	0,13	0,2	0,19	-5,00
Solo natural	0,2	0,28	0,17	-39,29

Fonte: Elaborado pelo autor.

No início do processo de secagem, a presença de fibras foi responsável por uma diferença expressiva de performance em relação ao solo não estabilizado, com o percentual de 0,2% de resíduos apresentando um esforço duas vezes superior à este. Já com 28 dias de de secagem, essa tendência se inverte, sendo que a maior quantidade de fibras de coco manifesta então os menores valores para o período. A redução sobre o de referência é de 5% para o de 0,13%, e de 15% para os CPs com 0,2% de fibras.

A sobreposição de ambos os períodos em um gráfico com suas respectivas linhas de tendência ressaltam o aumento da oscilação negativa da resistência à medida que se acrescentou fibras, como mostra a Figura 31. Mas também é possível inferir que, no sentido contrário, haveria uma determinada percentagem próximo a 0,13% em que se obteria elevadas resistências iniciais sem, no entanto, apresentar uma queda brusca logo em seguida.

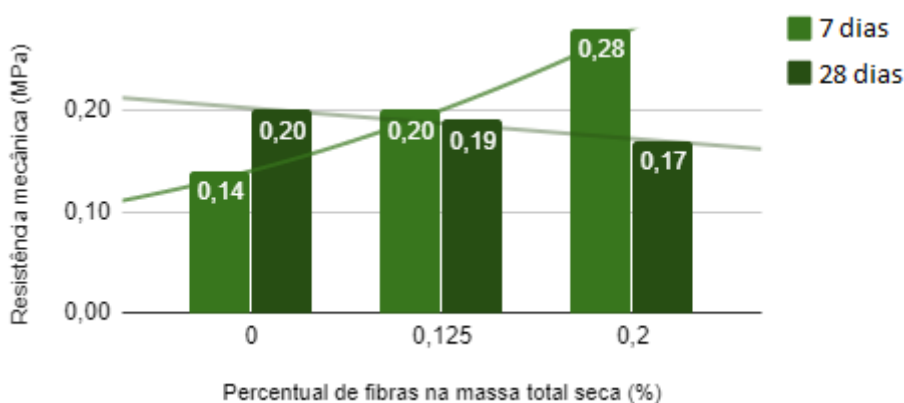


Figura 31 - Linhas de tendência da resistência à tração média para as diferentes misturas de solo com adição de fibras de acordo com o tempo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os ensaios realizados com as fibras previamente umedecidas na mistura com 0,13% não se diferenciaram dos corpos de prova secos e com o mesmo percentual, no que se refere ao solo natural e sem correção, como exposto na Tabela 14, que indica uma resistência de 0,19 MPa a 28 dias, para ambos os casos.

Essa oscilação das médias obtidas pode estar relacionada ao comprimento das fibras em relação ao tamanho dos CPs, o que pode ter provocado a formação de bolores internos que prejudicassem o desempenho da mistura.

Tabela 14 - Resistência à tração média para as diferentes misturas de fibras em solo natural com 7 e 28 dias.

Tipos de solo	Percentual de fibras (%)	Estado das fibras	Resistência à tração (MPa)		Variação (%)
			7 dias	28 dias	
Solo natural	0,13	Secas	0,20	0,19	-5,00
Solo natural	0,13	Umedecidas	0,19	0,19	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados indicam que, mesmo quando previamente umedecidas, as fibras de coco com 0,13% de quantidade em massa possibilitam que o solo alcance elevadas resistências à tração nos primeiros dias de secagem, sem comprometer o desempenho final de sua performance, em razão da menor perda de umidade no processo de secagem.

5.4 Resistência à compressão de prismas sem e com adição de cinzas de eucalipto

De acordo com os ensaios físicos e mecânicos, foi selecionado a mistura com 20% em massa de cinzas de eucalipto como mistura ótima, tanto para a fabricação dos tijolos, quanto para a elaboração da argamassa de assentamento nos prismas, como é possível verificar na Tabela 15:

Tabela 15 - Síntese dos principais ensaios físicos e mecânicos do solo sem e com correção e estabilizado ou não por cinzas com 7 e 28 dias.

Tipo de solo	Porcentual final de areia (%)	Porcentual de cinzas (%)	Retração (%)	Absorção por capilaridade	Resistência à compressão (MPa)		Resistência à tração (MPa)	
					7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Solo natural	42,00	0,00	4,44	0,92	1,54	1,81	0,14	0,2
Solo corrigido	52,00	0,00	4,13	0,94	1,76	1,4	0,21	0,15
Solo corrigido	59,00	0,00	3,18	0,98	0,95	0,96	0,18	0,14
Solo natural	42,00	20,00	2,06	-	-	2,3	-	0,22
Solo natural	42,00	30,00	0,50	1,00	-	2,15	-	
Solo natural	42,00	40,00	0,00	-	1,87	2,05	0,15	0,31

Fonte: Elaborado pelo autor.

As cinzas no solo apresentaram uma capacidade de se aglutinar e um desempenho mecânico propícios para a fabricação dos tijolos e da argamassa de assentamento. Em

relação às adições de fibras, apesar da oscilação das resistências às compressões, não provocaram um aumento significativo da umidade necessária, e em razão de terem a capacidade de aprimorar o isolamento térmico do solo, como visto na revisão bibliográfica, seriam convenientes na elaboração da camada de revestimento da estrutura.

Os prismas estabilizados ou não apresentaram resistências à compressão significativas, com médias de 2,8 e 1,4 respectivamente, superiores ao mínimo estabelecido na norma adotada, e de maneira similar ao verificado pelos corpos de prova com mesma composição. Os protótipos de alvenaria são compostas por 4 tijolos de 4x8x4 centímetros na vertical cada, e é possível verificar um de seus exemplares na Figuras 32:



Figura 32 -Prismas posicionados para o ensaio de resistência à compressão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com um média de 1,42 MPa, os corpos de prova sem adição de resíduos atenderam ao valor mínimo de 1,2 MPa estabelecido pela norma peruana NTE E0.80 (2000), enquanto as estruturas com adição de cinzas apresentaram um resultado médio de 2,82 MPa, cerca de duas vezes superior ao obtido pelos prismas com solo em estado natural, como mostra a Figura 33, a seguir:

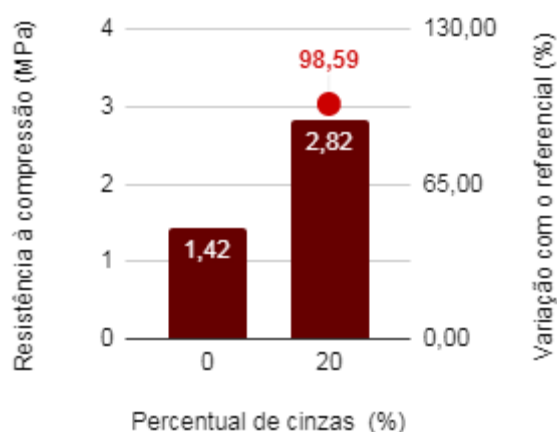


Figura 33 - Resistência à compressão média para os prismas de solo em estado natural e com 20% de adição de cinzas com 28 dias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em comparação à outras recomendações internacionais, a mistura estabilizada teve desempenho acima dos padrões de referência estabelecidos por outras normas de construção com terra, como os valores de 2,0 e 2,25 para adobes nas normas HB 195 (2012) e MOPT (2008), respectivamente. Os resultados confirmam a viabilidade da mistura utilizada, assim como dos aspectos formais e proporcionais dos tijolos na construção de estruturas sólidas de alvenaria, constituindo-se um possível recurso na construção de equipamentos de produção de pequeno e médio porte, como silo ou paiol de armazenamento de grãos.

5.5 Construção da maquete de silo de adobe

O protótipo consiste em uma miniatura tridimensional de formato cilíndrico, com raio interno e estatura de 21 e 50 centímetros, respectivamente. Sua construção demandou cerca de 100 tijolos, totalizando um peso de 33 quilos de solo e 9 quilos de cinzas, se for considerada a argamassa de assentamento. O protótipo pode ser visto na Figura 34.



Figura 34 - Maquete de silo cilíndrico de adobe.
Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da segunda fiada de tijolos foi deixada livre uma área com aproximadamente 95cm^2 para simular o vão que serve para a retirada de alimentos, podendo ser verificado na Figura 35, a seguir:



Figura 35 - Maquete de silo cilíndrico de adobe.
Fonte: Elaborada pelo autor.

A construção completa do protótipo de silo em alvenaria necessitou de cerca de seis dias de atividades, desde a preparação dos materiais constituintes como peneiramento e homogeneização, até a fixação das últimas peças de assentamento, a não ser em razão do tempo reservado ao preparo dos tijolos antes das duas atividades.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu caracterizar um solo arenoso-argiloso composto por 58% de silte e argila e 42% de areia através de ensaios de retração, de absorção por capilaridade e resistências à compressão e à tração.

Foi feito um estudo comparativo entre um solo em estado natural (de referência) com outros dois com adições de areia média, perfazendo um total de 52% de areia no segundo e 59% no terceiro. O solo natural apresentou um menor índice de capilaridade que os com correções granulométricas. No que se refere aos ensaios de resistência à compressão foram obtidos 1,81 MPa para o solo de referência, 1,40 MPa para o com 52% de areia e 0,96 MPa para o com 59% de areia.

A adição de cinzas de eucalipto no solo natural com 42% de areia em sua constituição, permitiu melhorar a estabilidade volumétrica, com redução da ordem de 50% na retração. Ela também aumentou a resistência à compressão, que passou de 1,82 MPa do solo de referência para 2,3 MPa no solo com adição de 20% de cinzas, em uma variação de 27%. Já a adição de fibras apresentou uma oscilação da resistência mecânica, porém, devido ao fato de não aumentar a demanda por umidade e reduzir o processo de fissuração, podem ser adotadas na camada de revestimento.

Com base na norma peruana NTE E0.80 (2003) foram construídos 10 prismas com 4 adobes, que permitiram comparar cinco prismas de tijolos de terra em estado natural com cinco prismas de adobe com adição de cinzas. Os resultados obtidos, para os prismas com tijolos de referência foram de 1,42 MPa e os prismas com tijolos estabilizados com cinzas foram de 2,82 MPa.

A aplicabilidade dos adobe foi comprovada através da confecção de um protótipo de silo com adição de cinzas de eucalipto no solo. O trabalho permite concluir que os adobe são uma alternativa viável em construções de interesse social.

7 TRABALHOS FUTUROS

Para os trabalhos a serem realizados no futuro, recomenda-se examinar o comportamento do solo estabilizado com cinzas de eucalipto em percentuais reduzidos, como 10% e 5%, assim como sua associação com outros produtos, como o caso da cal. Também sugere-se pesquisar diferentes formas de estabilização do solo que reduzam a vulnerabilidade do mesmo em relação ao excesso de umidade ocasionado pela adição de cinzas.

Em relação à estabilização com fibras de coco, faz-se necessário avaliar a influência de sua adição em adobes com maiores dimensões, a fim de verificar se a oscilação das resistências mecânicas encontradas se normaliza.

Já em relação aos trabalhos futuros que investiguem a verdadeira eficiência de um silo de armazenamento de grãos, propõe-se a construção de um protótipo em escala real realizado com tijolos de dimensões maiores. Também serão avaliadas as pressões laterais que esse equipamento deve resistir quando preenchido pela silagem, da mesma forma que serão analisadas as variações de temperatura e de umidade no interior do silo, visando a verificar a real eficiência do solo estabilizado com cinzas em isolar termicamente os produtos estocados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, Miguel. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3ª ed. São Paulo: Editora Expressão Popular, 2012.

ACI Committee 214. **Guide for obtaining cores and interpreting compressive strength results** (ACI 214.4R-03). American Concrete Institute. Farmington Hills, MI, 2003, 16 pp.

ABNT. **NBR 12025**: Solo-cimento – ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2012. 4 p.

ABNT. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez – Mar. 1984/7 pág.

ABNT. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade – Mar. 1984/7 pág.

ABNT. **NBR 7181**: Análise granulométrica de solos – Mar. 1988/7 pág.

ABNT. **NBR 7211**: Agregados para concreto –Especificação. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005. 15 p.

ABNT. **NBR 7222**: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Mar. 1994/3 pág.

ABNT. **NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária – Método de ensaio. Mar. 1982/3 pág.

AGUIRRE, Ramón. Abóbada de terra. In: **Técnicas de construção com terra**. NEVES, Célia e FARIA, Obede Borges (Orgs.), Bauru: FEB-UNESP, PROTERRA, 2011, p. 26-34, 79 p.

ARANTES, Otília Fiori. **Urbanismo em fim de linha e outros estudos sobre o colapso da modernização arquitetônica**. 2ª ed. Rev., 1. reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2014.

ARAUJO, Carlos Cesar de; RONDON, Odilar Costa; LOPES, José Carlos de Jesus; SANTOS, Luiz Miguel Renda dos. **Cinzas de biomassa na indústria da construção civil**: estudo bibliométrico. Revista CIATEC – UPF. Vol.10 (2), p. 91-101, 2018.

ARRUDA, Jandeilson Alves de; AZEVEDO, Thiago Anderson Oliveira de; FREIRE, José Lucínio de Oliveira; BANDEIRA, Lucas Bochartt; ESTRELA, José Wellington de Medeiros; SANTOS, Sebastiana Joelma de Azevedo. **Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas**. Revista Divulgação Científica e Tecnológica IFPB. n. 30, João Pessoa, set, 2016.

ASTM E2392/E2392M-10(2016). **Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.

Auroville - earth. **World techniques**. 1999.

Disponível em: http://www.earth-auroville.com/world_techniques_introduction_en.php

Acesso em: 10/02/2019.

BAHOBAIL, Mohammed Ali. **The mud additives and their effect on thermal conductivity of adobe bricks**. Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 40, No 1, January, 2012, p. 21-34.

BARBOSA, Normando Perazzo. **Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva construtiva com tijolos prensados de terra em comunidades carentes**. In: Workshop FINEP de Avaliação, subárea Inovação Tecnológica, 1999, p. 1-11.

BARBOSA, Normando Perazzo; GHAVAMI, Khosrow. **Construção em terra e sustentabilidade**. In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis 2014. Univ. do Minho, Guimarães, Portugal, 5-7 de mar de 2014.

BARBOSA, Normando Perazzo; RIBEIRO, Andréa Aparecida; MENDES, Lourival Marin; PROTÁSIO, Thiago de Paula; DENZIN, Gustavo Henrique; CAMPOS, Nathalia de Aguiar. **Incorporation of bamboo particles and "synthetic termite saliva" in adobes**. Construction and Building Materials, Vol. 98, 15 November, 2015, p. 250-256.

BARBOSA, Normando Perazzo; SWAMY, Narayan; MATTONE, Roberto. **Potentialities of earth construction in Latin-America**. In: International Symposium on Earthen Structures. Bangalore - Índia: B V Venkatarama Reddy, Vol. 1, 2007, p. 29-37.

BARBOSA, Normando Perazzo; GHAVAMI, Khosrow. **Terra para edificações**. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 3ª ed. São Paulo: editora. G. C. Isaia, IBRACON, 2017, cap. 45.

BARDOU, Patrick; ARZOUMANIAN, Varoujan. **Arquiteturas de adobe**. 2ª ed. Barcelona: Ed. Editorial Gustavo Gili S.A., 1981.

BARRIO, Gastón L.; ALVAREZ, Lucio; ARCOS, Hernán; MARCHANT, Enrique ; ROSI, David. **Comportamiento de los suelos para la confeccion de adobes**. Informes de la Construcción, Vol. 37, No. 377 enero/febrero, 1986.

BEL-ANZUÉ, Pedro; MAINAR, Jesús García; ORTOLANO, Juan Moreno; ZAVALA, Alfonso; FOLACHE, Paloma; CAYUELA, Ignacio Abad. **Utilización de fibras naturales em adobe**. En: Arquitectura en tierra. Historia y Renovación. XIII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2016. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2016. p. 249-58.

BENJAMIN, Walter. **O anjo da história**. Organização e tradução de João Barrento. 2ª ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2013.

BINICI, Hanifi; AKSOGAN, Orhan; SHAH, Tahir. **Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material**. Construction and Building Materials, Vol. 19, No. 4, May 2005, p. 313-318.

BINICI, Hanifi; AKSOGAN, Orhan; BAKBAK, Derya; HASAN, Kaplan; BILGE, Isik. **Sound insulation of fibre reinforced mud brick**. Construction and Building Materials, Vol. 23, No. 2, February, 2009, p. 1035-1041.

BOUHICHA, M.; AOUISSI, F.; KENAI, S. **Performance of composite soil reinforced with barley straw**. Cement & Concrete Composites, Vol. 27, No. 5, May, 2005, p. 617-621.

BURKE, Aaron A.; PEILSTOECKER, Martin; KAROLL, Amy; PIERCE, George A.; KOWALSKI, Krister; BEN-MARZOUK, Nadia; DAMM, Jacob C.; DANIELSON, Andrew J.; FESSLER, Heidi D.; KAUFMAN, Brett; PIERCE, Krystal V. L.; HOEFLMAYER, Felix; DAMIATA, Brian N.; DEE, Michael. **Excavations of the New Kingdom Fortress in Jaffa, 2011-2014: Traces of resistance to Egyptian Rule in Canaan**. In: American Journal of Archaeology, Vol. 121, nº 1, 2017. P. 85-133.

BUSON, Márcio Albuquerque. **Krafterra**. Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical. (Tese de Doutorado). Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009.

BUTLER, William B.. **The Avila Adobe: the determination of architectural change**. Historical Archaeology, Vol. 7, 1973, p. 30-45.

Cañas, I; Cid, J.; Mazarrón, F. R. **Las normativas de construcción con tierra en el mundo**. Informes de la Construcción, Vol. 63, nº 523, 2011. p. 159-169.

CANTEIRO, Fábio; PISANI, Maria Augusta Justi. **Taipa de mão: história e contemporaneidade**. ae ensaios, Vol. 1, No. 2, out. 2006, p. 1-21.

CAPORALE, Andrea; PARISI, Fulvio; ASPRONE, Domenico; LUCIANO, Raimondo; ANDREA, Prota. **Comparative micromechanical assessment of adobe and clay brick masonry assemblages based on experimental data sets**. Journal of Archaeological Science: Reports 12, 2017, p. 437-448.

CARDOSO, Fernando de Paula; JUCKSCH, Ivo; SILVA, Maristela Siolari da; HIRONAGA, Leonardo Sonoda; CASTRO, Augusto Duarte de. **Projeto arquitetônico e participação popular: as dimensões formais, simbólicas e políticas da moradia e da habitação em assentamentos de reforma agrária**. Labor & Engenho, Campinas [SP], Brasil, v.3, nº 1, p. 70-81, 2009.

CARRILLO, Elena; RICA, Jon de la. **Fogones mejorados de adobe**. Comunidad de la Prusia, Granada, Nicaragua. En: Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. p. 397-408.

CARVALHO, Thaís Márjore Pereira de; Lopes, Wilza Gomes Reis. **A arquitetura de terra e o desenvolvimento sustentável na construção civil**. VII CONNEPI Symposium. Palmas, Tocantins: 2012.

CASTROL, Carla Aparecida de Oliveira; RESENDE, Rafael Tassinari; BHERING, Leonardo Lopes; CRUZ, Cosme Damião. **Brief history of Eucalyptus breeding in Brazil under perspective of biometric advances**. Ciência Rural, Santa Maria. Vol.46, n. 9, p.1585-1593, set, 2016.

CAVERO, David; JOVÉ, Félix. **Comportamiento termodinámico de muros de btc en función del clima**. En: Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. p. 247-258.

CAZZONATO, A. C.; NOLASCO, A. M.; ARMELIN, M. C. **Aproveitamento de resíduo da indústria de papel na fabricação de tijolo compactado**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, ICTR, 2004.

CIVIDINI, Annamaria Cividini. **Geomechanical characterization of some adobe materials**. Procedia Structurak Integrity, V.5 , 2017, p. 1072-1077.

Colegio de la Frontera Sul ECOSUR. **Sitio histórico: sobrevivencia de la sociedad rural y mantenimiento de su medio ambiente**, 2007. Acesso em: 03/04/2018. Disponível em: <http://www.ecosur.org/index.php/ediciones-anteriores/88-edicion-24-febrero-2007/365-sitio-historico-sobrevivencia-de-la-sociedad-rural-y-mantenimiento-de-su-medio-ambiente>.

CORRÊA, Andréa Aparecida Ribeiro. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra)**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia Agrícola, 2003.

CORRÊA, Andréa Aparecida Ribeiro; GUIMARÃES, Bárbara M. R.; SCATOLINO, Mário V.; DUARTE, Moisés G.; LOPES, Thamirys A.; MENDES, Lourival M. **Evaluation of physical properties of adobe chemically stabilized with “synthetic termite saliva**. Key Engineering Materials, Vol. 600, 2014, p. 144-149.

COUTO, Álisson Franco do; CEZARIO, Nicole Schwantes; MORALES, Gilson; TORALLES, Berenice Martins.. **Avaliação preliminar dos efeitos da substituição parcial do agregado miúdo por Cinza de Madeira de Eucalipto (CME) nas propriedades das argamassas**. Revista de Engenharia Civil IMED, v. 5, n. 2, 2018.

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Tradução EZ2Translate, revisão técnica Leonardo R. Miranda. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

DARRAH, William Culp. **Technical Contributions to the Study of Archaeological Materials**. American Antiquity, Vol. 3, No. 3, Jan., 1938, p. 268-270.

DELGADO, M. Carmen Jimenez; GUERRERO, Ignacio Canas. **The selection of soils for unstabilised earth building: a normative review**. Construction and Building Materials. 21 Feb, 2007.

DETHIER, Jean. CENTRE GEORGES POMPIDOU; CENTRE DE CRÉATION INDUSTRIELLE; FONDATION DES PAYS DE FRANCE; DEUTSCHES ARCHITEKTUR-MUSEUM STADT FRANKFURT AM MAIN. **Arquitetura de terra: ou o futuro de uma tradição milenar**. Rio de Janeiro; Paris: Avenir; Centre National d'Art et de Culture Georges Pompidou, 1982. p. 208.

DHANDHUKIA, Pinakin; GOSWAMI, Dweipayan; THAKOR, Parth; THAKKER, Janki N. **Soil property apotheosis to corral the finest compressive strength of unbaked adobe bricks**. Construction and Building Materials, No. 48, 2013, p. 948-953.

FARIA, Obede Borges. **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso no reservatório de Salto Grande (Americana - SP)**. (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2002.

FATHY, Hassan. **Construindo com o povo** (arquitetura para os pobres). São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

FELIX, Adriano da Silva; FERREIRA, Pablo Raphael; BARBOSA, Normando Perazzo; BEZERRA, Ulisses Targino; GHAVAMI, Khosrow. **Alcaline stabilization of adobes**. In: 16th NOCMAT, Winnipeg, Manitoba, Canadá 2015.

FODDE, Enrico. **Traditional earthen building techniques in central asia**. International Journal of Architectural Heritage, No. 3, 2009, p. 145–168.

FOLZ, Rosana Rita; SERTORI, Rodolfo; INO, Akemi; SHIMBO, Ioshiaqui. **Construção de habitação em assentamentos rurais com geração de oportunidades de trabalho e renda - Caso: Assentamento Rural Pirituba II (Itapeva - SP)**. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Recife, Brasil, 28 a 30 de outubro, 2009.

FRANÇA, D. F. S.; REY, R. O.; FERREIRA, L. R. C.; RIBEIRO, D. V. **Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 153-166, jul./set. 2016.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 30ª ed. São Paulo: Paz e Terra (Coleção Leitura), 1996.

FREYRE, Gilberto. **Casa-Grande e Senzala**. 51 ed. São Paulo: Editora Global, 2006. 728p.

FUENTES, Claudia Pérez. **Volver a confiar**. Economía y Negocios online, 2018. Acesso em: 24/09/2018. Disponível em: <http://www.ecosur.org/index.php/ediciones-anteriores/88-edicion-24-febrero-2007/365-sitio-historico-sobrevivencia-de-la-sociedad-rural-y-mantenimiento-de-su-medio-ambiente>.

Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos de minas gerais: legenda** expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, UFV, CETEC, UFLA, FEAM, 2010, 49 p.

GARCÍA, Diego; MILLA, Laura; NAVARRO, Antonia; PALUMBO, Mariana; LACASTA, Ana M.. **Revestimiento com tierra y fibras vegetales: metodología de estudio**. En: Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. p. 225-34.

GHAVAMI, Khosrow; FILHO, Romildo D. Toledo; BARBOSA, Normando Perazzo. **Behavior of composite soil reinforced with natural fibers**. Cement and Concrete Composites, Porto Alegre, Vol. 21, No. 1, 1999, p. 39-48.

GOMES, Maria Idália; GONÇALVES, Teresa Diaz; FARIA, Paulina. **Hydric behavior of earth materials and the effects of their stabilization with cement or lime: study on repair mortars for historical rammed earth structures**. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 28, No. 7, Julho, 2016.

GUERRA, José Luis Sáinz Guerra; JOVÈ, Félix; CAZ, Rosario Del; OLMOS, Pedro; CAMINO, Miguel. **Cómo puede ayudar el conocimiento de la construcción sostenible en el desarrollo de las ciudades**. El ejemplo de Manta. Proyecto de cooperación internacional de La Universidad de Valladolid, España y La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador. X CIATTI . Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. p. 353-66.

HAQUE, Md. Mominul; ISLAM, Md. Nazrul; HUQUE, Md. Monimul; HASAN, Mahbub; ISLAM, Md. Saiful; ISLAM, Md. Sakinul. **Coir Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Physical and Mechanical Properties**. Advanced Composite Materials. N. 19, p. 91-106, 2010.

HB 195. **The australian earth building handbook**. SAI Global, 2012.

HENDRY, George W. **The Adobe Brick as a Historical Source: reporting further studies in adobe brick analysis**. Agricultural History, Vol. 5, No. 3, Jul., 1931, p. 110-127.

HENDRY, George W.; KELLY, Margaret P. **The Plant Content of Adobe Bricks: With a Note on Adobe Brick Making**. California Historical Society Quarterly, Vol. 4, No. 4 Dec., 1925, p. 361-373.

HOFFMANN, Márcio Vieira. **Efeito dos argilo-minerais do solo na matéria prima dos sistemas construtivos com solo cal**. Cadernos, Vol. 3, No. 1, 2004, p. 113-123.

HOFFMANN, Marcio Vieira. **Arquitetura e construção com terra: taipa de pilão**. Revista Restauro Online, No. 1, 2017.

HOLANDA, Sérgio Buarque de. **Raízes do Brasil**. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

IASI, Mauro Luis. **Processo de consciência**. São Paulo: CPV, 1999. 118 p.

IBC. **International Building Code**. Washington State Building Code Council. International Code Council, 2015.

IBGE - 2013. **Censo Demográfico 2010** – Características Gerais da População. Resultados da Amostra. IBGE, 2013. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso dia 15/10/2015.

JOVÉ, Félix; PAHÍNO, Luis; MUNÓZ, David. **Análisis tipológico y constructivo de muros curvos de tapial**. Molinos de viento en Tierra de Campos. En: Arquitectura construída en tierra, Tradición y Innovación. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 20004/2009. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2010. p. 187-196.

JOVÉ, Félix; RAMÓN, Leticia; HERNANDO, David. **Bóveda Nubia aplicada a la construcción de un prototipo de vivienda de crecimiento progresivo**. En: Arquitectura en tierra. Historia y Renovación. XIII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2016. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2016. p. 87-96.

JÚNIOR, Carlos Cesar de Araújo; RONDON, Odilar Costa; LOPES, José Carlos de Jesus; SANTOS, Luis Miguel Renda dos Santos. **Cinzas de biomassa na indústria da construção civil**: estudo bibliométrico. Revista CIATEC – UPF, V.10, No. 2, 2018, p. 91-101.

KAPP, Silke. A outra produção arquitetônica. In: **Estéticas do Deslocamento**. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Estética, 2008, s.p (CD-Rom).

KHAN, Mehran. ALI, Majid. **Effect of superplasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber**. Construction and Building Materials. N. 182, p.703-715, 2018.

LACOSTE, Pablo; PREMAT, Estela; CASTRO, Amalia; SOTO, Natalia; ARANDA, Maranda. **Tapias y tapiales en Cuyo y Chile: Siglos XVI-XIX**. Revista Apuntes, Vol. 25, No. 2, 2012, p. 182-199.

LEMOS, Carlos Alberto Cerqueira. **Uma nova proposta de abordagem da história da arquitetura brasileira**. In CASTRIOTA, Leonardo. Arquitetura e documentação – novas perspectivas para a história da arquitetura. São Paulo, Annablume/IEDS, 2011, p. 275-292.

LENIN, V. I. **Imperialismo, estágio superior do capitalismo**. 1 ed. São Paulo: Editora Expressão Popular, 2012

LIMA, Augusto Miguel Nascimento; SILVA, Ivo Ribeiro da; NEVES, Júlio César Lima; NOVAIS, Roberto Ferreira de; BARROS, Nairam Félix de; MENDONÇA, Eduardo de Sá;

DEMOLINARI, Michelle de Sales Moreira; LEITE, Fernando Palha. **Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no vale do Rio Doce-MG.** Revista Bras. Ci. Solo, V. 32, 2008, p. 1053-1063.

LINERA, Álvaro García Linera. **Introducción al Cuaderno Kovalevsky de Karl Marx.** La Paz: Ofensiva Roja, 1989.

LOPES, Leite J. Transferência de tecnologia e dependência na América Latina. In: **Encontros com a Civilização Brasileira.** No. 1. Rio de Janeiro: Ed. Civilização Brasileira S.A., julho de 1978, p. 205-215.

LOWY, Michael. **Método dialético e teoria política.** 3. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1985.

MARX, Karl,; ENGELS, Friedrich,; ENDERLE, Rubens. **O capital:** crítica da economia política. São Paulo: Boitempo Editorial, 2013.

MERRIL, Anthony F. **Casas de tierra apisonada y suelo-cemento.** Buenos Aires: Editorial Windsor, 1949.

MONTANER, Anna Altemir; CABANA, Hilda Cuba; PASCAL, Berta Marín. **Construyendo en tierra con las comunidades.** Base-A, Senegal 2011-16. En: Arquitectura en tierra. Historia y Renovación. XIII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2016. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2016. p. 207-214.

MONTEIRO, Sergio N.; LOPES, F. P. D; NASCIMENTO, D. C. O.; FERREIRA, A. S. **Natural fiber polymer matrix composites:** cheaper, tougher, and environmentally friendly. Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, Vol. 61, 2009, p. 17- 22.

MONTEIRO, Sergio N.; SATYANARAYANA, K. G.; NASCIMENTO, D. C. O.; LOPES, F. P. D.; SILVA, I. L. A.; BEVITORI, W. P.; INÁCIO, W. P.; BRAVO NETO, J.; PORTELA, T.G. **Selection of high strength natural fibers.** Revista Matéria, Vol. 15, No. 4, 2011, p. 488-505.

MONTEIRO, Sérgio; SATYANARAYANA, K.; FERREIRA, A.S; NASCIMENTO, D.C.O.; LOPES, F.P.D; SILVA, I.L.A; BEVITORI, A.B.; INÁCIO, W.P.; NETO, J. Bravo; NASIM, Uddin; MARWAN, Mostafa. **Effect of banana fibers on the compressive and flexural strength of compressed earth blocks.** Buildings OPEN ACCESS, 2015.

MOSTAFA, Marwan; UDDIN, Nasim. **Effect of banana fibers on the compressive and flexural strength of compressed earth blocks.** Buildings OPEN ACCESS, 2015.

MTST. **Criolo, Sônia Braga, Alinne Moraes e mais artistas e personalidades colocam a mão na massa para fazer casas do MTST,** 2018. Acesso em: 03/06/2018. Disponível em: <http://www.mtst.org/mtst/criolo-sonia-braga-alinne-moraes-e-mais-artistas-colocam-a-mao-na-massa-para-fazer-casas-do-mtst/>

MURMU, Anant L. e PATEL, A. **Towards sustainable bricks production: an overview.** Construction and Building Materials, No. 165, mar, 2018, p. 112-146.

NEVES, Célia M. Martins. **Mecanismos para transferência de tecnologia para habitação e a experiência do projeto Proterra:** a experiência do CEPED. III Seminario Iberoamericano de Construcción con tierra, Mendoza, Argentina, jun. 2002.

NEVES, Célia Maria Martins. **Resgate e atualização do construir com terra:** o projeto Proterra. In: I Conferência Latino - Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente e Construído, 18-21 julho, 2004.

NEVES, Célia Maria Martins. **O uso do solo-cimento em edificações:** a experiência do CEPED. In: V Seminario Iberoamericano de Construcción con tierra y I Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con tierra, Mendoza, Argentina, jun. 2006, p. 96-107.

NEVES, Célia Maria Martins; FLORES, Mario O; RÍOS, L. Silvio. Arquitecturas de tierra en Iberoamerica. VINUALES, Graciela María (compiladora). In: Programa **de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo**. LAGO, Luciana Corrêa do (Org.). Universidade do Texas, 1994.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patrício S.; HOFFMANN, Márcio. **Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra** - práticas de campo. Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra - prácticas de campo. In: IV SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO COM TERRA, 4. e SEMINÁRIO ARQUITECTURA DE TERRA EM PORTUGAL.3, 2005, Monsaraz (Portugal). Actas... Vila Nova de Cerveira (Portugal): Escola Superior Galaecia\PROTERRA-CYTED. 1 CD-ROM., 2005, p. 1-31.

New Mexico Code (2006). **New Mexico earthen building materials code 14.7.4.** Construction Industries Division (CID), Regulation and Licensing Dept., Santa Fé, NM.

NTE E.080 ADOBE (2000). **Reglamento Nacional de Construcciones.** NORMA TÉCNICA DE EDIFICACION. Lima, Peru, 2000.

NZS 4297 (1998): Engineering design of earth buildings [Building Code Compliance Documents B1 (VM1), B2 (AS1). Standards New Zealand, Wellington, 1998.

OLIVEIRA, Francisco de. **Brasil:** uma biografia não autorizada. 1. ed. São Paulo: Boitempo, 2018

OLIVEIRA, Pablo Menezes e. Entre cartas, panos, tintas e coração: representação prática das Casas de Câmara na Capitania de Minas Gerais. In: **As minas e o Império:** dinâmicas locais e projetos coloniais portugueses. Adriano Toledo Paiva, Pablo Menezes e Oliveira. Belo Horizonte: Ed. Fino Traço, 2013, p. 146-164.

OLOKE, David A.; EGENTI, Clement; KHATIB, Jamal M. **Analysis of expansion and water absorption of composite compressed earth block.** In: Renewable Energy

Technologies in Low Cost Building Design and Construction. RENEWBUILD2013 Conference, Ankara, Turkey, 16-17 September 2013.

PARKER, Arthur C. **Indians versus Pot-Hunters**. California Historical Society Quarterly, Vol. 4, No. 4, Dec., 1925, p. 361-373.

PEREIRA, Daniel Augusto de Moura; PEREIRA, Mirelle Sampaio; OLIVEIRA, Raul Seixas dos Santos; MELO, Aluísio Braz; CAVALCANTE, Arthur Lacerda. **Projeto de uma bioalvenaria de vedação a partir de terra crua: o caso do tijolo de adobe**. Revista Saúde e Ciência *On line*, 2014; 3(3): 64-75, set./dez., 2014.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos** em 16 Aulas/3ª Edição - São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

PINTO, Eduardo da Silva. **Solo-cimento compactado**: proposta de métodos de ensaio para dosagem e caracterização física e mecânica. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, 2016.

PRADO JÚNIOR, Caio. **Formação do Brasil contemporâneo**: colônia. São Paulo: Ed. Brasiliense, Publifolha, 2001.

PROMPT, Cecília Heidrich; BORELLA, Leandro Lima. **Experiência em construção com terra no segmento da agricultura familiar**. In: III Congresso de Arquitetura e Construção com terra no Brasil, Campo Grande, Brasil, 31 de agosto a 03 de setembro, 2010.

PRUSSIN, Labelle. **An introduction to indigenous african architecture**. The Journal of the Society of Architectural Historians, Vol. 33, No. 3, oct. 1974, p. 182-205.

PULGARÍN OSORIO, Yarles. Cultura constructiva de la vivienda vernácula rural en los Andes Centrales de Colombia: medio ambiente y materialidad. En: **Arquitectura en tierra**. Historia y Renovación. XIII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2016. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2016. p. 45-58.

QUINTANA, Leonardo Meraz; GRAJALES, Diego Rescalvo; ESQUIVEL, Luis Fernando Medina. **Casas de adobe mexicanas**. Una visión contemporánea. En: Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. p. 47-56.

QUINTANA, Leonardo Meraz; GRAJALES, Diego Rescalvo; ESQUIVEL, Luis Fernando Medina. **Cómo puede ayudar el conocimiento de la construcción sostenible en el desarrollo de ciudades**. El ejemplo de Manta. Proyecto de cooperación internacional de la Universidad de Valladolid, España y la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador. En: Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI. Congreso de

arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. p. 47-56.

RABIE, Omar. **Revealing the potential of compressed earth blocks:** visual narration. (Dissertação de Mestrado). Massachusetts Institute of Technology, 2008.

RAMOS, Luis Maldonado; PASCUAL, Francisco Castilla; COSSIO, Fernando Vela. **Rendimiento y coste energético en la construcción de cerramientos de fábrica de adobe y bloque de tierra comprimida.** Informes de la Construcción, Vol. 53, No. 473 mayo/junio, 2001.

RAKHMAN, Fathul. **Indigenous homes save lives during Lombok quakes.** Asia Times. 9 de setembro. Disponível em: <http://www.atimes.com/article/indigenous-homes-save-lives-during-lombok-quakes/>. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

REVUELTA, Oscar Abril; MERINO, Félix Lasheras. **Del barro a la piedra en la arquitectura auxiliar.** Chozos y casetas en tierra de campos y montes torozos. En: Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. p. 155-166.

REVUELTA, Oscar Abril; MERINO, Félix Lasheras. **Soluciones abovedadas en la arquitectura rural de tierra de campos:** los domos de adobe en chozos y casetas. Chozos y casetas en tierra de campos y montes torozos. En: Construcción con Tierra Investigación y Documentación. XI CIATTI 2014. Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2014 [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2014. p. 45-53.

RIBEIRO, Darcy. **A América e a Civilização.** Rio de Janeiro: Editora Civilização Brasileira, 1970.

ROMERO, Orlando; LARKIN, David. **Adobe:** building and living with earth. Boston; New York: 1994. 237p.

ROSA, David Peres da; REICHERT, José Miguel; MENTGES, Marcelo Ivan; VIEIRA, Davi Alexandre; VOGELMAN, Eduardo Saldanha; ROSA, Vanderleia Trevisan da; REINERT, Dalvan José Reinert. **Métodos de obtenção da capacidade de suporte de carga de um argissolo cultivado.** N. 35, 2011, p. 1561-1568.

SEIJO, Pedro. **Cuatro décadas de investigación:** Normas de adobe en Perú. Revista ECOSUR. Edición 26, julio 2007. p. 387. Disponível em: <http://www.ecosur.org/index.php/todos-los-articulos/59-ecosur-e-magazine/edicion-26-julio-2007/387-cuatro-decadas-de-investigacion-normas-de-adobe-en-peru>. Acesso em: 29 de outubro de 2018.

SERTORI, Rodolfo; FOLZ, Rosana; INO, Akemi. **A participação de moradores na produção da habitação social rural:** Análise das instalações elétricas do Assentamento

Rural Sepé Tiaraju, Serra Azul - SP. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, Brasil, 06 a 08 de outubro, 2010.

SHARMA, Vandna; VINAYAK, Hermant K.; MARWAHA, Bhanu M. **Enhancing sustainability of rural adobe houses of hills y addition of vernacular fiber reinforcement**. International Journal of Sustainable Built Environment, Vol. 4, No. 2, December, 2015, p. 348-358.

SILVA, Cláudia Gonçalves. **Conceitos e Preconceitos relativos às Construções de terra**. (Dissertação de Mestrado). Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Ministério da Saúde, 2000.

SILVA, Adeildo Cabral da; LIMA, Sofia Araújo; CID, Renan; PAULA, Francinize de Souza; SOARES, Raquel Nascimento; LIMA, Lívia Cavalcanti. **Utilização do resíduo da castanha de caju na confecção de tijolos de adobe**. Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina. Universidade de São Paulo, 2005.

SILVA, Graciana O. e JERÔNIMO, Carlos Enrique. **Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco**. Vol. 10, n. 10, p. 2193 – 2208, out-dez, 2012.

SILVEIRA, Dora; VARUM, Humberto; COSTA, Aníbal. **Influence of the testing procedures in the mechanical characterization of adobe bricks**. Construction and Building Materials, No. 40, 2013, p. 719-728.

SIOLARI, Maristela S.; NAVARRO, Alessandra M.; INO, Akemi. **Sistema de vedação em terra, para habitação de interesse social**. São Carlos, São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac2014/2000/Artigos/ENTAC2000_513.pdf. Acesso em: 18/06/2016.

SOARES, Raquel Nascimento; SILVA, Adeildo Cabral; PINHEIRO, José César. **Tijolos de terra crua estabilizados com fibras de coco verde: alternativa para habitação de interesse social**. Ceará: Fortaleza: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008.

SOLMINIHAC, Hernán T. de; ECHEVERRÍA, Gerardo G.; THENOUX, Guillermo Z. **Estabilización Química de Suelos: aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos**. Revista Ingeniería de Construcción, No. 6, 1989.

SOUZA, Heloisa Maria Paes de. **O conforto ambiental na arquitetura colonial brasileira: heranças muçulmanas**. ARCHITECTON - Revista de Arquitetura e Urbanismo, Vol. 2, No. 2, 2012, p. 41-54.

SPIRA, Timothy P.; WAGNER, Lisa K. **Viability of Seeds Up to 211 Years Old Extracted from Adobe Brick Buildings of California And Northern Mexico**. American Journal of Botany, Vol. 70, No. 2, Frb., 1983, p. 303-307.

TAVARES, Simone Fernandes; INO, Akemi. **Fonte de financiamento X cronograma de obras X acordos de obra:** Impasses na Construção da Habitação Social no Assentamento Rural Sepé Tiaraju, Serra Azul - SP. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, Brasil, 06 a 08 de outubro, 2010.

TORGAL, F. Pacheco; JALALI, Said. **Earth construction:** lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, Vol. 29, 2012. p. 512-519.

UNESCO. **Earthen Architecture in today's world:** Proceedings of the UNESCO International Colloquium on the Conservation of World Heritage Earthen Architecture, 17-18 December, 2012.

UNI EN 15801(2010). **Conservation Of Cultural Property:** Test Methods - Determination Of Water Absorption By Capillarity from SAI Global. 2010.

UGURYOL, Mehmet; KULAKOGLU, Fikri. **A preliminary study for the characterization of Kültepe's adobe soils with the purpose of providing data for conservation and archaeology.** *Journal of Cultural Heritage*, 14S, 2013 p. 117–124.

VARUM H; COSTA A; SILVEIRA D; CARVALHO G; SILVA L. **Caracterização dos solos e adobes usados na construção em Camabatela, Angola.** In: Terra em Seminário, Argumentum, October, 2007, p. 94–96.

VASCONCELLOS, Sylvio de. **Arquitetura dois estudos.** Porto Alegre: Instituto Estadual do Livro, Cadernos do Rio Grande; 11, 1960. 105p.

VASCONCELLOS, Sylvio de. **Arquitetura no Brasil:** sistemas construtivos. Belo Horizonte: U.F.M.G., 1979. 186p.

VEGA, Paula; JUAN, Andrés; GUERRA, M. Ignácio; MORÁN, Júlia M.; AGUADO, Pedro J.; Llamas Bernardo. **Mechanical characterisation of traditional adobes from the north of Spain.** *Construction and Building Materials*, Vol. 25, No. 7, July, 2011, p. 3020-3023.

VILELA, Duarte. **Silos:** tipos e dimensionamentos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite, Coronel Pacheco, Minas Gerais, 1985.

WEST, Melissa. **Sculpting with cob:** Melissa West describes creating the earthen artist's haven. *Ceramic Art*, Nov. 2014.

WOOD, Ellen Meiksins. **O império do capital.** 1ª ed. São Paulo: Boitempo, 2014.

WU, Feng; LI, Gang; LI, Hong-Nan; JIA, Jin-Qing. **Strength and stress-strain characteristics of traditional adobe block and masonry.** *Materials and Structures*, No. 46, 2013. p. 144-145.

WILD, Claudia. **Sitio Historico - sobrevivencia de la sociedad rural y mantenimiento de su medio ambiente**, 2018. Acceso em: 04/07/2018. Disponível em: <https://www.ecosur.org/index.php/es/todos-los-articulos/63-ecosur-e-magazine/edicion-24-febrero-2007/398-sitio-historico-sobrevivencia-de-la-sociedad-rural-y-mantenimiento-de-su-medio-ambiente>.

YETGIN, Sukru; ÇAVDAR, Ozlem; ÇAVDAR, Ahmet. **The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes**. Construction and Building Materials, Vol. 22, No. 3, March, 2008, p. 222-227.

ANEXO A - Principais normas de construção com terra no mundo.

País/Grupo	Norma/Reglamento	REF.	EST.	Técnica	Campo de aplicación	Selección suelos	Requisitos productos	Ensayos	Fabricación	Construcción	Diseño
Brasil 1	NBR 8491, 1986.	7	x	Bloque comprimido macizo	Condiciones exigibles para recibir los bloques	x	x				
	NBR 8492, 1986.	8			Ensayos de resistencia a compresión y absorción de agua para bloques			x			
	NBR 10832, 1989	9				x			x		
	NBR 10833, 1989	10		Bloque comprimido macizo y perforado	Procedimiento de fabricación con prensa manual/hidráulica	x			x		
	NBR 10834, 1994.	11		Bloque comprimido perforado sin función estructural.	Condiciones de recepción	x	x				
	NBR 10835, 1994	12			Forma y dimensiones de los bloques		x				
	NBR 10836, 1994	13		Bloques suelo-cemento	Ensayos de resistencia a compresión y absorción de agua			x			
	NBR 12023, 1992	14						x			
	NBR 12024, 1992	15						x			
	NBR 12025, 1990	16						x			
	NBR 13554, 1996	17						x			
	NBR 13555, 1996	18						x			
	NBR 13553, 1996	19		Pared monolítica sin función estructural	Condiciones exigibles para los materiales para paredes monolíticas sin función estructural.	x	x				
Colombia 2	NTC 5324, 2004	20	x	Bloques macizos de suelo-cemento para muros y divisiones.	Caracterización y métodos de ensayo de los bloques macizos suelo-cemento.	x	x	x			
EEUU 3	NMAC, 14.7.4, 2004	21		Adobe, Bloques de tierra comprimida y tapial	Reglamento de construcción	x	x	x		x	
4	ASTM E2392 M-10	22		Adobe, tapial	Guía para construcción de sistemas con tierra	x		x	x	x	
España 5	UNE 41410:2008	23		Bloques de tierra comprimida	Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo	x	x	x			
Francia 6	XP P13-901, 2001	24		Bloques de tierra comprimida	Terminología, dimensiones y métodos de ensayo	x	x	x			
India 7	IS 2110 : 1980	25	x	Pared in-situ de suelo-cemento	Especificaciones técnicas para paredes no mayores de 3,2 m de altura y anchura >300mm muros de carga o >200mm particiones.	x	x			x	
	IS 1725 : 1982.	26	x	Bloques de tierra comprimidos estabilizados.	Requisitos y pruebas para bloques de tierra de uso en construcción en general. Procedimientos de ensayos.	x	x	x			
	IS 13827 : 1993	27		Adobe y tapial	Directrices para la mejora de la resistencia sísmica de edificios de tierra		x			x	
Kenya 8	KS 02-1070:1, 1999.	30	x	Bloques de suelo estabilizados con cemento o cal	Requisitos para la construcción con este bloque	x	x	x			

País/Grupo	Norma/Reglamento	REF.	EST.	Técnica	Campo de aplicación	Selección suelos	Requisitos productos	Ensayos	Fabricación	Construcción	Diseño
Nueva Zelanda 9	NZS 4297, 1998.	32		Adobe, bloque comprimido, tierra vertida, tapial	Diseño estructural y de durabilidad de los edificaciones de tierra					x	x
	NZS 4298, 1998.	33			Caracterización de materiales y especificaciones de construcción para el uso de tierra cruda. Procedimientos de ensayos	x	x	x	x	x	
	NZS 4299, 1999.	34		Adobe, bloque comprimido, tapial	Requisitos de diseño y construcción para adobe, bloques comprimido o tapial que no necesitan diseño específico.					x	x
Perú 10	NTE E 0.80, 2000	35		Adobe	Requisitos para la construcción de adobe simple y adobe estabilizado	x	x	x	x	x	x
11	NTP 331.201, 1979	36	x	Adobe estabilizado con asfalto	Definiciones, condiciones generales y requisitos		x	x	x		
	NTP 331.202, 1979.	37			Procedimientos de ensayo	x					
	NTP 331.203, 1979.	38			Muestreo y recepción.		x				
Regional África 12	ARS 670, 1996	39		Bloques de tierra comprimida	Terminología BTC.	x					
	ARS 671, 1996	40			Clasificar los BTC						
	ARS 672, 1996	41			Clasificación de morteros de tierra.						
	ARS 673, 1996	42			Definir formas de albañilería						
	ARS 674, 1996	43			Requisitos de BTC ordinarios	x	x				
	ARS 675, 1996	44			Requisitos aplicables a BTC vistos	x	x				
	ARS 676, 1996	45			Requisitos de morteros ordinarios		x				
	ARS 677, 1996	46			Requisitos de morteros vistos		x	x			
	ARS 678, 1996	47			Requisitos para albañilería revestida					x	x
	ARS 679, 1996	48			Requisitos para albañilería vista					x	x
	ARS 680, 1996	49			Estado del arte fabricación BTC	x			x		
	ARS 681, 1996	50			Estado del arte para morteros tierra.	x			x		
	ARS 682, 1996	51			Estado del arte para construcción					x	
	ARS 683, 1996	52			Pruebas requeridas	x	x				
Sri Lanka 13	SLS 1382-1:2009	53	x	Bloques de tierra comprimida	Requerimientos	x	x				
	SLS 1382-2:2009	54		Bloques de tierra comprimida	Métodos de ensayo			x			
	SLS 1382-3:2009	55		Bloques de tierra comprimida	Guía sobre producción, diseño y construcción				x	x	x
Túnez 14	NT 21.33:1996	56		Bloques de tierra comprimida	Especificaciones para BTC ordinarios, características geométricas, físico-químicas...		x	x			
	NT 21.35:1996	57			Definición y clasificación de BTC		x				
Zimbabue 15	SAZS 724, 2001.	61		Tapial	Guías para el diseño, construcción y ensayos para estructuras de tapial.	x	x	x		x	x

Abreviaturas: ORG (Organismo); REF (Referencia, ver en bibliografía el número); EST (Estabilización, si solo contempla el uso de tierra estabilizada)

Fonte: Cañas, I; Cid, J.; Mazarrón, F. R. **Las normativas de construcción con tierra en el mundo**. Informes de la Construcción, Vol. 63, No. 523, 2011, p. 159-169.