

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PIAUI



PPGEM

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

THAÍS MÁRJORE PEREIRA DE CARVALHO

ADOBES REFORÇADOS COM PALHA DE CARNAÚBA
[*COPERNICIA PRUNÍFERA* (MILLER) H. E. MOORE]

TERESINA

2017

THAÍS MÁRJORE PEREIRA DE CARVALHO

ADOBES REFORÇADOS COM PALHA DE CARNAÚBA

[*COPERNICIA PRUNÍFERA* (MILLER) H. E. MOORE]

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Caracterização e Processamento de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Meneses Carvalho

TERESINA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C331a Carvalho, Thaís Márjore Pereira de
Adobes reforçados com palha de carnaúba : Copernicia prunifera (Miller) H. E. Moore
/ Thaís Márjore Pereira de Carvalho - 2017.
87 f. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Mestrado em Engenharia de Materiais, 2017.

Orientador : Prof Dr. Luiz Fernando Meneses Carvalho.

1. arquitetura de terra. 2. compósitos. 3. carnaúba. 4. sustentabilidade. I.Título.



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PIAUI
Campus Teresina - Central



GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
DIRETORIA DE ENSINO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS
Praça da Liberdade, 1597 - Centro - Teresina - PI CEP. 64.000-040
Fone: (86) 33131 - 9468 endereço eletrônico: <http://ppgem.ifpi.edu.br/home>

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ADOBES REFORÇADOS COM PALHA DE CARNAÚBA [COPERNICIA PRUNÍFERA (MILLER) H. E. MOORE]"

ALUNA: THAÍS MÁRJORE PEREIRA DE CARVALHO

DATA: 21 de setembro de 2017

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí:

Prof. Dr. Hudson Chagas dos Santos

Coordenador do PPG-EM/IFPI-Campus Teresina Central

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Fernando Meneses Carvalho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Orientador

Prof. Dr. Vicente Galber Freitas Viana

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Avaliador Interno

Prof. Dr. Márcio Cleto Soares de Moura

Universidade Federal do Piauí
Avaliador Externo

Teresina-PI, 21 de setembro de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico mais esta conquista à minha família. Meus irmãos Thiago e Thâmara, cúmplices que a vida me reservou com muito capricho. Meus irmãozinhos Heitor e George, cujo crescimento tenho o imenso prazer de acompanhar com muito carinho. Meus pais, Josimar e Rosa, responsáveis por quem sou hoje. Todos vocês são essenciais. Mãe a minha eterna heroína, busco sempre seguir seu exemplo de força, coragem, doçura e dedicação. Ser sua filha é um imenso orgulho.

Ao meu marido Délio, pelo amor, carinho, serenidade e paciência. Por ser meu companheiro leal, meu porto seguro, meu aconchego. Sua presença especial torna meus dias mais completos, alegres, leves e sonhadores. Amá-lo faz de mim uma pessoa melhor e permanecerei cultivando esse sentimento pelos anos que virão.

As minhas amigas fiéis Fê, Pam, Larru, Nadinha e Nana. Em todas as ocasiões inesquecíveis, doces e felizes, tristes e difíceis, vocês estiveram ao meu lado, ainda que somente em pensamento. Mesmo que nossos caminhos tenham traçados distintos agora, sempre as levarei comigo. Nossa amizade é de valor inestimável.

Enfim, dedico a todos aqueles que me proporcionaram viver este momento maravilhoso e gratificante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre me dar forças para seguir adiante com meus sonhos.

Ao meu orientador, professor Luiz Fernando, por me acolher e acolher a minha proposta de pesquisa. Tem um significado mais que acadêmico para mim. Obrigada pelo incentivo, compreensão, sugestões e cobranças.

Ao Sr. José Luiz Félix, proprietário da BRASIL CERAS - Carnaúba Wax, pelo fornecimento da bagana da palha de carnaúba.

Ao Sargento Joswilson, Moisés e demais militares do Laboratório de Solos, Asfalto e Concreto do 2º BEC pela realização de alguns ensaios de caracterização.

Aos mestres, pela dedicação com o ensino e por enfrentarem tantos desafios pelo programa. Aos funcionários, técnicos e demais colegas do IFPI, pelo auxílio na realização do meu trabalho.

Aos meus amigos e colegas de turma, agradeço pelo companheirismo, pelo aprendizado e pela amizade. Não teria superado esse longo caminho se estivesse sozinha. Conhecer pessoas tão incríveis me faz querer me superar ainda mais. Às Trombadinhas mais lindas, charmosas, inteligentes e batalhadoras do mundo, um abraço bem apertado e afetuoso.

May e Rosy saibam que a nossa amizade vai além da sala de aula e dos laboratórios. Muito obrigada pelas longas conversas e gargalhadas, pelas calorias dos bolos, sorvetes, coxinhas e panquecas, pelas sessões inesgotáveis de fotos e selfies que deram errado. E principalmente pela paciência, pela sinceridade e pelo carinho. Nossa convivência foi breve, mas o amor que tenho pelas duas é imenso!

RESUMO

O sistema de construções tradicionais presente no estado do Piauí, ainda é uma alternativa nas comunidades rurais. Estas arquiteturas de terra apresentam baixa resistência à umidade, em decorrência disso, surgiu o interesse pelo uso de fibras da palha de carnaúba como reforço na confecção de tijolos de adobe. Esta pesquisa teve como objetivo estudar a estabilização do tijolo de adobe com adição de fibras da palha de carnaúba, uma espécie nativa da flora piauiense. Para elaboração dos tijolos de adobe foram adicionados fibra da palha de carnaúba: 1% (p/p) (N1), 5% (p/p) (N5), 10% (p/p) (N10) e o padrão de controle (C). Os tijolos de adobe foram consolidados manualmente e, em seguida, foram conduzidos ao processo de secagem à temperatura ambiente. Neste trabalho são apresentados os resultados de massa específica aparente, retração relativa, resistência à compressão simples e absorção de água por capilaridade. O tratamento estatístico foi realizado através do programa ASSISTAT versão 7.7 com variância (1% de probabilidade) e teste de Tukey (5% de probabilidade). As formulações de tijolo de adobe com maior teor de fibras apresentaram-se mais leves: C (1,88 g/cm³), N1 (1,76 g/cm³), N5 (1,54 g/cm³) e N10 (1,30 g/cm³). A adição das fibras foi significativa na diminuição de retração dos grupos N5 (6,09%) e N10 (5,08%), quando comparada às amostras C (13,92%) e N1 (12,16%). A amostra N10 apresentou valor de compressão simples de 4,68 MPa e as amostras C (1,42 MPa), N1 (1,35 MPa) e N5 (1,70 MPa) apresentaram valores de compressão simples muito próximos. Os resultados que evidenciaram menores coeficientes de absorção de água foram C (0,0350 kg/m².√s) e N1 (0,0454 kg/m².√s), seguidos de N5 (0,0696 kg/m².√s) e N10 (0,0868 kg/m².√s). Apesar disso, os tijolos de adobe N5 e N10 durante a imersão por 24h se mantiveram íntegros comparados aos demais que se desintegraram parcial ou totalmente. Consequentemente, a adição de fibras da palha de carnaúba, foi, de modo geral, favorável ao tijolo de adobe a 10% (p/p) apresentando a melhor propriedade mecânica.

Palavras-chave: adobe, palha de carnaúba, estabilização de solos, compósitos.

ABSTRACT

The traditional construction system in the state of Piauí is still an alternative in rural communities. These architectures of earth present low resistance to the humidity, as a result, the interest arose for the use of fibers of the carnauba straw as reinforcement in the production of adobe bricks. The objective of this research was to study the stabilization of adobe brick with the addition of carnauba straw fibers, a species native to the Piauí flora. To prepare the adobe bricks were added carnauba straw fiber: 1% w/w (N1), 5% w/w (N5), 10% w/w (N10) and control pattern (C). The adobe bricks were manually consolidated and then were allowed to dry at room temperature. In this work, the results of bulk density, relative shrinkage, compressive strength and capillary water absorption are presented. The statistical treatment was performed through the ASSISTAT version 7.7 program with variance (1% probability) and Tukey test (5% probability). The highest fiber content's adobe brick formulations was found to be slighter: C (1,88 g/cm³), N1 (1,76 g/cm³), N5 (1,54 g/cm³) and N10 (1,30 g/cm³). The addition of the fibers was significant in the reduction of shrinkage of groups N5 (6,09%) and N10 (5,08%), when compared to samples C (13,92%) and N1 (12,16%). Sample N10 presented compressive strenght value of 4,68MPa and samples C (1,42 MPa), N1 (1,35 MPa) and N5 (1,70 MPa) had very close in compressive strength values. The results that showed lower water absorption coefficients were C (0,0350 kg/m².√s) and N1 (0,0454 kg/m².√s), followed by N5 (0,0696 kg/m².√s) and N10 (0,0868 kg/m².√s). However, the bricks of adobe N5 and N10 remained intact during the immersion for 24 hours, compared to the others that disintegrated partially or totally. As a consequence, the addition of carnauba straw fibers was generally favorable to 10% w/w adobe brick that presented better mechanical properties.

Keywords: adobe, carnauba straw, soil stabilization, composites.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Mapa das áreas de incidência da Arquitetura de Terra no mundo.....	16
Figura 3.2 Diagrama das técnicas de arquitetura de terra.....	17
Figura 3.3 Adobe milenar em Pueblo de Taos, Novo México.....	20
Figura 3.4 Edifícios em terra de múltiplos andares em Sanaa, Iêmen.....	20
Figura 3.5 A Capela da Reconciliação, Berlim.....	21
Figura 3.6 The Handmade Schoolem Rudrapur, Bangladesh.....	22
Figura 3.7 Parede de adobe em ruínas.....	23
Figura 3.8 Escravos produzindo adobe no Antigo Egito.....	24
Figura 3.9 Métodos de estabilização de solos.....	25
Figura 3.10 Estrutura da parede celular.....	26
Figura 3.11 Carnaúba, palmeira símbolo do estado do Piauí.....	27
Figura 3.12 Produção de pó cerífero de carnaúba, com destaque para os principais municípios produtores - Brasil – 2016.....	29
Figura 4.1 Coleta da amostra de solo.....	31
Figura 4.2 Peneiramento das amostras com agitador mecânico.....	32
Figura 4.3 Porção de argila retirada do aparelho de Casagrande.....	33
Figura 4.4 Cilindros do ensaio de limite de plasticidade.....	34
Figura 4.5 Preparo do solo para produção dos adobes.....	36
Figura 4.6 Preparo da palha de carnaúba.....	37
Figura 4.7 Composições de adobes: (a) 1%, (b) 5% e (c) 10% em massa.....	37
Figura 4.8 Amassamento da mistura de barro e palha com as mãos.....	38
Figura 4.9 Moldagem dos corpos de prova: a) preenchimento dos cantos das fôrmas; b) adobe com 5% de palha; c) adobe com 10% de palha.....	39
Figura 4.10 Cubos identificados expostos ao sol durante a secagem.....	40
Figura 4.11 Tanque de imersão.....	42
Figura 4.12 Componentes do tanque de imersão: a) caixa coletora vazada; b) régua; d) pés niveladores e) alimentador.....	42
Figura 4.13 Amostras seladas e parcialmente imersas.....	43
Figura 4.14 Chapas de ferro para apoio.....	45
Figura 6.1 Curva Granulométrica.....	47
Figura 6.2 Difratoograma do solo natural.....	50
Figura 6.3 Amostra C11 ao final do ensaio.....	53

Figura 6.4 Tijolos após 24 h de imersão parcial	55
Figura 6.5 Ensaio de compressão simples. a) Grupo de controle. b) Grupo N1	58
Figura 6.6 Ensaio de compressão simples. a) Grupo N5. b) Grupo N10	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Composição química da fibra da palha de carnaúba	27
Tabela 4.1 Nomenclatura dos corpos de prova de adobe	40
Tabela 5.1 Classificação da correlação linear	46
Tabela 6.1 Classificações granulométricas	47
Tabela 6.2 Composição química do solo natural	48
Tabela 6.3 Coeficiente de Absorção de água por imersão parcial	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 Massa específica aparente	51
Gráfico 6.2 Retração relativa.....	52
Gráfico 6.3 $\Delta m_t \times \sqrt{t}$: grupo de controle	53
Gráfico 6.4 $\Delta m_t \times \sqrt{t}$: grupo N1	54
Gráfico 6.5 $\Delta m_t \times \sqrt{t}$: grupo N5	54
Gráfico 6.6 $\Delta m_t \times \sqrt{t}$: grupo N10	55
Gráfico 6.7 Resistência à compressão simples	57
Gráfico 6.8 Gráfico de dispersão: MEA x RR	60
Gráfico 6.9 Gráfico de dispersão: MEA x AA.....	60
Gráfico 6.10 Gráfico de dispersão: MEA x RCS	61
Gráfico 6.11 Gráfico de dispersão: RR x AA	62
Gráfico 6.12 Gráfico de dispersão: RR x RCS.....	62
Gráfico 6.13 Gráfico de dispersão: AA x RCS	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ANOVA	Análise de Variância
BTC	Blocos de terra comprimida
CEB	<i>Compressed Earth Blocks</i>
CRATerre	<i>Centre de Recherche et d'Application Terre</i>
DRX	Difração de Raios X
FRX	Fluorescência de Raios X
IP	Índice de Plasticidade
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
ONU	Organização das Nações Unidas
RR	Retração relativa
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 GERAL	15
2.2 ESPECÍFICOS.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 A ARQUITETURA EM TERRA: O ANTIGO E O MODERNO	16
3.1.1 Técnicas da arquitetura de terra.....	16
3.1.2 Vestígios das construções em terra crua no mundo	19
3.1.3 Avanços tecnológicos na produção das construções em terra.....	21
3.1.4 O adobe e a arquitetura de terra no Brasil.....	22
3.2 ESTABILIZAÇÃO DO SOLO E AS FIBRAS NATURAIS	24
3.2.1 Adobes reforçados com fibras naturais	25
3.2.2 Fibra da palha de carnaúba	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 COLETA, ARMAZENAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	30
4.1.1 Coleta e armazenamento das amostras	30
4.1.2 Ensaio de granulometria	31
4.1.3 Ensaio de determinação do Índice de plasticidade do solo	32
4.1.4 Caracterização química por Fluorescência de Raios X	34
4.1.5 Caracterização mineralógica por Difração de Raios X	34
4.2 COLETA E ARMAZENAMENTO DA PALHA DE CARNAÚBA.....	35
4.2.1 Coleta e armazenamento das amostras	35
4.3 PRODUÇÃO DOS ADOBES.....	35
4.3.1 Preparo do solo	36
4.3.2 Preparo da fibra da palha de carnaúba	36
4.3.3 Definição dos traços e preparo da mistura	37
4.3.4 Montagem dos corpos de prova.....	39
4.3.5 Secagem e armazenamento dos corpos de prova	40
4.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS ADOBES	41
4.4.1 Determinação da massa específica aparente	41
4.4.2 Determinação da retração relativa	41
4.4.3 Tanque de imersão parcial.....	41
4.4.4 Determinação da absorção de água por capilaridade	43
4.4.5 Determinação da resistência à compressão simples	44

5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	46
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	47
6.1.1 Análise granulométrica	47
6.1.2 Índice de Plasticidade	48
6.1.3 Fluorescência de raios X.....	48
6.1.4 Difração de raios X	49
6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CUBOS DE ADOBE	50
6.2.1 Massa específica aparente.....	50
6.2.2 Retração relativa.....	51
6.2.3 Absorção de água por capilaridade	52
6.2.4 Resistência à compressão simples.....	56
6.2.5 Correlação linear entre as propriedades dos tijolos de adobe	59
7. CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE A – Massa específica aparente e Retração relativa.....	70
APÊNDICE B – Absorção de água por capilaridade	74
APÊNDICE C – Resistência à compressão simples	78
APÊNDICE D – Análises Estatísticas.....	82
ANEXO A – Granulometria por Peneiramento	86
ANEXO B – Índice de Plasticidade.....	87

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de construções tradicionais feitos pelo homem, ainda são uma alternativa nas comunidades rurais. A arquitetura de terra apresenta baixa resistência à umidade, mas apresenta sustentabilidade e versatilidade, com maior potencial de reciclagem e redução de resíduos. Também mostra baixa emissão de carbono, redução da poluição e regula os níveis de umidade no interior dos ambientes, fator benéfico à saúde humana. As construções com uso da terra crua foram estudadas no trabalho de Barbosa (2003) destacando a possibilidade de se produzir tecnologias mais limpas.

Este trabalho apresenta um estudo sobre o adobe, presente em praticamente todas as culturas da América Central e do Sul. São tijolos robustos de terra que não passam por processo de queima, simplesmente secos ao sol, e de baixa condutividade térmica.

Tais características representam um elevado potencial construtivo, entretanto, a falta de conhecimento científico sobre seu uso muitas vezes resulta em edificações de baixa qualidade, que perpetuam uma visão equivocada sobre sua funcionalidade e eficiência (CALLA GARCIA, 2002).

Em contrapartida, as construções nos centros urbanos, evidenciam os edifícios, implicando no consumo de 50% dos recursos naturais, 40% da energia, 16% da água e 25% das emissões totais dos gases que promovem o efeito estufa, bem como o grande consumo de combustíveis (GAUZIN-MULLER, 2002; SILVA e CARVALHO, 2007).

Em decorrência desses aspectos surgiu o interesse pelo uso de novos materiais, tais como as fibras da palha de carnaúba, como reforço na confecção de tijolos de adobe. Consequentemente, a finalidade era incrementar as propriedades mecânicas do solo pela adição dessas fibras e assim, modificar suas características originais, processo denominado de estabilização do solo.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a potencialidade técnica e ambiental de tijolos de adobe reforçados com fibras da palha de carnaúba, para sua aplicabilidade em construções.

2.2 ESPECÍFICOS

Analisar os efeitos da adição de fibras da palha de carnaúba quanto as composições (1%, 5% e 10%) nos tijolos de adobe.

Caracterizar o solo natural quanto à granulometria, índice de plasticidade (IP), limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL), difração de Raios X (DRX) e fluorescência de Raios X (FRX).

Comparar os tijolos de adobe quanto à densidade específica, retração relativa, resistência à compressão simples e absorção de água por imersão parcial (capilaridade).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A ARQUITETURA EM TERRA: O ANTIGO E O MODERNO

3.1.1 Técnicas da arquitetura de terra

A ampla difusão da arquitetura de terra no mundo (Figura 3.1) é tamanha, que certos estudos estimam um terço da população mundial viva em edifícios construídos com terra, mas nos países em desenvolvimento pode ultrapassar a metade da população (MINKE, 2001).

Figura 3.1 Mapa das áreas de incidência da Arquitetura de Terra no mundo



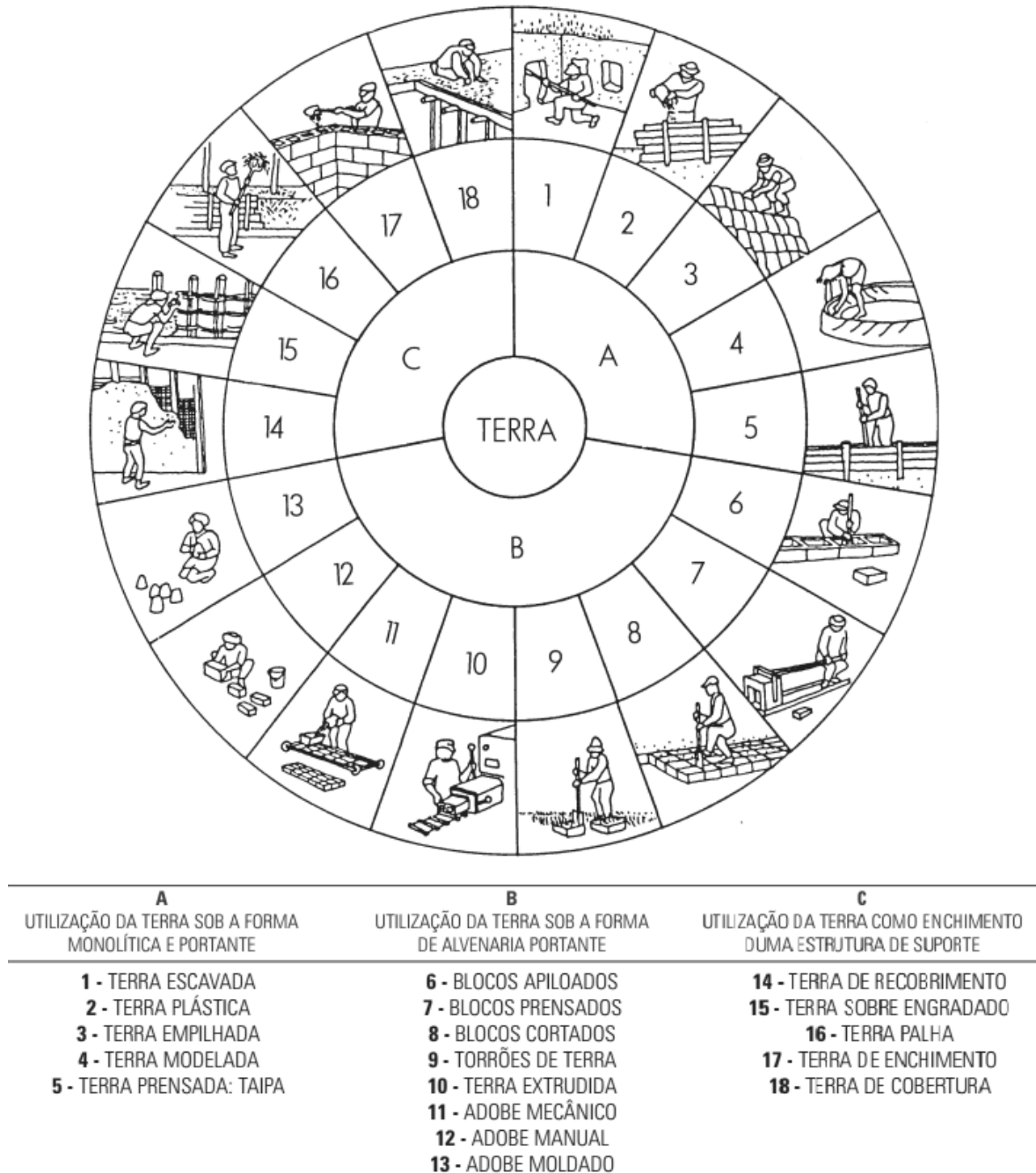
Fonte: CRATerre/ENSAG, 2012.

Por definição, qualquer construção edificada em terra crua se considera arquitetura de terra, desde que, não haja alteração de suas características mineralógicas iniciais, isto é, excluídos os materiais cerâmicos tradicionais os quais passam por processo de queima (FERNANDES, 2006). Devido a sua versatilidade, a terra crua pode ser escavada, empilhada, modelada, prensada, apiload, recortada ou extrudida podendo ser usada como enchimento, em cobertura, de recobrimento, dentre outros, como afirma Correia (2006).

Na tentativa de classificar as técnicas antigas e modernas da arquitetura de terra, o *Centre de Recherche et d'Application Terre* (CRATerre), associado ao laboratório de pesquisa da Escola Nacional Superior de Arquitetura de Grenoble, localizada na França, definiu um diagrama com dezoito sistemas construtivos

(Figura 3.2) divididos em três grandes famílias: sistemas monolíticos, sistemas de alvenaria e sistemas de enchimento ou revestimento (FERNANDES, 2006).

Figura 3.2 Diagrama das técnicas de arquitetura de terra



Fonte: Houben eGuillaud, 1989 *apud* Fernandes (2006, p. 21).

Os sistemas monolíticos compreendem as técnicas executadas “in situ” (FERNANDES, 2006). Podem ser classificados em: (1) Terra escavada, consiste em escavar o terreno e moldar seu interior formando grutas; (2) Terra plástica, que utiliza terra em estado líquido como concreto magro, em moldes ou fôrmas de

madeira; (3) Terra empilhada, *bauge* ou *cob*¹, baseia-se no empilhamento de fiadas consecutivas de bolas de terra ou porções de lama e palha para composição das paredes; (4) Terra modelada, técnica associada ao formato circular das construções, na qual a terra poderá ser moldada ou esculpida durante a elevação das paredes; (5) Terra prensada, taipa, taipa de pilão, *pisé*, *tapial* ou *rammed earth*²: consiste na compactação de camadas de terra quase seca, socadas com pilões em fôrmas de madeira, conhecidas como taipais, formando pórticos monolíticos.

No tocante aos sistemas de alvenaria, abrangem os elementos de terra crua, produzidos e secos previamente, em local diverso ao da execução da edificação (FERNANDES, 2006). Os subtipos são: (6) Blocos apiloados: pequenas unidades de terra plástica ou seca comprimida em fôrmas quadradas ou paralelepípedicas de madeira; (7) Blocos prensados, blocos de terra comprimida (BTC) ou *compressed earth blocks* (CEB): técnica contemporânea na qual a terra seca é comprimida em moldes, com o auxílio de prensas manuais, mecânicas ou industriais; (8) Blocos cortados: extraídos de solos superficiais de grande coesão que conferem elevada dureza ao material; (9) Torrões de terra: extraídos de depósitos superficiais de terra vegetal coerente; (10) Terra extrudida: sistema moderno o qual exige processos complexos de extrusão da terra seca/plástica e de secagem mecânica e controlada, conferindo elevado rendimento e diversidade de formatos ao material; (11) Adobe mecânico: difere da técnica da terra extrudida por fazer uso da terra crua em estado plástico/líquido e porque o processo de secagem é natural; (12) Adobe manual: técnica milenar que consiste em moldar ou esculpir com as mãos blocos em terra plástica, secos naturalmente, considerados antecessores das demais variedades de adobe; (13) Adobe moldado: técnica mais universal de todas, adaptada às zonas sísmicas e presente em todos os continentes, cuja manufatura baseia-se na moldagem de terra plástica com fôrmas de madeira, aplicada uma ligeira pressão com as mãos, seguida de desenforma e secagem ao sol. No Brasil esta última técnica está denominada simplesmente de adobe.

Por fim, os sistemas de enchimento ou revestimento compreendem o emprego da terra como material secundário, com a função de preencher ou revestir outras estruturas (FERNANDES, 2006). As técnicas desse sistema são: (14) Terra

¹*Bauge* e *cob* são os termos de referência à técnica terra empilhada na França e no Reino Unido, respectivamente.

² *Pisé*, *tapial* e *rammed earth* são designações da taipa de pilão utilizadas pelos franceses, espanhóis e ingleses/norte americanos, respectivamente.

de revestimento, tabique, pau a pique ou *torchis*³: emprego da terra como revestimentos de estruturas em grades de madeira ou materiais naturais similares; (15) Terra sobre engradado, taipa de rodízio ou taipa de mão: refere-se não apenas ao revestimento, mas também ao enchimento de estruturas engradadas com terra; (16) Terra palha: utiliza uma mistura de terra argilosa e palha ou outro cereal; (17) Terra de enchimento: técnica em que a terra é utilizada no enchimento de estruturas ocas, com função de isolamento e reforço estrutural; (18) Terra de cobertura: aplicação da terra em coberturas, enquanto revestimento de estruturas construídas em madeira, fibras vegetais, etc.

3.1.2 Vestígios das construções em terra crua no mundo

Os homens começaram a construir casas e cidades há mais de 10 mil anos, e a terra tornou-se um dos principais materiais de construção utilizados no mundo. Cidades inteiras, palácios e templos, igrejas e mesquitas, armazéns e castelos, praças fortificadas e majestosos monumentos foram edificadas. Atualmente, a terra crua ainda se encontra bem difundida entre diversas culturas, sendo difícil encontrar um país que não possua herança de edifícios em terra (HOUBEN e GUILLAUD, 1994).

Habitações de terra datadas do período de 8.000 a 6.000 a.C. foram descobertas no Turquestão; ruínas assírias de 5.000 a.C.; os *pueblos* de Taos (Figura 3.3) e de Acoma City, no Novo México, Estados Unidos; os edifícios de vários andares em Shibân e Sanaa, no Iêmen, de terra empilhada e adobe (Figura 3.4), que alcançam até 30 metros de altura; a Grande Mesquita da cidade de Djenné, no Mali, executada em adobes associados a troncos de madeira; as ruínas de Chan Chan, no Peru, são alguns exemplares de construções históricas em terra crua (MINKE, 2001; CORREIA, 2006; RAMOS et al., 2002).

³*Torchis* é a denominação da técnica pau a pique na França.

Figura 3.3 Adobe milenar em Pueblo de Taos, Novo México



Fonte: Newman (2010).

Figura 3.4 Edifícios em terra de múltiplos andares em Sanaa, Iêmen



Fonte: Hecimovic (2015).

3.1.3 Avanços tecnológicos na produção das construções em terra

Arquitetos de todo o mundo têm resgatado a arquitetura de terra nos últimos anos, sejam blocos de terra comprimida na Índia e na África, taipa-de-pilão na Austrália e na Europa, ou ainda adobes nos Estados Unidos (KOUAKOU e MOREL, 2009). Eles ainda destacam que essa redescoberta deverá ter foco no controle tecnológico, como caracterização de solos, acompanhamento do processo produtivo e realização de ensaios dos materiais empregados.

Dentre alguns exemplos de construções contemporâneas em terra crua, Sameh (2014) cita a Capela da Reconciliação (Figura 3.6), em Berlim, projetada pelos arquitetos Rudolf Reitermanne Peter Sassenroth, executada em taipa-de-pilão, no ano de 2000. Outro edifício mencionado, *The Eco House*, construído em Norrköping, Suécia, entre os anos de 1991 a 1992, projetada pelo arquiteto norueguês Sverre Fehn.

Figura 3.5 A Capela da Reconciliação, Berlim



Fonte: BERLIN WALL FOUNDATION (20--).

Os arquitetos Anna Heringer e Eike Roswag projetaram em 2005 a *The Handmade School* (Figura 3.7), construída em terra crua e bambu, na cidade de Rudrapur, Bangladesh, premiada como *Aga Khan Awards for Architecture*. Outros exemplos citados por Sameh (2014) são: o *Woodley Park Centre for Sports & Arts*,

construído no período 2000 em Skelmersdale, Lancashire, Inglaterra; *The Eden Project*, um centro de visitação localizado em St Austell, Cornwall, Inglaterra; e o *The Keppel Gate*, construído em 2002, localizado em Ottery St Mary, Devon, Inglaterra.

Figura 3.6 *The Handmade School* em Rudrapur, Bangladesh



Fonte: AGA KHAN FOUNDATION (2007).

3.1.4 O adobe e a arquitetura de terra no Brasil

No Brasil, a utilização da terra nas construções em edificações teve início após a chegada dos portugueses. Afinal, segundo Milanez (1958), os índios desconheciam essa aplicabilidade, visto que seus abrigos eram de madeira, paus roliços e vedações de palha e folhagens. Os africanos trazidos como escravos tinham conhecimento do uso da terra dessas construções. As técnicas mais comuns difundidas em solo brasileiro foram à taipa de pilão, a taipa de mão e o adobe.

Os blocos de adobe são paralelepípedos de barro cru (Figura 3.8) cuja compactação é feita manualmente, em fôrmas de madeira (VANCONCELLOS, 1979). A secagem ocorre inicialmente à sombra e, posteriormente, ao sol. O preparo da massa para produção dos blocos requer que se misture água ao barro até alcançar uma consistência plástica. À mistura pode ser adicionado estrume, palha picada e outras fibras vegetais. Segundo Faria (2002), o amassamento se realiza

tradicionalmente com os pés ou por animais. A seguir, o barro é moldado à mão nas fôrmas, desenformado e disposto para secagem.

Figura 3.7 Parede de adobe em ruínas



Fonte: Próprio autor (2015).

Como a terra é um isolante térmico natural, o adobe apresenta uma excelente inércia térmica. Sua condutividade térmica varia entre 0,5 e 0,7 W/m.°C, enquanto o concreto e o tijolo queimado possuem, respectivamente, 1,4 e 1,6 W/m.°C (PINEDA-PIÑÓN *et al.*, 2007). As construções em adobe são mais frescas, dado que a porosidade do material funciona como um regulador de umidade. Afinal, um adobe é capaz de acumular até 30 vezes mais umidade que um tijolo queimado (CALABRIA, VASCONCELOS e BOCCACCINI, 2009).

Apesar de ser uma técnica muito utilizada em todo o mundo, para se alcançarem bons resultados são necessários alguns cuidados. Dentre eles, escolher terrenos planos e ligeiramente elevados para a construção; projetar casas em formatos próximos ao quadrado, para maior estabilidade; manter uma distância mínima de 1,00 m entre portas e janelas e; proteger a edificação contra as chuvas, por meio de telhados com beirais largos.

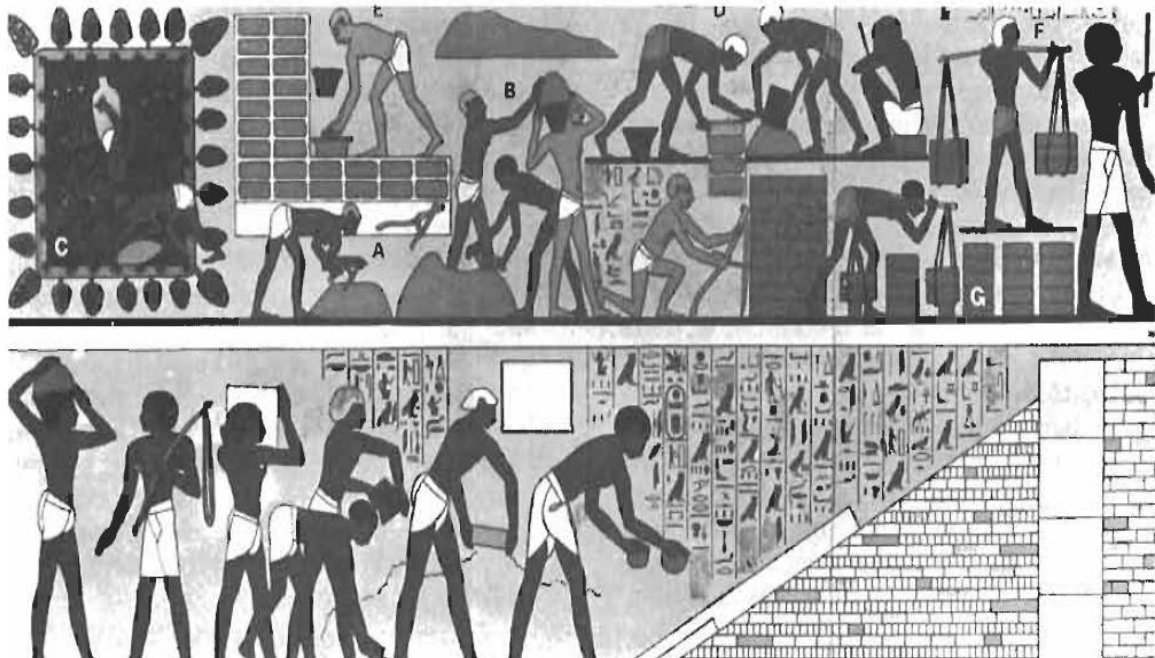
E por serem de terra crua, os adobes estão sujeitos à influência da umidade, visto que sofrem dilatações e retrações mais severas e periódicas, provocando fissuras e trincas. Destarte, os tijolos com baixa retração são mais favoráveis por evitar e /ou impedir tais patologias.

3.2 ESTABILIZAÇÃO DO SOLO E AS FIBRAS NATURAIS

Galán-Marín; Rivera-Gómez e Petric, (2010) estudaram as particularidades mecânicas e a resistência quanto aos efeitos negativos da água, através da adição de materiais naturais ou manufaturados para melhorar a estabilização de solos, considerando várias aplicações: pavimentação de estradas, muros de arrimos, proteção de encostas, fundações e em outros materiais para a construção civil.

Os princípios da estabilização do solo surgiram há mais de 5000 anos e dispõem de exemplares memoráveis, como a Grande Muralha da China. Os egípcios já produziam tijolos de barro e palha secos ao sol desde a antiguidade. A Figura 3.9 indica uma pintura encontrada na tumba de Rekhmire, onde escravos hebreus estão produzindo tijolos para a construção do Templo de Amon, em Tebas (HEJAZI *et al.* 2012; DOAT *et al.*, 1979).

Figura 3.8 Escravos produzindo adobe no Antigo Egito

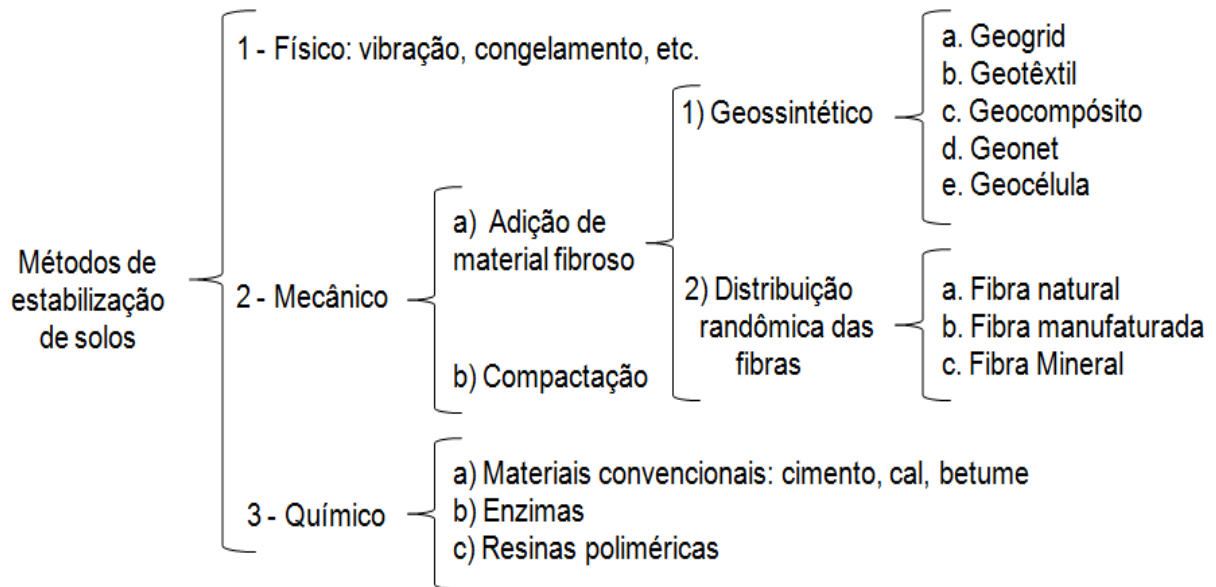


Fonte: DOAT *et al.* (1979, p.109).

Os métodos de reforço de solos são divididos em três categorias: físico, mecânico e químico (Figura 3.10). A estabilização física consiste em submeter o solo a vibrações, descargas elétricas ou alterar sua temperatura. A mecânica, por sua vez, pode ocorrer por meio da compactação ou da adição de materiais fibrosos (geossintéticos, manufaturados, minerais ou naturais). Por fim, a estabilização química resulta da ação de enzimas ou resinas poliméricas.

Para o desenvolvimento deste trabalho se observou apenas a estabilização mecânica pelo uso de fibra natural, distribuída aleatoriamente na mistura com o solo. Essa distribuição se torna mais adequada por permitir a preservação da isotropia da resistência do solo, além de evitar ou retardar a formação de planos de deformação localizados.

Figura 3.9 Métodos de estabilização de solos



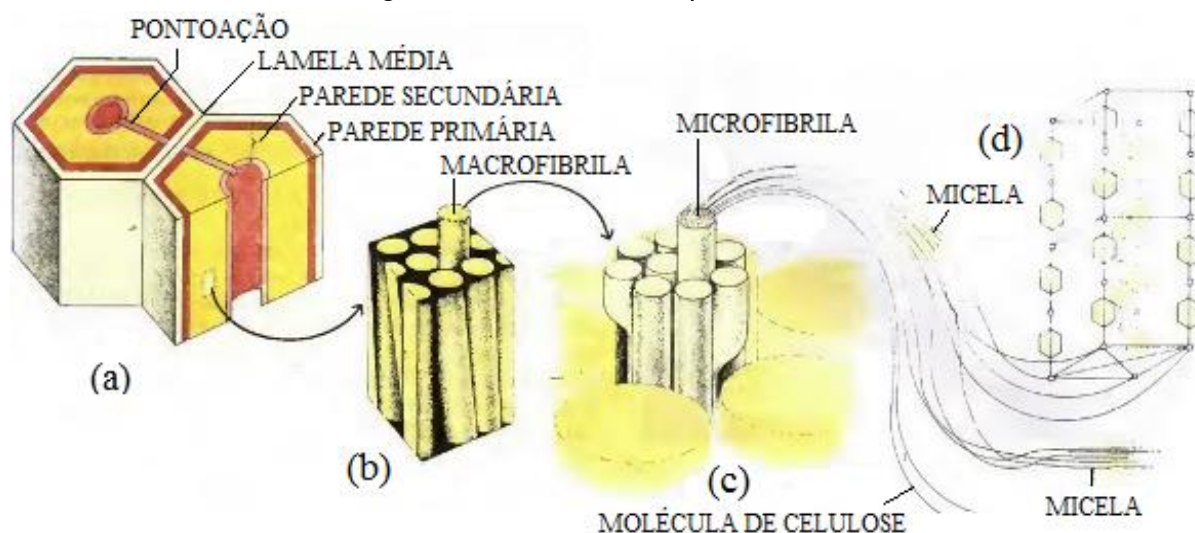
Fonte: Adaptado de Hejazi *et al.* (2012, p. 105).

3.2.1 Adobes reforçados com fibras naturais

As fibras são utilizadas na produção de alimentos, tecidos, artesanato, decoração, revestimentos, etc. Sua aplicação em compósitos é objeto de inúmeras pesquisas. Dentre os exemplos de fibras já utilizadas para reforçar adobes estão: casca de coco verde, juta, sisal, bambu, madeira, folhas de palmeira, algodão, cânhamo, linho, palha de cevada e de milho, bagaço da cana-de-açúcar, etc. (HEJAZI *et al.*, 2012).

As propriedades das fibras estão relacionadas à estrutura da parede celular (Figura 3.11). Compõe-se de moléculas de celulose longas e delgadas, denominadas microfibrilas, que se enrolam e formam finas correntes; as quais, por sua vez, formam as macrofibrilas (RAVEN, EVERT e EICHHORN, 1996). Todas essas moléculas de celulose se encontram em uma matriz de pectinas e hemiceluloses. A lignina é rígida e confere mais resistência a parede celular.

Figura 3.10 Estrutura da parede celular



Fonte: Adaptado de Raven, Evert e Eichhorn (1996, p.31).

Na literatura são observadas inúmeras pesquisas a indicar o uso de fibras vegetais e polímeros naturais na estabilização de tijolos. Bouchicha, Aouissi e Kenai (2005) aplicaram palha de cevada na estabilização de blocos de terra comprimida. Achenza e Fenu (2006) empregaram fibras de algas marinhas e polímeros naturais de resíduos de beterraba e tomate para reforçar adobes. Galán-Marín, Rivera-Gómez e Bradley (2013) utilizaram lã, alginato e lignina. Ngowi (1997) realizou um comparativo entre tijolos não estabilizados e tijolos estabilizados com cal (5%, 7,5%, 10% e 15% em massa), com esterco bovino (10% e 20%) e com betume (10% e 20%). Chan (2011) estabilizou seus tijolos com fibras de folha de abacaxi e com fibras de dendê. Millogo *et al.* (2014) fizeram uso de fibras de quenafe (*Hibiscus cannabinus*), comparando os efeitos de 30 mm e 60 mm de comprimento. Ghavami, Toledo Filho e Barbosa (1999) utilizaram fibras de coco e de sisal.

3.2.2 Fibra da palha de carnaúba

A carnaúba [*Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore] é uma palmeira da classe das monocotiledôneas, da família *Arecaceae*, também conhecida como carnaíba, carnaíva, carnaúva, carandaúba (Figura 3.12). Existem outras duas espécies do gênero na América do Sul, a *C. tectorum* na Venezuela e a *C. alba* na Bolívia e Paraguai, mas a única a produzir cera em suas folhas é a *C. prunifera* (BRASIL, 2012). A carnaúba numa recente eleição passou a ser Árvore Símbolo do Estado do Piauí.

Figura 3.11 Carnaúba, palmeira símbolo do estado do Piauí



Fonte: Próprio autor (2015).

Esta espécie se distribui pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Piauí e Sergipe, tendo uma concentração maior de populações no território piauiense e cearense. Suas folhas palmadas, arredondadas e de segmentos rijos, podem atingir até 15 metros de altura (LORENZI *et al.*, 1996). É conhecida como a “árvore da vida” ou “árvore da providência”, em virtude de se aproveitar desde suas raízes até as folhas.

Carvalho (2011) verificou que as folhas dessa palmeira apresentam seções transversais elípticas. Suas dimensões foram mensuradas em dois eixos: no eixo menor a média encontrada foi $0,13 \text{ mm} \pm 0,03$ e no maior, $0,23 \text{ mm} \pm 0,07$. A densidade obtida foi de $1,34 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$. Por fim, a composição química da palha de carnaúba consta na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 Composição química da fibra da palha de carnaúba

Celulose	Hemicelulose	Lignina	Umidade	Cinzas
58,04 ± 4,49	14,02 ± 0,64	19,03 ± 1,02	7,53 ± 0,63	1,80 ± 0,47

Fonte: CARVALHO (2011).

A palha de carnaúba é utilizada tradicionalmente na cobertura de construções rurais e na fabricação de diversos artesanatos como chapéus, esteiras, capachos, vassouras, entre outros. Novos estudos permitiram que a fibra fosse aproveitada na obtenção de papel artesanal. Outras pesquisas vêm analisando o potencial do uso da bagana⁴ da carnaúba como ração animal e na cobertura morta em fruteiras e culturas de subsistência por proporcionar proteção e resfriamento aos solos (CEARÁ, 2009).

Não obstante, a atividade econômica mais importante relacionada à carnaúba está na extração do material ceroso ou a cutícula que reveste as folhas. É um mecanismo natural de defesa contra agentes externos e evita a perda excessiva de água. Essa cutícula depois de extraída chama-se de pó cerífero de carnaúba, matéria-prima básica para produção da cera, apropriando-se de um estimado valor na indústria química, eletrônica, cosmética, alimentícia, farmacêutica, informática, etc. (CARVALHO e GOMES, 2008).

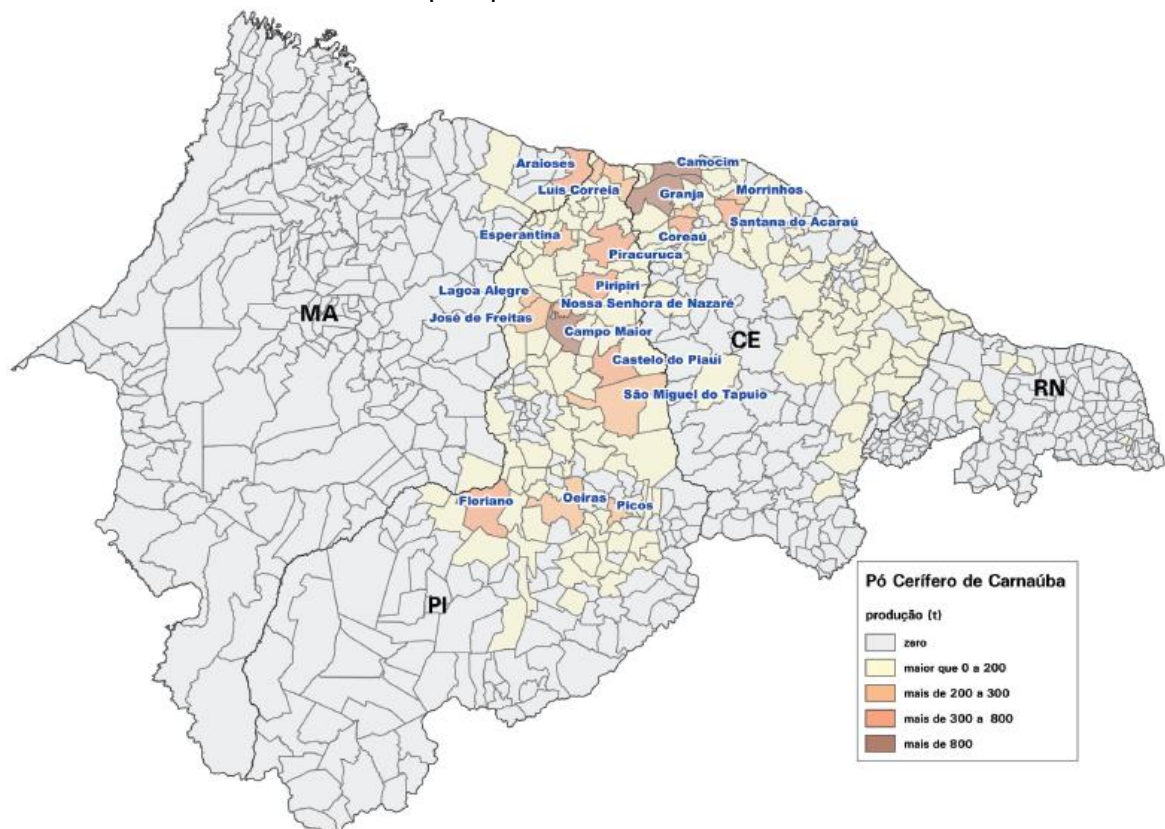
A cera de carnaúba também é conhecida mundialmente diante da diversidade que oferece na produção de ceras para polimento (pisos, sapatos e automóveis), bem como no campo da indústria de embalagens, na produção de tintas, de filmes contínuos, na indústria cosmética (batom, rímel e creme de barbear), produtos de tratamento de cabelo e pele, alimentícia e farmacêutica em revestimentos de cápsulas, cera dental, produtos de limpeza, filmes plásticos, adesivos e fotográficos. Possui ainda aplicações na confecção de vernizes, esmaltes, lubrificantes, fósforo, isolantes, revestimentos, laqueadores e impermeabilizantes. Na papelaria, é um dos componentes para fabricação de papel-carbono, lápis de cera, cola e grafite (MARIANO JÚNIOR e MARQUES, 2009).

A cera de carnaúba apresenta característica dura e quebradiça, com temperatura de fusão entre 80 e 87 °C. Sua composição química varia com idade e local de incidência da planta, consistindo em aproximadamente: 82 a 85% de alquil ésteres de ácidos graxos alifáticos e aromáticos (principalmente o ceril palmitato $C_{25}H_{51}COOC_{30}H_{61}$); 10 a 12% de álcoois livres; 5 a 7% de ácidos graxos livres; 0,3 a 1% de hidrocarbonetos e; 0,4 a 0,5% de outros componentes (OURIQUE, CRUZ e ZORZI, 2015).

⁴ Denominação dada à fibra residual da extração de pó cerífero da palha de carnaúba.

O rendimento médio de produção de cera para uma carnaúba adulta e saudável é de 3,3 gramas de cera/ folha. Segundo o relatório de Produção da Extração Vegetal e Silvicultura (PEVS) de 2016, a produção brasileira produziu 17.957 toneladas de pó de carnaúba e 1.674 toneladas de cera. Foram extraídas 9.983 toneladas de pó cerífero no Piauí, atual líder brasileiro (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016), sendo geradas aproximadamente 500.000 palhas de bagana em todo Brasil, cerca de 280.000 apenas no Piauí, no ano de 2016. Um impressionante montante de resíduo agroindustrial mal aproveitado, que tem um elevado potencial a ser explorado.

Figura 3.12 Produção de pó cerífero de carnaúba, com destaque para os principais municípios produtores - Brasil – 2016



Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste presente trabalho seguiram-se as recomendações definidas pela *Norma Técnica de Edificación NTE E. 080 ADOBE*, de origem peruana, visto que a normalização brasileira vigente não trata de tijolos de adobe.

As análises de caracterização física, química, mineralógica e mecânica foram realizadas nos Laboratórios de Materiais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) e no Laboratório de Solos, Asfalto e Concreto do 2º Batalhão de Engenharia de Construção (BEC), ambos em Teresina - PI.

4.1 COLETA, ARMAZENAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A região escolhida para retirada das amostras do solo fora a comunidade rural Ininga no município de Oeiras, localizado 300 km ao sul de Teresina. A cidade de Oeiras foi a primeira capital do estado do Piauí e dispõe de um grande patrimônio histórico-arquitetônico de construções executadas em adobe, como a Igreja Nossa Senhora da Vitória. Nessa localidade a técnica se faz presente de forma ampla nas construções habitacionais da zona rural e nas comunidades tradicionais de remanescentes quilombolas do município.

4.1.1 Coleta e armazenamento das amostras

Foram realizadas duas coletas de solo da comunidade rural Ininga, região sul do Piauí. A primeira realizou-se em maio de 2015, com objetivo de suceder as caracterizações iniciais do solo. Foram retirados 40 kg de solo utilizados por moradores da região na produção de tijolos de adobes. A camada superficial foi descartada, devido à concentração de vegetação rasteira de folhas, raízes e outros materiais orgânicos, como indica a Figura 4.1.

Em novembro de 2015 ocorreu a segunda coleta, aproximadamente 200 kg de solo, destinados à produção dos corpos de prova. O material foi armazenado em sacos de piscicultura transparentes de 200 micras, completamente vedados para não absorver umidade durante 5 meses, para “descansar”. Transcorrido o período de sazonalidade, a argila foi preparada (ver item 4.3.1.) e os corpos de prova foram produzidos.

Figura 4.1 Coleta da amostra de solo



Fonte: Próprio autor (2015).

4.1.2 Ensaio de granulometria

Os ensaios de granulometria por peneiramento foram desenvolvidos conforme a NBR 7181:1984 - Solo - Análise granulométrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984) e realizados no Laboratório de Solos do 2º Batalhão de Engenharia de Construção (BEC). O solo coletado foi destorroado manualmente com auxílio de almofariz e pistilo, sem descaracterizar o tamanho de seus grãos. Depois, 1 kg da amostra foi selecionada por quarteamento e seca em estufa a 102 °C (± 1 °C) por 24 horas.

As peneiras ABNT nº 10 e ABNT nº 200 foram manipuladas para separar o material grosso e o fino, respectivamente. Entretanto, o solo passou facilmente pela peneira nº 10 sendo retido apenas na nº 200. Em seguida, se retirou 240 g para determinar a umidade. Na sequência, a amostra foi lavada com água potável na peneira nº 200 e seca em estufa. Depois, utilizaram-se as peneiras nº 16, 30, 40, 60, 100 e 200 (Figura 4.2), e o material retido em cada uma fora anotado para determinar a curva de granulometria.

Figura 4.2 Peneiramento das amostras com agitador mecânico



Fonte: Próprio autor (2016).

4.1.3 Ensaios de determinação do Índice de Plasticidade do solo

Houve ensaios para definir o Índice de Plasticidade (IP), coeficiente determinado pela diferença entre o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP), conforme as normas NBR 6459:2016 e NBR 7180:2016, respectivamente.

Uma amostra de 200 g de solo destorroado, seco em estufa e quarteado foi escolhida para os ensaios. Com o auxílio de almofariz e pistilo, o solo foi macerado até se tornar passante na peneira ABNT nº 40. Depois, a amostra foi dividida pela metade, cada porção reservada para cada teste.

No ensaio de limite de liquidez foram manuseadas 100 g de solo. Posteriormente, a amostra foi colocada em cápsulas de porcelana e umedecida lentamente com água destilada até a homogeneização da massa. Depois, parte da amostra foi depositada em um aparelho Casagrande e aplainada com espátula para obter uma espessura na região central de aproximadamente 10 mm. Com auxílio do cinzel fez-se uma ranhura no meio da massa.

Para a execução do ensaio a manivela girou à razão de duas voltas por segundo até o fechamento da ranhura em aproximadamente 13 mm de comprimento, após 35 golpes exatos, segundo a NBR 6459:2016 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016a). Na região de junção das bordas se removeu a porção da amostragem, pesada e seca em estufa para realização do ensaio de umidade, como mostrado na Figura 4.3. A massa remanescente voltou à cápsula de porcelana sendo adicionado novamente a água destilada. Este procedimento foi repetido por quatro vezes, até alcançar golpes no intervalo entre 35 e 15, como define a norma.

Figura 4.3 Porção de argila retirada do aparelho de Casagrande



Fonte: Próprio autor (2016).

O ensaio de limite de plasticidade empregou a outra metade da amostra, também acondicionada em cápsula de porcelana e hidratada lentamente até sua completa homogeneização. Em seguida, moldada em forma de bolinha de argila sobre uma placa de vidro e alongada até adquirir forma cilíndrica. Estes cilindros de argila foram moldados até se tornarem fragmentos de 3 mm de diâmetro por 10 cm de comprimento, ressecados e fissurados (Figura 4.4). Tais fragmentos foram secos

em estufa e reservados para o teste de umidade. Este procedimento se repetiu por três vezes, segundo a NBR 7180:2016 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016b).

Figura 4.4 Cilindros do ensaio de limite de plasticidade



Fonte: Próprio autor (2016).

4.1.4 Caracterização química por Fluorescência de Raios X

As composições químicas foram determinadas por meio da técnica de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva, usando um aparelho com tubos de raios X de Ródio, modelo Epsilon3-XL da PANalytical. A amostra de solo natural foi destorroada, quarteada, macerada até se tornar passante na peneira ABNT nº 200 e seca em estufa a 102 °C (± 1 °C) por 24 h.

4.1.5 Caracterização mineralógica por Difração de Raios X

Para a caracterização mineralógica foram consideradas tanto as amostras de solo natural, para identificação dos argilominerais presentes. As análises foram obtidas através da técnica de Difração de Raios X (DRX), com configuração “Bragg-Brentano”, sistema θ -2 θ , por meio de um difratômetro da PANalytical, modelo Empyrean que utiliza radiação $\text{CoK}\alpha$, operando-se com uma voltagem de 40 kV e

com uma corrente de 45 mA. A velocidade adotada de varredura foi de 77s para valores de 2θ entre 5° a 110° .

4.2 COLETA E ARMAZENAMENTO DA PALHA DE CARNAÚBA

A definição da palha de carnaúba como reforço para os adobes ocorreu em razão que esta espécie nativa e abundante no Piauí se adaptada climaticamente ao semiárido, além de ser resistente, flexível e durável. Entretanto, o elevado volume de resíduos descartados pela indústria da cera de carnaúba tornou-se um motivo determinante para se optar pela bagana.

4.2.1 Coleta e armazenamento das amostras

A palha de carnaúba [*Copernicia prunífera* (Miller) H. E. Moore] fora fornecida pela empresa BRASIL CERAS - *Carnaúba WAX*, localizada no município de Campo Maior, Piauí, sendo coletados 25 kg de palha de bagana⁵ e armazenados em sacos plásticos vedados, até que o sazonalamento de 5 meses da argila terminasse.

4.3 PRODUÇÃO DOS ADOBES

Os adobes usados como parâmetro na pesquisa possuem 40 x 20 x 10 cm de dimensão, um tamanho considerado estável, em razão de o comprimento ser o dobro da largura e a largura o dobro da altura. Segundo a determinação da norma *NTE E.080 ADOBE*, os corpos de prova são cúbicos com arestas iguais à menor das dimensões dos tijolos originais (REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES, 2006).

Para a moldagem foram utilizadas fôrmas em perfil de alumínio com 10 cm³ de aresta, sem emendas e sem rebarbas. Os perfis escolhidos apresentam peças inteiriças e inflexíveis, com superfícies lisas e homogêneas, para permitir maior facilidade ao desenformar os cubos.

A definição dos traços se baseou nas recomendações de Minke (2001), nas quais a quantidade ideal de fibras na matriz do compósito poderia variar entre 2% e 4% em massa. Assim, optou-se por selecionar valores proporcionais entre si e que cobrissem esse intervalo.

⁵ O termo bagana estará implícito sempre que se utilizar a expressão “fibra natural”.

4.3.1 Preparo do solo

Após o sazonalamento, o solo armazenado passou a ser destorroado manualmente com o auxílio de almofariz e pistilo. Depois submetido ao peneiramento com ABNT nº 10 (Figura 4.5) para remoção dos resíduos (pedras, folhas, raízes, etc). A seguir foi submetido ao preparo das massas dos tijolos (ver item 4.3.3).

Figura 4.5 Preparo do solo para produção dos adobes



Fonte: Próprio autor (2016).

4.3.2 Preparo da fibra da palha de carnaúba

Todos os vestígios de talos de carnaúba foram retirados. Cortou-se mecanicamente a palha para atingir um tamanho médio de 20 mm de comprimento e 5 mm de largura. Para garantir que apenas fibras em fita fossem utilizadas, a amostra foi passada na peneira ABNT nº 16, para remoção do pó e das pequenas partículas (Figura 4.6). A seguir as fitas de palha passaram a ser submetidas ao preparo das massas dos tijolos.

Figura 4.6 Preparo da palha de carnaúba



Fonte: Próprio autor (2016).

4.3.3 Definição dos traços e preparo da mistura

Além dos tijolos de controle (grupo C, sem fibra), foram produzidas mais três composições com de 1%, 5% e 10% de fibras em massa (p/p), denominadas N1, N5 e N10, respectivamente (Figura 4.7). No grupo de controle foi necessário acrescentar 20% de água de amassamento para adquirir a consistência ideal. Os grupos de 1%, 5% e 10% de fibra precisaram de 21%, 27% e 31% de água, respectivamente, para alcançar a mesma textura.

Figura 4.7 Composições de adobes: (a) 1%, (b) 5% e (c) 10% em massa



Fonte: Próprio autor (2016).

As misturas, de modo geral, são depositadas sobre o solo e em pilhas de barro, onde o amassamento normalmente é feito com os pés descalços. Como esse procedimento não poderia ser replicado em laboratório, o revolvimento das massas realizou-se manualmente em reservatórios plásticos com capacidade para 30 L, conforme a Figura 4.8.

Figura 4.8 Amassamento da mistura de barro e palha com as mãos



Fonte: Próprio autor (2016).

Inicialmente os materiais foram misturados secos, para assegurar uma distribuição homogênea da palha. As fibras passaram a ser dispostas de maneira aleatória dentro da mistura. O amassamento foi enérgico e constante, com acréscimo gradual de água até o limite mencionado anteriormente. Após a adição de água cessar, ainda houve a mistura por cerca de 30 minutos ininterruptos, até a obtenção de uma massa homogênea, plástica e não aderente às mãos, de acordo com Canteiro e Pisani (2006).

Finalmente, as misturas foram identificadas, envolvidas em sacos plásticos para evitar a perda de água por evaporação e mantidas em repouso por 48 h, garantindo que a umidade fosse homogeneamente distribuída a todos os componentes.

4.3.4 Montagem dos corpos de prova

Transcorridas 48 h, as misturas foram amassadas novamente para que pudessem reabsorver a água acumulada no fundo dos recipientes plásticos. Logo após, para a montagem dos cubos, a massa é lançada dentro da fôrma com força suficiente a evitar a formação de vazios. Os espaços próximos às arestas foram pressionados com cuidado (Figura 4.9-a), pois a argila aderiu bastante às luvas. O procedimento repetiu-se até preencher completamente o cubo, com retirada do material excedente.

Figura 4.9 Moldagem dos corpos de prova: a) preenchimento dos cantos das fôrmas; b) adobe com 5% de palha; c) adobe com 10% de palha



(a)



(b)



(c)

Fonte: Próprio autor (2016).

Inicialmente, em função da grande adesão da argila às fôrmas, os tijolos foram desenformados com muita dificuldade, causando lhes severas deformações. Neste caso, houve a necessidade de untá-las com glicerina. No grupo de adobes com 5% de palha foi empregada uma menor quantidade e, nos tijolos com 10% de palha, seu uso foi dispensado, como demonstrado na Figura 4.9 (b) e (c).

Seguidamente, após serem desenformados, constatou-se que os tijolos N10 poderiam ser erguidos sem se deformarem, ao contrário dos demais. No total, foram produzidos 48 (quarenta e oito) cubos, sendo 12 (doze) amostras de controle e de cada composição, identificados como apresentado na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 Nomenclatura dos corpos de prova de adobe

GRUPOS	Fibras de carnaúba	Amostras	
		Quantidade	Identificação
Controle (C)	Sem fibras	12	C1 a C12
Fibra Natural (N1)	1% p/p	12	N1-1 a N1-12
Fibra Natural(N5)	5% p/p	12	N5-1 a N5-12
Fibra Natural(N10)	10% p/p	12	N10-1 a N10-12

Fonte: Próprio autor (2016).

4.3.5 Secagem e armazenamento dos corpos de prova

Os corpos de prova secaram inicialmente à sombra e depois levados ao sol, com alternância diária de posições para exposição das faces. Depois de secos, todos foram devidamente identificados (Figura 4.10). Posteriormente, os ensaios mecânicos foram iniciados ao final de 45 dias da produção dos últimos exemplares.

Figura 4.10 Cubos identificados expostos ao sol durante a secagem



Fonte: Próprio autor (2016).

4.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS ADOBES

A caracterização física dos adobes ocorreu por meio da determinação da massa específica aparente, da retração relativa e da absorção de água por capilaridade. Quanto à caracterização mecânica, pela determinação da resistência à compressão simples. Nos testes realizados com apenas uma fração das amostras a definição dos espécimes ocorreu de forma aleatória, por meio de sorteio.

4.4.1 Determinação da massa específica aparente

Os corpos de prova foram mensurados para determinar seus volumes e depois pesados. As medições aconteceram com um paquímetro digital (0,03mm / 0,001 mm de precisão), em posição perpendicular ao centro das faces. A massa específica é encontrada pelo emprego da equação 5.1:

$$\rho_a = \frac{M}{V} \quad \text{Eq. (5.1)}$$

Onde, ρ_a = massa específica aparente do tijolo (g/cm^3)

M = massa do tijolo (g)

V = volume do tijolo (cm^3)

4.4.2 Determinação da retração relativa

A retração relativa é determinada pela comparação entre o volume da amostra seca e o da massa fresca, ou seja, o das fôrmas de alumínio (10 cm^3). O cálculo é realizado pelo emprego da equação 5.2:

$$RR = \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (5.2)}$$

Onde, RR : retração relativa (%)

V_i : volume inicial do tijolo, volume da fôrma (cm^3)

V_f : volume final do tijolo, após secagem (cm^3)

4.4.3 Tanque de imersão parcial

Para a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade houve o desenvolvimento de um tanque de imersão em vidro incolor 4 mm, em formato prismático de base quadrada, cujas dimensões são 28 x 28 x 10 cm (Figura 4.11), apoiado sobre uma base de madeira com quatro ajustes independentes de nível.

Figura 4.11 Tanque de imersão



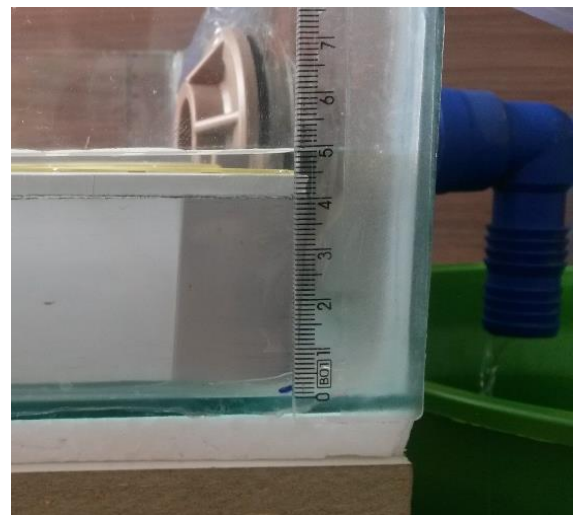
Fonte: Próprio autor (2017).

Para manter os tijolos suspensos do fundo foram produzidas caixas de PVC com tampas vazadas, que também servem para coleta de material desagregado (Figura 4.12-a). A constância da profundidade de imersão de 5 ± 2 mm (Figura 4.12-b) é garantida pelos pés rosqueáveis (Figura 4.12-c) e pelo sistema composto por extravasor e bomba de aquário (Figura 4.12-d).

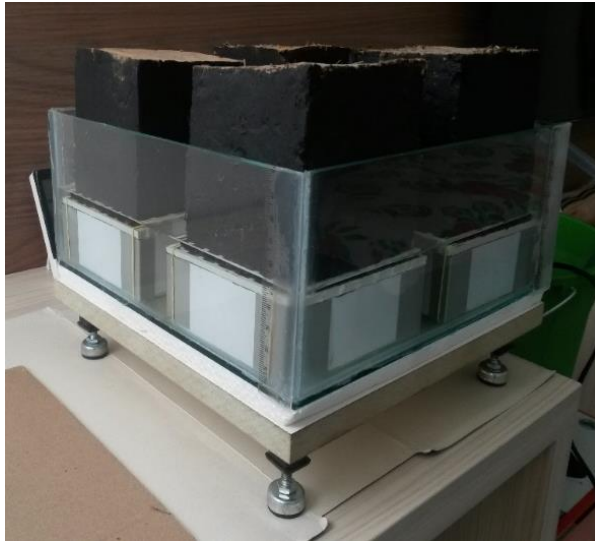
Figura 4.12 Componentes do tanque de imersão: a) caixa coletora vazada; b) régua; d) pés niveladores e) alimentador



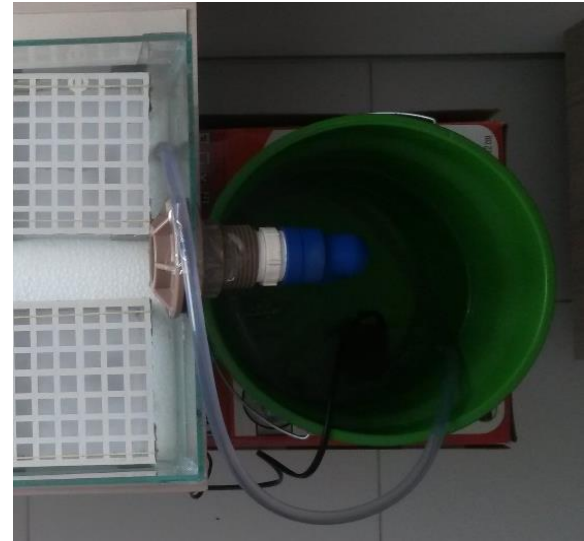
(a)



(b)



(c)



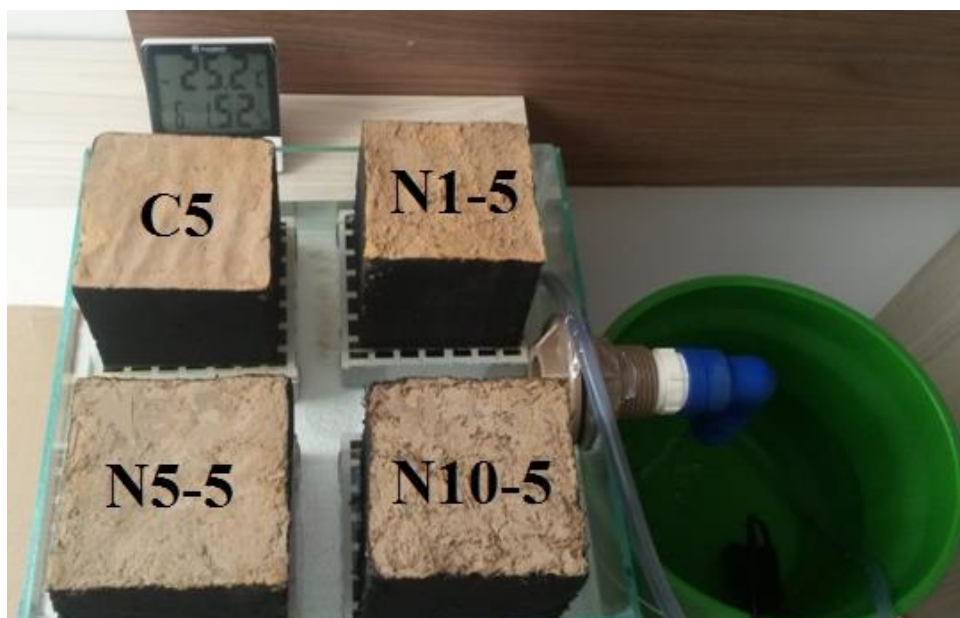
(d)

Fonte: Próprio autor (2017).

4.4.4 Determinação da absorção de água por capilaridade

Foram adotadas as orientações da norma ISO 15148: 2002, que exige ao menos 3 (três) unidades de cada composição (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2002). Foram atendidas as seguintes condições ambientais: temperatura entre 18 °C e 28 °C, umidade relativa de entre 40 e 60% e profundidade de imersão de 5 ± 2 mm. Por sorteio foram definidas as amostras de número 5, 8 e 11, as quais tiveram seus lados selados com impermeabilizante asfáltico, mantendo-se base e topo nas condições originais (Figura 4.13).

Figura 4.13 Amostras seladas e parcialmente imersas



Fonte: Próprio autor (2017).

Depois de imersos, os cubos foram pesados em balança de precisão em períodos de tempo pré-determinados (5 min, 20 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, 12 h e 24 h). Para os cálculos, inicialmente, houve verificação da variação de massa em todos os tempos de medição. Utilizou-se a equação 5.3:

$$\Delta m_t = \left(\frac{m_t - m_i}{A} \right) \quad \text{Eq. (5.3)}$$

Onde, Δm_t = variação da massa no tempo determinado (kg)

m_t = massa úmida do tijolo no tempo determinado (kg)

m_i = massa inicial do tijolo, massa seca (kg)

A = área da base do tijolo (m^2)

A seguir foi plotado o gráfico $\Delta m_t \times \sqrt{t}$. Conforme a norma, se o gráfico é uma reta, então o coeficiente de absorção de água é calculado através da equação 5.4. Porém, em caso de gráfico com curva, é adotada a equação 5.5:

$$A_w = \left(\frac{\Delta m'_{tf} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}} \right) \quad \text{Eq. (5.4)}$$

Onde, A_w = coeficiente de absorção de água ($kg/(m^2 \cdot \sqrt{s})$)

$\Delta m'_{tf}$ = variação da massa no tempo final (kg)

$\Delta m'_0$ = variação da massa quando $t=0$ (kg)

t_f = tempo final de duração do ensaio (s)

$$A_w = \left(\frac{\Delta m_{tf}}{\sqrt{86400}} \right) \quad \text{Eq. (5.5)}$$

Onde, A_w = coeficiente de absorção de água ($kg/(m^2 \cdot \sqrt{s})$)

Δm_{tf} = variação da massa no tempo final (kg)

4.4.5 Determinação da resistência à compressão simples

A norma peruana NTE E.080 ADOBE indica que são necessárias 6 (seis) unidades de cada composição para realizar os ensaios de compressão simples (REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES, 2006). Por sorteio foram definidas as amostras de número 1, 3, 4, 7, 10 e 12. Duas chapas metálicas (Figura 4.14) sendo utilizadas para garantir a distribuição uniforme da carga.

Figura 4.14 Chapas de ferro para apoio



Fonte: Próprio autor (2016).

Foi manuseado um aparelho da SHIMADZU, modelo Autograph AG-X. A carga aplicada na velocidade de 5 mm/min. Pela exigência normativa as amostras deveriam alcançar pelo menos $12 \text{ kgf/cm}^2 \cong 1,18 \text{ MPa}$. A resistência à compressão simples é calculada pelo emprego da equação 5.6:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (5.6)}$$

Onde, f_c : resistência à compressão (N/mm^2)

F : força máxima suportada (N)

A : área da seção transversal do corpo de prova (mm^2)

5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para tratamento estatístico dos resultados dos ensaios de massa específica aparente, retração relativa e resistência à compressão simples foram aplicados a análise de variância (ANOVA) com 1% de probabilidade e o teste de Tukey com 5% de significância. Para cada amostragem foram utilizadas pelo menos seis repetições. O ensaio de absorção de água não foi incluído no tratamento estatístico por causa da quantidade de amostras ensaiadas (três amostras), insuficiente para garantir um resultado confiável.

O coeficiente de correlação linear (r) ou coeficiente de correlação de Pearson calculou-se a fim de relacionar os valores médios de massa específica aparente, retração relativa, absorção de água e resistência à compressão simples e verificar a influência que uma propriedade exerce sobre as demais. Outrossim, os coeficientes foram submetidos ao teste T, com 5 e 1% de probabilidade.

De acordo com Santos (2010), os valores de r representam a intensidade e a direção da correlação linear e por isso permitem criar uma classificação, demonstrada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 Classificação da correlação linear

Coeficiente de correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 < r < 0,1$	Ínfima positiva
0	Correlação não-linear
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca Negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Fonte: SANTOS (2010).

A ferramenta de auxílio adotada para realizar as análises estatísticas escolhida é o programa ASSISTAT versão 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2016).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

6.1.1 Análise granulométrica

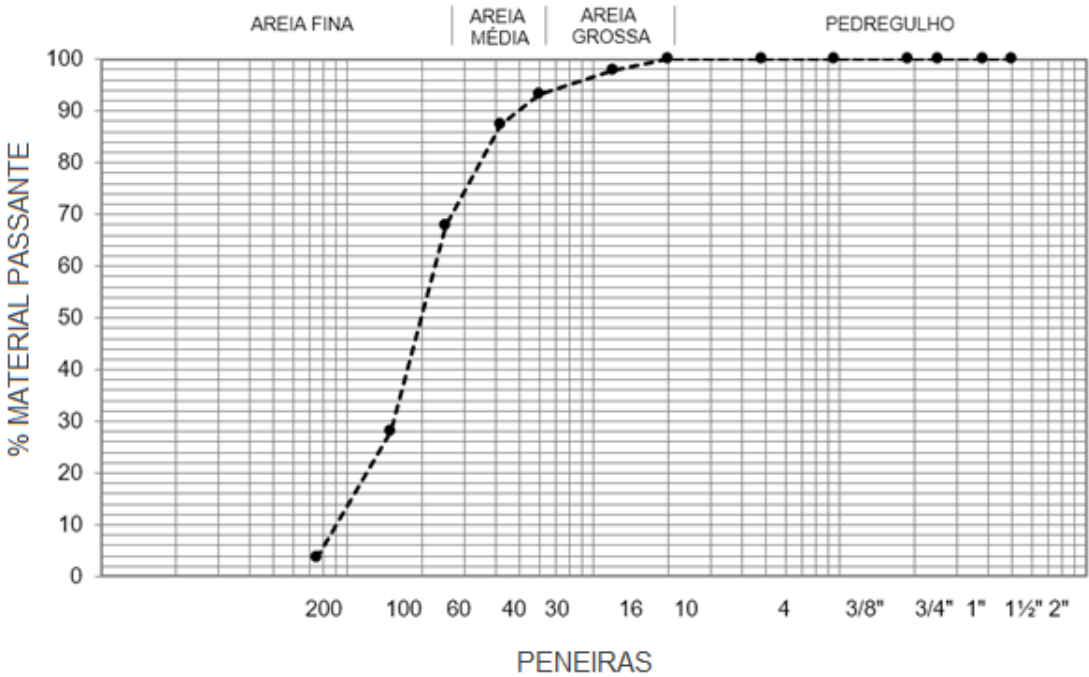
Seguindo os parâmetros da norma NBR 6502/1995 – Rochas e solo (Tabela 6.1), o solo lavado e analisado traz no seu composto apenas areia, sem pedregulho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995). Isso porque entre as peneiras 2” (50 mm) e a peneira ABNT nº 10 (2 mm) as partículas do solo são totalmente passantes, como indicado no ANEXO A e na curva granulométrica (Figura 6.1).

Tabela 6.1 Classificações granulométricas

Diâmetro	Classificação do material		
2 mm < Ø < 60 mm	Pedregulho		
	Pedregulho Fino	Pedregulho Médio	Pedregulho Grosso
	2mm< Ø < 6mm	6 mm < Ø < 20 mm	20 mm < Ø < 60 mm
0,06 mm < Ø < 2 mm	Areia		
	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa
	0,06 mm < Ø < 0,2 mm	0,2 mm < Ø < 0,6 mm	0,6 mm < Ø < 2 mm
0,002 mm < Ø < 0,06 mm	Silte		
0,002 mm > Ø	Argila		

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,1995.

Figura 6.1 Curva Granulométrica



Fonte: Elaborado pelo 2º BEC (2016).

Nas demais peneiras foram mensuradas as seguintes quantidades:

- ABNT nº 16 (1,2mm) = retidos 10,36 g de solo - areia grossa;
- ABNT nº 30 (0,6 mm) = retidos 21,80 g de solo - areia grossa;
- ABNT nº 40 (0,42 mm) = retidos 27,28 g de solo- areia média;
- ABNT nº 60 (0,25 mm) = retidos 92,13 g de solo - areia fina;
- ABNT nº 100 (0,15 mm) = retidos 186,86 g de solo- areia fina;
- ABNT nº 200 (0,075 mm) = retidos 114,90 g de solo - areia fina.

Logo, verificou-se a presença de 7% de areia grossa, 6% de areia média e 87% de areia fina. A areia é um material inerte, que contribui para maior estabilidade e resistência finais. Outrossim, a elevada finura reflete na redução de vazios existentes nos corpos de prova e, portando, em maior estabilidade estrutural para os tijolos.

6.1.2 Índice de Plasticidade

Todos os resultados foram dispostos no ANEXO B. Através deles foi determinado que o Índice de Plasticidade (IP) do solo se estabeleceu em 6,4%. Pela classificação de Jenkins (CAPUTO, 1987) este solo se classifica como fracamente plástico ($1 < IP \leq 7$). Com essa análise, ele pode ser considerado inadequado para a produção de tijolos de adobe, se utilizado sem reforço.

6.1.3 Fluorescência de raios X

A composição química do solo natural, indicada na Tabela 6.2, aponta a predominância de sílica, alumina e óxido de ferro, com menor destaque para outros óxidos. A presença abundante de sílica se correlaciona com o elevado grau de areia obtido na granulometria. Ademais, há indícios de um elevado teor de silte, material similar à areia, tendo partículas de tamanhos menores, entre 2µm e 62µm.

Tabela 6.2 Composição química do solo natural

(%)							(ppm)			
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MgO	MnO	ZrO ₂	ZnO	CuO
73,77	15,33	5,87	2,94	0,76	0,67	0,53	721,2	539,5	50,5	31,5

Fonte: Próprio autor (2017).

A região de Oeiras faz parte da Bacia Sedimentar do Parnaíba, região rica em diversidade de argilas sedimentares, especialmente do tipo “taguá”. O termo

“taguá” emprega-se para denominar os folhelhos, argilitos, siltitos, ritmitos e outras rochas de natureza pelítica. São argilas abundantes, encontradas geralmente em depósitos grandes, que podem apresentar variações de granulometria, de composição química e de composição de argilominerais, influenciando no desempenho cerâmico das matérias-primas (CABRAL JUNIOR et al., 2008).

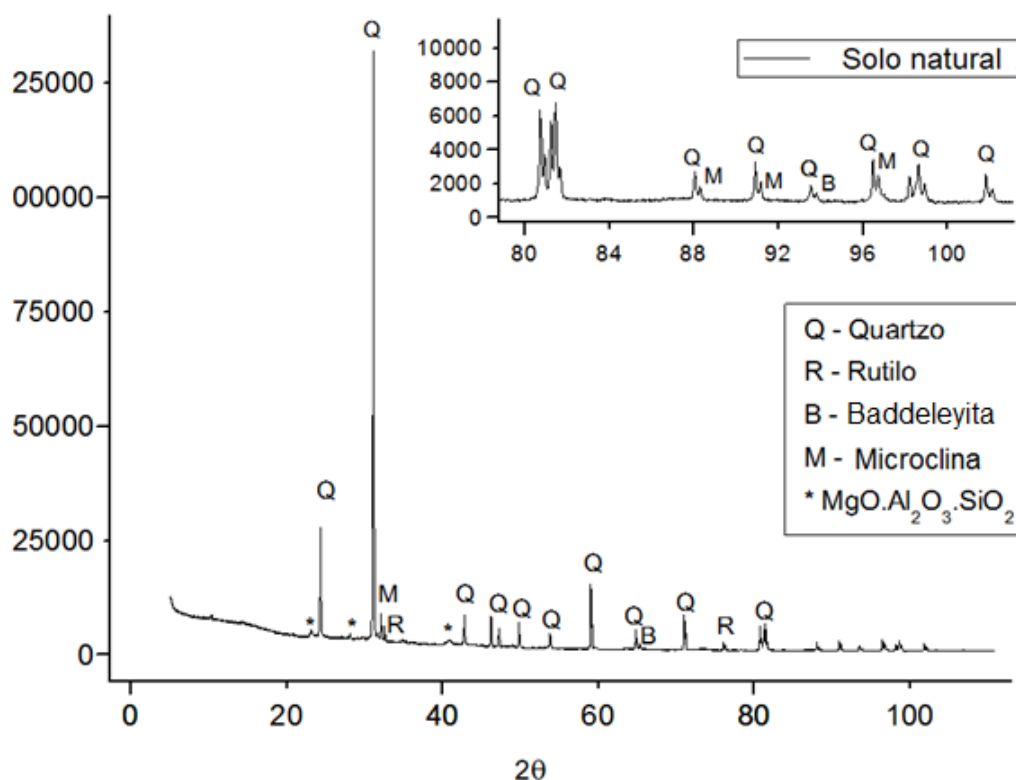
6.1.4 Difração de raios X

As análises de DRX do solo natural revelaram a presença de quatro fases conhecidas –quartzo (SiO_2), rutilo (TiO_2), baddeleyita ou óxido de zircônio (ZrO_2) e microclina ou microclínio (KAlSi_3O_8) – e de uma fase de fórmula $\text{MgO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{SiO}_2$, que não pôde ser identificada (Figura 6.2). O pico característico de quartzo se destaca bastante dos demais em função de sua amplitude. Verificou-se que é extremamente cristalino, como se seu estado *in natura* fosse equivalente ao efeito de algum tratamento térmico. Uma provável explicação está nas condições ambientais as quais o solo possa ter se submetido, como elevadas temperaturas e alta pressão. Tal possibilidade não se apresenta remota, uma vez que a amostra fora coletada em uma região de bacia sedimentar, localizada em pleno semiárido do sertão piauiense.

O quartzo se faz predominante em virtude do elevado teor de sílica e alumina no solo, como evidenciado na composição química. Trata-se de um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre. Com essas propriedades, passa ter diversas aplicações, como o emprego na construção civil; na produção de tintas, esmaltes, porcelanas, cerâmicas refratárias, louças sanitárias, fibras de vidro e vidros convencionais; na produção de dispositivos piezelétricos; ou ainda, como carga e extensores para a indústria de produtos químicos e farmacêuticos (GUZZO, 2008).

O óxido de zircônio impuro é usualmente empregado na produção de utensílios laboratoriais submetidos a variações bruscas de temperaturas, em revestimentos de fornos e como material refratário em indústrias cerâmicas e de vidro (BERTOLINO et al., 2008). A microclina é um feldspato de potássico, fonte importante de potássio para fertilizantes (NASCIMENTO, MONTE e LOUREIRO, 2008). No tocante ao rutilo ou dióxido de titânio, é essencialmente cristalino e com o elevado teor de titânio, o que o torna muito valioso (BALTAR et al., 2008).

Figura 6.2 Difratoograma do solo natural



Fonte: Próprio autor (2017).

6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CUBOS DE ADOBE

6.2.1 Massa específica aparente

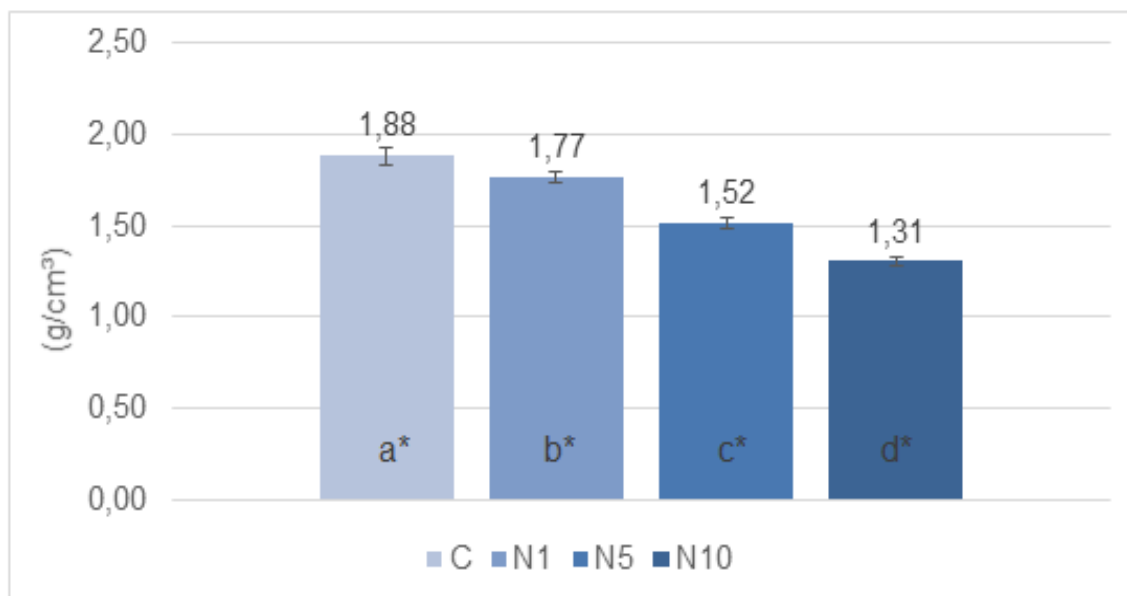
Os resultados obtidos constam no APÊNDICE A. As massas aparentes médias ficaram compreendidas entre 1,31g/cm³ e 1,88 g/cm³, como apresentado no Gráfico 6.1. Devido à baixa densidade das fibras naturais incorporadas, os adobes compósitos têm peso médio inferior ao do tradicional. Por isso, se verificou um decréscimo de 6%, 20% e 31% nos grupos N1, N5 e N10, respectivamente, em comparação com o grupo de controle.

A análise de variância realizada conferiu o grau de confiança de 1% de probabilidade ao ensaio ($p < 0,01$), como indicado no APÊNDICE D. Observou-se também que o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade indicou que os quatro tratamentos realizados (controle, N1, N5 e N10) são estatisticamente diferentes entre si, ou seja, os acréscimos de palha representaram melhorias significativas para a redução da massa específica aparente dos adobes.

Outros pesquisadores obtiveram valores similares. As amostras de Achenza e Fenu (2006) apresentaram massa específica entre 1,72 e 1,81 g/cm³. Já

Bouhicha, Aouissi e Kenai (2005) alcançaram massas entre 1,1 e 1,3 g/cm³. As amostras de Chan (2011) variam entre 1,3 e 1,5 g/cm³.

Gráfico 6.1 Massa específica aparente



Fonte: Próprio autor (2017).

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

6.2.2 Retração relativa

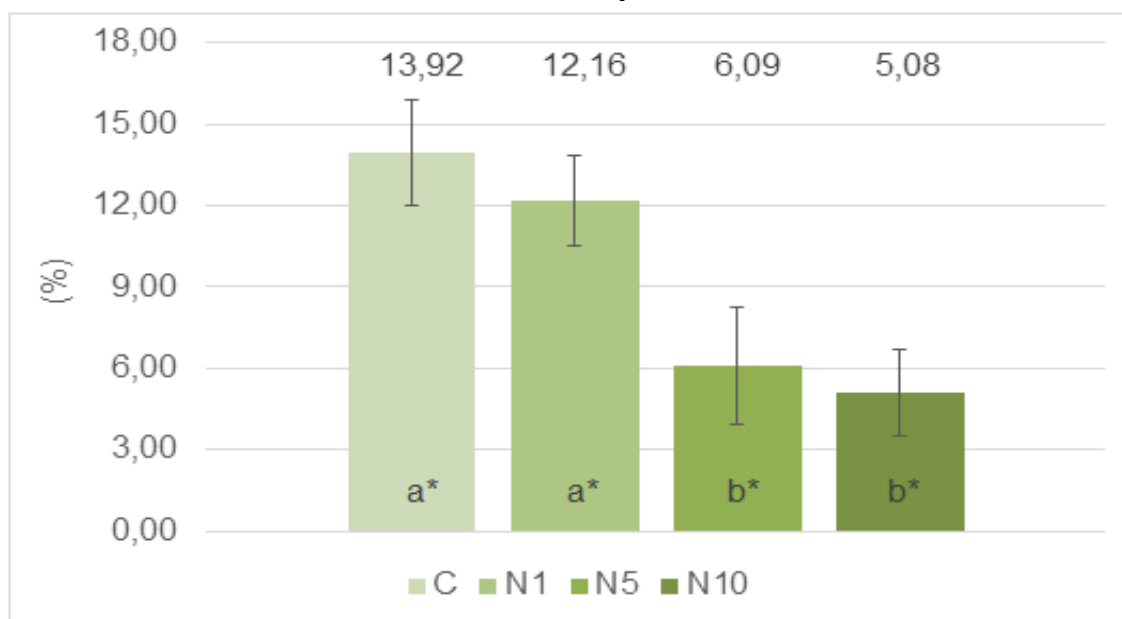
Os resultados obtidos estão listados no APÊNDICE A. A retração relativa média variou entre 13,92% a 5,08% (Gráfico 6.2). As composições com maior teor de fibra atingiram os menores valores, o que sugere que a palha de carnaúba se comporta como uma alternativa ao controle da retração. A variação entre expansão e retração dos materiais provoca o surgimento de trincas e fissuras, além de inúmeras outras patologias.

Durante as medições das arestas, verificou-se que os valores de largura e profundidade dos tijolos sempre foram similares, mantendo-se próximos a 10 cm. Em relação à altura frequentemente se mantinha a maior das dimensões, inclusive excedendo o valor de 10 cm da fôrma, como exposto nas tabelas do Apêndice A. Uma provável explicação seria o alongamento da massa fresca, causado pelo movimento de retirada da fôrma durante a desmoldagem. Em função dessas características, a retração relativa apresentou valores elevados de desvio-padrão.

A análise de variância com grau de confiança de 1% de probabilidade e o teste de Tukey (5% de probabilidade) comprovou a eficiência da palha de carnaúba na redução da retração relativa. Os grupos C e N1 apresentaram valores

significativamente equivalentes, bem como os grupos N5 e N10. E somente a última dupla conferiu uma maior eficiência que a outra, por alcançar a diferença mínima significativa (dms).

Gráfico 6.2 Retração relativa



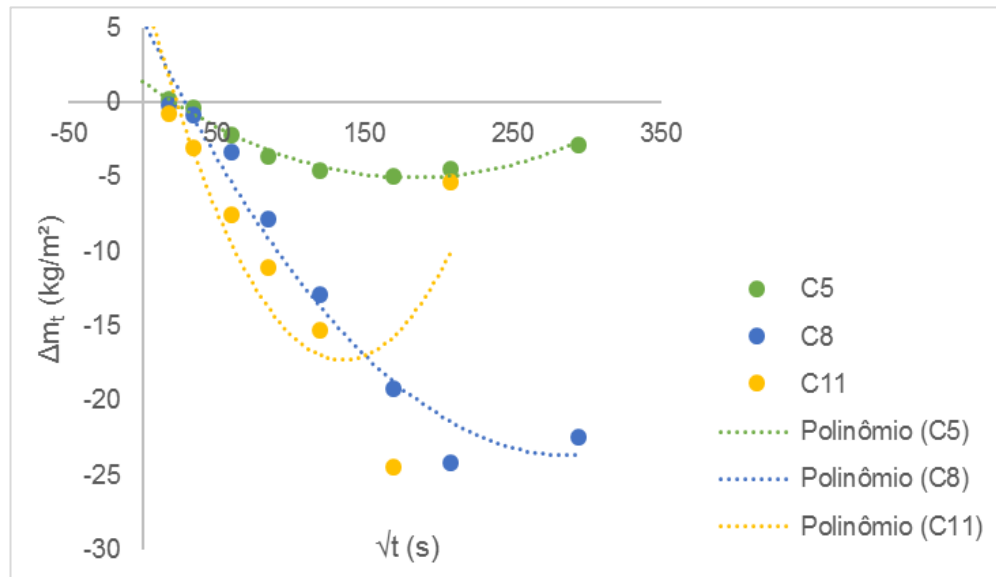
Fonte: Próprio autor (2017).

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Pesquisas revelaram que a retração decai com o aumento de fibras no reforço (BOUHICHA, AOUISSI e KENAI, 2005). Porque tanto as fibras tendem a se opor à deformação, quanto as amostras são secas mais rapidamente pois o processo de perda de umidade é acelerado pela presença de canais de ar formados na matriz de solo.

6.2.3 Absorção de água por capilaridade

O Gráfico 6.3 apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios de absorção de água por capilaridade para as amostras C5, C8 e C11. Pode-se observar que a amostra de controle perdeu bastante massa durante o ensaio, pois o material dos tijolos se desagregou rapidamente. Somente após 12h de imersão notou um discreto ganho de massa pela absorção de água.

Gráfico 6.3 $\Delta m_t \times \sqrt{t}$: grupo de controle

Fonte: Próprio autor (2017).

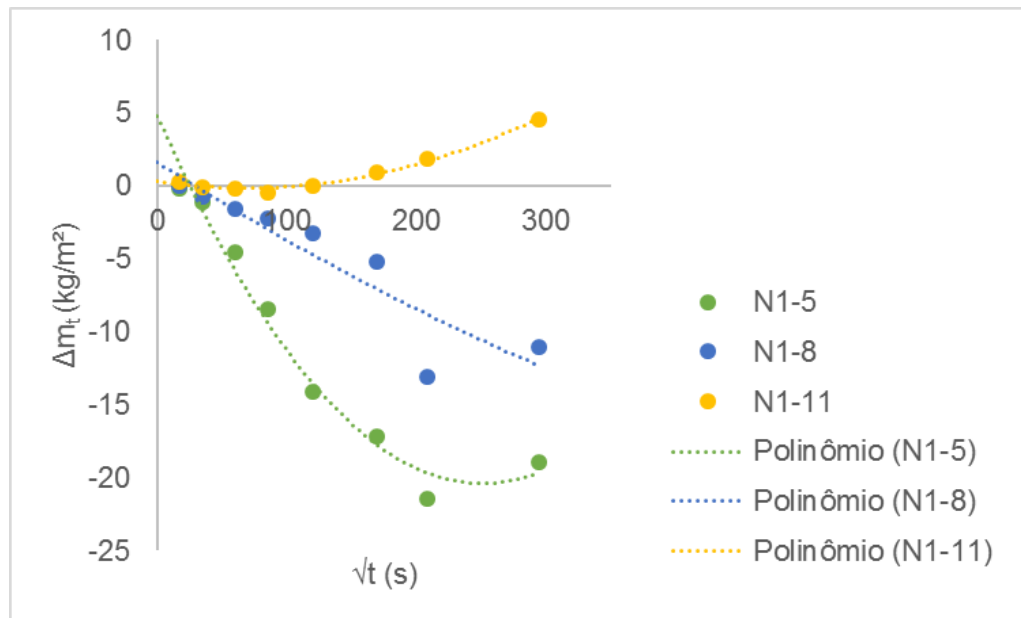
Como a amostra C11 não suportou o ensaio, seus dados foram desprezados dos cálculos, segundo as recomendações da ISO 15148: 2002. Após 12h atentou a presença de água na superfície de topo do tijolo. Ao término do ensaio, a amostra estava completamente destruída (Figura 6.3).

Figura 6.3 Amostra C11 ao final do ensaio



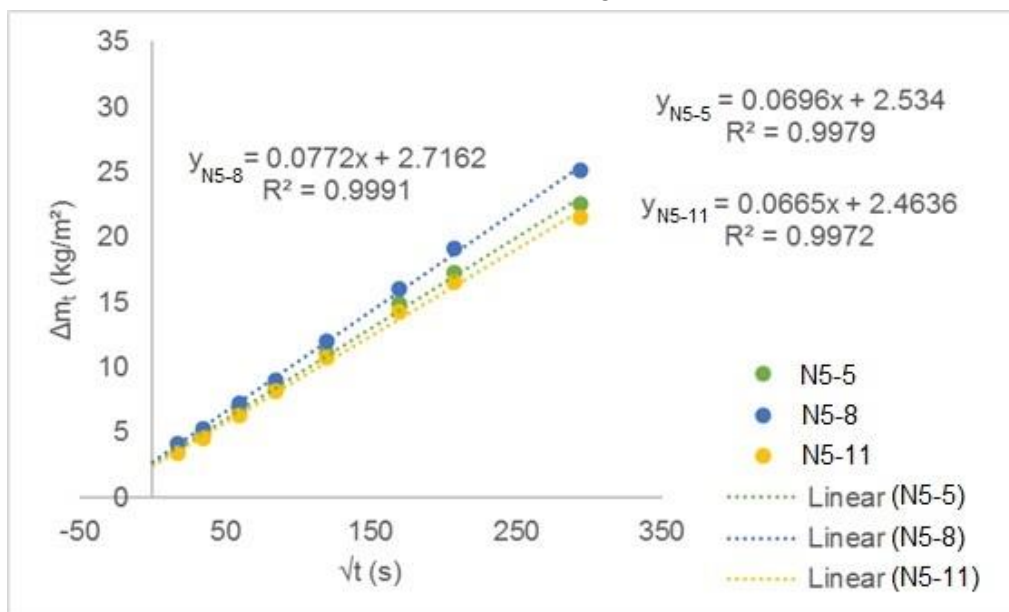
Fonte: Próprio autor (2017).

Também houve pouca homogeneidade entre as amostras do grupo N1. Contudo, um exemplar apresentou um desempenho mais atípico. A amostra N1-11 com menor desagregação de solo dispôs de um ganho de massa praticamente linear após 3h de imersão (Gráfico 6.4), ao contrário das demais amostras de N1.

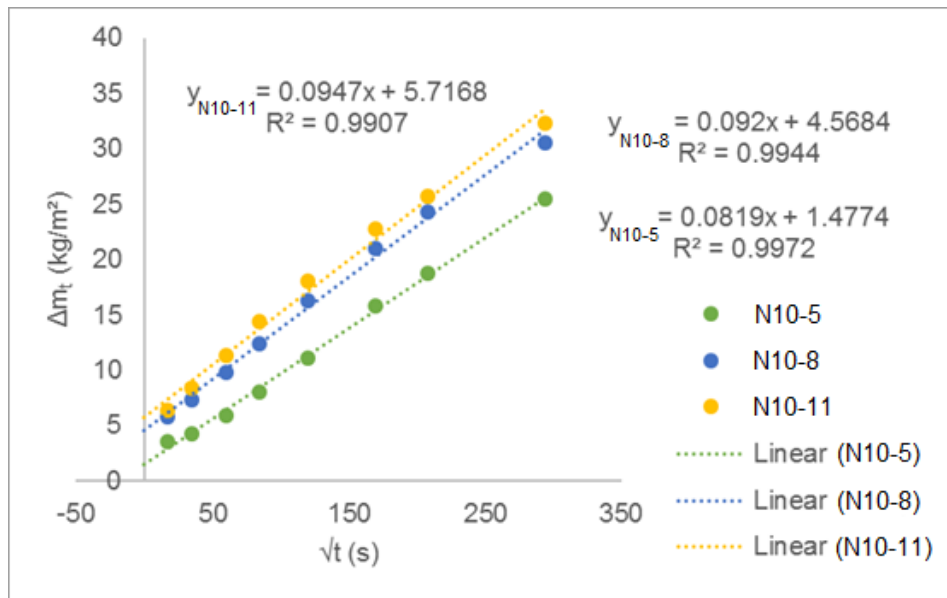
Gráfico 6.4 $\Delta m_t \times \sqrt{t}$: grupo N1

Fonte: Próprio autor (2017).

Por outro lado, os grupos N5 e N10 demonstraram resultados bem similares entre si, com ganhos gradativos de massa até alcançar 24 h (Gráfico 6.5 e Gráfico 6.6). O desempenho dos exemplares foi praticamente o mesmo, com exceção da amostra N10-5 que obteve uma absorção ligeiramente inferior à de suas semelhantes (Gráfico 6.6). Ao final, os tijolos estavam praticamente intactos (Figura 6.4).

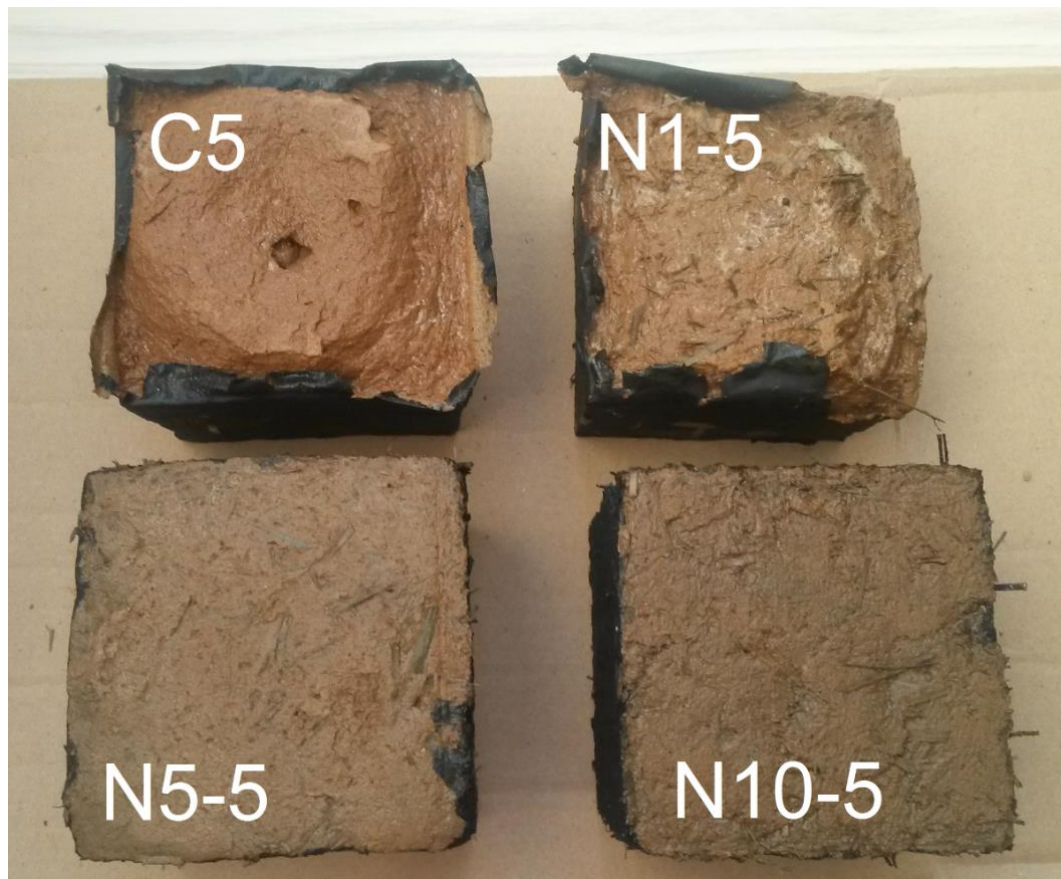
Gráfico 6.5 $\Delta m_t \times \sqrt{t}$: grupo N5

Fonte: Próprio autor (2017).

Gráfico 6.6 $\Delta m_t \times \sqrt{t}$: grupo N10

Fonte: Próprio autor (2017).

Figura 6.4 Tijolos após 24 h de imersão parcial



Fonte: Próprio autor (2017).

Conforme indicado pela norma ISO 15148:2002, a plotagem dos gráficos é necessária para definição das equações. Então, determina-se que o cálculo do coeficiente de absorção de água por imersão parcial das amostras C e N1 deve

estar de acordo com a equação 5.4 (gráficos de curvas) e a equação 5.5 (gráficos lineares) para N5 e N10. Os resultados do ensaio foram sintetizados na Tabela 6.4:

Tabela 6.3 Coeficiente de Absorção de água por imersão parcial

GRUPOS	Coeficiente de absorção de água (kg/m ² .√s)	s
Controle (C)	0,0350 ^{(1) (2)}	0,0050
Fibra Natural (N1)	0,0454 ⁽²⁾	0,0132
Fibra Natural (N5)	0,0696	0,0059
Fibra Natural (N10)	0,0868	0,0047

Fonte: Próprio autor (2017).

(1) Os dados da amostra C11 foram desconsiderados porque água aflorou em sua face de topo. (2) A massa inicial original (m_i) foi substituída nos cálculos pela massa residual (m_r), constituída do material pós-ensaio de cada amostra, seca naturalmente por 7 dias.

Percebeu-se que numericamente os tijolos com menores teores de fibras apresentaram absorção de água inferior. O elevado ganho de massa nos adobes N5 e N10 se deve ao maior teor de palha de carnaúba em sua constituição, fibras estas que são hidrofílicas. Porém, é possível notar ainda que as amostras com 5% e 10% de fibras apresentaram melhores propriedades mecânicas, dado que mantiveram sua estrutura intacta quando comparado ao controle e aos cubos N1 que se desintegram parcial ou totalmente.

O tratamento estatístico não foi possível por efeito do número de amostras ensaiadas, sendo inferior ao número adequado (5 repetições) para obter a garantia de um resultado confiável.

Eires, Camões e Jalali (2017) testaram aditivos naturais como alternativa para incrementar a resistência à ação da água. Eles desenvolveram 8 (oito) amostragens distintas, uma com apenas solo natural (S) e as outras contendo variados percentuais de cimento, cal virgem, cal hidratada, óleo vegetal de cozinha usado e hidróxido de sódio. O coeficiente alcançado pelo controle atingiu em 0,0658 kg/m².√s, enquanto das amostras que não continham óleo estava compreendido entre 0,0308 e 0,09 kg/m².√s, bem próximos aos valores apresentados nesta pesquisa.

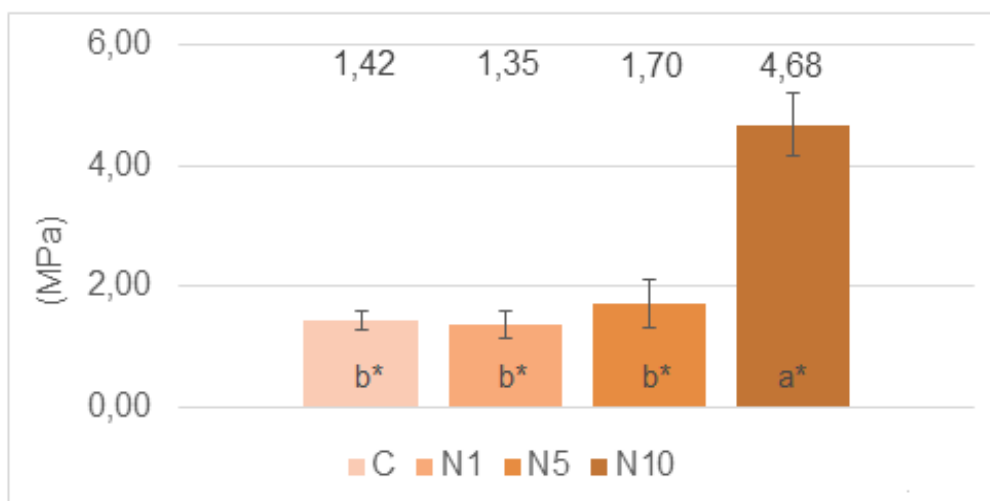
6.2.4 Resistência à compressão simples

Os resultados constam no APÊNDICE C. Entre todos os exemplares ensaiados, a amostra N1-12 foi à única que alcançou apenas 1,04 N/mm² e não

atendeu a resistência mínima exigida pela *NTE E.080 ADOBE* ($12 \text{ kgf/cm}^2 \cong 1,18 \text{ MPa}$ ou $1,18 \text{ N/mm}^2$). Contudo, a média de todos os grupos cumpriram essa exigência, com valores compreendidos entre 1,42 MPa e 4,68 MPa, como demonstra o Gráfico 6.7.

A amostra controle e as com 1% e 5% de palha de carnaúba não apresentaram diferença significativa à resistência a compressão simples como registrado no teste de Tukey de 5% de probabilidade (Apêndice D). As amostras N10, em especial a N10-3, alcançaram melhores resultados de resistência de 4,68 MPa e 5,49 MPa, respectivamente.

Gráfico 6.7 Resistência à compressão simples



Fonte: Próprio autor (2017).

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos corroboram com os de outros autores. Em suas pesquisas, Achenza e Fenu (2006) trabalharam com amostras de solos arenosos e de baixa plasticidade ($IP = 3$) para produzir tijolos de 10 cm^3 de duas composições: com adição de fibras de algas marinhas (10% em massa) e com algas marinhas e polímeros naturais (amido, açúcar goma, celulose e proteínas) provenientes de resíduos de beterraba e tomate. Em seus ensaios de compressão simples obtiveram 2,5 MPa nas amostras que continham apenas fibras e 4,4 MPa nas de algas e polímeros. Eles justificaram essa grande disparidade através de ensaios complementares de porosidade. Comprovou-se que os polímeros naturais não só preencheram os menores poros existentes no solo, como também reduziram a dispersão dos poros maiores.

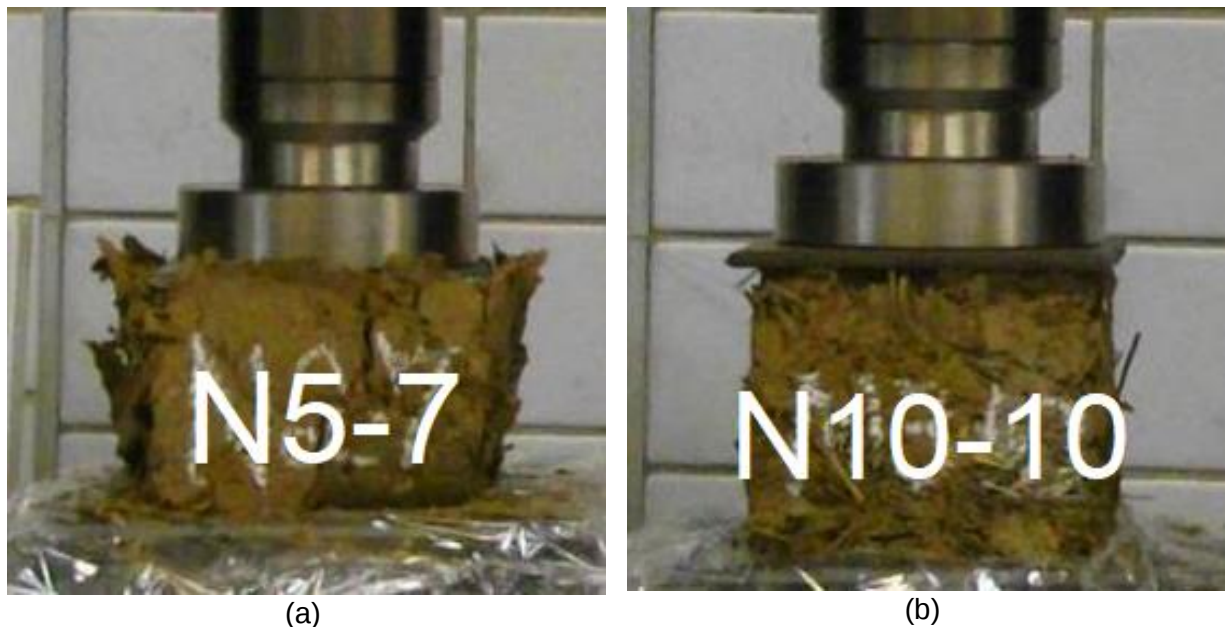
Analisando-se as imagens realizadas durante os ensaios de compressão simples e o estado dos corpos de prova após os rompimentos é possível concluir que a palha de carnaúba aderiu bem ao solo e proporcionou um excelente reforço aos adobes. Os tijolos de controle e N1 sofreram grandes deformações, com peças maiores se desprendendo do adobe conforme o ensaio prosseguia (Figura 6.5). No que se refere as amostras de N5 e N10, foram mais estáveis e suportaram melhor à carga aplicada sem se despedaçarem completamente (Figura 6.6).

Figura 6.5 Ensaio de compressão simples. a) Grupo de controle. b) Grupo N1



Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 6.6 Ensaio de compressão simples. a) Grupo N5. b) Grupo N10



Fonte: Próprio autor (2016).

Os resultados obtidos confirmam as indicações da literatura de que a fratura em tijolos não estabilizados ocorre de repente, de forma frágil, com grandes rachaduras. Enquanto a fratura nas amostras reforçadas é mais dúctil e com um número bem superior de trincas, cuja expansão está controlada pela palha aderida no solo (BOUHICHA, AOUISSI e KENAI, 2005). Além disso, as fibras preservam o formato dos tijolos e previnem que regiões próximas às superfícies rachem e se desprendam (BINICI, AKSOGAN e SHAH, 2005).

Outro fator interessante observado é que os adobes com maiores resistências à compressão também alcançaram menores valores de retração relativa. Isso pode implicar que a aderência das fibras na matriz reduziu a deformação dos tijolos e ainda refletiu positivamente sobre a resistência dos mesmos. A melhoria nas propriedades mecânicas resulta da união estável reforço/solo e esta interação depende das dimensões, da textura da superfície e da quantidade de fibras (GALÁN-MARIN, RIVERA-GÓMEZ e PETRIC, 2010).

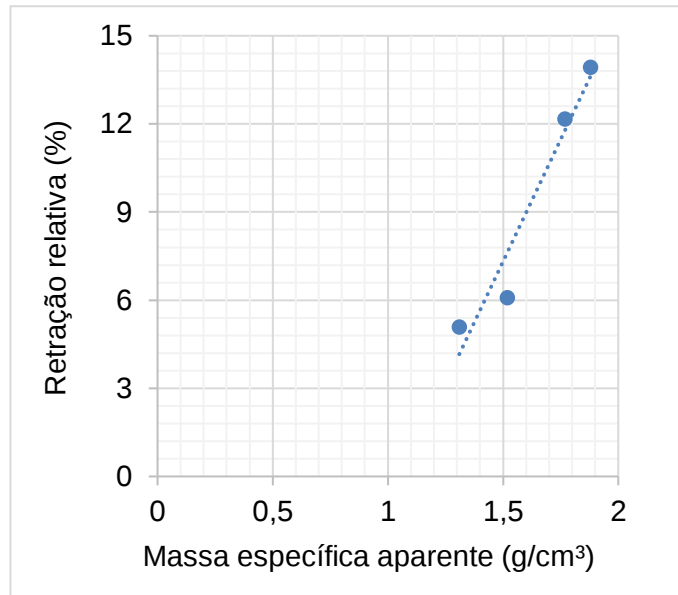
6.2.5 Correlação linear entre as propriedades dos tijolos de adobe

Os resultados dos testes de Correlação simples entre variáveis ou Correlação linear estão disponíveis no Apêndice D, Tabela E.

I. Massa específica aparente e retração relativa

O coeficiente de correlação linear obtido foi 0,9693. Na classificação de Santos (2010), trata-se de uma correlação forte positiva. Essa intensidade pode ser confirmada no Gráfico 6.8, pois os pontos da dispersão estão bem próximos à linha de tendência, indicando que as variáveis são bem correlacionadas. Como a direção se posiciona de forma positiva, se observa que à medida que os valores da massa específica aumentam, também cresce a retração relativa. O teste T indicou que o coeficiente é significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Gráfico 6.8 Gráfico de dispersão: MEA x RR

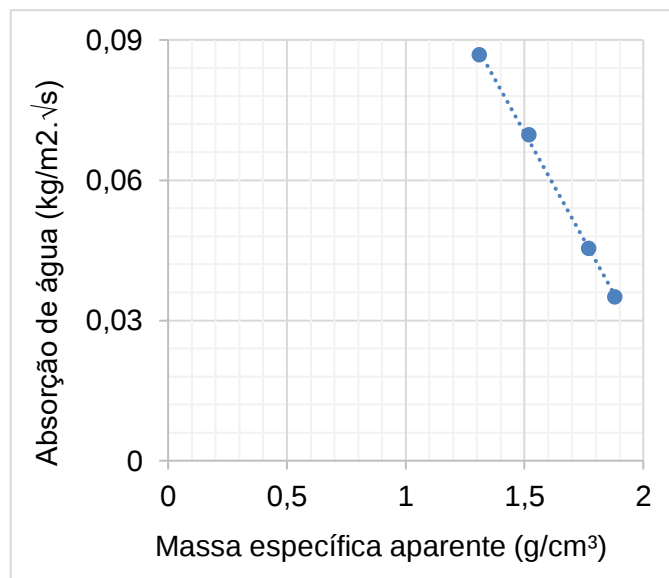


Fonte: Próprio autor (2017).

II. Massa específica aparente e absorção de água

No cálculo de correlação linear, $r = -0,9961$. Consoante a classificação de Santos (2010), trata-se de uma correlação forte negativa, quase perfeita. Como demonstrado no Gráfico 6.9, os pontos da dispersão estão bem alinhados à linha de tendência descendente. Assim, a absorção de água é maior nos tijolos mais leves, ou seja, os que possuem elevado teor de palha. O coeficiente é altamente significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

Gráfico 6.9 Gráfico de dispersão: MEA x AA

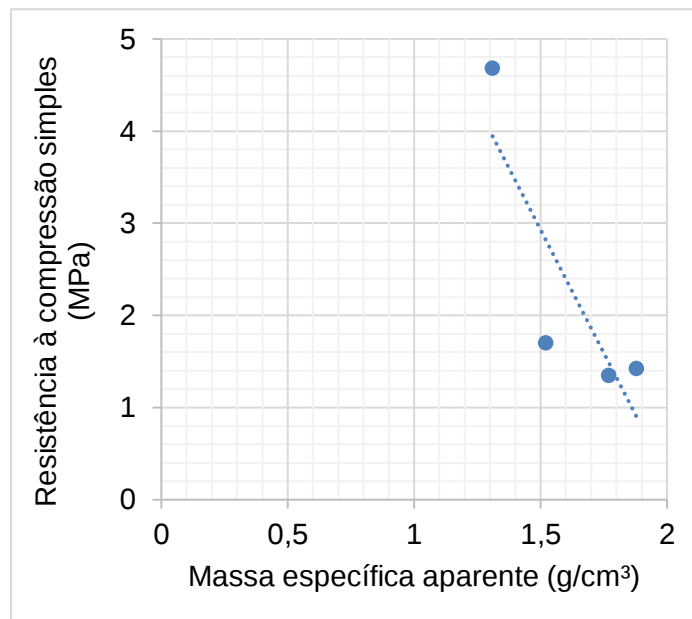


Fonte: Próprio autor (2017).

III. Massa específica aparente e resistência à compressão simples

O coeficiente de correlação linear obtido foi - 0,8535. De acordo com a classificação de Santos (2010), a correlação se enquadra como forte negativa. O valor de r foi inferior aos apresentados anteriormente porque, de acordo com o Gráfico 6.10, os pontos estão mais dispersos em relação à linha de tendência. Mas apesar da massa específica dos tijolos diminuir à proporção que a resistência à compressão simples aumenta, o teste T revelou que o coeficiente de correlação linear não é significativo. Assim, a linearidade entre as variáveis pode ser considerada uma casualidade.

Gráfico 6.10 Gráfico de dispersão: MEA x RCS

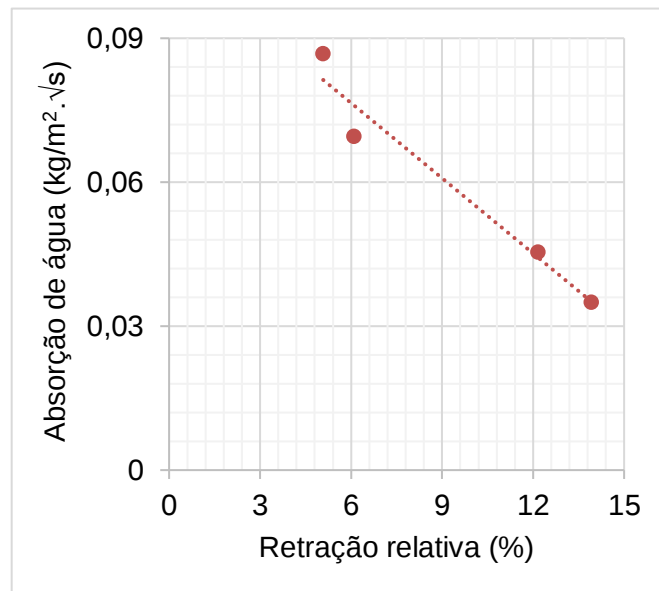


Fonte: Próprio autor (2017).

IV. Retração relativa e absorção de água

No cálculo de correlação linear, $r = - 0,9776$. A classificação de Santos (2010) determina que a correlação é forte negativa. Afinal, os pontos da dispersão estão bem próximos à linha de tendência (Gráfico 6.11). É evidente que a absorção de água alcança valores mais elevados quando a retração relativa reduz. Além disso, o teste T indicou que a significância do coeficiente de Pearson é de 5% de probabilidade.

Gráfico 6.11 Gráfico de dispersão: RR x AA

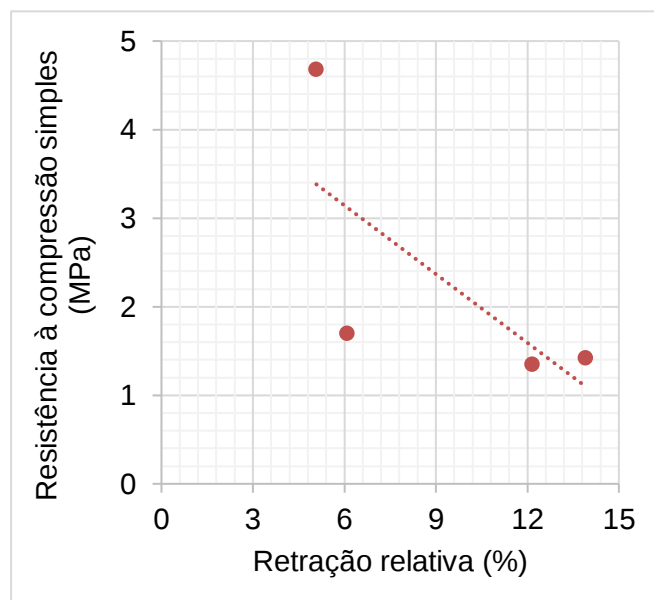


Fonte: Próprio autor (2017).

V. Retração relativa e resistência à compressão simples

O coeficiente de correlação linear obtido foi - 0,7072. A classificação de Santos (2010) indica que a correlação é moderada negativa. Isso porque a dispersão dos pontos é grande, com a presença de valores extremos no Gráfico 6.12. Apesar de existir uma linha de tendência descendente, o coeficiente r não se constata estatisticamente significativo. Logo, a linearidade entre as variáveis pode ser considerada uma casualidade.

Gráfico 6.12 Gráfico de dispersão: RR x RCS

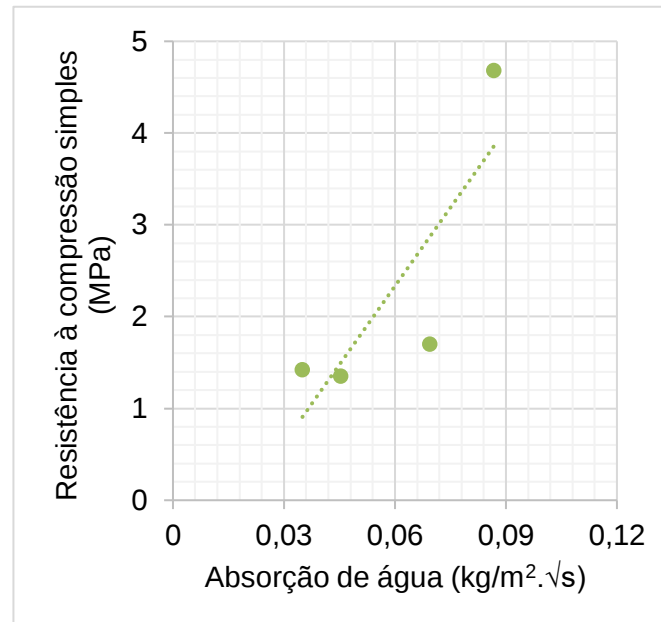


Fonte: Próprio autor (2017).

VI. Absorção de água e resistência à compressão simples

No cálculo de correlação linear, $r = 0,8332$. Segundo a classificação de Santos (2010) discorre de uma correlação forte positiva, como indica a linha de tendência no Gráfico 6.13. No entanto, o teste T revelou que o coeficiente de Pearson das duas variáveis não é significativo. Assim, a linearidade observada entre as variáveis pode ser considerada uma casualidade.

Gráfico 6.13 Gráfico de dispersão: AA x RCS



Fonte: Próprio autor (2017).

Após a análise dos coeficientes de Pearson, dos gráficos de dispersão e dos testes T, se observa que a massa específica aparente exerce influência significativa apenas sobre a retração relativa e a absorção de água. Por sua vez, a retração relativa interfere efetivamente sobre a absorção de água. Nenhuma das propriedades apresentou correlação significativa com a resistência à compressão simples. Logo, o aumento nessa resistência se deve ao maior teor de palha de carnaúba nas diversas composições de adobe.

7. CONCLUSÃO

A palha de carnaúba se mostrou eficaz na redução da massa específica aparente ($C = 1,88 \text{ g/cm}^3$, $N1 = 1,77 \text{ g/cm}^3$, $N5 = 1,52 \text{ g/cm}^3$ e $N10 = 1,31 \text{ g/cm}^3$) e da retração relativa ($C = 13,92\%$, $N1 = 12,16 \%$, $N5 = 6,09 \%$ e $N10 = 5,08\%$) dos tijolos. O coeficiente de absorção de água foi menor nos adobes com 1 e 5% de fibra ($C = 0,0350 \text{ kg/m}^2 \cdot \sqrt{s}$, $N1 = 0,0454 \text{ kg/m}^2 \cdot \sqrt{s}$, $N5 = 0,0696 \text{ kg/m}^2 \cdot \sqrt{s}$ e $N10 = 0,0868 \text{ kg/m}^2 \cdot \sqrt{s}$); contudo os adobes N5 e N10 permaneceram íntegros durante e após o ensaio, confirmando sua maior estabilidade.

Todos os adobes superaram a resistência à compressão simples de 1,18 MPa exigida na norma peruana *NTE E.080 ADOBE*. Porém, a resistência de N10 foi a mais elevada ($C = 1,42 \text{ MPa}$, $N1 = 1,35 \text{ MPa}$, $N5 = 1,70 \text{ MPa}$ e $N10 = 4,68 \text{ MPa}$), indicando que a palha de carnaúba aderiu bem à matriz de solo, permitindo menores deformações, uma fratura mais dúctil e maior resistência.

As análises estatísticas demonstraram que a massa específica aparente interfere tanto na retração relativa, quanto na absorção de água. No referente à retração relativa se correlaciona significativamente apenas com a absorção de água, tornando evidente que as propriedades exercem influência umas sobre as outras. Além disso, o teor de palha de carnaúba influenciou todas as composições de adobe, ainda que a correlação linear tenha indicado algumas casualidades.

Por conseguinte, a estabilização de solos com palha de carnaúba é uma prática viável e promissora, com resultados mais satisfatórios na proporção de 10% p/p, uma vez que o tijolo obtido apresentou desempenho físico e mecânico superior aos demais, com destaque para a resistência à compressão simples. Isso afirma a possibilidade de produzir materiais construtivos mais sustentáveis, de baixo custo e de fácil acesso à população (em especial a rural), respeitando-se não só o meio ambiente, mas também a cultura e a tradição regional.

REFERÊNCIAS

ACHENZA, M.; FENU, L. (2006). On earth stabilization with natural polymers for earth masonry construction. **Materials and Structures**.v.39, p. 21-27.doi:10.1617/s11527-005-9000-0.

AGA KHAN FOUNDATION. **Hand-Made School Rudrapur, Bangladesh**. [2007] 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.akdn.org/sites/akdn/files/media/documents/AKAA%20press%20kits/2007%20AKAA/School%20in%20Rudrapur%20%20-%20Bangladesh.pdf>>. Acesso em: 16 mar.2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:2016 – Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016a.

_____. **NBR 7180:2016 – Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016b.

_____. **NBR 6502:1995– Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7181:1984 – Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

BALTAR, C. A. M.; SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C.; PINTO, D. C. Minerais de Titânio. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F., **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. ed. 2. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p.841-863. Disponível em:<https://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/livros/rochas_&_minerais_industriais.pdf>. Acesso em: 01 set. 2017.

BARBOSA, N.P. (2003). Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In: **Coletânea Habitar - Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional**. Porto Alegre: ANTAC. vol. 2, pp. 12-39.

BERLIN WALL FOUNDATION. **Chapel of Reconciliation**. [20--]. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.berliner-mauer-gedenkstaette.de/en/press-photos-871,85,3.html>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

BERTOLINO, L.C.; PALERMO, N.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. Zirconita. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F., **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. ed. 2. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 917-930. Disponível em:<https://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/livros/rochas_&_minerais_industriais.pdf>. Acesso em: 01 set. 2017.

BINICI, H.; AKSOGAN, O.; SHAH, T. (2005). Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material. **Construction and Building Materials**. v. 19, p. 313-318. doi:10.1016/j.conbuildmat.2004.07.013.

BOUHICHA, M.; AOUISSI, F.; KENAI, S. (2005). Performance of composite soil reinforced with barley straw. **Cement& Concrete Composites**.v.27. p. 617-621. doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.09.013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Carnaúba: Coperniciaprunifera**. Série: Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável orgânico. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: MAPA/ACS, 2012. 33p.

CABRAL JUNIOR, M.; MOTTA, J.F.M.; ALMEIDA, A.S.; TANNO, L.C. Argilas para Cerâmica Vermelha. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F., **Rochas& Minerais Industriais: usos e especificações**. ed. 2. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p.747-770. Disponível em: <https://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/livros/rochas_&_minerais_industriais.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2016.

CALABRIA, J. A.; VASCONCELOS, W.L.; BOCCACCINI, A.R. (2009). Microstructure and chemical degradation of adobe and clay bricks. **Ceramics International**. v. 35. p. 665-671. doi:10.1016/j.ceramint.2008.01.026.

CALLA GARCIA, A. La Construcción con Tierra en la Cultura Andina. In: SEMINÁRIO IBEROAMERICANO DE CONSTRUÇÃO COM TERRA, 1. 2002, Salvador, **Anais...** Salvador: Projeto PROTERRA, 2002. p. 27-36.

CANTEIRO, F.; PISANI, M. A. (2006). Taipa de mão: história e contemporaneidade. In: **æ ensaios**. v. 1, n. 2. pp. 2-21.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1987. 219p.

CARVALHO, L.F.M. **Tratamentos de fibras de carnaúba [CoperniciaPrunifera (Miller) H. E. Moore] para o desenvolvimento de Compósito Biodegradável com matriz de Polihidroxibutirato**.2011, 109 p. Tese (Doutorado) –Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

CARVALHO, F.P.A.; GOMES, J.M.A. (2008). Eco-eficiência na Produção de Cera de Carnaúba no Município de Campo Maior, Piauí, 2004. **Rev. Econ. Sociol. Rural**. Brasília, v. 46, n. 2, p. 421-453, jun2008.doi: 10.1590/S0103-20032008000200006.

CEARÁ. Câmara Setorial da Carnaúba. **A carnaúba: preservação e sustentabilidade**. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2009. Disponível em: <http://www.sfipec.org.br/portaltv2/sites/sindicarnauba/files/Brochura_Carna%C3%BAb a2.pdf>. Acesso em: 08 nov 2017.

CHAN, Chee-Ming. (2011). Effect of Natural Fibres Inclusion in Clay Bricks: Physico-Mechanical Properties. **International Journal of Civil and Environmental Engineering**.v.5, n.1. p. 51-56.

CORREIA, M. (2006). Universalidade e Diversidade da Arquitetura de Terra. In: **Terra: forma de construir: arquitetura: antropologia: arqueologia / 10ª Mesa-**

Redonda de Primavera. Lisboa: Argumentum; Vila Nova de Cerveira - Escola Superior Gallaecia.

CRATerre/ Ensag. **UNESCO World Heritage Sites.** École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble. 2012. Disponível em: <http://craterre.org/accueil:galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery>. Acesso em: 16 mar. 2017.

EIRES, R.; CAMÕES, A.; JALALI, S. (2017). Enhancing water resistance of earthen buildings with quicklime and oil. **Journal of Cleaner Production.** v. 142, p. 1 -12. doi:10.1016/j.jclepro.2016.10.141.

FERNANDES, Maria. **Técnicas de Construção em Terra.** In: 10ª Mesa-Redonda de Primavera. TERRA: FORMADE CONSTRUIR. ARQUITECTURA – ANTROPOLOGIA – ARQUEOLOGIA. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto/ FLUP, 2006.

GALÁN-MARÍN, C.; RIVERA-GÓMEZ, C.; BRADLEY, F. (2013). Ultrasonic, Molecular and Mechanical Testing Diagnostics in Natural Fibre Reinforced, Polymer-Stabilized Earth Blocks. **International Journal of Polymer Science.** v. 2013, p. 1-11. doi:10.1155/2013/130582.

GALÁN-MARÍN, C.; RIVERA-GÓMEZ, C.; PETRIC, J. (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. **Construction of Building Materials.** v.24, p. 1462-1468. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.01.008.

GAUZIN-MULLER, D. **Arquitetura Ecológica.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2002.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R.D.; BARBOSA, N.P. Behavior of composite soil reinforced with natural fibres (1999). **Cement & Concrete Composites.** v.21. p. 39-48.

GUZZO, P.L. Quartzos. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F., **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações.** ed. 2. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p.681-721. Disponível em: <https://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/livros/rochas_&_minerais_industriais.pdf>. Acesso em: 26ago. 2017.

HECIMOVIĆ, A. Editorial. **The Guardian**, 2015. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/world/gallery/2015/jun/12/old-town-of-sanaa-after-airstrikes-and-before-in-pictures>>. Acesso em: 07/ 08/ 2017.

HEJAZI, S.M.; SHEIKHZADEH, M.; ABTAHI, S.M., ZADHOUSH, A. (2012). A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. **Construction and Building Materials.** v. 30, p. 100-116. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. (1994). **Earth Construction: a comprehensive guide.** London, UK: Intermediate Technology Publications.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura.** Continuação dos periódicos: Produção extrativa

vegetal e silvicultura. ISSN 0103-8435. v.1 (1986). v. 31. p.1-54. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15148: Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water absorption coefficient by partial immersion**. Genebra, 2002.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; CERQUEIRA, L.S.C.; MEDEIROS-COSTA, J.T.; BEHR, N. von. **Palmeiras no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa – SP: Editora Plantarum, 1996. 303p.

MARIANOJÚNIOR, J.A.; MARQUES, L.G.A. (2009). Cera de Carnaúba. **Cadernos de Prospecção**. v.2, n.1, p. 36-38. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/nit/article/viewFile/11545/pdf_27>. Acesso em: 06/11/2017.

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

MILLOGO, Y.; MOREL, J.C.; AUBERT, J.E.; GHAVAMI, K. (2014). Experimental analysis of Pressed Adobe Blocks reinforced with *Hibiscus cannabinus* fibres. **Construction of Building Materials**.v.52, p. 71-78.doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.10.094

MINKE, Gernot. **Manual de Construcción en tierra**. 2 ed. Montevideo: EditoraNordan-Comunidad, 2001.

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M.; LOUREIRO, F. E. L. Argilominerais: Potássio. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F., **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. ed. 2. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 175-203. Disponível em:<https://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/livros/rochas_&_minerais_industriais.pdf>. Acesso em: 01 set. 2017.

NEWMAN, M. Travel. **National Geographic**, 2010. Disponível em: <<http://www.nationalgeographic.com/travel/world-heritage/pueblo-de-taos/>>. Acesso em: 07/ 08/ 2017.

NGOWI, A.B. (1997). Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana. **Construction of Building Materials**.v.11, n.1.p.1-7. doi:10.1016/S0950-0618(97)00006-8.

OURIQUE.P.A.; CRUZ, R.C.D.; ZORZI, J.E. (2015). Influência da cera de carnaúba no comportamento reológico de misturas usadas na moldagem por injeção em baixa pressão. **Cerâmica**. v.61, p. 71-76. doi:10.1590/0366-69132015613571848.

PINEDA-PIÑÓN, J.; VEGA-DURÁN, J.T.; MANZANO-RAMÍREZ, A.; PÉREZ-ROBLES, J.F.; BALMORI-RAMÍREZ, H.; HERNÁNDEZ-LANDAUVERDE, M.A. (2007). Enhancement of mechanical and hydrophobic properties of Adobes for Building

Industry by the addition of polymeric agents. **Building and Enviroment**. v. 42. p. 877-883. doi:10.1016/j.buildenv.2005.10.009.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Taipas: A Arquitetura de Terra**. Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo – CEFET/SP, São Paulo, 2006.

RAMOS, L. M.; GÁMEZ, D. R.; COSSÍO, F. V. **Arquitectura y Construcción con Tierra**. Tradición e Innovación. Boceguillas: Maireia, 2002.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**, ed. 5. Coord. Trad. J.E.Kraus. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1996.

REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES.Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. **Norma Técnica de Edificacion NTE E.080 – Adobe**. Lima, Peru: El Peruano, 2006, p. 311 - 317. Acesso em: 03 de abril de 2015. Disponível em: <<http://www.urbanistasperu.org/rne/pdf/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>>

SANTOS, Carla. **Estatística Descritiva: Manual de Auto-aprendizagem**. 2ed. Edições Sílabo: Lisboa, 2010.

SILVA, D. N. A. C.; CARVALHO, R. (2007). Construções Ecológicas e Sustentáveis: Análise Comparativa de Custos entre Painéis em Bambu e Barro com Alvenaria de Bloco. **TecBahia: Revista Baiana de Tecnologia**. Salvador, v. 22, n. 1-3, jan./dez. 2007.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. (2016). The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**.v.11, n.39, p. 3733-3740.doi:10.5897/AJAR2016.11522.

APÊNDICE A – Massa específica aparente e Retração relativa

Tabela A.01 - Resultados dos ensaios de determinação da massa específica aparente e da retração relativa (Grupo de Controle)

$$\rho_a = \frac{V}{M} \quad \text{Eq. (5.1)}$$

Onde, ρ_a = massa específica aparente do tijolo (g/cm^3)

V = volume do tijolo (cm^3)

M = massa do tijolo (g)

$$RR = \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (5.2)}$$

Onde, RR : retração relativa(%)

V_i : volume inicial do tijolo, volume da fôrma (cm^3)

V_f : volume final do tijolo, após secagem (cm^3)

Amostras	Dimensões			V	M	ρ_a	RR
	C	L	A				
C1	9,56	9,52	9,38	853,69	1.627,53	1,91	14,63
C2	9,51	9,48	9,50	856,47	1.628,80	1,90	14,35
C3	9,52	9,53	9,24	838,30	1.623,98	1,94	16,17
C4	9,56	9,61	9,31	855,32	1.617,63	1,89	14,47
C5	9,55	9,53	9,25	841,86	1.630,05	1,94	15,81
C6	9,80	9,86	8,86	856,12	1.605,24	1,88	14,39
C7	9,56	9,66	9,13	843,15	1.623,91	1,93	15,64
C8	9,69	9,76	9,11	861,57	1.606,12	1,86	13,84
C9	9,84	9,66	9,06	861,19	1.631,64	1,89	13,88
C10	9,66	9,75	9,25	871,21	1.619,04	1,86	12,88
C11	9,33	9,75	9,69	881,48	1.625,03	1,84	11,85
C12	9,62	9,75	9,69	908,87	1.598,66	1,76	9,11
X_m	9,60	9,66	9,29	860,99	1.619,80	1,88	13,92
s	0,14	0,12	0,25	19,41	10,87	0,05	1,94

Tabela A.02 - Resultados dos ensaios de determinação da massa específica aparente e da retração relativa (Grupo N1)

$$\rho_a = \frac{V}{M} \quad \text{Eq. (5.1)}$$

Onde, ρ_a = massa específica aparente do tijolo (g/cm^3)

V = volume do tijolo (cm^3)

M = massa do tijolo (g)

$$RR = \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (5.2)}$$

Onde, RR : retração relativa (%)

V_i : volume inicial do tijolo, volume da fôrma (cm^3)

V_f : volume final do tijolo, após secagem (cm^3)

Amostras	Dimensões			V	M	ρ_a	RR
	C	L	A				
N1-1	9,56	9,66	9,34	862,55	1.559,65	1,81	13,75
N1-2	9,63	9,63	9,52	882,86	1.548,95	1,75	11,71
N1-3	9,64	9,64	9,63	894,91	1.548,21	1,73	10,51
N1-4	9,67	9,57	9,37	867,12	1.561,88	1,80	13,29
N1-5	9,48	9,48	9,94	893,31	1.544,58	1,73	10,67
N1-6	9,55	9,61	9,56	877,37	1.558,57	1,78	12,26
N1-7	9,59	9,60	9,28	854,35	1.525,16	1,79	14,57
N1-8	9,59	9,65	9,17	848,62	1.523,88	1,80	15,14
N1-9	9,64	9,54	9,56	879,19	1.545,78	1,76	12,08
N1-10	9,78	9,74	9,43	898,28	1.549,86	1,73	10,17
N1-11	9,71	9,69	9,45	889,15	1.556,38	1,75	11,09
N1-12	9,73	9,80	9,37	893,47	1.561,92	1,75	10,65
X_m	9,63	9,63	9,47	878,52	1.548,74	1,76	12,16
s	0,08	0,09	0,20	16,78	12,87	0,03	1,68

Tabela A.03 - Resultados dos ensaios de determinação da massa específica aparente e da retração relativa (Grupo N5)

$$\rho_a = \frac{V}{M} \quad \text{Eq. (5.1)}$$

Onde, ρ_a = massa específica aparente do tijolo (g/cm^3)

V = volume do tijolo (cm^3)

M = massa do tijolo (g)

$$RR = \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (5.2)}$$

Onde, RR : retração relativa (%)

V_i : volume inicial do tijolo, volume da fôrma (cm^3)

V_f : volume final do tijolo, após secagem (cm^3)

Amostras	Dimensões			V	M	ρ_a	RR
	C	L	A				
N5-1	9,89	9,96	9,29	915,11	1410,16	1,54	8,49
N5-2	9,89	9,94	9,87	970,29	1454,94	1,50	2,97
N5-3	10,06	10,10	9,44	959,16	1449,20	1,51	4,08
N5-4	10,00	10,03	9,26	928,78	1422,14	1,53	7,12
N5-5	9,95	10,17	9,53	964,35	1443,73	1,50	3,57
N5-6	9,81	9,87	9,74	943,07	1432,20	1,52	5,69
N5-7	9,83	9,84	9,67	935,35	1393,91	1,49	6,47
N5-8	9,93	9,76	9,51	921,68	1410,72	1,53	7,83
N5-9	9,88	9,84	9,53	926,50	1408,47	1,52	7,35
N5-10	10,00	10,02	9,41	942,88	1419,90	1,51	5,71
N5-11	9,87	9,94	9,80	961,46	1414,70	1,47	3,85
N5-12	9,88	10,03	9,09	900,79	1413,00	1,57	9,92
X_m	9,92	9,96	9,51	939,23	1422,76	1,51	6,09
s	0,07	0,12	0,23	21,68	18,52	0,03	2,17

Tabela A.04 - Resultados dos ensaios de determinação da massa específica aparente e da retração relativa (Grupo N10)

$$\rho_a = \frac{V}{M} \quad \text{Eq. (5.1)}$$

Onde, ρ_a = massa específica aparente do tijolo (g/cm^3)

V = volume do tijolo (cm^3)

M = massa do tijolo (g)

$$RR = \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (5.2)}$$

Onde, RR : retração relativa (%)

V_i : volume inicial do tijolo, volume da fôrma (cm^3)

V_f : volume final do tijolo, após secagem (cm^3)

Amostras	Dimensões			V	M	ρ_a	RR
	C	L	A				
N10-1	10,16	10,08	9,29	951,41	1.243,38	1,31	4,86
N10-2	10,28	10,00	9,65	992,02	1.247,37	1,26	7,98
N10-3	10,02	10,05	9,64	970,76	1.257,79	1,30	2,92
N10-4	9,90	10,26	9,44	958,86	1.232,88	1,29	4,11
N10-5	9,66	9,67	9,93	927,58	1.238,68	1,34	7,24
N10-6	9,96	9,90	9,58	944,63	1.216,50	1,29	5,54
N10-7	9,83	9,98	9,92	973,19	1.278,82	1,31	2,68
N10-8	10,13	10,17	9,19	946,77	1.241,07	1,31	5,32
N10-9	9,93	10,02	9,57	952,20	1.244,25	1,31	4,78
N10-10	9,85	9,68	9,81	935,36	1.207,93	1,29	6,46
N10-11	9,99	9,86	9,63	948,57	1.271,33	1,34	5,14
N10-12	9,95	10,11	9,55	960,68	1.255,39	1,31	3,93
X_m	9,97	9,98	9,60	955,52	1.244,62	1,30	5,08
s	0,16	0,18	0,22	17,51	20,24	0,02	1,60

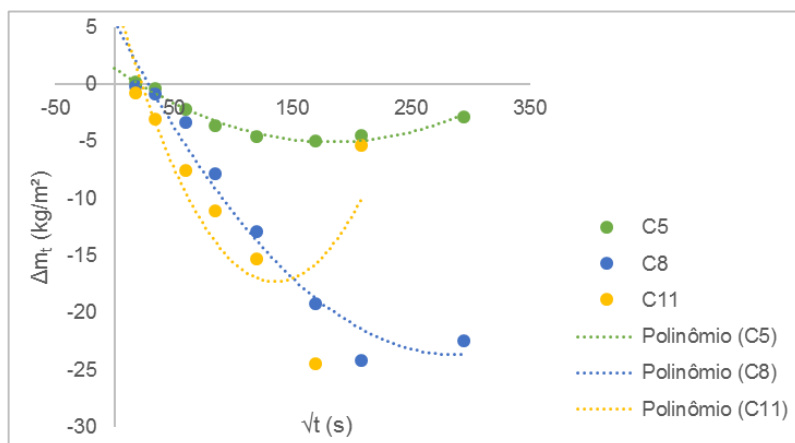
APÊNDICE B – Absorção de água por capilaridade

Tabela B.01 - Resultados do coeficiente de absorção de água por imersão parcial (Grupo de Controle)

$$\Delta m_t = \left(\frac{m_t - m_i}{A} \right) \quad \text{Eq. (5.3)}$$

Onde, Δm_t = variação da massa no tempo determinado (kg)
 m_t = massa úmida do tijolo no tempo determinado (kg)
 m_i = massa inicial do tijolo, massa seca (kg)
 A = área da base do tijolo (m²)
 t = tempo de medições (s) - 5min, 20 min, 1h, 2h, 4h, 8h, 12h, 24h

Amostra C5 $m_i = 1.6338 \text{ kg}$ $A = 100 \text{ cm}^2$			Amostra C8 $m_i = 1.6119 \text{ kg}$ $A = 100 \text{ cm}^2$			Amostra C11 $m_i = 1.6301 \text{ kg}$ $A = 100 \text{ cm}^2$		
m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t	m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t	m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t
1.6355	17.32	0.17	1.6098	17.32	-0.21	1.6221	17.32	-0.80
1.6297	34.64	-0.41	1.6031	34.64	-0.88	1.5992	34.64	-3.09
1.6113	60.00	-2.25	1.5782	60.00	-3.37	1.5548	60.00	-7.53
1.5973	84.85	-3.65	1.5335	84.85	-7.84	1.5192	84.85	-11.09
1.5882	120.00	-4.56	1.4830	120.00	-12.89	1.4773	120.00	-15.28
1.5841	169.71	-4.97	1.4197	169.71	-19.22	1.3858	169.71	-24.43
1.5892	207.85	-4.46	1.3700	207.85	-24.19	1.5762*	207.85	-5.39
1.6054	293.94	-2.84	1.3873	293.94	-22.46	—	293.94	—



$$A_w = \left(\frac{\Delta m'_{tf}}{\sqrt{86400}} \right) \quad \text{Eq. (5.5)}$$

Onde, A_w = coeficiente de absorção de água (kg/m².√s)
 $\Delta m'_{tf}$ = variação da massa no tempo final (kg)
 m_{tf} = massa úmida do tijolo no tempo final (kg)
 m_s = massa residual seca (kg)

Amostra	m_s	m_{tf}	$\Delta m'_{tf}$	A_w
C5	1.5129	1.6054	9.25	0.0315
C8	1.2742	1.3873	11.31	0.0385
C11	-	1.5762*	-	-

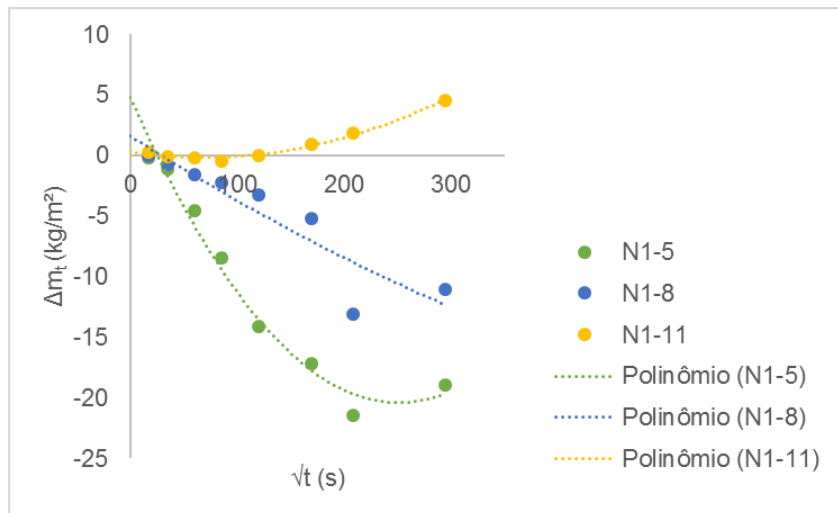
* Última pesagem, realizada com 12h. Em menos de 24h a água atingiu o topo da amostra.

Tabela B.02 - Resultados do coeficiente de absorção de água por imersão parcial (Grupo N1)

$$\Delta m_t = \left(\frac{m_t - m_i}{A} \right) \quad \text{Eq. (5.3)}$$

Onde, Δm_t = variação da massa no tempo determinado (kg)
 m_t = massa úmida do tijolo no tempo determinado (kg)
 m_i = massa inicial do tijolo, massa seca (kg)
 A = área da base do tijolo (m^2)
 t = tempo de medições (s) - 5min, 20 min, 1h, 2h, 4h, 8h, 12h, 24h

Amostra N1-5 $m_i = 1.5466$ kg $A = 100$ cm ²			Amostra N1-8 $m_i = 1.5243$ kg $A = 100$ cm ²			Amostra N1-11 $m_i = 1.5577$ kg $A = 100$ cm ²		
m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t	m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t	m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t
1.5445	17.32	-0.21	1.5243	17.32	0.00	1.561	17.32	0.33
1.5352	34.64	-1.14	1.5165	34.64	-0.78	1.5572	34.64	-0.05
1.5016	60.00	-4.50	1.509	60.00	-1.53	1.5558	60.00	-0.19
1.4626	84.85	-8.40	1.5021	84.85	-2.22	1.553	84.85	-0.47
1.4059	120.00	-14.07	1.4917	120.00	-3.26	1.5582	120.00	0.05
1.3746	169.71	-17.20	1.4723	169.71	-5.20	1.5675	169.71	0.98
1.3318	207.85	-21.48	1.3932	207.85	-13.11	1.5766	207.85	1.89
1.3571	293.94	-18.95	1.4139	293.94	-11.04	1.6029	293.94	4.52



$$A_w = \left(\frac{\Delta m'_{tf}}{\sqrt{86400}} \right) \quad \text{Eq. (5.5)}$$

Onde, A_w = coeficiente de absorção de água ($kg/m^2 \cdot \sqrt{s}$)
 $\Delta m'_{tf}$ = variação da massa no tempo final (kg)
 m_{tf} = massa úmida do tijolo no tempo final (kg)
 m_s = massa residual seca (kg)

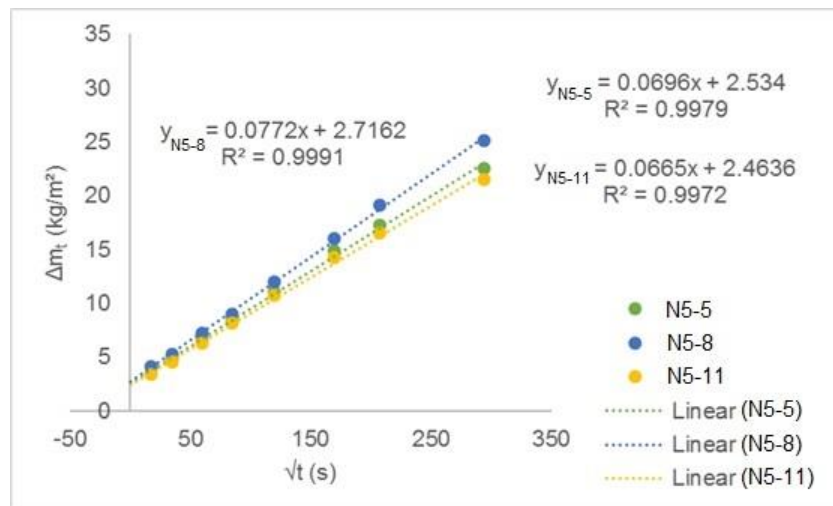
Amostra	m_s	m_{tf}	$\Delta m'_{tf}$	A_w
N1-5	1.2126	1.3571	14.45	0.0492
N1-8	1.2481	1.4139	16.58	0.0564
N1-11	1.5126	1.6029	9.03	0.0307

Tabela B.03 - Resultados do coeficiente de absorção de água por imersão parcial (Grupo N5)

$$\Delta m_t = \left(\frac{m_t - m_i}{A} \right) \quad \text{Eq. (5.3)}$$

Onde, Δm_t = variação da massa no tempo determinado (kg)
 m_t = massa úmida do tijolo no tempo determinado (kg)
 m_i = massa inicial do tijolo, massa seca (kg)
 A = área da base do tijolo (m²)
 t = tempo de medições (s) - 5min, 20 min, 1h, 2h, 4h, 8h, 12h, 24h

Amostra N5-5			Amostra N5-8			Amostra N5-11		
$m_i = 1.4466$ kg			$m_i = 1.4123$ kg			$m_i = 1.4109$ kg		
$A = 100$ cm ²			$A = 100$ cm ²			$A = 100$ cm ²		
m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t	m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t	m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t
1.4819	17.32	3.53	1.4539	17.32	4.16	1.4448	17.32	3.39
1.4955	34.64	4.89	1.4652	34.64	5.29	1.4568	34.64	4.59
1.5124	60.00	6.58	1.4851	60.00	7.28	1.4738	60.00	6.29
1.5304	84.85	8.38	1.5027	84.85	9.04	1.4924	84.85	8.15
1.5573	120.00	11.07	1.5319	120.00	11.96	1.5184	120.00	10.75
1.5951	169.71	14.85	1.5727	169.71	16.04	1.5532	169.71	14.23
1.619	207.85	17.24	1.6035	207.85	19.12	1.5762	207.85	16.53
1.6718	293.94	22.52	1.6632	293.94	25.09	1.6256	293.94	21.47



$$A_w = \left(\frac{\Delta m'_{tf} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}} \right) \quad \text{Eq. (5.4)}$$

Onde, A_w = coeficiente de absorção de água (kg/m².√s)
 $\Delta m'_{tf}$ = variação da massa no tempo final (kg)
 $\Delta m'_0$ = variação da massa quando $t=0$ (kg)
 t_f = tempo final de duração do ensaio (s)

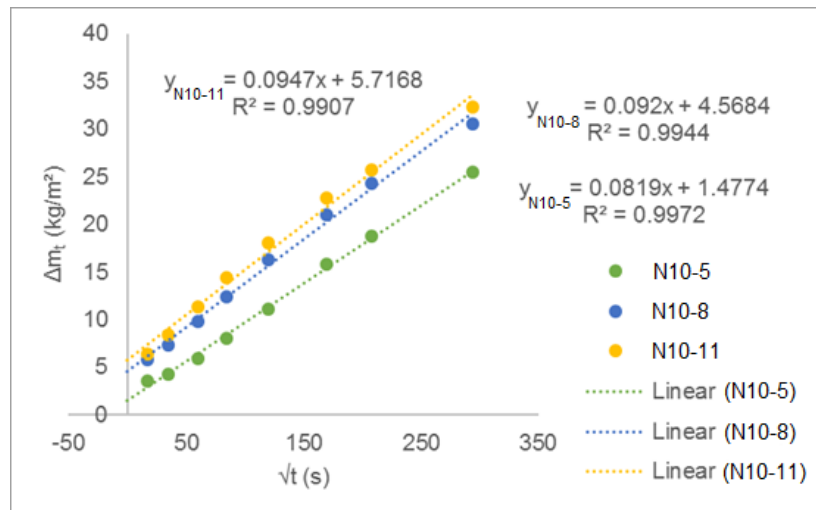
Amostra	m_i	m_{tf}	$\Delta m'_{tf}$	$\Delta m'_0$	A_w
N5-5	1.4466	1.6718	22.52	2.5340	0.0680
N5-8	1.4123	1.6632	25.09	2.7162	0.0761
N5-11	1.4109	1.6256	21.47	2.4636	0.0647

Tabela B.04 - Resultados do coeficiente de absorção de água por imersão parcial (Grupo N10)

$$\Delta m_t = \left(\frac{m_t - m_i}{A} \right) \quad \text{Eq. (5.3)}$$

Onde, Δm_t = variação da massa no tempo determinado (kg)
 m_t = massa úmida do tijolo no tempo determinado (kg)
 m_i = massa inicial do tijolo, massa seca (kg)
 A = área da base do tijolo (m^2)
 t = tempo de medições (s) - 5min, 20 min, 1h, 2h, 4h, 8h, 12h, 24h

Amostra N10-5			Amostra N10-8			Amostra N10-11		
$m_i = 1.2311 \text{ kg}$			$m_i = 1.2428 \text{ kg}$			$m_i = 1.2792 \text{ kg}$		
$A = 100 \text{ cm}^2$			$A = 100 \text{ cm}^2$			$A = 100 \text{ cm}^2$		
m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t	m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t	m_t	$\sqrt{t}$	Δm_t
1.2669	17.32	3.58	1.301	17.32	5.82	1.343	17.32	6.38
1.2734	34.64	4.23	1.3157	34.64	7.29	1.3628	34.64	8.36
1.2901	60.00	5.90	1.3409	60.00	9.81	1.3926	60.00	11.34
1.3111	84.85	8.00	1.367	84.85	12.42	1.4229	84.85	14.37
1.3422	120.00	11.11	1.4058	120.00	16.30	1.4599	120.00	18.07
1.3891	169.71	15.80	1.4529	169.71	21.01	1.5067	169.71	22.75
1.4182	207.85	18.71	1.4856	207.85	24.28	1.5368	207.85	25.76
1.4854	293.94	25.43	1.5485	293.94	30.57	1.6024	293.94	32.32



$$A_w = \left(\frac{\Delta m'_{tf} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}} \right) \quad \text{Eq. (5.4)}$$

Onde, A_w = coeficiente de absorção de água ($kg/m^2 \cdot \sqrt{s}$)
 $\Delta m'_{tf}$ = variação da massa no tempo final (kg)
 $\Delta m'_0$ = variação da massa quando $t=0$ (kg)
 t_f = tempo final de duração do ensaio (s)

Amostra	m_i	m_{tf}	$\Delta m'_{tf}$	$\Delta m'_0$	A_w
N10-5	1.2311	1.4854	25.43	1.4774	0.0815
N10-8	1.2428	1.5485	30.57	4.5684	0.0885
N10-11	1.2792	1.6024	32.32	5.7168	0.0905

APÊNDICE C – Resistência à compressão simples

Tabela C.01 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples
(Grupo de controle)

$$f_c = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (5.6)}$$

Onde, f_c : resistência à compressão ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$)

F : força máxima suportada (N)

A : área da seção transversal do corpo de prova (mm^2)

Amostra	A	F	f_c
C1	9,101.12	11,649.00	1.28
C3	9,072.56	11,480.90	1.27
C4	9,187.16	13,446.90	1.46
C7	9,234.96	15,510.40	1.68
C10	9,418.50	13,095.70	1.39
C12	9,379.50	13,700.30	1.46
$\bar{x}_m$	9,232.30	13,147.20	1.42
s	142.20	1,483.53	0.15

Tabela C.02 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples
(Grupo N1)

$$f_c = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (5.6)}$$

Onde, f_c : resistência à compressão ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$)

F : força máxima suportada (N)

A : área da seção transversal do corpo de prova (mm^2)

Amostra	A	F	f_c
N1-1	9,234.96	15,048.00	1.63
N1-3	9,292.96	11,244.40	1.21
N1-4	9,254.19	14,115.90	1.53
N1-7	9,263.94	13,423.70	1.45
N1-10	9,525.72	11,835.90	1.24
N1-12	9,535.40	9,917.38	1.04
$\bar{x}_m$	9,351.20	12,597.55	1.35
s	140.23	1,928.06	0.22

Tabela C.03 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples
(Grupo N5)

$$f_c = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (5.6)}$$

Onde, f_c : resistência à compressão ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$)

F : força máxima suportada (N)

A : área da seção transversal do corpo de prova (mm^2)

Amostra	A	F	f_c
N5-1	9,850.44	18,413.40	1.87
N5-3	10,160.60	21,393.00	2.11
N5-4	10,030.00	15,228.40	1.52
N5-7	9,672.72	20,818.60	2.15
N5-10	10,020.00	12,209.90	1.22
N5-12	9,882.96	13,205.20	1.34
$\bar{x}_m$	9,936.12	16,878.08	1.70
s	170.76	3,905.71	0.40

Tabela C.04 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples
(Grupo N10)

$$f_c = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (5.6)}$$

Onde, f_c : resistência à compressão ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$)

F : força máxima suportada (N)

A : área da seção transversal do corpo de prova (mm^2)

Amostra	A	F	f_c
N10-1	10,241.28	48,000.00	4.69
N10-3	10,070.10	55,288.60	5.49
N10-4	10,157.40	49,938.50	4.92
N10-7	9,810.34	42,150.30	4.30
N10-10	9,534.80	44,316.20	4.65
N10-12	10,059.45	40,376.40	4.01
$\bar{x}_m$	9,978.90	46,678.33	4.68
s	261.21	5,519.23	0.51

APÊNDICE D – Análises Estatísticas

Tabela D.01 – Análise de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade: Massa específica aparente

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	2.40499	0.80166	703.2367 **
Resíduo	44	0.05016	0.00114	
Total	47	2.45515		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)
 ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	44	4.2617	703.2367	<.0001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	1.88333	a
2	1.76500	b
3	1.51583	c
4	1.30500	d
dms =	0.03681	

MG = 1.61729

CV% = 2.09

Ponto médio = 1.60000

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.89487	0.00043	Não

SIGLAS E ABREVIACÕES

FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
 SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
 F = Estatística do teste F MG = Média geral
 CV% = Coeficiente de variação em %
 dms = Diferença mínima significativa

REFERÊNCIA DO ASSISTAT

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. Afr. J. Agric. Res, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.
 DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

Tabela D.02 – Análise de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade: Retração relativa

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	691.46875	230.48958	66.6626 **
Resíduo	44	152.13242	3.45755	
Total	47	843.60117		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)				
ns não significativo ($p \geq .05$)				

GL	GLR	F-crit	F	p
3	44	4.2617	66.6626	<.0001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	13.91833	a
2	12.15750	a
3	6.08750	b
4	5.08000	b

dms = 2.02707

MG = 9.31083

CV% = 19.97

Ponto médio = 9.42500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.93022	0.00695	Não

SIGLAS E ABREVIACÕES

FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
 SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
 F = Estatística do teste F MG = Média geral
 CV% = Coeficiente de variação em %
 dms = Diferença mínima significativa

REFERÊNCIA DO ASSISTAT

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. Afr. J. Agric. Res, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.
 DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

Tabela D.03 – Análise de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade: Resistência à compressão simples

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	46.06205	15.35402	124.7204 **
Resíduo	20	2.46215	0.12311	
Total	23	48.52420		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	20	4.9382	124.7204	<.0001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	1.42333	b
2	1.35000	b
3	1.70167	b
4	4.67667	a
dms =	0.56723	

MG = 2.28792

CV% = 15.34

Ponto médio = 3.26500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.72969	0.00003	Não

SIGLAS E ABREVIACÕES

FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
 SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
 F = Estatística do teste F MG = Média geral
 CV% = Coeficiente de variação em %
 dms = Diferença mínima significativa

REFERÊNCIA DO ASSISTAT

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. Afr. J. Agric. Res, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.
 DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

Tabela E – Coeficiente de correlação de Pearson (r)

CORRELAÇÃO SIMPLES ENTRE VARIÁVEIS

MATRIZ DE CORRELAÇÃO

VA\VA	MEA	RR	AA	RCS
MEA	1	0.9693	-0.9961	-0.8535
RR	*	1	-0.9776	-0.7072
AA	**	*	1	0.8332
RCS	ns	ns	ns	1

TABELA DE CORRELAÇÃO

CORRELAÇÃO		COEF. CORR (r)	SIGNIF.
MEA	x RR	0.9693	*
MEA	x AA	-0.9961	**
MEA	x RCS	-0.8535	ns
RR	x AA	-0.9776	*
RR	x RCS	-0.7072	ns
AA	x RCS	0.8332	ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Foi aplicado o Teste t aos níveis de 5 e 1%
Informa-se que as correlações são lineares

DADOS

REPET	MEA	RR	AA	RCS
1	1.8800	13.9200	0.0350	1.4200
2	1.7700	12.1600	0.0454	1.3500
3	1.5200	6.0900	0.0696	1.7000
4	1.3100	5.0800	0.0868	4.6800

REPET = REPETIÇÃO

REFERÊNCIA DO ASSISTAT

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. Afr. J. Agric. Res, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.
DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

ANEXO A – Granulometria por Peneiramento

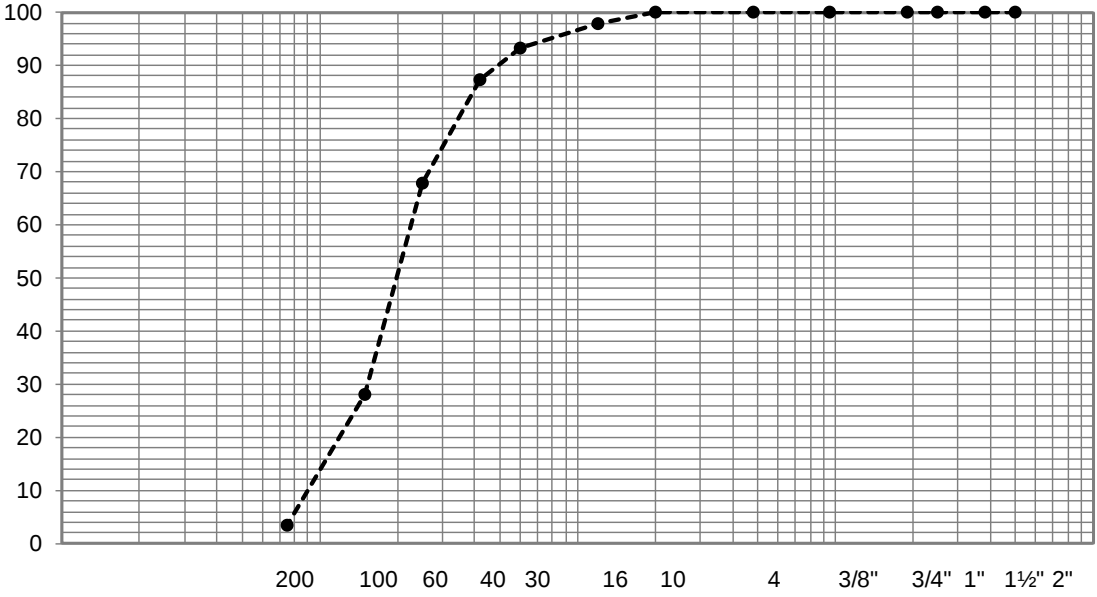
		2º BEC					
LABORATÓRIO DE SOLOS, ASFALTO E CONCRETO							
Ensaio de Granulometria por Peneiramento							
UMIDADE	%	%	AMOSTRA	Total	Parcial		
Cápsula - Nº	1	2	Cápsula - Nº	3			
Peso Bruto Úmido	159.17	158.99	Peso Úmido Total	1000.00			
Peso Bruto Seco	157.63	157.51					
Peso da Cápsula	39.17	38.99	Peso Seco Lavado Total (Mt)	475.96			
Peso da Água	1.54	1.48	Peso Seco Retido na # Nº 16 (Mg)	10.36			
Peso do Solo Seco	118.46	118.52	Peso Seco Pass. na # Nº 16	465.60			
Umidade	1.3	1.2	Massa total da amostra seca (Ms)	469.98			
Umidade Média (h)	1.3						
Peneiramento							
Amostra Total	Peneiras		Peso Retido	Peso Retido	% Passante	Peneiras	$Ms = \frac{(Mt - Mg)}{(100 + h)} \times 100 + Mg$ $Qg = \frac{(Ms - Mi)}{(Ms)} \times 100$
	Pol	mm	Parcial	Acumulado	(Qg)	Pol	
	2"	50	0.0	0.0	100.00	2	
	1½"	38	0.0	0.0	100.00	1½"	
	1"	25	0.0	0.0	100.00	1"	
	¾"	19	0.0	0.0	100.00	¾"	
	⅜"	9.5	0.0	0.0	100.00	⅜"	
	nº4	4.8	0.0	0.0	100.00	nº4	
	nº10	2.0	0.0	0.0	100.00	nº10	
	nº16	1.2	10.36	10.36	97.80	nº16	
	nº30	0.6	21.80	32.16	93.16	nº30	
	nº40	0.42	27.28	59.44	87.35	nº40	
	nº60	0.25	92.13	151.57	67.75	nº60	
	nº100	0.15	186.86	338.43	27.99	nº100	
	nº200	0.075	114.90	453.33	3.54	nº200	
Obs: GRANULOMETRIA LAVADA NA PENEIRA Nº 200							

AREIA FINA

AREIA MÉDIA

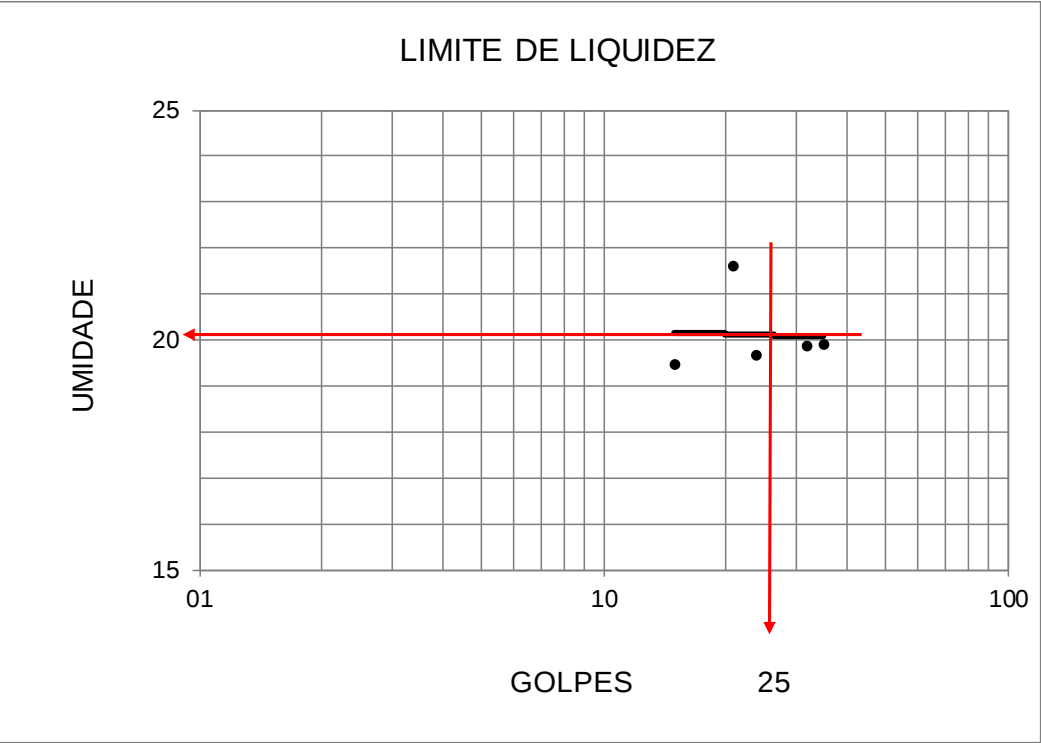
AREIA GROSSA

PEDREGULHO



PENEIRAS

ANEXO B – Índice de Plasticidade

	2º BEC							
LABORATÓRIO DE SOLOS, ASFALTO E CONCRETO								
Ensaio de Determinação do Índice de Plasticidade								
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula	N.º	01	02	03	04	05	Operador:	SD DAEL
Golpes	g	35	32	24	21	15		
Peso Bruto Úmido	g	15.21	14.28	12.26	11.66	12.70	Data:	21.07.2016
Peso Bruto Seco	g	13.96	13.12	11.27	10.70	11.65		
Peso da Cápsula	g	7.68	7.28	6.24	6.26	6.26	Calculista:	CB CLEYDSON
Peso da Água	g	1.25	1.16	0.99	0.96	1.05		
Peso do Solo Seco	g	6.28	5.84	5.03	4.44	5.39		
Umidade	%	19.9	19.9	19.7	21.6	19.5		
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula	N.º	A	B	C	D	E	LL	20.1%
Peso Bruto Úmido	g	43.65	42.67	42.56	42.07	-	LP	13.7%
Peso Bruto Seco	g	43.07	42.25	42.16	41.66	-		
Peso da Cápsula	g	38.97	39.01	39.07	38.90	-	OBS: IP :	6.4%
Peso da Água	g	0.58	0.42	0.40	0.41	-		
Peso do Solo Seco	g	4.10	3.24	3.09	2.76	-		
Umidade	%	14.1	13.0	12.9	14.9	-		
LIMITE DE LIQUIDEZ								
								
Material:	Argila amarela			Operador: Sd Dael				
Origem:	Oeiras - PI			Calculista: Cb Cleydson				
Destino:	Dissertação Thaís Carvalho			Data: 21.07.2016				