



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARATERIZAÇÃO GEOQUÍMICA,
MINERALÓGICA E GEOTÉCNICA DE
SOLOS PARA A CONSTRUÇÃO EM TERRA
NA PROVÍNCIA DA HUÍLA, ANGOLA**

Piedade E. Martins Wachilala

Orientação | Prof^ª. Doutora Isabel Maria Ratola Duarte

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

Évora, 2018



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARATERIZAÇÃO GEOQUÍMICA,
MINERALÓGICA E GEOTÉCNICA DE
SOLOS PARA A CONSTRUÇÃO EM TERRA
NA PROVÍNCIA DA HUÍLA, ANGOLA**

Piedade E. Martins Wachilala

Orientação | Prof^ª. Doutora Isabel Maria Ratola Duarte

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

Évora, 2018

“Penso 99 vezes e nada descubro. Deixo de pensar, mergulho no silêncio e a verdade me é revelada”.

Albert Einstein, 1879-1955

“Dedico esta dissertação à minha família, por tudo aquilo que representa na minha vida”.

Agradecimentos

Primeiro manifesto a minha gratidão a Deus, pela sua justiça, proteção, amor e compaixão.

À minha querida orientadora Professora Doutora Eng^a. Isabel Maria Ratola Duarte a quem devo a orientação científica e a revisão crítica deste trabalho, nas suas distintas etapas, pelos seus ensinamentos e sobretudo, pela confiança, carinho e a atenção que indubitavelmente me ofereceu, para a concretização dos objetivos previamente propostos.

Ao Professor Doutor António Bastos Pinho, pela sua disponibilidade, colaboração e inúmeras sugestões na elaboração desta dissertação, e ao Laboratório HERCULES da Universidade de Évora, na pessoa do Professor Doutor José Mirão, pelas suas imensas sugestões pertinentes e facilidades na realização dos ensaios de FRX e DRX.

Ao Professor Doutor Luís Lopes, Diretor do Departamento de Geociências da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, e à Professora Doutora Eng^a. Paula Faria, pela vossa simplicidade e simpatia.

Ao Departamento de Geociências, por ter disponibilizado todos os meios técnicos e tecnológicos do Laboratório, necessários para o desenvolvimento dos trabalhos laboratoriais. Em especial à Sandra (Técnica de Laboratório), pela sua disponibilidade, simpatia e sobretudo, pelo apoio técnico nos ensaios de laboratório.

Um agradecimento especial para a Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e ao Centro de Investigação GeoBioTec - Portugal, pelo apoio na elaboração e divulgação dos artigos científicos publicados, desenvolvidos no âmbito desta dissertação.

À Direção Provincial da Indústria, Geologia e Minas da Huíla - Angola, por ter colaborado e autorizado o transporte das amostras de solos para análise laboratorial em Portugal.

Igualmente tem a minha gratidão o Professor Doutor Manuel Sahando Neto, pelo apoio moral, confiança e sobretudo pela amizade fraternal e inquebrantável.

Aos meus colegas do curso de Mestrado em Engenharia Geológica, em particular à Eng^a. Madalena Semedo, pelos vários momentos partilhados na academia.

E por último, mas muito relevante, à minha amada esposa Raquel Wachilala, pelo seu amor e cúmplice de parte dos momentos da minha vida, e aos meus filhos Ermér, Emília e Madalena. À minha querida mãe Ermelinda Candeia Martins e aos meus queridos irmãos Matias, Prazeres, Lútero, Rubem e Lúcia, pela convivência fraterna e pelo apoio incondicional em todos os momentos. Ao meu pai Alberto Wachilala (*em memória*), aos meus sobrinhos, e também às minhas cunhadas pelo carinho e ao Pastor Dias, sempre presentes nos bons e nos maus momentos.

A todos uma profunda gratidão.

<<Ndapandula!>>

Resumo

A construção em terra crua na província da Huíla representa uma importância histórica e cultural que tem sido desenvolvida durante séculos, amplamente utilizada por famílias de baixa renda. Os métodos construtivos caracterizam-se pela utilização de madeiras, fibras vegetais e terra, no âmbito das técnicas construtivas como o adobe e o pau-a-pique e ainda, a taipa e mais recentemente em BTC (Bloco de Terra Comprimida). Porém, o adobe constitui-se como a técnica de construção em terra crua mais utilizada. Apesar de amplamente praticada, nesta região a construção em terra crua atualmente está sujeita a graves problemas associados a um deficiente processo construtivo. Neste trabalho, realizaram-se os ensaios expeditos *in-situ* para caracterizar o geomaterial no local, nomeadamente: a cor, cheiro, tato, brilho, queda da bola, sedimentação e retração, assim como para identificar as anomalias existentes na construção em terra crua e posteriormente, os ensaios laboratoriais para caracterizar as propriedades mineralógicas de oito amostras de solos utilizados na construção em terra crua na província da Huíla, mediante a aplicação da técnica de análise química por espectrometria de Fluorescência de raios-X (FRX) e análise mineralógica por Difração de raios-X (DRX), assim como as características geotécnicas (dimensões das partículas do solo, consistência, expansibilidade, densidade, compactação). Além disso, para avaliar a durabilidade e erodibilidade dos adobes foram realizados os testes Geelong. A caracterização destes geomateriais permitiram identificar as suas potencialidades e limitações como material de construção em terra crua nesta região. Os resultados obtidos, põem em evidência que as propriedades mineralógicas controlam as propriedades geotécnicas dos solos e o comportamento dos mesmos quando utilizados na construção em terra.

Palavras-Chave: Caracterização dos solos, Geomateriais, Construção em terra crua, Ecoconstrução, Huíla, Angola.

Geochemical, mineralogical and geotechnical characterization of soils for construction on raw earth in Huíla province, Angola

ABSTRACT

The construction on raw earth in the province of Huíla represents a historical and cultural importance that has been developed for centuries. The construction methods are characterized by the use of wood, vegetable fibers and earth, in the scope of the constructive techniques like the adobe, wattle-and-daub, and more recently on CEB (Compressed Earth Block). However, adobe is the most used raw-land construction technique, mainly used by low income families. In this work, in-situ tests were carried out to characterize the geomaterial at the site, namely: color, smell, touch, brightness, ball drop, sedimentation and retraction, and to identify existing anomalies in the construction on raw earth and later, the laboratory tests to characterize the mineralogical properties of eight soil samples used in the construction in raw earth in the province of Huíla, using the technique of chemical analysis by X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) and mineralogical analysis by Diffraction of X-ray (XRD), and the determination of geotechnical characteristics (particle size distribution, consistency, swelling, density, compaction). Furthermore, Geelong tests (according to the standards NZS 4298, 1998) were used to evaluate the durability and erodibility of the adobes. The characterization of these geomaterials allowed to identify their potentialities and limitations as raw material for construction in this region. The results show that the mineralogical properties control the geotechnical properties of the soils and their behavior when used in the construction on earth.

KEYWORDS: Soils characterization, Geomaterials, Construction on raw earth, Ecoconstruction, Huíla, Angola.

Índice

Agradecimentos.....	II
Resumo.....	IV
Abstract.....	V
Índice de figuras.....	VII
Índice de tabelas.....	XII
Lista dos anexos.....	XIII
Acrónimos, abreviaturas e simbologia.....	XIV
Capítulo I Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do tema.....	2
1.2 Objetivos	4
1.3 Estrutura da dissertação.....	5
Capítulo II Construção em Terra.....	6
2.1 Contextualização da construção em terra.....	7
2.2 Enquadramento histórico da construção em terra no mundo.....	10
2.3 Construção em terra em África.....	15
2.4 Construção em terra em Angola.....	19
2.4.1 Construção em terra na Huíla.....	22
2.5 Principais vantagens e limitações da construção em terra.....	24
2.6 Principais patologias associadas à construção em terra.....	27
2.7 Técnicas construtivas em terra.....	28
2.7.1 O adobe.....	28
2.7.1.1 Vantagens e desvantagens da construção em adobe.....	30
2.7.2 Taipa.....	30
2.7.2.1 Vantagens e desvantagens da técnica de construção.....	32

2.7.3 Pau-a-Pique.....	33
2.7.4 Bloco de Terra Comprimida – BTC.....	34
Capítulo III Enquadramento regional.....	39
3.1 Geografia.....	40
3.2 Clima e vegetação.....	41
3.3 Geomorfologia.....	43
3.4 Geologia.....	46
3.5 Pedologia.....	51
3.6 Aspectos sociais.....	55
Capítulo IV Metodologia.....	60
4.1 Trabalho de campo e amostragem.....	61
4.2 Métodos de construção em terra crua na província da Huíla.....	63
4.3 Ensaios expeditos <i>in-situ</i>	65
4.3.1 Testes tátil e visuais.....	65
4.3.2 Teste da queda da bola.....	66
4.3.3 Teste de retração.....	67
4.3.4 Teste de sedimentação ou teste da garrafa.....	68
4.4 Ensaios de laboratório.....	68
4.4.1 Análise granulométrica.....	69
4.4.2 Limites de consistência.....	71
4.4.2.1 Limite de Liquidez.....	71
4.4.2.2 Limite de Plasticidade.....	73
4.4.2.3 Índice de Plasticidade.....	75
4.4.3 Ensaio de expansibilidade.....	75
4.4.4 Determinação da densidade das partículas.....	77

4.4.5 Propriedades químicas e mineralógicas.....	78
4.4.5.1 Descrição do ensaio por espectrometria de fluorescência de raios-X.....	78
4.4.5.2 Descrição do ensaio por difração de raios-X.....	79
4.4.6 Teste de durabilidade e de erosão pelo método de Geelong.....	82
4.4.6.1 Objetivo do ensaio.....	82
4.4.6.2 Descrição geral do ensaio.....	82
4.4.7 Ensaio de compactação do tipo Proctor.....	82
4.4.7.1 Finalidade.....	82
4.4.7.2 Descrição geral do ensaio.....	83
Capítulo V Apresentação e discussão dos resultados.....	84
5.1 Ensaio expedito <i>in-situ</i>	85
5.2 Ensaio no laboratório.....	88
5.2.1 Propriedades físicas.....	88
5.2.2 Caracterização química.....	90
5.2.3 Caracterização mineralógica.....	93
5.2.4 Durabilidade e erodibilidade dos adobes.....	97
5.2.5 Ensaio de compactação.....	98
Capítulo VI Considerações finais.....	100
Referências bibliográficas.....	104
Anexos	113

Índice de figuras

Figura 2.1- Localização de construções em terra, em todos os continentes (CRAterre, 1979).....	7
Figura 2.2 - Diagrama de classificação dos diferentes tipos de construção em terra. In Houben e Guillaud, (1984).....	9
Figura 2.3 - A Grande Muralha da China (V-III a.C. – XV-XVII d.C.) Guerreiro, 2009).....	10
Figura 2.4 - Abóbadas Nubianas do túmulo de Ramsés II, Gourná, Egipto (1300 a.C.) (Minke, 2006).....	11
Figura 2.5 - Ilustração egípcia com indicação do método de fabrico e execução de paredes de adobe em 1.500 a.C (Schroeder, 2012).....	11
Figura 2.6 - Produção de adobes no Iémen (Varanda, 2009).....	12
Figura 2.7 - Cidade de Shibam erguida em adobe, Iémen (Ásia) (Varanda, 2009).....	12
Figura 2.8 - Edifício em taipa, Weilburg, Alemanha (1828) (Mike, 2012).....	13
Figura 2.9 - Pirâmide do Sol de Teotihuacan, México (Pacheco-Torgal et al., 2009).....	14
Figura 2.10 - Pueblo de Taos, Novo México (Estados Unidos da América) ((WHEAP, 2012).....	14
Figura 2.11 - Vale do Draa, Marrocos (250 anos) (Guerreiro, 2009).....	15
Figura 2.12 - A Grande Mesquita de Djenné, atualmente a maior obra em terra crua, construída em adobe, Mali (1280 d.C.) (África Ocidental). Fonte: Jahn, 2005; Williams e Kniveto (2011).....	16
Figura 2.13 – Escarpado de Bandiagara e as Habitações Dogon, Djenné, Mali. Fonte: Jahn (2005).....	17
Figura 2.14 – Habitação de barro em Kougkon, Mali. Fonte: Jahn (2005).....	17
Figura 2.15 – Habitações de barro, Povoado de Mourla, Camarões. Fonte: Jahn (2005).....	18
Figura 2.16 – Cubata de abobe, redonda sem divisória. Município da Matála, Huíla. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	20
Figura 2.17 – Habitação vernacular em Angola. Fonte: Fotografia de Wachilala.	20
Figura 2.18 – A) Musseques de Luanda: Bairro suburbano. Fonte: Guedes, et al., 2011). B) Antiga capela, construída em terra no tempo colonial, Província do Moxico (Leste de Angola). Fonte: Ganduglia (2012).....	21
Figura 2.19 - a) Casa de adobe na cidade do Lubango (antiga Sá da Bandeira), construído na década de 40 do século XX. Fonte: Diniz et al, (2012). b) Casa de adobe em Kaluquembe, construída no tempo colonial. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	22
Figura 2.20 – Tipologia de habitação amplamente praticada atualmente na Província da Huíla. a) Construção de casa de adobe no Município da Chibia; b) Construção de casa de adobe no Município de Kaluquembe. Fonte: Fotografia	

de Wachilala.....	23
Figura 2.21 – Casas de adobe sem reboco exterior, Comuna da Negola, Kaluquembe. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	23
Figura 2.22 - Ilustração de algumas patologias estruturais nas habitações: degradação por fissuração, na Província da Huíla. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	24
Figura 2.23 – Moldagem manual dos blocos de adobes. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	29
Figura 2.24 – Secagem ao ar livre dos blocos de adobes. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	29
Figura 2.25 – Taipal para produção de paredes de taipa. Fonte: Ribeiro e Braga (2003).....	31
Figura 2.26 – Casas de pau-a-pique amplamente utilizada na construção tradicional da Região Sul de Angola. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	33
Figura 2.27 – Construção tradicional de pau-a-pique, Região do Leste de Angola. Fonte: Ganduglia (2012).....	34
Figura 2.28 – Infraestruturas construídas com recurso a BTC, Kuanza Sul, Região Centro Litoral de Angola. Fonte: Ganduglia (2012).....	36
Figura 3.1 - A Província da Huíla, com a localização geográfica das povoações onde se recolheram as amostras de solos: Lubango, Humpata, Chibia, Quipungo, Matala e Kaluquembe. Fonte: elaborado por Wachilala a partir da base de dados do IGCA.....	40
Figura 3.2 - Mapa de Angola segundo a classificação climática de Koppen. Retângulo: área de estudo (Província da Huíla) adaptado de Azevedo et al. (1972).....	42
Figura 3.3 - O topo aplanado do Planalto da Humpata-Bimbe, favorecido pela estruturação sub-horizontal do Grupo Chela, pode ser visto como uma meseta resultante da conjugação de elementos estruturais e episódios de aplanção. Fonte: Pereira et al. (2013).....	44
Figura 3.4 - Planalto da Humpata-Bimbe, próximo do miradouro da Fenda da Tundavala (Lubango). O topo plano coincide com a estratificação horizontal a sub-horizontal das unidades do Grupo Chela. Fonte: Pereira et al. (2013).....	45
Figura 3.5- Zona da Fenda da Tundavala (Lubango), vista para NW. A distância de horizontes que se divisa desta particularidade morfológica, permite abarcar grande extensão da superfície intermédia que termina de encontro ao escarpado vertical, de quase 1000 metros de desnível, designado por grande escarpado da Serra da Chela. Fonte: Fotografia de Wachilala	45
Figura 3.6 - Cainde, Virei, vista para SW. A Superfície Intermédia, que diminui progressivamente as suas cotas para SW, exibindo alguns relevos residuais do tipo Inselberg. Fonte: Pereira et al. (2013).....	46
Figura 3.7 – Enquadramento geológico da província da Huíla. Adaptada da Carta Geológica de Angola, LNICT (1980).....	47
Figura 3.8 – Calcários dolomíticos da Formação da Leba: A) Bancada com	

estromatólitos. B) Pormenor de uma estrutura estromatólitica. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	48
Figura 3.9 - Coluna litoestratigráfica do Grupo Chela e da Formação da Leba (Pinho et al., 2013).....	49
Figura 3.10 - Principais classes de solos de Angola (adaptado de Sertoli, 2009 in Ngongo, 2014). Solos predominantes no Sudoeste de Angola (lado direito) (Diniz, 2006). Retângulo: área de estudo (Província da Huíla).....	54
Figura 3.11 - Distribuição do teor de argila nos solos no sudoeste de Angola. Adaptado de Baptista (2014). Retângulo: Pormenor da área de estudo.....	55
Figura 3.12- Criação de gado, Lubango. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	56
Figura 3.13 – A) Grupo etnolinguístico Nhaneca Humbe (o autor no lado direito da foto A). B) casas de pau-a-pique da tribo Nhaneca Humbe. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	57
Figura 3.14 - Habitação vernacular na Província da Huíla, Angola. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	58
Figura 3.15 - Produção de adobes na Província da Huíla: (A) Mistura do solo com água e salalé (seta vermelha); (B) Molde duplo em madeira com argamassa; (C) Secagem ao ar livre dos blocos de adobes; (D) Edificação da obra. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	59
Figura 4.1 - Organigrama da metodologia adoptada.....	62
Figura 4.2 – Teste da queda da bola - aspecto do espalhamento em função do tipo de solo: a) solo argiloso, b) solo arenoso. Fonte: Neves, et al., 2005).....	66
Figura 4.3 – Teste de retração dos solos nas argolas (5 cm de diâmetro; 1 cm de altura): a) antes da secagem; b) após 48 horas de secagem ao ar. Fonte: Fotografia de Wachilala... ..	67
Figura 4.4 – Teste de sedimentação ou da garrafa: a) teste onde existe ainda uma quantidade de partículas em suspensão. Fonte: Fotografia de Wachilala. b) Indicações sobre o cálculo das fracções de cada componente do solo. Fonte: Neves et al., 2011).....	68
Figura 4.5 - Preparação geral das amostras de solos no laboratório: (A) Amostras de solo quantificadas; B) Desagregação dos torrões; C) Repartição dos solos. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	69
Figura 4.6 - Análise granulométrica: a) peneiros com malhas de diferentes dimensões. b) análise granulométrica por peneiração húmida para se obter a desagregação das partículas mais finas dos provetes de solos. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	70
Figura 4.7 - Determinação dos limites de liquidez dos provetes de solos pela concha de Casagrande. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	73
Figura 4.8 - Determinação dos limites de plasticidade dos provetes de solos. A) Filamento cilíndrico dos provetes da amostra a ensaiar; B) Provetes a serem ensaiados. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	74
Figura 4.9 – Deflectómetro usado para o ensaio de expansibilidade. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	76

Figura 4.10 - Determinação das densidades das partículas do solo: (A) Picnómetros com os provetes de solos e água destilada; (B) Provetes de solos em ebulição (C) Pesagem dos provetes de solos. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	77
Figura 4.11 - Esquema representativo do princípio da técnica de fluorescência de raios-X e o típico arranjo de deteção de FRX (Adaptado de Council, 2013).....	78
Figura 4.12 - Provetes de solos a serem ensaiados para a análise de fluorescência de raios-X (FRX) e de difracção de raios-X (DRX). Fotografia de Wachilala.....	79
Figura 4.13 - Esquema de um difractómetro de fonte linear. Fonte: Carvalho (2008).....	80
Figura 4.14 - Esquema de um difractograma que se pode obter se a amostra fosse constituída pelos espécimes na figura em caixa; mostra as fases presentes (pela posição dos picos); a concentração das fases (pela altura dos picos); conteúdo amorfo (background) e a dimensão dos cristais (pela largura dos picos). Fonte: Carvalho (2008).....	81
Figura 4.15 – Sistema experimental do teste de erosão pelo método de Geelong “Geelong Test” (Carvalho, 2008).....	82
Figura 4.16 – Ensaio de compactação Proctor leve: (A) Molde pequeno com solo. (B) Pesagem dos provetes de solos. (C) Equipamento de compactação. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	83
Figura 5.1 - Análise do tamanho das partículas dos solos estudados, com escala ABNT.....	90
Figura 5.2 - Diagramas de difracção de raios-X correspondentes ao solo Kc. Os picos dos minerais identificados: C – Caulinite; Qz – Quartzo; e – Interestratificados clorite-esmectite; H - Hematite.....	94
Figura 5.3 - Diagramas de difracção de raios-X correspondentes ao solo Qq. Os picos dos minerais identificados: C – Caulinite; Qz – Quartzo.....	94
Figura 5.4- Diagramas de difracção de raios-X correspondentes ao solo Lt. Os picos dos minerais identificados: M – Moscovite; C – Caulinite; Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico.....	95
Figura 5.5- Representação gráfica dos resultados obtidos através do ensaio de compactação tipo Proctor.....	99

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Resumo do diagrama estabelecido pelo grupo CRATerre, das três grandes famílias de sistemas de construção em terra antigos e modernos (Guillaud e Hubert; 1989).....	9
Tabela 4.1 - Método de produção de adobes na Província da Huíla.....	64
Tabela 4.2 - Métodos de construção de casas na Província da Huíla	65
Tabela 4.3 – Malha de peneiros utilizados ASTM.....	70
Tabela 4.4 – Classificação de Atterberg baseada no comportamento “plástico” dos solos (Folque 1991).....	75
Tabela 5.1 - Resultados dos ensaios expeditos in-situ de cada tipo de solo utilizados na produção de adobes.....	85
Tabela 5.2 - Resultados do teste de sedimentação “teste da garrafa” dos solos nas localidades da Província da Huíla: percentagem das partículas de areia, silte e argila.....	86
Tabela 5.3 - Resultado do teste de retração dos solos utilizados na produção de adobes.....	87
Tabela 5.4 - Características físicas e Classificação dos solos utilizados na construção em terra crua.....	89
Tabela 5.5 - Composição química de amostras de solos utilizados na construção em terra crua na província da Huíla.....	91
Tabela 5.6 - Índice de variação química nos solos utilizados na construção em terra crua na província da Huíla.....	92
Tabela 5.7 - Composição mineralógica semi-quantitativa (%) dos solos utilizados na construção em terra crua na província da Huíla.....	96
Tabela 5.8 - Resultados do ensaio de erosão pelo método de Geelong.....	97
Tabela 5.9 - Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor).....	98

Lista dos anexos

Figura 1 - Morro de térmitas (salalé), Município da Matala. Fonte: Fotografia de Wachilala.....	114
Figura 2 - Realização de ensaios in-situ: Teste de retração. A) Argolas com solo húmido. B) Após 48 horas de secagem ao ar.....	114
Figura 3 – Realização de ensaios in-situ: Ensaio de sedimentação “Teste da garrafa”.....	114
Tabela 1 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Mk.....	115
Figura 4 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Mk, com escala ABNT.....	115
Figura 5 – Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Mk.....	115
Tabela 2 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Hh.....	116
Figura 6 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Hh, com escala ABNT.....	116
Figura 7 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Hh.....	116
Tabela 3 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Qq.....	117
Figura 8 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Qq, com escala ABNT.....	117
Figura 9 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Qq.....	117
Tabela 4 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Cc.....	118
Figura 10 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Cc, com escala ABNT.....	118
Figura 11 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Cc.....	118
Tabela 5 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Ks.....	119
Figura 12 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Ks, com escala ABNT.....	119
Figura 13 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Ks.....	119
Tabela 6 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Kc.....	120
Figura 14 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Kc, com escala ABNT.....	120
Figura 15 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Kc.....	120
Tabela 7 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Lt.....	121
Figura 16 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Lt, com escala ABNT.....	121
Tabela 8 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Lh.....	122
Figura 17 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Lh, com escala ABNT.....	122
Tabela 9 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de liquidez, exemplo da amostra Lh.....	123
Figura 18 – Representação gráfica resultante do ensaio de determinação do limite de liquidez, exemplo da amostra Lh.....	123

Tabela 10 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de plasticidade, exemplo da amostra Lh.....	123
Tabela 11 – Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de liquidez, exemplo da amostra Lt.....	124
Figura 19 – Representação gráfica resultante do ensaio de determinação do limite de liquidez, exemplo da amostra Lt.....	124
Tabela 12 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de plasticidade, exemplo da amostra Lt.....	124
Tabela 13 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Lh.....	125
Tabela 14 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Lt.....	126
Tabela 15 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Mk.....	127
Tabela 16 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Ks.....	128
Tabela 17 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Kc.....	129
Tabela 18 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Qq.....	130
Tabela 19 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Hh.....	131
Tabela 20 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Cc.....	132
Tabela 21 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Cc.....	133
Tabela 22 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Mk.....	134
Tabela 23 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Qq.....	135
Tabela 24 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Kc.....	136
Tabela 25 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Ks.....	137
Tabela 26 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Hh.....	138
Tabela 27 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Lt.....	139
Tabela 28 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Lh.....	140
Tabela 29 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Kc.....	141
Tabela 30 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Ks.....	142
Tabela 31 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Lh.....	142
Tabela 32 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Hh.....	143
Tabela 33 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Lt.....	143

Tabela 34 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Qq.....	144
Tabela 35 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Mk.....	144
Tabela 36 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Cc.....	145
Figura 20 – Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Cc. Os picos dos minerais identificados: C – Caulinite; Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico.....	145
Figura 21 – Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Hh. Os picos dos minerais identificados: Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico; M – Moscovite; C – Caulinite; e – Interestratificados clorite esmecite.	146
Figura 22 - Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Mk. Os picos dos minerais identificados: M – Moscovite; C – Caulinite; Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico.....	146
Figura 23 - Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Lh. Os picos dos minerais identificados: M – Moscovite; C – Caulinite; Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico.....	147
Figura 24 - Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Ks. Os picos dos minerais identificados: C – Caulinite; Qz – Quartzo; G – Gibbsite.....	147

Acrónimos, abreviaturas e simbologia

UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
IGCA	Instituto Geográfico Cartográfico de Angola
LNEC	Laboratório nacional de Engenharia Civil
NP	Norma portuguesa
CRATerre	Centre International de la Construction en Terre
Proterra	Rede Ibero-Americana de Arquitetura e Construção com Terra
BTC	Blocos de Terra Comprimida
BS	British Standard
ASTM	American Society for Testing and Materials
NZS	New Zealand Standard
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
USCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
FRX	Fluorescência de raios-X
DRX	Difracção de raios-X
LL ou W_l	Limite de liquidez
W_{lc}	Limite de liquidez BS - Cone
LP ou W_p	Limite de plasticidade
IP	Índice de plasticidade
Ref.	Referência
a.C	antes de Cristo
d.C	depois de Cristo
ω	Teor em água ótimo (%)
Y_d	Peso volúmico seco (KN/m ³)

Capítulo I Introdução

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

A construção em terra está representada nos cinco continentes, alojando 60% da população mundial e em mais de 10% dos monumentos da lista do Património Mundial da Humanidade. O seu recente desenvolvimento deve-se à sua sustentabilidade económica, social e ambiental, associada a níveis de poluição quase nulos e a níveis de humidade interior benéficos para a saúde humana, possuindo assim vantagens competitivas que lhe auguram um futuro promissor e competitivo em relação à construção convencional. Entre as técnicas de construção em terra no mundo inteiro, destaca-se: a taipa, o adobe, o bloco de terra compactada (BTC) e o tabique ou pau-a-pique.

Em Angola, a construção em terra crua é uma herança histórica, física e cultural muito utilizada pelas famílias de baixo rendimento (Wachilala, et al., 2016). Numerosas edificações em terra crua, construídas com base em métodos e técnicas ancestrais, encontram-se distribuídas por todo o país, e foram construídas pelos vários grupos étnicos. Existe um número considerável de estruturas feitas em adobe, pau-a-pique, taipa e mais recentemente em BTC, sendo o adobe a técnica mais utilizada, pela eficiência do geomaterial como isolante térmico, pelo seu baixo custo e pelas características físicas e mecânicas dos solos utilizados no fabrico dos adobes. A construção em terra crua na Província da Huíla é atualmente notória em grande escala, nas zonas urbanas e rurais, cujas características construtivas e materiais utilizados diferem sobretudo em função do rendimento das próprias famílias e dos materiais disponíveis, seguindo os padrões ancestrais. As dimensões das casas, geralmente, são mínimas em quantidade e dimensão, não satisfazendo as necessidades de habitabilidade das famílias que normalmente são numerosas. De acordo com Wachilala et al. (2017), a tipologia construtiva muda com as características físico-geográficas das distintas regiões da Huíla, sendo definida essencialmente pelos recursos materiais localmente disponíveis, mas também, decorrente dos hábitos culturais e estilos de economia tradicional praticada. No entanto,

atualmente, a construção em terra crua está sujeita a graves problemas associados a um deficiente processo construtivo (ver subcapítulos 2.4.1 e 2.5). O “saber fazer” constituía a fonte do conhecimento, que era transmitido de geração em geração. As propriedades dos solos que mais condicionam o desempenho das estruturas em terra crua, relacionam-se com a composição mineralógica e física do solo, principalmente a da fração argilosa, que influencia o comportamento mecânico, nomeadamente a resistência à compressão e a durabilidade dos adobes. Associando o trabalho científico ao conhecimento ancestral, estas soluções construtivas podem ser melhoradas e otimizadas, respondendo às necessidades sociais, económicas e ambientais atuais (Duarte et al., 2014, 2015; Pedro et al., 2015, 2016). Este tipo de Ecoconstrução, típica da região da Huíla, aplicando técnicas tradicionais aos solos resultantes da alteração das rochas locais, constitui um verdadeiro Património Geológico.

Existem ainda poucos trabalhos científicos no domínio da avaliação textural, química, mineralógica e geotécnica de solos utilizados na construção em terra crua nesta região (Duarte et al., 2014). A caracterização química, mineralógica, física e geotécnica dos solos utilizados na construção em terra na Província de Huíla, constitui o objeto de estudo deste trabalho, decorrente do desenvolvimento de trabalhos anteriores realizados e publicados recentemente, sobre esta região por Wachilala et al. (2016; 2017; 2018a; 2018b) inserido no âmbito de um projeto que visa melhorar e otimizar essas soluções construtivas, respondendo às demandas atuais de sustentabilidade social, económica e ambiental.

O comportamento de um determinado solo é função da quantidade de argilas, siltes e areias, existentes nesse solo e também da quantidade de água presente nesse solo (Pacheco-Torgal et al., 2009). Duarte (2002) refere que os solos apresentam exigências específicas na sua identificação e caracterização. Assim, para além das classificações clássicas da Mecânica dos Solos, deverão incluir-se a descrição do perfil de alteração e aspectos químicos, mineralógicos e físicos dos materiais presentes. De acordo com Duarte et al. (2017), a composição mineralógica pode afetar o comportamento físico e mecânico dos materiais geológicos utilizados na

construção. Por isso, não é possível fazer-se uma avaliação geotécnica completa e fiável dos solos utilizados na construção em terra crua, sem o contributo fundamental da análise dos dados texturais em correspondência com a análise dos dados mineralógicos.

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho foi realizado em 4 fases: numa primeira fase efetuou-se a pesquisa e a recolha de informação pré-existente, numa segunda fase efetuou-se o reconhecimento geomorfológico, geológico e pedológico, numa terceira fase efetuou-se o trabalho de campo e amostragem em vários locais dos municípios do Lubango, Kaluquembe, Matala, Quipungo, Chibia e Humpata, e numa quarta fase foram realizados ensaios laboratoriais em amostras de solos, recolhidas nos locais selecionados da Província da Huíla e posterior tratamento dos dados obtidos. O trabalho laboratorial desta dissertação foi realizado no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Geociências da Escola de Ciências e Tecnologia, da Universidade de Évora, sendo a Difração de Raios X e a Fluorescência de raios-X, realizadas no Laboratório HÉRCULES da Universidade de Évora.

Com este trabalho pretende-se contribuir com mais informação sobre a caracterização geoquímica, mineralógica e geotécnica dos solos utilizados na produção de adobes na Província da Huíla, abrangendo algumas localidades dos seis municípios selecionados para este estudo, cujos resultados permitirão contribuir para o desenvolvimento de soluções construtivas sustentáveis (em termos económicos, sociais e ambientais) com recurso aos materiais naturais e inspiradas nos métodos tradicionais em Angola e em particular, na Província da Huíla.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como principais objetivos os seguintes:

- Identificar e relacionar a composição química e mineralógica dos solos com as respetivas características físicas e geotécnicas, de forma a identificar as suas potencialidades e limitações como geomaterial de construção em terra crua na Província da Huíla;

- Contribuir para o desenvolvimento de soluções construtivas com recurso aos materiais naturais e inspiradas nos métodos tradicionais,
- Desenvolvimento de soluções sustentáveis em termos económicos, sociais e ambientais;
- Contribuir para a Gestão dos Recursos Naturais e Ambiente;
- Reconciliação entre o Património Cultural Imaterial e o desenvolvimento Tecnológico proporcionando soluções confortáveis para a habitação e perfeitamente enquadradas no ambiente natural e nos hábitos da população.

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho divide-se em seis capítulos que correspondem a cada etapa de um conjunto de estudos necessários para realizar a caracterização geoquímica, mineralógica e geotécnica dos solos utilizados na produção de adobes na província da Huíla, através de realização de ensaios expeditos *in-situ* e de laboratório.

O primeiro capítulo constitui a presente introdução, onde se procurou fazer o enquadramento científico da investigação e elencar os respetivos objetivos, e elucidar a estrutura da dissertação. No segundo capítulo faz-se um estudo do estado da arte, no qual se expõe as linhas principais sobre a construção em terra no mundo, em África, Angola e particularmente na Província da Huíla. No terceiro capítulo é feita uma caracterização da região de estudo do ponto de vista geográfico, geomorfológico, geológico e pedológico e, por fim, são abordados alguns aspetos sociais. O quarto capítulo é de carácter metodológico, em que é feita uma descrição geral sobre o trabalho de campo realizado e a recolha das amostras de solos, tratamento de dados dos ensaios expeditos *in-situ* e de laboratório para a caracterização dos solos utilizados na produção de adobes na Província da Huíla, do ponto de vista geoquímico, mineralógico e geotécnico. No quinto capítulo são apresentados os resultados e a respetiva discussão, e mais adiante no sexto capítulo, as considerações finais, e algumas sugestões para trabalhos a desenvolver no futuro. Por fim, as referências bibliográficas utilizadas, os anexos e apêndices com informação complementar à existente nos distintos capítulos deste trabalho.

CAPÍTULO II CONSTRUÇÃO EM TERRA

CAPÍTULO II

CONSTRUÇÃO EM TERRA

2.1 Contextualização da construção em terra

Em quase todos os climas tropicais, semiáridos e temperados do mundo, a terra tem sido o material de construção predominante. Ainda hoje, um terço da humanidade vive em moradias de terra (Figura 2.1), que vão desde modestas casas aos grandes palácios, igrejas ou castelos, de que existem diversos exemplos em várias partes do mundo, inclusive em Angola. Nos países em vias de desenvolvimento a construção e terra é utilizada por mais de metade da população (Minke, 2005).



Figura 2.1 – Localização de construções em terra, em todos os continentes.
(CRATerre, 1979).

Na Índia, é estimado que existam 73 milhões de habitações em terra, enquanto na China esse número ronda 100 milhões (Rael, 2009). No Peru, as casas construídas em terra representam 40% do número total das habitações (Blondet et al., 2011). Cerca de 20% do património cultural e 30% dos aglomerados urbanos da lista do património mundial da UNESCO são construídos em terra. Tudo isto faz da terra o material de construção mais utilizado no mundo (Houben, 2011).

A construção em terra surge de forma aparentemente independente em várias partes do mundo e está regularmente associado com a movimentação dos povos e com o seu processo de sedentarização. Posteriormente, através

do desenvolvimento das civilizações e das trocas comerciais, as técnicas de construção foram sendo partilhadas e equiparadas entre si (Jaquin, 2012).

A terra foi utilizada como material de construção em todos os continentes, o que lhe dá um carácter claramente universal. Atualmente, nota-se um crescente interesse por construções ambientalmente sustentáveis, e também pela necessidade em minimizar o déficit habitacional, em todo o mundo. Deste modo, as técnicas de construção com terra vêm sendo resgatadas (Silva et al., 2014), pelas múltiplas vantagens relacionadas com o custo de montagem e manutenção que permitem a sua aplicação pela população local, utilizando matéria-prima local sem exigir transporte, para além de que o material utilizado pode ser reciclado, ou seja, não gera resíduos, e por fim privilegia a mão-de-obra local.

Existem três categorias principais de construção de paredes envolvendo o uso de terra crua. Na Figura 2.2 e Tabela 2.1, ilustram-se as três grandes famílias de construção em terra, estabelecidas pelo grupo CRATerre (Centre International de la Construction en Terre) que compreendem assim o uso da terra sob a forma de:

- A. Estruturas monolíticas em terra;
- B. Alvenarias de terra (aqui entendida como a construção com unidades inicialmente manufaturadas) e,
- C. Sistemas de preenchimento em terra de estruturas portantes.

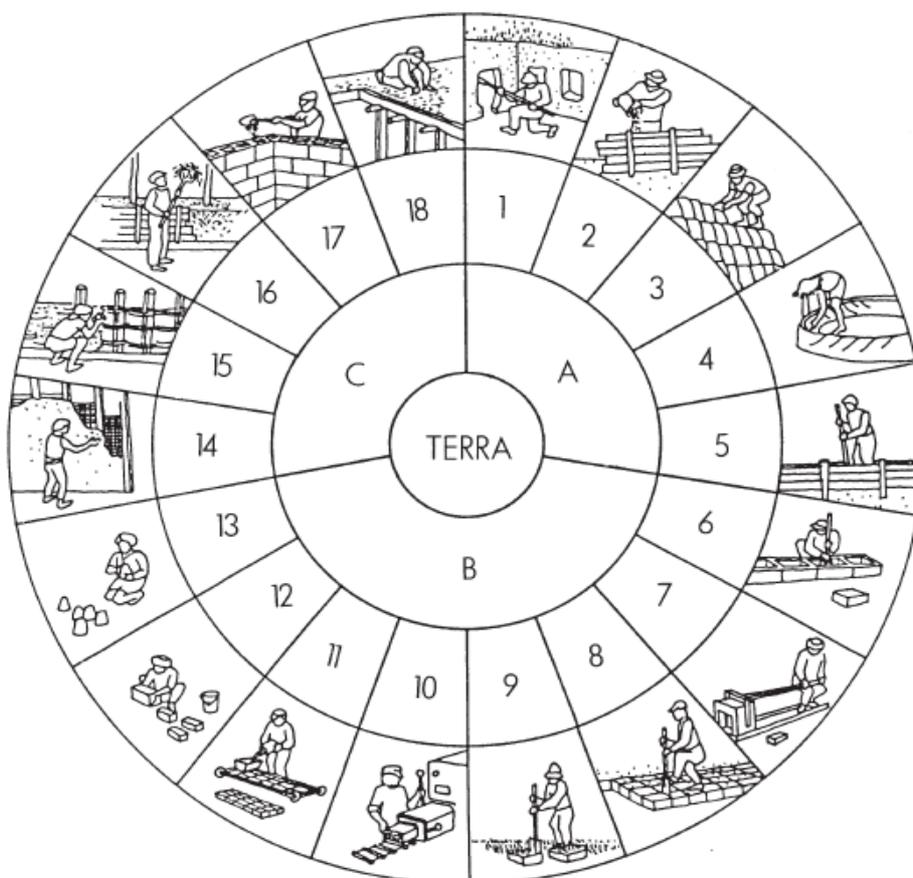


Figura 2.2 - Diagrama de classificação dos diferentes tipos de construção em terra. In Houben e Guillaud, (1984).

Tabela 2.1- Resumo do diagrama estabelecido pelo grupo CRATerre, das três grandes famílias de sistemas de construção em terra antigos e modernos (Guillaud e Hubert (1989).

A. Estruturas monolíticas em terra	B. Alvenaria de terra	C. Terra como preenchimento de estrutura
1 Terra escavada	6 - Blocos apilados	14 Terra de recobrimento
2 Terra plástica	7 - Blocos prensados	15 - Terra sobre engradado
3 Terra empilhada	8 - Blocos cortados	16 - Terra palha
4 Terra modelada	9 - Torrões de terra	17 - Terra de enchimento
5 Terra prensada (taipa)	10 - Terra extrudida	18 - Terra de cobertura
	11 - Adobe mecânico	
	12 - Adobe manual	
	13 - Adobe moldado	

2.2 Enquadramento histórico da construção em terra no mundo

O uso de terra crua tem a sua origem nas mais antigas civilizações humanas (Dethier, 1982), provavelmente, nas planícies da Mesopotâmia e do Nilo, ricas em depósitos aluvionares, excelentes para a construção em terra, onde de forma geral, nasceram e se hierarquizaram as primeiras e prestigiadas formas e técnicas arquitetónicas de terra há uns 10.000 anos, de acordo com estudos arqueológicos (González e Couceiro, 2005). A povoação bíblica de Jericó, ao que parece, foi a primeira cidade a ser construída em terra comprovada através de vestígios arqueológicos. São inúmeros os casos de construções em terra, que executadas há alguns milhares de anos atrás, conseguiram chegar ao século XXI (Pacheco-Torgal et al., 2009). A terra como matéria-prima foi usada para edificar tanto pequenas construções como monumentos de grande importância militar e religiosa. A grande Muralha da China (Figura 2.3), construída a partir do século III a.C., segundo Dethier (1982), é considerada a maior construção da humanidade, a qual foi originalmente, construída apenas em terra batida, sendo mais tarde coberta de pedras e tijolos, dando-lhe a aparência de um muro de pedra (Santiago, 2005).



Figura 2.3 – A Grande Muralha da China (V-III a.C. – XV-XVII d.C.) (Guerreiro, 2009).

O edifício mais antigo de barro ainda pode ser visto no Egipto, em Gourná (Figura 2.4), que foi construído por volta de 1300 a.C., as abóbadas do templo de Ramsés II (Torres, 2005). Segundo Pacheco-Torgal et al, (2009) apresenta trechos bastante extensos construídos em taipa. Porém, muitos

trechos que inicialmente foram construídos em taipa, só mais tarde é que foram revestidos com alvenaria de pedra.



Figura 2.4 – Abóbadas Nubianas do túmulo de Ramsés II, Gourná, Egípto (1300 a.C.) (Minke, 2006).

Por outro lado, Schroeder (2012) refere que existem registos pintados, identificando o método de produção de adobes e paredes de adobe no antigo Egípto (1.500 a.C), que já serviam, à época, como documentos normativos de construção em terra (Figura 2.5).



Figura 2.5 - Ilustração egípcia com indicação do método de fabrico e execução de paredes de adobe em 1.500 a.C (Schroeder, 2012).

Na Figura 2.6 ilustra-se a produção de adobes no lémen (Varanda, 2009). No continente asiático destaca-se a cidade histórica de Shibam (Figura 2.7), também conhecida como “Manhattan do deserto” onde muitos prédios têm até 8 pisos, situada no lémen do Sul, e também a cidade de Sanaa, no lémen do Norte, ambas património da humanidade (Felix e Mello, 2007). A cidade de Shibam teve origem no século III, embora os edifícios que persistiram até aos dias de hoje sejam na sua maioria do século XVI (Pacheco-Torgal et al.,

2009), foi construída com uma combinação de terra sob forma de bolas e adobe.



Figura 2.6 - Produção de adobes no Iémen (Varanda, 2009).



Figura 2.7 - Cidade de Shibam erguida em adobe, Iémen (Ásia) (Varanda, 2009).

Na Europa existem inúmeros exemplos de construções em terra crua, que é transversal do Norte ao Sul, sobretudo, nas zonas rurais da Dinamarca, Suécia, Inglaterra, França, Alemanha, Espanha e Portugal (Houben e Guillaud, 2006). O exemplo mais antigo de paredes de tijolos de barro no norte da Europa, encontrado no Fort Heuneburg perto do Lago Constança, Alemanha (Santiago, 2005) remonta ao século VI a.C. (Minke, 2006). Ainda existem vestígios do uso de terra como elemento de preenchimento de estruturas de madeira desde a Idade do Bronze (Minke, 2012). Na Europa a mais alta casa com paredes de terra sólida, está em Weilburg, na Alemanha (Figura 2.8). Concluída em 1828, ela ainda esta de pé (Minke, 2006), para além dos exemplos seculares, em França, no Reino Unido ou no sul da Europa, principalmente nas zonas rurais (Santiago, 2005).



Figura 2.8 – Edifício em taipa, Weilburg, Alemanha (1828) (Mike, 2012).

Devido à forte presença árabe no Sul da Península Ibérica e à existência de um clima mais adequado, a construção em terra teve aqui um particular desenvolvimento. Foi esse desenvolvimento que, através das colonizações e em particular através do Império Espanhol, promoveu a difusão das técnicas de construção em terra pela América Central e do Sul. Aqui, em articulação com o conhecimento das técnicas ancestrais desenvolvidas localmente em quase todas as culturas Colombianas, autonomiza-se e expande-se (Minke, 2012). Das técnicas conhecidas localmente, anteriores às colonizações europeias, sobressai a construção em adobe, se bem que existam igualmente referências ao uso de terra comprimida (terra sobreposta em camadas e compactada) (Falcão, 2014).

Na América do Norte, América Central e América do Sul, edifícios em adobe são conhecidos em quase todas as culturas pré-colombianas. A taipa de pilão também era conhecida em muitas áreas, nomeadamente em São Paulo, Goiás e Minas Gerais (González, 2006). A pirâmide de Uxmal, erguida entre os séculos VI e X, e a pirâmide do Sol (Figura 2.9), ambas no México, constituem mega-estruturas com terra.



Figura 2.9 - Pirâmide do Sol de Teotihuacan, México (Pacheco-Torgal et al., 2009).

As ruínas da cidade de Chanchán no Peru constituem um dos mais antigos conjuntos arquitetônicos em terra (Alexandra, 2006). Os primeiros registros de uso de adobe remontam à civilização Moche, no Peru, entre 100 e 800 d.C. Todavia, encontraram-se recentemente registros que indicam que um templo em Ventarron, também no Peru, datado de 2000 a.C., poderá ter sido construído com adobes recortados diretamente do leito do rio (Jaquin, 2012).

Entre as construções mais antigas com uso de terra, está também o Povoado de Taos, no estado do Novo México (Estados Unidos da América), que foi erguido entre 1000 e 1500 d.C., com paredes de argila seca ao sol e reforçada com fibras vegetais (Figura 2.10).



Figura 2.10 – Pueblo de Taos, Novo México, Estados Unidos da América (WHEAP, 2012).

2.3 Construção em terra em África

Em Africa, quase todas as mesquitas mais antigas são construídas em terra. Na região do Maghreb (Norte de África), para além do Egipto (já referido no subcapítulo 2.2), destaca-se a cidade de Ghadamès, na Líbia, com mais de 6.000 anos de existência, erguida de adobe, coberta de argila, atualmente ainda habitada e classificada como Património Mundial da Humanidade em 1986. Em Marrocos, também existem vários exemplos de construção em terra com mais de 250 anos (Figura 2.11).



Figura 2.11 – Vale do Draa, Marrocos (250 anos) (Guerreiro, 2009).

No Mali (Africa Ocidental), as cidades de Timbuktú e Djenné destacam-se por suas construções em terra crua. Em 1988, ambas foram reconhecidas como património da humanidade. O Mali é considerado como berço da arquitectura de barro, e aloja a maior obra arquitetónica em terra do mundo (em adobe), a Grande Mesquita de Djénne (Figura 2.12) cuja versão atual foi edificada em 1906 sobre as ruínas da original.

Nesta região de África, as edificações de culto destacam-se, fruto de uma influência árabe e circunscrita à influência da África do Oeste. A mesquita se impõe, não só por sua monumentalidade, mas também pela força de sua expressão plástica expressa em barro.



Figura 2.12 – A Grande Mesquita de Djenné, atualmente a maior obra em terra crua, construída em adobe, Mali (1280 d.C.) (África Ocidental). Fonte: Jahn (2005); Williams e Kniveton (2011).

No caso particular da Grande Mesquita de Djenné, cada membro da população da cidade de Djenné, numa data predeterminada, responsabiliza-se pela manutenção da edificação, distribuindo tarefas – recolha, preparação e aplicação da matéria-prima requerida, segundo idades e sexos (Jahn, 2005). A cidade de Djenné (integralmente uma cidade construída em terra), situada sobre um pequeno monte próximo aos rios Bari e Niger e denominada assim pelas inundações que periodicamente a isola do acesso por via terrestre, considerada por muitos a cidade mais bela do Sahel, encontra suas origens no século III a.C, o que a coloca na condição de mais antiga cidade da África sub-sahariana.

O Escarpado de Bandiagara e as Habitações Dogon (Figura 2.13) constitui um polo de atração. Habitado em épocas remotas por tribos pertencentes à misteriosa cultura Tellem, hoje extinta, é retomado na ocupação do território pela também remota e animista cultura Dogon (Figura 2.14).

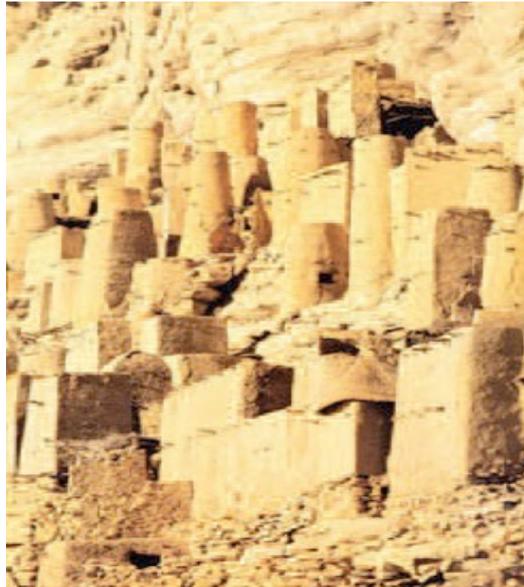


Figura 2.13 – Escarpado de Bandiagara e as Habitações Dogon, Djenné, Mali.
Fonte: Jahn, 2005.

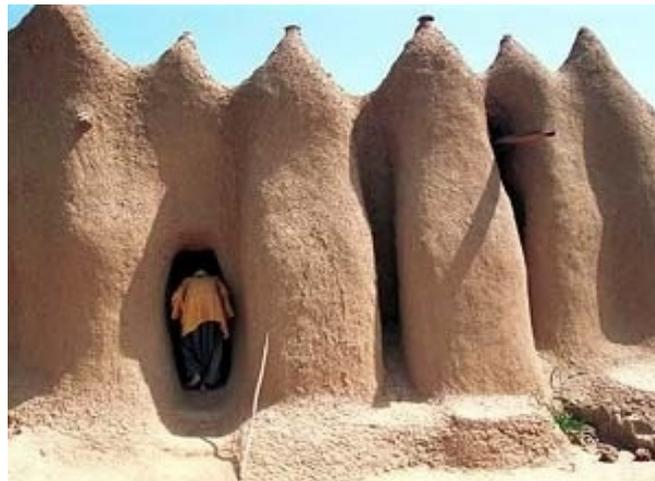


Figura 2.14 – Habitação de barro em Kougkon, Mali. Fonte: Jahn, 2005.

O uso do adobe como material de construção pratica-se em África e no Médio Oriente desde tempos imemoriais. Em Djenné, adobes de forma cónica foram produzidos até épocas recentes, incorporando frequentemente material de enchimento, como a palha, para agregar e dar maior coerência e força ao barro seco ao sol.

A República dos Camarões é também um outro grande exemplo de construção em terra no continente africano. Destaca-se as técnicas de construção em terra da etnia Mousgoum, que habita na região Norte dos Camarões, próximo ao lago Chad, que são casos notáveis da edificação com

terra, como ilustra a Figura 2.15. As estruturas fazem-se arrancar diretamente do solo, previamente compactado, empilhando terra misturada com palha, em espiral ou às camadas, com espessura suficiente para desempenhar a sua função autoportante e, ao mesmo tempo, permitindo que os artesãos a modelem manualmente, à forma desejada. Nesta arquitetura tradicional capsular e autoportante, as paredes de barro são muito delgadas (uns 3 centímetros de espessura), com sulcos ressequidos pelo sol africano. As suas cúpulas são dispostas de forma a poderem ser unidas entre si por um muro, em que cada unidade corresponde a um compartimento com uma função específica que, pontualmente, podem surgir interligadas (Figueira, 2016).



Figura 2.15 – Habitações de barro, povoado de Mourla, Camarões. Fonte: Jahn (2005).

A grande região da África Ocidental constitui uma referência da construção em terra crua no continente africano, pois abriga um multicolorido universo de raças, culturas, religiões, tradições, condições políticas, económicas e sociais e de modos de vida interagindo dentro de um complexo ecossistema. Em toda África é possível encontrar construções em terra representativas das várias técnicas desenvolvidas ao longo dos séculos.

Essa sobrevivência secular e a renovação atual do interesse, justifica-se pela abundância da matéria-prima, pelo baixo custo deste tipo de construção, pelas características bioclimáticas e pela sua harmonia com o ambiente em que se desenvolve (Neves e Faria, 2011).

2.4 Construção em terra em Angola

Em Angola, a construção em terra crua é uma herança cultural que tem sido desenvolvida durante séculos (Duarte et al, 2015; Wachilala et al, 2016). Antes da era colonial (período anterior ao século XV), vigoravam no Norte e no Sul as casas de pau-a-pique com terra crua e cobertas de capim, enquanto no centro do país predominavam as casas de terra ou adobe igualmente cobertas de capim. Com a chegada dos portugueses nos finais do século XV, as técnicas de construção em terra do país foram evoluindo, inicialmente pela zona norte.

A variação construtiva muda com as características físico-geográficas das distintas regiões de Angola, sendo definida essencialmente pelos recursos materiais localmente disponíveis, mas também, decorrente dos hábitos culturais e estilos de economia tradicional praticada. A construção tradicional angolana caracteriza-se pela utilização de madeiras, fibras vegetais e terra, no âmbito das técnicas construtivas como o adobe e o pau-a-pique (Ganduglia, 2012). Por exemplo, apesar da existência de pedra, verifica-se que ela não faz parte dos hábitos construtivos das habitações das populações autóctones, por questões culturais e pelo custo. Pode-se observar por todo o território nacional, um número considerável de estruturas em adobe, pau-a-pique, taipa e mais recentemente em BTC (Bloco de Terra Comprimida). Porém, o adobe constitui-se como a técnica de construção em terra crua mais utilizada, principalmente usada pelas famílias de baixo rendimento (Pedro, et al, 2014). Atualmente, as construções tradicionais estão maioritariamente presentes no espaço rural.

A habitação tradicional Angolana evoluiu a partir da modesta cubata até aos atuais Musseques de Luanda e das principais capitais de província com intenso aglomerado demográfico.

As primeiras cubatas eram desmontáveis e fáceis de transportar, e foram concebidas para acompanhar as tribos nómadas que procuravam estabelecer-se na proximidade de água, de terra fértil, da savana de caça, da mata do café. Genericamente, as cubatas apresentavam formas redondas

com um único compartimento e alçados cónicos onde as paredes não se distinguem dos tetos (Figuras 2.16 e 2.17).



Figura 2.16 – Cubata de abobe, redonda sem divisória. Município da Matala, Huíla.
Fonte: Fotografia de Wachilala.



Figura 2.17 – Habitação vernacular em Angola. Fonte: Fotografia de Wachilala.

Com as alterações do modo de vida das populações, as construções sofreram também várias outras alterações, como por exemplo, o aumento do pé direito e tendências para anexo, o acréscimo do número de janelas, o uso de novos materiais como os pregos para aplicação em madeira, casa em adobe, entre outras. Aos poucos a tipologia étnica de construção foi desaparecendo nas zonas suburbanas, dando lugar a um padrão comum mais prático e económico, onde se torna evidente a mistura dos materiais tradicionais com os utilizados na construção Europeia.

A fase atual inclui as formas tradicionais construtivas aculturando-se ao padrão europeu, sobretudo nas zonas suburbanas, marcadas pelo uso de novos materiais, formas e funções. Atualmente encontram-se em várias províncias do país, um grande número de habitações construídas com novos materiais, para além do adobe, por exemplo, muito utilizado no Norte, Centro e Sul devido as condições físico-geográficas existentes.

Em 1997 começaram em Angola as atividades de Formação para a construção com materiais locais, introduzindo a técnica que utiliza o BTC (Bloco de Terra Compactada), direcionadas para os projetos de desenvolvimento social sob responsabilidade da Cáritas do Kuanza Sul (Ganduglia, 2012). Também as coberturas passaram por uma degradada evolução, onde o abandono do colmo foi evidente. Com a proximidade às zonas suburbanas, o colmo tornou-se mais difícil de obter. Para além disso, este material apresentava pouca durabilidade, quando comparada com outros materiais como a chapa de zinco atualmente em voga (Figura 2.18).



Figura 2.18 – A) Musseques de Luanda: Bairro suburbano. Fonte: Guedes, (2009). B) Antiga capela, construída em terra no tempo colonial, Província do Moxico (Leste de Angola). Fonte: Ganduglia (2012).

Para concluir, vale a pena referir que os materiais aplicados na construção da habitação tradicional angolana são essencialmente obtidos a partir dos geomateriais, dos quais se retira a terra crua (solo) para a construção das paredes de pau-a-pique, assim como para o fabrico dos adobes; as madeiras (ex: eucalipto) e fibras vegetais (capim), etc., são usadas na estrutura, cobertura e paredes. O material para o fabrico de cal é extraído das rochas calcárias e utilizado no reboco dos adobes.

2.4.1 Construção em terra na Huíla

A construção em terra crua na Província da Huíla, atualmente é notória em grande escala nas zonas urbanas e rurais, cujas características construtivas e materiais utilizados, diferem sobretudo em função do rendimento das próprias famílias e dos materiais disponíveis, seguindo os padrões ancestrais (culturas e tradições locais). As dimensões das casas geralmente são mínimas em quantidade e dimensão, não satisfazendo as necessidades de habitabilidade das famílias que geralmente são numerosas (Wachilala, et al., 2017).

O clima é favorável à durabilidade do material e a matéria-prima é abundante. Entre as técnicas de construção em terra, destaca-se: o adobe, pau-a-pique e mais recentemente, os blocos de terra comprimida. A aplicação desta técnica tradicional, justifica-se pela eficiência do material como isolante térmico, pelo seu baixo custo e pelas características físicas e mecânicas dos solos utilizados no fabrico dos adobes.

Com a chegada dos colonos, na região da Huíla, houve uma evolução das técnicas de construção de terra aplicadas nas diferentes infraestruturas coloniais, como por exemplo: alguns empreendimentos comerciais no centro da cidade de Sá da Bandeira (atualmente Lubango, capital da Província da Huíla) e noutros municípios, e residências onde o capim usado na cobertura passou a ser substituído por telhas (Figura 2.19).

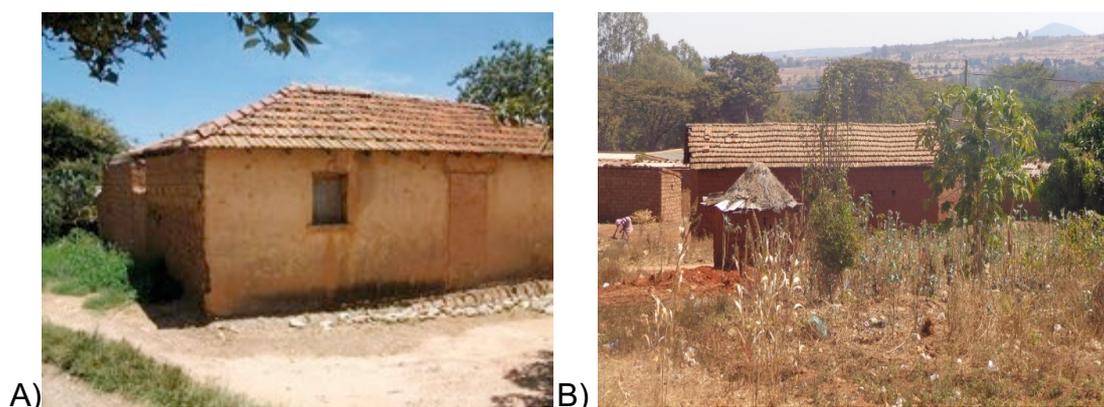


Figura 2.19 - A) Casa de adobe na cidade do Lubango (antiga Sá da Bandeira), construído na década de 40 do século XX. Fonte: Diniz et al (2012). B) Casa de adobe em Kaluquembe, construída no tempo colonial. Fonte: Fotografia de Wachilala.

Ao contrário das classes mais favorecidas, nas famílias de baixo rendimento, onde o acesso aos novos materiais torna-se mais restrito, o adobe tornou-se um dos materiais de eleição, difundindo-se por toda a região da Huíla. Nesta região, a execução dos adobes consiste na mistura de solo com água e capim e/ou fibras vegetais, na posterior moldagem de pequenos blocos, utilizando moldes duplos em madeira, sendo desmoldados ainda no estado fresco e colocados a secar à temperatura ambiente (Wachilala, et al, 2017).

Em todos os municípios da província da Huíla, é possível encontrar inúmeras construções de adobe (Figuras 2.20 e 2.21).



Figura 2.20 – Tipologia de habitação amplamente praticada atualmente na Província da Huíla. A) Construção de casa de adobe no município da Chibia; B) Construção de casa de adobe no município de Kaluquembe. Fonte: Fotografia de Wachilala.



Figura 2.21 – Casas de adobe sem reboco exterior, comuna da Negola, Kaluquembe. Fonte: Fotografia de Wachilala.

Apesar de amplamente praticada, a construção em terra crua na região da Huíla e não só, está sujeita a graves problemas atualmente, como se ilustra na Figura 2.22, associados a um deficiente processo construtivo, derivado da insuficiência de conhecimento que era transmitido de geração em geração. Após a prolongada guerra civil que assolou todo país, esta continuidade do “saber fazer” perdeu-se e a técnica da construção em terra degrada-se ao longo do tempo.



Figura 2.22 - Ilustração de algumas patologias estruturais nas habitações: degradação por fissuração, na Província da Huíla. Fonte: Fotografia de Wachilala.

Atualmente o recurso a este material permite resolver o problema associado a falta de residência, constituindo assim, a forma mais fácil de se adquirir uma casa com baixo custo e em pouco tempo. Daí a relevância de se desenvolverem estudos, para aprimorar a técnica, não só como técnica antiga, mas também como técnica que venha a contribuir para um ambiente saudável, sem comprometer as gerações futuras.

2.5 Principais vantagens e limitações da construção em terra

A construção em terra crua apresenta inúmeras potencialidades:

- **Em termos ecológicos:** matéria-prima não tóxica e ausência de efeitos prejudiciais na utilização e ocupação; não contribui para a degradação da paisagem; utiliza pouca quantidade de água. Facilidade de reciclagem da construção, diminuindo a possibilidade de produção de resíduos (entulhos industriais), pois a terra volta à terra. A terra é reutilizável desde que não seja cozida, bastando adicionar-lhe

água, pelo que a terra nunca se torna um material prejudicial para o ambiente (Minke, 2012)

- **Em termos técnicos:** elevado conforto térmico (a construção em terra apresenta propriedades hidrotérmicas que contribuem para a regulação do conforto térmico e para a exploração de mecanismos com funcionamento bioclimático); o bom comportamento acústico sobretudo face a sons aéreos; longevidade da construção, desde que a manutenção necessária seja efetuada (Rodrigues, 2005);
- **Do ponto de vista económico:** não requer mobilização financeira de maior, pois trata-se de um recurso disponível no próprio local da obra ou em locais mais qualificados, com custos reduzidos de exploração, transporte, produção e aplicação.
- **Do ponto de vista cultural e humano,** pode adequar-se à tradição arquitetónica de cada cultura, utilizando materiais locais e respeitando o património existente.
- **Economia energética inerente:** não necessita de se submeter a transformação industriais e durante a produção exige pouco ou nenhum consumo de energia, permitindo uma maior economia em termos de gastos energéticos.

Apesar das potencialidades enunciadas anteriormente, a construção em terra apresenta também algumas limitações, entre as quais:

- ✓ É frequentemente mencionado que os maiores inimigos das construções em terra são a ação da água e a ação de esforços horizontais, que obrigam a terra a funcionar à tração em vez da sua natural melhor prestação face a esforços de compressão. Os solos demonstram ter muito pouca elasticidade, exibindo uma deformação permanente quando sujeitos ao efeito de uma tensão. Genericamente, pode assumir-se que os solos não têm resistência à tração (Augarde, 2012). A terra, ao contrário da maioria dos materiais, pode deformar-se quer seja pelo efeito de uma força aplicada, quer seja pela simples ação da água. Por outro lado, tem um comportamento diferente quer esteja seca ou húmida.

- ✓ A presença de água em excesso vai afetar a coesão das partículas, reduzindo a tensão resultante da fricção existente entre elas, pelo que a deformação, nos solos, está dependente tanto das forças que lhe são aplicadas (das quais o peso próprio é a mais considerável), como da alteração dos níveis de água presentes no seu interior. A água é um elemento essencial para garantir a ativação da terra durante a confeção de um elemento em terra crua. Os materiais de construção à base de terra encontram-se, no seu estado normal, não saturados (Augarde, 2012). A coesão entre as partículas do solo é garantida pelo efeito de sucção que a água exerce entre as partículas, aproximando-as. Quando corretamente doseada, a água é fundamental para garantir aderência entre as partículas de terra (Gelard et al., 2011).
- ✓ O processo de secagem pode dar lugar ao aparecimento de fendas, uma vez que a terra encolhe quando seca (Minke, 2012). Estas potenciam a degradação da parede, quer pela infiltração de água, quer pela fragilização dos seus elementos. Para além de ser necessário proteger as paredes de terra face à ação da água, pode ser necessário proceder à sua estabilização pelo uso de aditivos, ou promover a otimização da dimensão dos grãos, assim como a redução da presença de argila, que tem maior tendência para retrair durante o processo de secagem.
- ✓ Por outro lado, a terra não é um material cujo comportamento seja facilmente previsível, podendo apresentar características e composições distintas consoante o solo em que for obtida. Isto obriga a proceder-se a uma correção da mistura, com potencial adição de elementos estabilizadores, de forma a colmatar eventuais fragilidades de cada amostra, o que implica o envolvimento de profissionais que possuam um conhecimento especializado sobre a matéria.
- ✓ As suas fragilidades mecânicas traduzem-se em limitações formais, especialmente quando se utilizam técnicas meramente tradicionais, o que se constata, inclusive, em muitos códigos construtivos de terra, quer pela proibição da construção em terra em zonas de elevada sismicidade, quer pela delimitação do número de pisos e alturas admissíveis para paredes de terra (Cid et al., 2011).

2.6 Principais patologias associadas à construção em terra

As construções em terra ao longo do tempo são suscetíveis às várias patologias, decorrentes de um conjunto de agentes de degradação.

- *Ações mecânicas*: algumas ações mecânicas podem provocar danos estruturais nas paredes de terra crua, que vão desde a fendilhação (com conseqüente abertura de caminhos preferenciais para o acesso da água) até à própria rotura e colapso da construção. Os efeitos da ação sísmica encontra-se entre os mais gravosos, especialmente se existirem deficiências construtivas.
- *Erosão*: a ação da chuva, do vento com elementos em suspensão, dos seres vivos e principalmente dos sais solúveis higroscópicos pode provocar erosão nas paredes de terra crua.
- *O impacto da chuva*, direto ou repetido, vai alterando a superfície dos elementos exteriores dos edifícios, provocando desgaste. A escorrência de água da chuva sobre uma superfície contribuem para a erosão dessa superfície. Os salpicos da chuva que bate no solo ou em elementos reentrantes ou salientes produzem erosão nas superfícies com que contactam. O vento tem uma ação mecânica, tanto mais forte quando maiores forem as partículas em suspensão.
- *Infiltração e absorção da água*: a presença da água em contacto com os elementos de construção conduz à absorção dessa água por parte das paredes de terra crua por ascensão ou difusão capilar ou por infiltração pela fendilhação existente. A água pode ter origem na chuva, no terreno ou em acidentes (caso de roturas em tubagens).
As conseqüências principais da infiltração e da absorção da água são uma diminuição da resistência mecânica e do isolamento térmico, o transporte dos sais solúveis higroscópicos, a dilatação/retração do material e o desenvolvimento de vegetação parasitária.
- *Condensação de vapor de água*: a existência de vapor de água em excesso e a ocorrência de situações propícias a que esse vapor de água condensa à superfície ou no interior dos elementos da construção pode provocar um humedecimento do material, geralmente localizado na superfície interior do elemento em contacto com o

exterior, ou na interface interna entre materiais diferentes, ou ainda na espessura de um material. As consequências da condensação são o risco de degradação por desenvolvimento de fungos e odores, a redução do isolamento térmico, a diminuição local da resistência mecânica e o risco de descolamento do acabamento ou do revestimento (mais ou menos associado a uma espessura da parede) pela ação da hidratação/cristalização dos sais solúveis higroscópicos.

2.7 Técnicas construtivas em terra

Construções em terra crua podem ser entendidas como sendo aquelas cujas paredes são feitas em barro espalmado ou sob forma de tijolos crus, sem cozimento.

Existem muitas técnicas de construção em terra por todo o mundo, no entanto as mais utilizadas e conhecidas, até mesmo no caso particular de Angola, são o adobe, a taipa, o pau-a-pique e, mais recentemente, o bloco de terra compactada (BTC), cada uma com características e especificidades muito próprias.

2.7.1 O adobe

O adobe é uma técnica de construção de paredes com blocos de terra crua, preparados em moldes de madeira e secos ao sol (Figura 2.23). O seu fabrico consiste na moldagem de pequenos blocos, normalmente utilizando moldes em madeira, desmoldados ainda no estado fresco e colocados a secar à temperatura ambiente (Pacheco-Torgal et al., 2009) durante aproximadamente 15 dias, dependendo da região e do clima (Figura 2.24). O molde é preenchido com a mistura que é preparada com solos do local e água, e, em muitos casos, com a adição de agregados para controlar as fissuras, tais como vegetais, esterco e pelos de animais (Neves e Faria, 2011) de modo a criar alguma consistência, cujas técnicas variam de acordo com os costumes e potencialidades locais.



Figura 2.23 – Moldagem manual dos blocos de adobes. Fonte: Fotografia de Wachilala.



Figura 2.24 – Secagem ao ar livre dos blocos de adobes. Fonte: Fotografia de Wachilala.

Pacheco-Torgal et al., (2009) referem que esta técnica de construção requer o uso de um solo argiloso e plástico, por isso, é sobretudo utilizada em locais onde é possível encontrar água. Outros autores, tais como, Neves e Faria (2011) referem que para a fabricação de adobes recomenda-se o uso de solo areno-argiloso com pouco silte. Se o solo selecionado tiver muita argila, aumenta-se o risco de aparecer fissuras no adobe ao secar; por outro lado, se tiver demasiada percentagem de areia ou silte, pode faltar coesão interna adequada e desagregar facilmente, além de diminuir a resistência à compressão.

Originalmente os blocos de adobes eram feitos à mão (produção artesanal), atualmente, podem ser feitos com o auxílio mecânico (produção mecanizada) (Houben e Guillaud, 1989).

2.7.1.1 Vantagens e desvantagens da construção em adobe

De acordo com Neves e Faria (2011), tal como qualquer outra técnica de construção, o adobe apresenta vantagens e desvantagens.

As principais vantagens são:

- Fácil de fabricar, secar e empilhar.
- Material com considerável capacidade isolante devido à sua porosidade.
- Permite diversidade de formas e dimensões.
- É 100% reciclável.
- Não requer mão-de-obra especializada e o equipamento artesanal (molde) é muito económico.
- É usado para construir paredes, arcos, abóbadas e cúpulas.
- A matéria-prima é, geralmente, abundante.

Como desvantagens, podem ser apontadas:

- A baixa resistência à tração e à flexão em relação às alvenarias executadas com BTC ou outro tipo de componente (tijolo, bloco cerâmico e bloco de betão).
- O fabrico artesanal do componente requer esforço humano considerável e área ampla e arejada para a secagem.
- A necessidade de muita água para o seu fabrico.
- A dificuldade de obter as dimensões regulares do componente.
- A qualidade do componente está condicionada à mistura e ao repouso de alguns dias da mistura para sua hidratação ("dormir" o barro).
- Nas zonas afetadas por sismos, a cobertura em cúpula e abóbadas pesadas não são convenientes, e a alvenaria exige reforços e contrafortes apropriados.
- Absorve muita água devido à sua porosidade.

2.7.2 Taipa

A taipa é um dos sistemas construtivos mais utilizado na antiguidade e considerado o mais sólido sistema de construção em terra crua, visto que as

paredes construídas, monoliticamente, solidificavam-se progressivamente, ao longo do tempo (Silva, 2000).

Esta técnica de construção foi trazida para Angola pelos colonizadores europeus e consiste na edificação de paredes em terra ligeiramente humedecida que é colocada entre moldes (em camadas de aproximadamente 60 cm) e fortemente comprimida de modo a eliminar os vazios. O tempo de secagem das paredes de taipa varia de três a seis meses, dependendo da altura e da espessura das paredes, tipo de solo e condições do clima (Borges e Colombo, 2009).

Atualmente, em Angola, não é muito comum a utilização desta técnica de construção, que predominou durante o período colonial, sobretudo pela influência dos colonizadores europeus naquela altura. Com a retirada dos colonizadores do território angolano, esta técnica foi-se perdendo.

Neste sistema construtivo, frequentemente, adiciona-se algum tipo de aglomerando durante a preparação do solo, para melhorar ainda mais os parâmetros estruturais. O processo de produção da parede, resumidamente, consiste em destorroar o solo, secar, peneirar, adicionar aglomerante conforme a necessidade, acrescentar água até o ponto ótimo de humidade, colocar dentro de uma forma, também chamado molde ou taipal, e finalmente compactar até a massa específica máxima, usando compactadores manuais ou mecânicos (Figura 2.25).

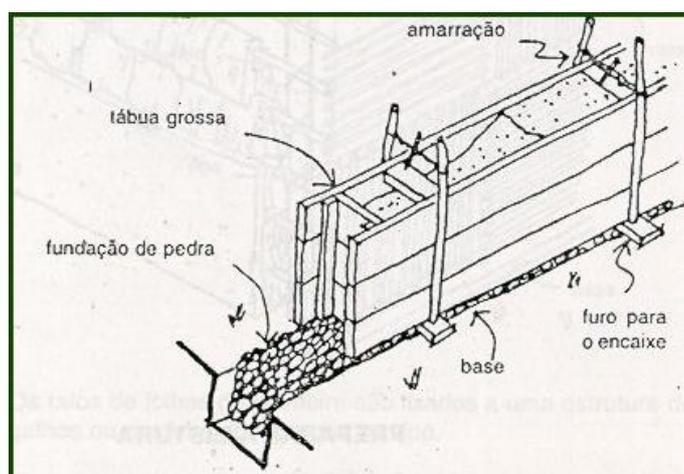


Figura 2.25 – Taipal para produção de paredes de taipa. Fonte: Ribeiro e Braga (2003).

2.7.2.1 Vantagens e desvantagens da construção em taipa

Vantagens

- Baixo consumo de energia no processo produtivo.
- É reciclável e pode não necessitar de transporte de matéria-prima.
- Bom comportamento térmico (com grande economia de energia durante a fase de utilização da construção).
- Bom comportamento acústico.
- Excelente comportamento ao fogo.
- Técnica de construção milenar, apresentando ótimas condições para a sua aplicação e desenvolvimento nos processos construtivos atuais.

Desvantagens

- Vulnerabilidade ao ataque por roedores.
- Baixa resistência mecânica à compressão.
- Baixa resistência aos esforços de tração e flexão.
- Muito baixo desempenho face a ações sísmicas, devido às características anteriores.
- Quando não são tomadas as devidas precauções pode ser facilmente degradável pela ação da água.
- Apesar da simplicidade do sistema construtivo, a preservação e restauração da edificação de terra, sob o ponto de vista da técnica, é uma das mais difíceis.

Na área da preservação e restauração, a água é um dos principais agressores das edificações. A taipa é um método que requer pouca quantidade de água e por essa razão esta técnica encontra-se com mais frequência onde a água não abunda. As paredes em taipa tradicional apresentam muitas vezes a incorporação de outros materiais para reforço estrutural, quando a terra não tem as propriedades desejadas para a estabilidade das paredes.

2.7.3 Pau-a-Pique

O pau-a-pique é também conhecido como taipa de sopapo, taipa de mão, taipa de sebe e barro armado. Nesta técnica a terra tem a função de preencher os vazios deixados pelo entrelaçamento de madeiras, ou seja, seu papel é quase de coadjuvante. A técnica consiste em construir um entramado de madeira, usa-se muito o bambu, e o barro é lançado e batido com as mãos. O pau-a-pique serve como elemento de vedação, geralmente usado como paredes internas das edificações, mas também pode ser parede externa (Borges e Colombo, 2009).

O termo “pau-a-pique” refere-se às peças de madeira ou bambu, que são colocadas “a pique” sobre o baldrame, ou seja, perpendicularmente a ele. (Silva, 2000). Trata-se da técnica construtiva mais comum no Brasil, devido à sua simplicidade e facilidade, pois qualquer pessoa, mesmo que não seja especialista no assunto, pode construir com esta técnica. A taipa em pau-a-pique é um processo construtivo antigo, conservado pela tradição oral e conhecido por toda a população rural. É um material que apresenta incrível versatilidade (Silva, 2000).

Atualmente, em várias regiões de Angola, sobretudo nas zonas rurais, ainda é muito comum as construções em pau-a-pique (Figura 2.26).



Figura 2.26 – Casas de pau-a-pique, técnica amplamente utilizada na construção tradicional da Região Sul de Angola. Fonte: Fotografia de Wachilala.

Antes da chegada dos colonizadores europeus a Angola, esta técnica, já era amplamente utilizada pelas comunidades nativas, sobretudo, nas regiões onde há escassez de solo para a construção, porque usava-se a madeira, paus roliços e vedações de palha e folhagens, para construir os seus abrigos. Entretanto, os valores culturais que permanecem no seio das comunidades como as manifestações artísticas, refletem-se nos distintos estilos arquitetónicos que caracterizam esta técnica de construção no país (Figura 2.27).



Figura 2.27 – Construção tradicional de pau-a-pique, Região do Leste de Angola.
Fonte: Ganduglia (2012).

No entanto, a execução do pau-a-pique quando mal feita, ou seja, sem acabamento, pode gerar uma série de problemas, desde a degradação da construção até a proliferação de roedores e insetos, entre eles, o mais conhecido, o *Triatoma infestans*, vulgarmente conhecido com barbeiro, mosquito transmissor da doença de Chagas (Borges e Colombo, 2009).

2.7.4 Bloco de Terra Comprimida – BTC

Esta técnica surgiu de uma evolução do adobe, por estabilização do solo por meios mecânicos, consistindo na prensagem do solo confinado em um molde, permitindo obter pequenos blocos de terra prensada, mais resistentes e duráveis em relação ao adobe. Esta prensagem é realizada através de uma prensa acionada de forma manual, pela força humana, permitindo realizar diversos tipos de blocos, maciços ou perfurados, e pequenas placas de revestimento (Jalali e Eires, 2008).

Para melhorar as características físico-mecânicas do BTC, tais como a resistência à compressão, a ação abrasiva de ventos, a impermeabilização e a durabilidade, pode-se utilizar: o processo de estabilização granulométrica, o qual consiste na mistura de proporções de diferentes terras; e/ou a estabilização química, na qual se adiciona um aditivo químico à terra, geralmente um aglomerante do tipo cimento ou cal (Neves e Milani, 2011).

É possível fabricar BTC de diversos formatos e dimensões, sendo usuais o BTC maciço e o BTC com furos, ambos com e sem encaixes.

Os tijolos devem ficar abrigados em local fechado, durante oito dias. Durante uma semana, deverão ser regados com pouca água, para se fazer a cura. (Silva, 2000).

O BTC pode ser usado em qualquer tipo de construção substituindo os blocos cerâmicos convencionais, seja em alvenaria simples de vedação, ou alvenaria estrutural, desde que atendam às resistências estabelecidas no projeto. As paredes tanto podem ser aparentes (quando protegidas da chuva), como revestidas, podendo receber revestimento em argamassa, diversos tipos de pintura ou revestimento cerâmico (Neves e Milani, 2011).

Além disso, apresenta outras vantagens, tais como:

- Fácil de fabricar.
- Mantém a regularidade das dimensões.
- Possibilidade de controlo eficiente da resistência à compressão.
- O baixo consumo de água.

Em Angola, a técnica que utiliza o Bloco de Terra Comprimida começou a ser amplamente utilizada pela população nas décadas de 90 do século XX. É na Província do Kuanza Sul, onde se encontra a maior parte dos projetos desenvolvidos segundo esta técnica, como por exemplo: escolas, centros de saúde, igrejas, habitações individuais, etc., (Ganduglia, 2012). Atualmente, a execução de unidades habitacionais em BTC é muito frequente em todo o território de Angola, tendo, no entanto, vindo a aumentar devido à natureza sustentável que lhe está associada, com a vantagem adicional de apresentarem desempenhos funcionais superiores às obras de adobe (Figura 2.28).



Figura 2.28 – Infraestruturas construídas com recurso a BTC, Kuanza Sul, Região Centro Litoral de Angola. Fonte: Ganduglia (2012).

A bibliografia recomenda o uso de terra com percentagem de areia superior a 50% para a fabricação de BTC. A areia é responsável pela estruturação (resistência) do bloco, enquanto que a argila responde pela aglutinação ou coesão das partículas de terra. Entretanto, a argila é também responsável pelo efeito de retração da terra durante a secagem e a ocorrência de fissuras nos blocos. Por isso, às vezes, é necessário adequar a terra disponível, ou, como geralmente se diz, “estabilizar a terra”, para a produção do BTC. A estabilização também se faz no sentido de melhorar a resistência ou a impermeabilidade do bloco (Neves et al, 2010).

A primeira opção é realizar a estabilização granular da terra através da adição de outros tipos de solo ou mesmo de areia para melhorar a sua granulometria e controlar a plasticidade.

Para diminuir a sensibilidade à água, as altas taxas de contração e expansão, e a baixa resistência à abrasão do BTC, deve-se realizar a estabilização química com adição de aglomerantes, tais como o cimento, a cal, o betume, entre outros. No entanto, a escolha de tal agente estabilizante irá depender do tipo de terra e das condições técnico-financeiras para adquirir o aditivo químico.

Para fabricação de BTC com adição de cimento, recomenda-se utilizar a terra caracterizada como solo arenoso, sendo ideal a seleção de terras com as seguintes características:

- 100% de material passando no peneiro 4,8 mm (BNH-DEPEA, 1985);
- 50% a 95% de areia bem graduada (ou de granulometria contínua, composta de areia grossa, média e fina), pois os grãos maiores são preenchidos por partículas menores do próprio solo;
- LL (limite de liquidez) $\leq 45\%$ e IP (índice de plasticidade) $\leq 18\%$ (BNH-DEPEA, 1985), pois solos com índices de plasticidade e limites de liquidez elevados são mais difíceis estabilizar. Contudo, alguma plasticidade é necessária para transmitir aos blocos produzidos a coesão suficiente para que possam ser manuseados (ABCP, 1985).

Adiciona-se o cimento ao solo preparado, na proporção previamente estabelecida. Esta proporção precisa ser doseada, de modo a obter o BTC com a resistência à compressão esperada, com o mínimo uso de cimento.

Misturam-se os materiais secos até obter coloração uniforme; adiciona-se água aos poucos até que se atinja a humidade adequada para sua prensagem.

A humidade adequada é determinada com razoável precisão pelo seguinte processo (Neves et al, 2010):

- Colocar uma porção da mistura na palma da mão e comprimi-la com os dedos.

- Ao abrir a mão, o bolo formado deve guardar o sinal dos dedos.
- Ao deixar cair o bolo da altura de 1,0 m, ele deve-se despedaçar.

Caso não se consiga formar o bolo com a marca dos dedos na mão, a humidade é insuficiente; caso o bolo, ao cair, mantenha-se coeso, a humidade é excessiva.

CAPÍTULO III ENQUADRAMENTO REGIONAL

CAPÍTULO III

ENQUADRAMENTO REGIONAL

3.1 Geografia

A Província da Huíla localiza-se no sudoeste de Angola (Figura 3.1) e ocupa uma área total de 79.022 km², com uma população de 2 497 422 habitantes, correspondendo a 10% da população angolana (INE, 2016). É constituída por 14 municípios, nomeadamente: Caconda, Kaluquembe, Cacula, Quilengues, Chicomba, Chipindo, Cuvango, Jamba, Matala, Quipungo, Gambos, Chibia, Humpata e Lubango, sendo esta última, a capital da província, que apresenta as seguintes confrontações e limites:

- Norte: as Províncias de Benguela e do Huambo;
- Sul: a Província do Cunene;
- Este: as Províncias do Bié e do Cuando Cubango;
- Oeste: a Província do Namibe e a de Benguela.

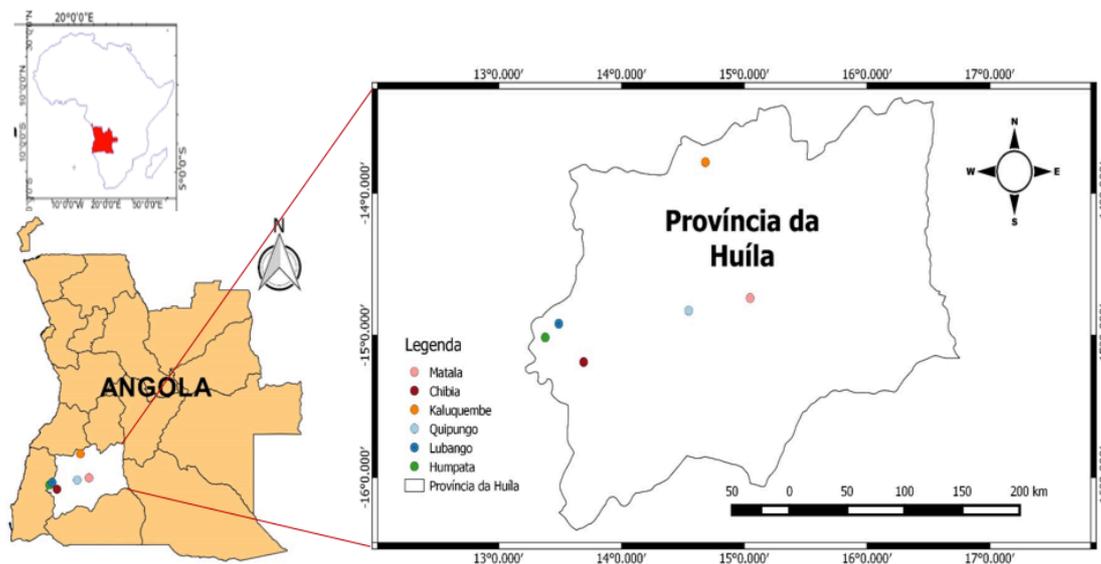


Figura 3.1 - A Província da Huíla, com a localização geográfica das povoações onde se recolheram as amostras de solos: Lubango, Humpata, Chibia, Quipungo, Matala e Kaluquembe. Fonte: elaborado por Wachilala a partir da base de dados do IGCA.

3.2 Clima e Vegetação

A Província da Huíla localiza-se na zona de climas alternadamente húmidos e secos das regiões intertropicais de ventos alíseos, como se ilustra na Figura 3.2. Trata-se de um clima temperado modificado pela altitude, ou seja, o clima passa gradualmente a semiárido de estepe (BSh), até à base da escarpa da Chela, a oeste de Lubango a cerca de 100 km da linha de costa, onde tem características de tropical com uma estação húmida bem definida (Aw), com uma estação seca distinta do inverno, de acordo com a classificação climática de Koppen. Mais para o interior, os climas têm condições térmicas temperadas, sendo mais quente na região de Lubango (Cwa) e mais fresco para o leste (Cwb). Segundo a classificação de Thornthwaite (1948), o clima é húmido mesotérmico, com deficiência moderada de água no inverno e com concentração estival da eficiência térmica do tipo megatérmico ($B_1 B_2 4wa'$).

Verifica-se a existência de duas estações em toda a extensão da Província:

- Estação das chuvas: de Outubro a Abril, caracterizando-se por temperaturas médias entre 19° e 21°C e precipitações médias entre os 600 e 1200 mm (CEPT, 1968). O mês de Março é o mais chuvoso.
- Estação da seca (cacimbo), nos restantes meses do ano, com temperaturas médias oscilando entre os 15,5 e os 19,0°C, acentuadas amplitudes térmicas diárias, ausência de pluviosidade e, conseqüentemente, humidade relativa do ar bastante baixa.

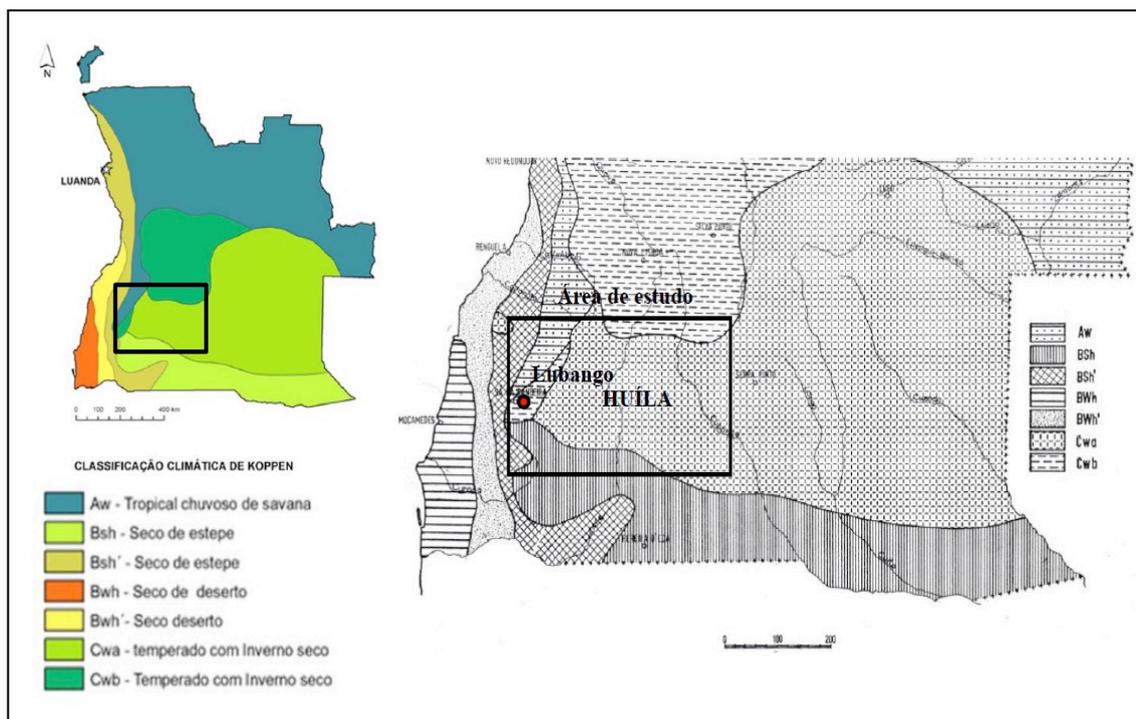


Figura 3.2 - Mapa de Angola segundo a classificação climática de Köppen. Retângulo: área de estudo (Província da Huíla); adaptado de Azevedo et al. (1972).

O valor da evaporação total anual é sempre mais elevado que o da precipitação (≥ 3000 mm). A sazonalidade da evaporação é igualmente acentuada, sendo máxima em Setembro, em pleno período seco, com 440 mm e 294 mm, e mínima e inferior aos valores mensais de pluviosidade no período húmido (Azevedo et al., 1972).

O regime de ventos é também variável ao longo do ano soprando do quadrante Leste nos 7 meses do ano, entre de Março a Setembro, de Sudeste em Outubro e Novembro, de Sudoeste em Dezembro e Janeiro e de Oeste em Fevereiro e Março. Conclui-se que os ventos sopram do quadrante Leste em pleno período seco e Oeste durante a época húmida. A velocidade dos ventos é mais acentuada no quadrante oeste da Huíla, variando a sua média mensal entre 7.6 km/h e 5.5 km/h, no período 1951-7 (Azevedo et al., 1972), sendo mais elevada na época do ano mais quente e húmida. Esta velocidade é mais baixa no quadrante Leste da Província da Huíla, com valores entre 4.3 km/h e 2.8 km/h (Baptista, 2014).

O balanço hídrico do solo constitui um balanço climatológico das quantidades de água que são transferidas da atmosfera para a superfície da terra e desta,

de novo, para a atmosfera. Estes dados quantitativos dependem do estado físico da atmosfera e da natureza da superfície terrestre; dos seus valores e variação ao longo do ano pode resultar excesso ou deficiência de água no local ou região considerada.

Segundo Thornthwaite-Mather (1955), há excesso de água no solo, excesso que atinge os maiores valores entre Novembro e Março. De Maio a Setembro há deficiência de água no solo. A água armazenada no solo vai diminuindo durante este período, até atingir o mínimo em Setembro, pelo que fisiologicamente deverá este mês ser considerado o mais seco.

As formações vegetais naturais que predominam na região da Província da Huíla, são: florestas abertas (*brachystegia* e *julbernardia*), mata densa (vegetação xerofíticas), baledos, formação de pseudo-estepe, e vegetação constituída por estratos herbosos muito raros em que a espécie predominante é a *loudetia simplex*.

3.3 Geomorfologia

De acordo com Jessen (1936) e Feio (1946), a evolução geomorfológica de Angola, define cinco patamares de aplanção, separados por degraus e definidos de leste para oeste, na evolução geomorfológica de território. (Pinho et al., 2016).

Na região do sudoeste de Angola, onde se insere a província da Huíla, Feio (1964; 1981), com base na interpretação feita por Jessen (1936), considerou, de leste para oeste, 4 grandes elementos geomorfológicos, aos quais se faz corresponder, entre parênteses, as unidades definidas por Jessen:

I. Planalto Principal (Superfície IV de Jessen).

O limite ocidental do Planalto Principal, entre a Província da Huíla e o rio Tampa (Portas da Hunguéria), termina contra o degrau do Planalto da Humpata-Bimbe (Figura 3.3); à sul, esta unidade acaba bruscamente no precipício que dá para a Superfície Intermédia situada a umas centenas de metros abaixo. O Planalto Principal, diminui de altitude no sentido sul e sudeste até os 1750 m no Lubango, 1450 m na Chibia e 1250 m no Pocolo e Chibemba, formando uma superfície muito regular, recortada por vales amplos de entalhe e montante (dos afluentes do rio Cunene) e

perturbada por relevos residuais de granitos, dioritos, pórfiros ou imponentes diques de noritos, a norte, e por aglomerados de blocos de gabros, a sul (Pereira et al., 2013).



Figura 3.3 - O topo aplanado do Planalto da Humpata-Bimbe, favorecido pela estruturação sub-horizontal do Grupo Chela, pode ser visto como uma meseta resultante da conjugação de elementos estruturais e episódios de aplanação. Fonte: (Pereira et al., 2013).

II. *Planalto da Humpata-Bimbe* (Superfície V de Jessen).

Esta superfície caracteriza-se por três blocos principais separados por sistemas de falhas:

- i) Bloco do Bimbe a cotas de 2330-2200 m limitado a sul pelo sistema de falhas de direção ENE-WSW entre Lubango e Humpata (Figura 3.4), e o vale do rio Leba segundo direção E-W;
- ii) Bloco de Humpata-Cangalongue, a cotas de 2000-1800 m, limitado pelo sistema de falhas Lubango-Humpata e pela falha NW-SE entre Leba e Hunguéria;
- iii) Bloco de Tchivinguiro-Hoque, situado a oeste do sistema de falhas Leba-Hunguéria, basculado no sentido do rebordo da escarpa, com cotas até 1800 m. (Pereira et al., 2013).



Figura 3.4 - Planalto da Humpata-Bimbe, próximo do miradouro da Fenda da Tundavala (Lubango). O topo plano coincide com a estratificação horizontal a sub-horizontal das unidades do Grupo Chela. Fonte: (Pereira et al., 2013).

Superfície Intermédia (Superfícies III e II de Jessen) que se atribui ao grande escarpado da Serra da Chela. Nesta Superfície Intermédia, Jessen considera que a superfície de Bibala, corresponde à superfície de aplanção (Superfície III), mas para Feio, é considerada um patamar da Superfície Intermédia (Pinho et al., 2016). A superfície de Bibala é considerada uma aplanção de sopé da Chela (Figura 3.5) (Pereira et al., 2006; 2013).



Figura 3.5- Zona da Fenda da Tundavala (Lubango), vista para NW. A distância de horizontes que se divisa desta particularidade morfológica, permite abarcar grande extensão da superfície intermédia que termina de encontro ao escarpado vertical, de quase 1000 metros de desnível, designado por grande escarpado da Serra da Chela. Fonte: Fotografia de Wachilala.

A escarpa da Superfície Intermédia é bastante irregular. Na região da Humpata, dominam grandes relevos de granitos pós-tectónicos e leucogranitos de cumes subesféricos ou então cristas alongadas de doleritos e noritos com direção dominante NNE e cristas de xistos e anfibolitos com bancadas de mármore com direção WNW; a aplanção desenvolve-se a cotas de 650 m. A sul de Caine, região do Virei (Figura 3.6), a peneplanície é mais regular situando-se a cotas

de 700 m, mas a escarpa de transição para o Planalto Principal é marcada por importantes relevos de pórfiros recristalizados, gnaisses e migmatitos e, ainda, por diques de noritos. Muito próximo ao Cubal, a escarpa recua significativamente para leste e assume um degrau superior bem definido no limite ocidental do Complexo Anortosítico à cota de 1300 m e um degrau impreciso quando se instala sobre os granitos vermelhos, quartzitos e soleiras de doleritos, rochas recortadas pelos rios Tchaviva e Tchipeio, afluentes do Cubal (Pereira et al., 2013).



Figura 3.6 – Cainde-Virei, vista para SW. A Superfície Intermédia, que diminui progressivamente as suas cotas para SW, exibindo alguns relevos residuais do tipo *inselberg*. Fonte: (Pereira et al., 2013).

- III. Finalmente, a superfície mais ocidental que Feio (1964; 1981) designou por *Flexura Atlântica* (Superfície I de Jessen), implantada nas rochas do soco cristalino, com declive acentuado entre os 500 m e os 250 m, a qual a partir desta cota está coberta pelos depósitos sedimentares da orla costeira (Pinho et al., 2016).

Para Leste da província da Huíla desenvolve-se um Planalto Interior que constitui a maior parte da área oriental, com altitudes na ordem de 1500 m.

3.4 Geologia

A geologia do Precâmbrico de Angola, só pode ser compreendida no âmbito da evolução conjunta do cratão do Congo que compreende a parte central da República Democrática do Congo, estendendo-se até à sul do território de Angola e para norte até aos Camarões, e do cratão de São Francisco, localizado na América do Sul, desde o Paleoproterozoico e a abertura do Atlântico Sul, com a divisão da Gondwana, no Mesozóico (Pinho et al., 2016).

A geologia da região da Huíla é ilustrada na Figura 3.7. As principais formações correspondem maioritariamente a granitos orogénicos, e diversas formações antigas do Precâmbrico. As formações mais recentes ocorrem no sul e sudeste da região da Huíla, e apresentam idades que vão do Neogénico ao Quaternário.

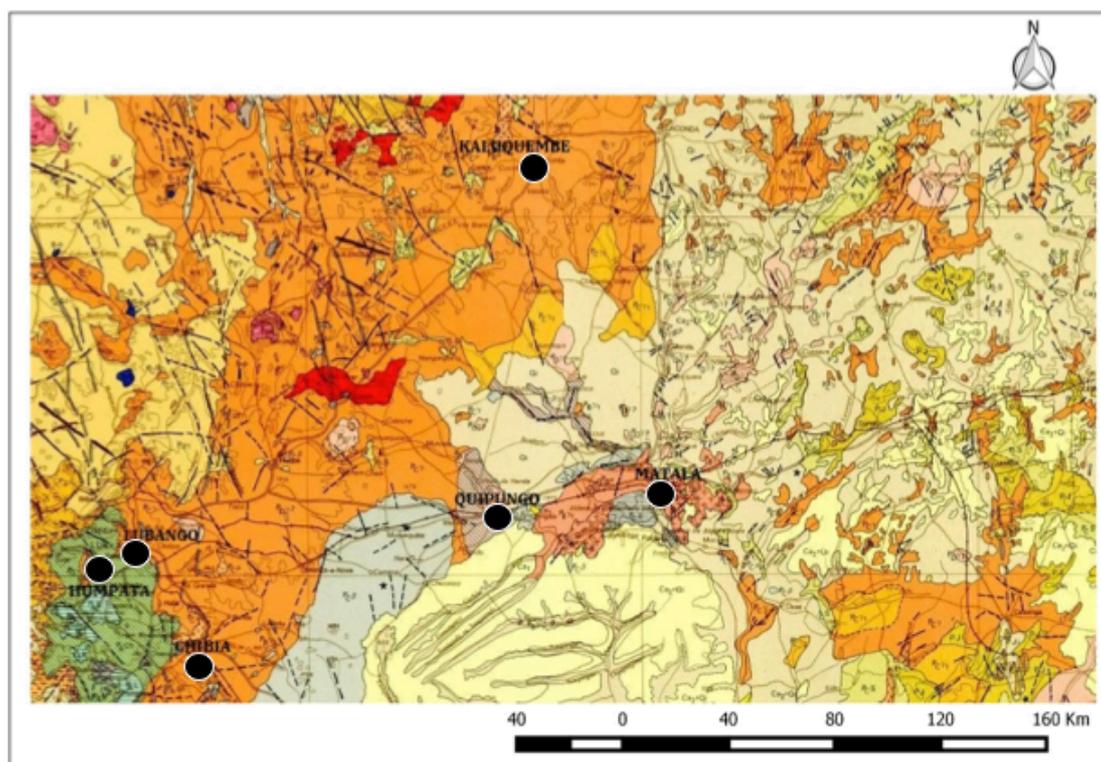


Figura 3.7 – Enquadramento geológico da província da Huíla. Adaptada da Carta Geológica de Angola, LNICT (1980).

Legenda:

- Locais de recolha de amostras de solos: Lubango, Humpata, Chibia, Quipungo, Matala e Kaluquembe.
-  Formação da Leba-Tchamalindi (calcários dolomíticos com estromatólitos).
-  Grupo da chela (siltitos, argilitos, arenitos, vulcanoclastitos, etc.)
-  Granito da Chicala-Cacula ($P_{C\gamma 4}$) (1631 ± 52 m.a.), Granito de Canjola ($P_{C\gamma 3}$) (± 1655 m.a.), Gnaisses ocelados do Ruacana (P_{Cg}) (± 1700 m. a.), Leucogranitos do Sudoeste ($P_{C\gamma 2}$) (1760 m. a.) e filões de quartzo associados (P_{Cq}).
-  Granitos porfiroblásticos (tipo Quibala) (2160 ± 42 m. a.)
-  Granitos biotíticos da Região Central (granitos regionais) ($P_{C\gamma}$) (2250 m. a.); granodioritos e dioritos ($P_{C\Delta}$).
-  Gnaisses, migmatitos (2040 m. a.) e granitos associados.
-  Metassedimentos (indiferenciados) e algumas outras rochas do Supergrupo do Oendolongo; Conglomerados, quartzitos, arenitos, etc. (P_{CS}). Riolitos de Eleva_Catabola (1880 m.a) e Complexo Vulcânico do Menongue (P_{Cp}). Pórfiros granitoides e rochas vulcânicas da Chibia (2210 m. a.) e da região central ($P_{C\mu}$). Quartzitos, conglomerados, lavas e almofada, xistos, tufo, vitrófros, grauvaques, arenitos, etc. (Chivanda-Negola) (2150 ± 83 m. a.); Siltitos, grauvaques, conglomerados, quartzitos, etc. (Utende_Cela) (P_{CS}).

-  Complexo gabro-anortositico ($P_c\beta$) e rochas associadas (básicas metamorfizadas ($P_c\beta\gamma$), gabro-doloríticas ($P_c\delta$), ultravásicas ($P_c\Phi$) Afloramentos de titano-magnetite (Fe-Ti).
-  Xistos, grauvaques, lavas em almofada, itabiritos, dacitos, tufos, quartzitos, etc. (PJ): Grandes afloramentos de itabiritos (PJI): (Jamba).
-  Complexo granítico-migmatítico (2520 ± 36 m. a.)
-  Granito do Caraculo-Bibala.
-  Aluviões, eluviões, areias, etc.
-  Calaári superior (Ca_2) e depósitos diversos (Ca_2+Qi).

A Formação da Leba é constituída essencialmente, por calcários dolomíticos com estromatólitos (Figura 3.8), os quais, são fósseis originados por bactérias e cianófitas e representam um dos mais antigos vestígios de vida na Terra, tendo surgido no Pré-câmbrico Inferior, ou seja, há mais de 3500 milhões de anos. Esta formação sobrepõe-se à sequência sedimentar do Grupo da Chela (ver mais adiante). Com o objetivo de compreender os eventos e os processos que afetaram o sudoeste de Angola, durante o Mesoproterozóico (1600 a 900 Ma), Ruth (2013) faz uma avaliação das composições, litologias, ambientes deposicionais, oligoelementos e isótopos estáveis da Formação da Leba (Pinho et al., 2016).



A)

B)

Figura 3.8 – Calcários dolomíticos da Formação da Leba: A) Bancada com estromatólitos. B) Pormenor de uma estrutura estromatolítica. Fonte: Fotografia de Wachilala.

As principais formações que constituem o Grupo da Chela da base ao topo, são ilustradas na Figura 3.9, entre as quais: a Formação da Tundavala (20 - 80 m), Formação da Humpata (100 - 300 m), Formação do Bruco (100 m) e Formação da Cangalongue (72 m), numa sequência de rochas vulcano-

sedimentares com mais de 600 m, depositados numa extensa bacia epicratônica sobre a massa intrusiva através de uma discordância com uma espessura de cerca de 300 m de materiais detríticos, rochas essencialmente areníticas intercaladas com rochas vulcanoclastíficas e conglomeráticas apresentando estruturas sedimentares singenéticas típicas, indicando um ambiente de sedimentação do tipo fluvial-marinho, em camadas quase horizontais (Formação da Humpata). Há uma camada de rochas vulcanoclastíficas vermelhas, intercalada nas rochas areníticas, com 4-5 metros de espessura, com uma nítida extensão à escala regional, que corresponde ao último vestígio de atividade vulcânica explosiva na bacia Proterozóica da Chela (Correia, 1976; Pinho et al., 2016).

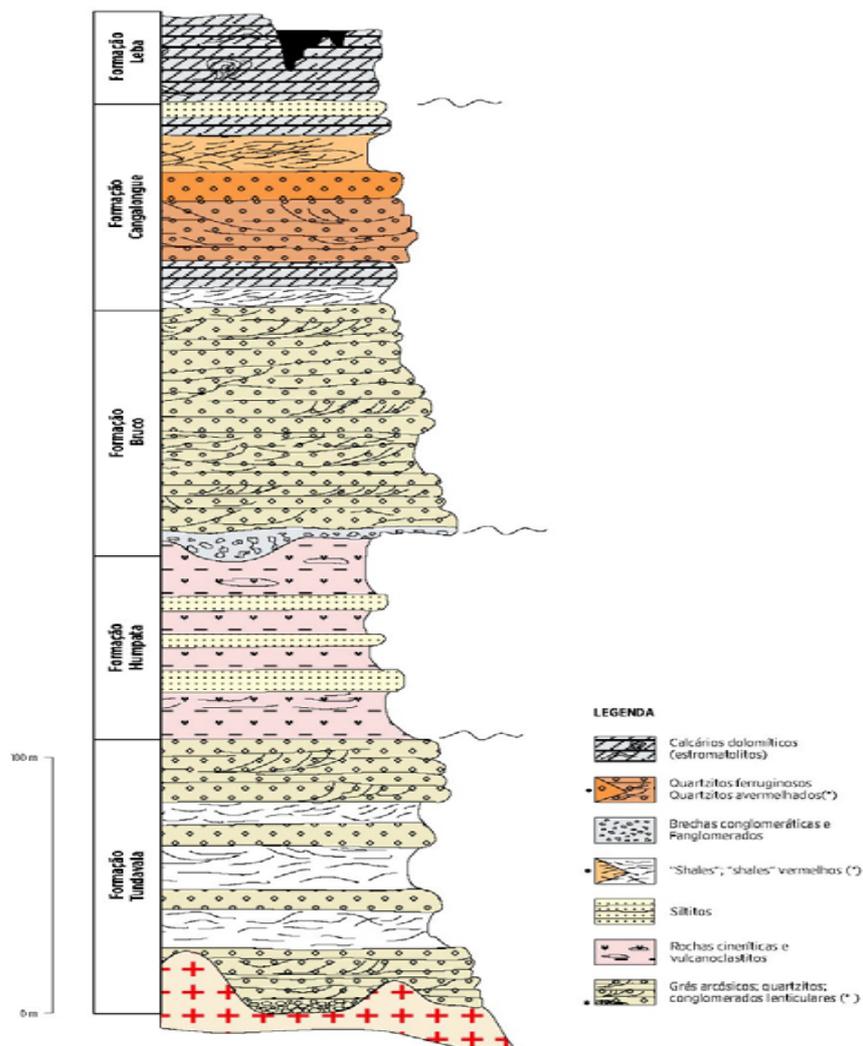


Figura 3.9 - Coluna litoestratigráfica do Grupo da Chela e da Formação da Leba (Pinho et al., 2016).

No oeste e sudeste do escudo Angolano ocorrem conglomerados, grés, quartzitos e itabiritos, assim como siltitos e xistos. No sudoeste da Huíla, verifica-se a ocorrência de rochas vulcânicas de composição ácida e intermédia, juntamente com as rochas metassedimentares, enquanto que no sudeste ocorrem rochas vulcânicas básicas. Na região de Cassinga, a leste da Huíla, ocorre um Complexo Vulcano-Sedimentar, constituído por quartzitos e conglomerados, subjacentes a rochas vulcânicas (dacitos, riólitos, albitófiros, espilitos e no topo, ocorrem xistos negros manganíferos e grauvaques) (Araújo e Guimarães, 1992).

A idade Paleoproterozóico das rochas Vulcano-sedimentares é confirmada pelas datações isotópicas existentes (método Rb-Sr): os xistos da região de Chipindo forneceram idades de 2.149 ± 83 Ma; os riólito-dacitos da região de Caluquembe-Chicala, de 2.244 Ma e de cerca de 1.970 Ma e os granitoides desta região, idades da ordem de 1.830 Ma; os pórfiros da região de Caquete, de 1.980 ± 70 Ma e os riólitos da Serra da Ganda, 1.882 ± 53 Ma (Araújo e Guimarães, 1992).

De acordo com Pereira et al. (2013) o Grupo da Jamba, que ocorre no leste da região da Huíla e ao qual é atribuída idade arcaica (Precâmbrico), está assente em discordância sobre os gnaisses e migmatitos. Tem composição predominantemente vulcano-sedimentar. A existência de “banded iron formations” (BIF), filitos e “black shales”, indicam a subida do nível mar. Por outro lado, a ocorrência de anfibólitos e xistos anfibólicos pode indicar que tenha ocorrido um incremento de atividade na dorsal oceânica.

O Complexo Gabro-Diorítico, o qual integra o grande arco magmático da região de Cainde, Macota e Bibala, à oeste e sudoeste do Lubango, entre os vários litotipos, é constituído essencialmente, por granitos, pórfiros e rochas sub-vulcânicas que afloram no centro de Angola. Estas rochas magmáticas, pertencentes ao extenso arco magmático do centro-sul de Angola deram uma contribuição significativa de material juvenil de composição calco-alcalina, na formação da crosta eburneana, durante a fase inicial e a fase principal do episódio Eburneano, com idades entre 2,01-1,99 Ga e 1,83 Ga, respetivamente (Pinho et al., 2016).

O Complexo Xisto-Quartzítico Anfibolítico, presente à sul e sudoeste da região da Huíla até à fronteira com a Namíbia, constitui uma sequência de litotipos que incluem xistos, metassiltitos e quartzitos de baixo grau metamórfico com intercalações de anfibolitos e calcários cristalinos associados, em discordância com os gnaisses e migmatitos subjacentes, de idade Eburneana. De acordo com Pinho et al. (2016) entre outras litologias existentes nesta região, incluem as rochas granitoides (granitos regionais, pórfiros quartzo-feldspáticos e rochas subvulcânicas associadas), de composição calco-alkalina.

No extremo sul e sudeste da província da Huíla e no interior da província do Cunene, ocorre o maior maciço de anortosito do mundo, designado por Complexo Gabro-Anortosítico do Cunene (CGAC), constituído, essencialmente, por anortositos, leucotroctólitos e troctólitos, apresentando, com menor expressão, ocorrências de gabros e noritos, denominadas, simplesmente, por anortositos, e abrange uma área de 34000 km², num afloramento com cerca de 30 a 50 km de largura e com uma extensão de cerca de 300 km, na direção norte-sul, desde a região de Quipungo até ao rio Cunene, junto à fronteira com a Namíbia, estendendo-se o afloramento de anortositos, através do território da Namíbia, por cerca de 50 km a sul do rio Cunene, com uma largura aproximada de 80 km, abrangendo deste modo, uma área com cerca de 4000 km² em território namibiano (Pinho et al., 2016).

3.5 Pedologia

Do ponto de vista pedológico, em geral, pode-se observar na Figura 3.10, que a Província da Huíla é dominada por solos do tipo ferrassolos ou ferralíticos (vermelhos, laranjas, amarelos e pardacentos), relacionados com as formações graníticas aí extensamente representadas.

Os solos paraferalíticos são característicos de áreas de clima tropical húmido ou sub-húmido. Relacionam-se com relevos muito pronunciados, onde se verificam maiores precipitações (Diniz, 2006). São constituídos por argilas caulínicas ou ferralíticas e por óxidos de ferro e de alumínio, embora em pequenas quantidades. Os solos ferralíticos têm texturas finas ou médias a finas, com colorações desde o amarelado ao avermelhado, constituídos por

minerais cauliníticos e óxidos de ferro e de alumínio, podendo apresentar concreções lateríticas dispersas ou em camadas a profundidade variável, formando bancada mais ou menos dura. O seu comportamento na produção de adobes para a construção em terra crua é ditado principalmente pelo alto índice de retração.

De acordo com Sertoli (2009), o grupo dos ferrassolos englobam os solos tipoferrálicos, solos fracamente ferrálicos, solos psamoferrálicos francos arenosos, solos tipoparaferrálicos e solos eutroparaferrálicos. Estes solos apresentam baixo pH com altos conteúdos de sesquióxidos de ferro e alumínio, boa drenagem e baixos conteúdos de nutrientes.

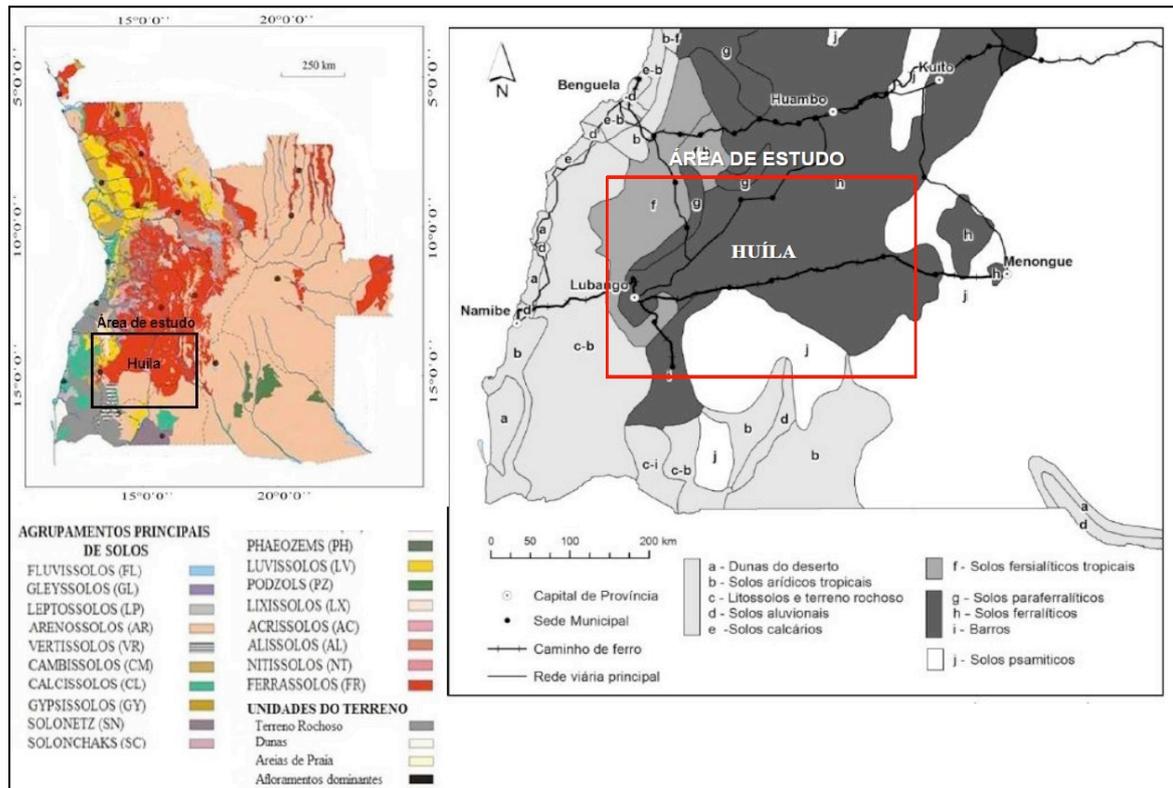
Além destes, observam-se ainda, mas ocupando áreas menos extensas (sobretudo a sul e sudeste da Província da Huíla), solos da classe dos arenossolos que englobam os psamorregossolos, solos oxipsâmicos e solos psamoferrálicos arenoso-francos. Além dos grupos anteriormente citados, os solos fersialílicos são os que não se enquadram em nenhum dos dois, enquadrando-se no grupo de referência dos Cambissolos (Cambisols). Os solos aluviais, que nesta área têm alguma extensão, desenvolvem-se em fundos de vale largos, são pouco evoluídos, formados por sedimentos estratificados muito heterogéneos, de depósitos de origem fluvial. Possuem pouca espessura, abundante pedregosidade, excesso de sais, verificando-se uma maior incidência de texturas grosseiras mais para sul (Diniz, 2006).

Os Arenossolos compreendem os solos com textura arenosa, incluindo os solos desenvolvidos nas areias residuais após alteração dos sedimentos *in-situ* ou de rochas geralmente ricas em quartzo e, solos desenvolvidos nas areias depositadas recentemente, como dunas em desertos e areias de praia (WRB, 2006). De acordo com Sertoli (2009), em associação ao clima, esses solos ocorrem desde os climas áridos a húmidos e de muito frio a muito quente. A característica principal que os Arenossolos possuem, é de terem em comum textura arenosa, respondendo geralmente por sua alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (Ngongo, 2014).

Para além dos solos largamente representativos, referidos anteriormente, numa faixa estreita a noroeste e sudoeste da Província da Huíla, ocorrem em pequenas proporções solos da classe dos calcários (Calcissolos e Cambissolos), Oxisialíticos (Luvisolos cálcicos), Litosolos (Leptossolos) e por fim os Vertissolos.

No conjunto dos solos da região sudoeste de Angola e em particular da Província da Huíla, constata-se que existe uma estreita correlação entre os solos e os materiais litológicos subjacentes (Diniz, 2006). Nesse sentido, os teores de calcário dos solos são baixos ou não existem, embora possam ser elevados quando a rocha-mãe é igualmente calcária. Ocorrem comumente afloramentos rochosos e os solos têm frequentemente pedregosidade, sendo abundante a disseminação de fragmentos de rocha na superfície do solo ou próximo desta, características que aumentam na direção de Sul e Sudeste (Diniz, 2006). O teor em ferro da maioria dos solos é de algum modo significativo, mas mais acentuado nos solos paraferalíticos e ferralíticos, podendo ocorrer crostas ferruginosas lateríticas. Estes solos lateríticos prestam-se especialmente à construção de Blocos de Terra Comprimida (BTC), quando as percentagens de argila são baixas, e de adobes em caso de teores de argila mais elevados.

A classificação dos solos de Angola (CEPT, 1968) foi sobretudo efetuada de acordo com a sua composição química e não tanto em consonância com as suas propriedades físicas. Entretanto, a notícia explicativa da Carta Generalizada de Solos contempla algumas dessas propriedades, mais concretamente certas características granulométricas, como a percentagem das frações grosseira, arenosa, siltosa e argilosa. Estas características são fundamentais para definir o potencial do solo como fornecedor de matéria-prima para a construção em terra.



A) Principais classes de solos de Angola (adaptado de Sertoli, 2009 in Ngongo, 2014). B) Solos predominantes no Sudoeste de Angola (extraído de Diniz, 2006). Retângulo: área de estudo, na Província da Huíla.

Na superfície planáltica que se estende até à Escarpa da Chela, associados aos afloramentos de rochas sedimentares, xistos, gnaisses e granitos predominantes, os valores de argila aumentam, em particular nas áreas de gnaisses e granitos (Figura 3.11).

No planalto dominante, relacionado sobretudo com os afloramentos graníticos e anortosíticos, o teor em argila chega a atingir 50% (Figura 3.9). Na região planáltica interior, o teor de argila diminui e o de areia aumenta, o que se encontra particularmente relacionado com a cobertura arenosa que ocupa uma vasta superfície daquela área.

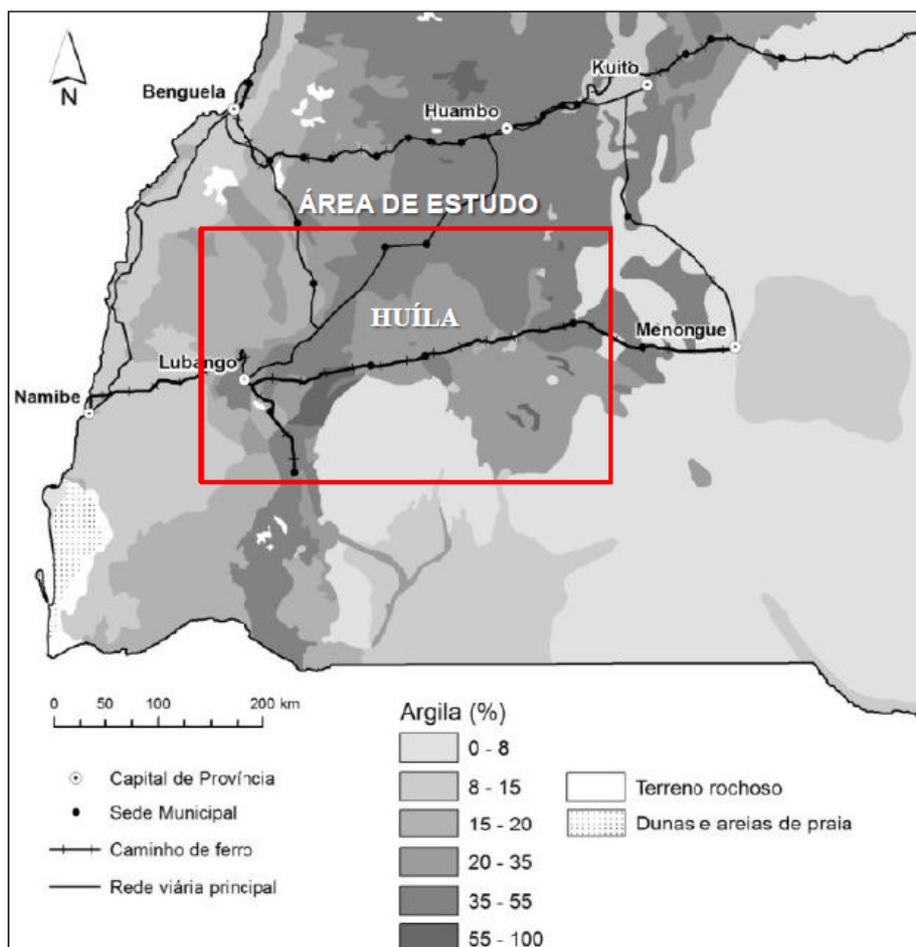


Figura 3.11 - Distribuição do teor de argila nos solos no sudoeste de Angola. Adaptado de Baptista (2014). Retângulo: Delimitação da área de estudo.

3.6 Aspectos sociais

A Província da Huíla é constituída por uma grande heterogeneidade etnográfica, maioritariamente composta por dois grupos etnolinguísticos, nomeadamente os Nhanecas Humbe e Ovimbundos, integrando também outros grupos e subgrupos, como por exemplo: os Nganguela, Tchokwes, Ovangambwe, Ovahakavona, Ovamuila, Vátuas, Kuissis, Koisans, etc. Estes grupos etnolinguísticos, são constituídos geralmente por famílias numerosas de baixo rendimento. Para além das dificuldades de saúde e de educação, apesar de progressivamente haver melhoria, as famílias confrontam-se ainda com a falta generalizada de outras infraestruturas básicas: habitação, saneamento básico, abastecimento de água potável e energia elétrica, sobretudo nos centros suburbanos e rurais.

Nas áreas rurais as famílias dedicam-se a duas atividades complementares: a agricultura e a criação de gado (Figura 3.12), sendo a segunda atividade a de maior notoriedade (onde os bois representam o principal símbolo de prestígio social e de riqueza) e o milho, entre outras, a principal cultura praticada (Medeiros, 1976).



Figura 3.12 - Criação de gado, Lubango.
Fonte: Fotografia de Wachilala.

Geralmente, a forma de povoamento dominante consiste no agrupamento de aldeias com várias famílias, mas recentemente nota-se uma dispersão espacial, vivendo cada família num conjunto de habitações (segundo Medeiros (1976), aquilo a que se poderia chamar de *pluricasa*) em número restrito, correspondendo ao total das famílias aparentadas. Nestas áreas, as habitações são de construção “tradicional” marcando a diferença étnica, pela disposição espacial, de acordo com cada grupo linguístico (figura 3.13), e construídas com materiais locais, fazendo uso do capim, madeira e do adobe, constituindo assim, uma importante referência para a prática atual de uma construção sustentável.



A)



B)

Figura 3.13 – A) Grupo etnolinguístico Nhaneca Humbe (o autor no lado direito da foto A). B) Casas de pau-a-pique da tribo Nhaneca Humbe. Fonte: Fotografia de Wachilala.

A construção em terra crua na Província da Huíla é atualmente notória em grande escala nas zonas urbanas, periurbanas e rurais, cujas características construtivas e materiais utilizados, diferem sobretudo em função do rendimento das próprias famílias e dos materiais disponíveis, seguindo os padrões ancestrais (culturas e tradições locais).

As dimensões das casas são geralmente mínimas em quantidade e dimensão (Figura 3.14), não satisfazendo as necessidades de habitabilidade das famílias que, geralmente, são numerosas.



Figura 3.14 - Habitação vernacular na Província da Huíla, Angola. Fonte: Fotografia de Wachilala.

O adobe, pau-a-pique e, mais recentemente, os blocos de terra comprimida (Pedro, et al, 2014), constituem as técnicas de construção em terra crua, mais comum nesta região do planalto. O modo de produção dos adobes (Figura 3.15) consiste na mistura de solo com água e capim e/ou fibras vegetais, e em alguns casos com formigueiros de salalé (Figura 3.15 A), posterior moldagem de pequenos blocos, utilizando moldes duplos de madeira, sendo desmoldados ainda no estado fresco e colocados a secar à temperatura ambiente (Wachilala et al, 2016). Em certos casos, coloca-se areia seca sobre os blocos, de modo a evitar fissuras, durante o período de cura.

A construção em terra na região da Província da Huíla é normalmente executada pela comunidade (famílias e vizinhos), e geralmente participam homens, mulheres e crianças, integrando também na equipa de trabalho, um mestre de obra e respetivo ajudante, com tarefas bem distintas. As mulheres e as crianças transportam a água para a preparação da mistura de argamassa, os homens e o mestre desenvolvem os restantes trabalhos de apoio e edificação da obra (Figura 3.15 B e D).

Nestas construções são utilizadas estruturas de pau-a-pique de paredes revestidas de barro, outras são construídas com adobes amassados com capim para terem maior consistência, raramente sendo feita a pintura das casas. Em suma, as várias técnicas de construção em terra crua pelas diferentes etnias refletem os recursos disponíveis no território da Província da Huíla.

Na Figura 3.15 ilustram-se algumas etapas de produção de adobes na Província da Huíla.

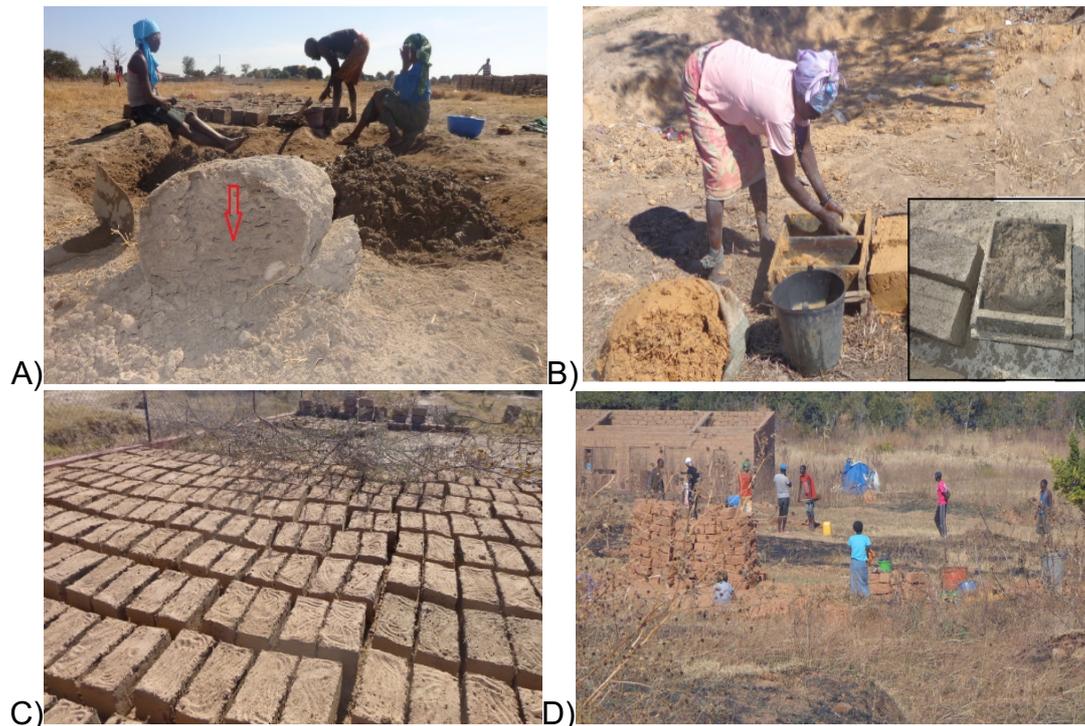


Figura 3.15 - Produção de adobes na Província da Huíla: (A) Mistura do solo com água e formigueiro de salalé (seta vermelha); (B) Molde duplo em madeira com a mistura de solo, água e capim; (C) Secagem ao ar livre dos blocos de adobe; (D) Edificação da obra. Fonte: Fotografia de Wachilala.

CAPÍTULO IV METODOLOGIA

CAPÍTULO IV METODOLOGIA

4.1 Trabalho de campo e amostragem

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em seis localidades da Província da Huíla, previamente selecionados, com distâncias entre si que variam entre 30 e 190 km, nomeadamente: Lubango, Humpata, Chibia, Quipungo, Matala e Kaluquembe. Para a caracterização dos solos utilizados na construção em terra crua nesta região do sudoeste de Angola, os trabalhos efetuados, nesta fase, foram:

- 1) Recolha de informação através de conversas formais e informais com as populações locais e com os mestres-de-obras das referidas localidades, que permitiram obter dados relativos às técnicas, métodos e tipo de construção, cujas informações recolhidas estão expressas nas tabelas 4.1 e 4.2.
- 2) Recolheram-se oito amostras que correspondem a solos residuais de granitos orogénicos, utilizados na construção em terra crua, no próprio local onde se efetua a obra. A seleção destes locais para recolha de amostras de solos, justifica-se pelo facto de existirem inúmeras habitações de terra crua, que utilizam como técnica de construção de base, o adobe. Nestes locais, os blocos de adobe são produzidos com alguma frequência durante a época seca (de forma sazonal, de Maio a Setembro).
- 3) Posteriormente realizaram-se os ensaios expeditos *in-situ* para caracterizar o solo em cada local (cor, cheiro, tato, brilho, queda da bola e sedimentação).
- 4) Por fim, os respetivos solos foram submetidos a ensaios de laboratório, de modo a caracterizar as propriedades geotécnicas, geoquímicas e mineralógicas destes geomateriais, bem como os respetivos adobes foram ensaiados pelo método de Geelong, de acordo com a norma Neozelandesa (NZS 4298, 1998), para avaliar a sua durabilidade e erodibilidade.

O organigrama da Figura 4.1 resume a metodologia adotada na realização do presente trabalho.

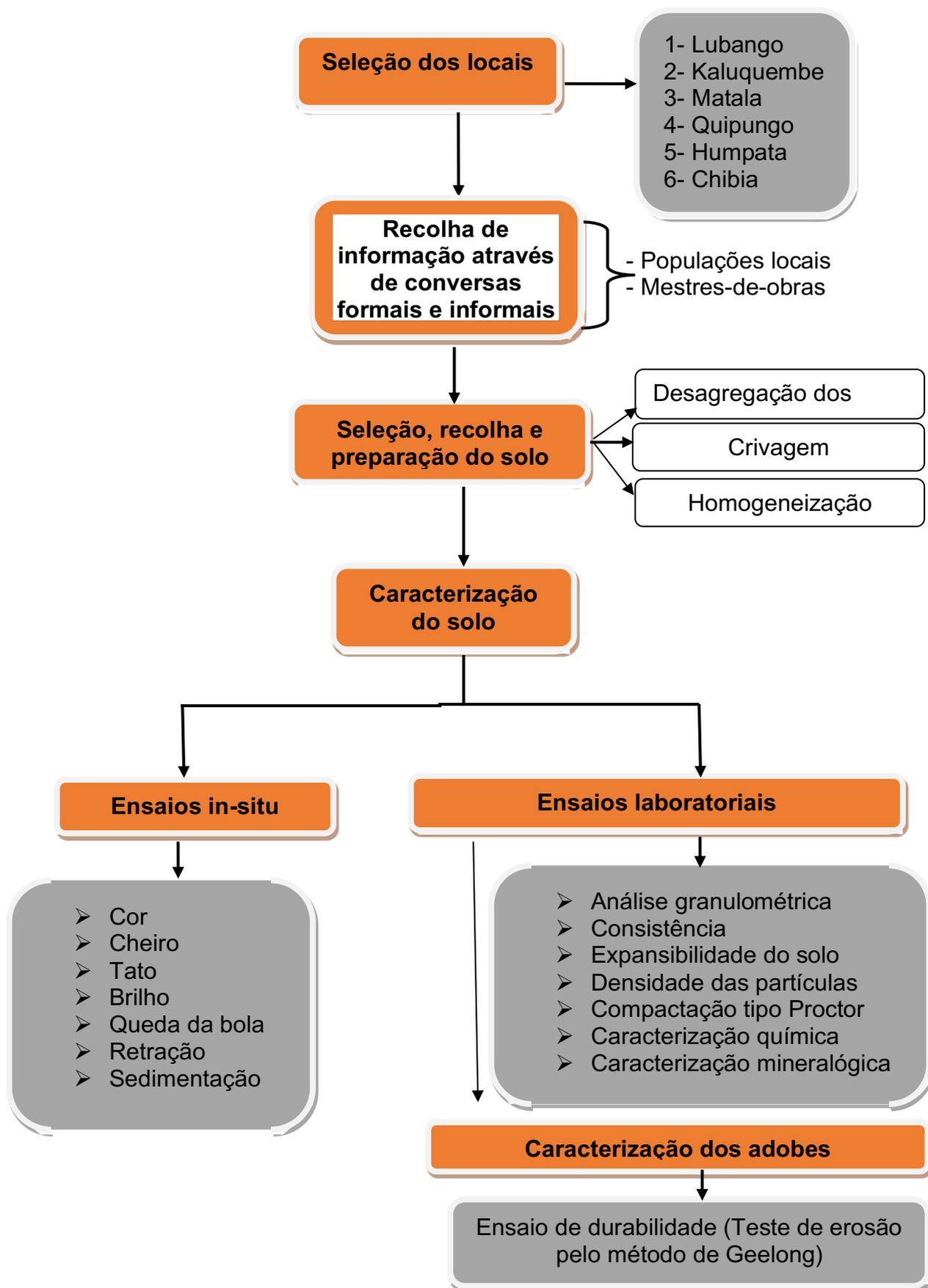


Figura 4.1 - Organograma da metodologia adotada.

4.2 Métodos de construção em terra crua na Província da Huíla

Na província da Huíla, os métodos construtivos seguem os padrões ancestrais, distribuídas em toda a região, e foram construídas pelos vários grupos étnicos. Nas tabelas 4.1 e 4.2, é notório observar que os elementos e processo de execução, tanto dos adobes como da argamassa, são semelhantes em todas as áreas de estudo.

Nesta região da Huíla, a construção em terra é normalmente executada pela própria comunidade, famílias, vizinhos e alguém mais experiente, sem qualquer projeto, baseando-se apenas no resultado da prática e experiências que este conhece. As mulheres e crianças, ajudam na preparação das misturas do solo com água para o adobe e argamassa, e no transporte de água e materiais (por exemplo: ripas, capim, paus, caniços, pedras, entre outros utensílios), enquanto que os homens executam os restantes trabalhos de edificação da obra. A equipa de trabalho integra sempre um mestre e um ajudante, no mínimo.

Entre as técnicas de construção em terra na Huíla, destaca-se: o adobe e pau-a-pique e mais recentemente o bloco de terra compactada, como já foi referido no capítulo I. No entanto, há que destacar o adobe, como sendo uma técnica bastante difundida na região. O fabrico de adobes, consiste essencialmente na mistura de solo mais ou menos argiloso com água e capim (fibras vegetais), que é introduzida em moldes de madeira, obtendo-se posteriormente uma forma prismática retangular, com diferentes medidas que em média são de 40 cm de comprimento, 19 cm de largura e 16 cm de altura, levando em média cinco a sete dias a secar à temperatura ambiente para ser aplicado na construção de habitações. As paredes são assentes a $\frac{1}{2}$ vez (paredes simples) ou a 1 vez (paredes duplas), respetivamente. Em alguns casos as paredes são revestidas no exterior e no interior apenas com solos e/ou areia misturada com cimento e, na maioria dos casos, não têm revestimento (dependendo dos recursos financeiros das famílias).

A aplicação destes materiais torna a construção mais barata. São construções simples, apresentando uma tipologia de habitação unifamiliar, agrupadas ou isoladas, variando entre os 2 e 3 quartos.

Tabela 4.1 – Método de produção de adobes na Província da Huíla

PRODUÇÃO DO ADOBE					
Localidade	Método de fabrico	Dimensões (cm³)	Período de produção	Tempo e processo de secagem	Moldes
Lubango	O solo é misturado com água e capim seco e/ou fresco, primeiro com uma enxada e pá, e depois com os pés.	42x19x17	Maio a Setembro	3 - 5 dias expostos ao sol	Duplos de madeira de eucalipto
Humpata	O solo é misturado com uma enxada e pá, com adição de água e/ou sem capim	40x18x18	Maio a Setembro	6 - 12 dias expostos ao sol	Duplos de madeira de eucalipto
Chibia	O solo é misturado com uma enxada e pá, com água, sem capim.	40x20x16	Maio a Agosto	2 - 3 dias expostos ao sol	Duplos de madeira de eucalipto
Matala	O solo é misturado com uma enxada e pá, com água e capim seco. Também se utiliza o solo dos ninhos de salalé ¹ (térmita) como material de base.	40x19x16	Maio a Setembro	5 - 7 dias expostos ao sol	Duplos de madeira de eucalipto
Quipungo	O solo é misturado com uma enxada e pá, com água, e capim seco e/ou terra dos ninhos de salalé ¹ (térmita) como material de base.	40x20x15	Maio a Setembro	5 - 7 dias expostos ao sol	Duplos de madeira de eucalipto
Kaluquembe	O solo é misturado com uma enxada e pá, com água e capim seco.	40x19x17	Maio a Agosto	5 - 8 dias expostos ao sol	Duplos de madeira de eucalipto

¹ A formiga salalé no processo de digerir a terra acrescenta uma substância que aumenta a coesão da terra, atuando como uma argila de origem biológica.

Tabela 4.2 – Métodos de construção de casas na Província da Huíla

MÉTODO DE CONSTRUÇÃO	
Nº de pessoas por equipa de trabalho	1 ou 2 mestres e 2 ou 3 ajudantes
Tempo médio de edificação	1 a 4 semanas
Material de ligação	Argamassa de solo e água.
Fundações	Com ou sem escavação e alicerce de pedras ou de adobes
Tipos de paredes	Interna (1/2 vez); externa (1/2 vez)
Reboco	Sem reboco / apenas solos / areia misturada com cimento
Cobertura	Ripas de madeira e chapas de zinco e de losalite ou de capim.

4.3 Ensaio expedito *in-situ*

Este tipo de ensaios permite obter algumas conclusões iniciais sobre as propriedades qualitativas do solo existente e disponível no local da construção. Trata-se de ensaios de fácil execução, sem a necessidade de se recorrer a meios técnicos sofisticados, podendo ser realizado no próprio local da extração do solo.

Os ensaios expeditos realizados, são uma adaptação de ensaios utilizados pelo grupo francês CRAterre (Houben e Guillaud, 1989) e Proterra (Neves et al., 2010).

4.3.1 Testes tátil e visuais

- **Observação da cor:** quando o solo em estudo apresentar cores claras e brilhantes, são características de um solo inorgânico. Caso as cores sejam marrom escuro, verde olivina ou preta, o solo apresenta as características de um solo orgânico.
- **Teste do cheiro:** quando o solo apresentar um cheiro forte a húmus, são características de um solo orgânico, o qual é potenciado pelo aquecimento ou humedecimento desse solo.
- **Teste do brilho:** tomar um pouco de material bem fino e amassar com água até formar uma bola compactada do tamanho da mão. Em seguida, cortar pela metade e observar as superfícies. Se as

superfícies são brilhantes ou há muito brilho, o solo é argiloso. As superfícies com pouco brilho são características de um solo arenoso. Se as superfícies são opacas, o solo é siltoso.

- **Teste do tato:** ao esfregar uma porção de solo entre os dedos, pode-se identificar os tipos de partículas presentes no solo. Caso se verifique uma sensação áspera e que não haja coesão entre as partículas do solo, estamos perante um solo arenoso. O solo será argiloso, se no estado seco existirem torrões resistentes ao esmagamento, que após humedecidos apresentam um comportamento plástico e pegajoso. O silte cobre os dedos com partículas macias, como se fosse um talco.

4.3.2 Teste da queda da bola

Neste teste, deve-se tomar uma porção de solo seco, humedecê-lo devidamente, até obter uma pasta consistente, e fazer uma bola com diâmetro aproximado de 3 cm. Deixa-se cair a bola, em queda livre, da altura aproximada de um metro, sobre uma superfície plana. Se a bola se espalha com esfarelamento ou desagregação, o solo é arenoso. Caso a bola se espalha menos e com maior coesão, o solo é argiloso (Figura 4.2).

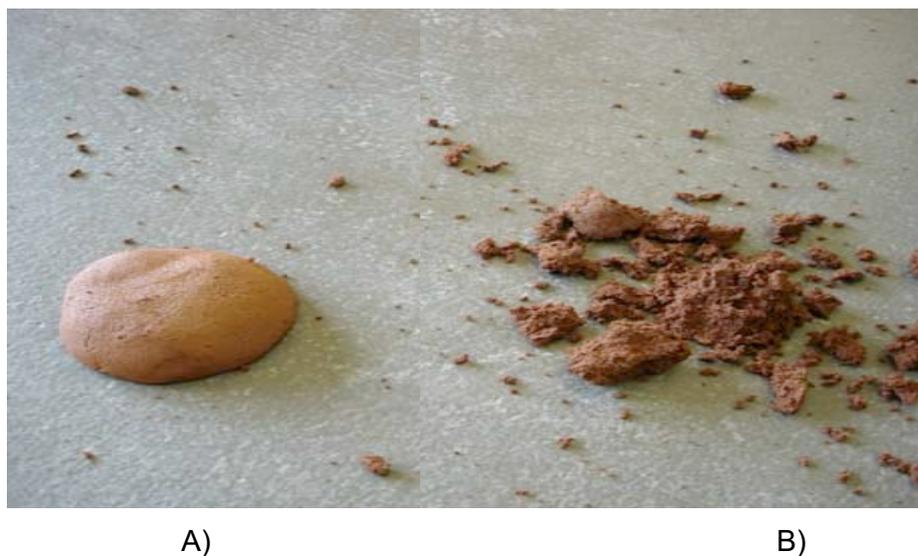


Figura 4.2 – Teste da queda da bola - aspecto do espalhamento em função do tipo de solo: A) solo argiloso; B) solo arenoso. Fonte: Neves et al. (2010).

4.3.3 Teste de retração

Este ensaio visa avaliar qualitativamente o fenómeno de retração dos solos extraídos na proximidade das habitações locais. Para este efeito:

- 1) Modelaram-se 3 provetes para cada tipo de solo com a ajuda de um pedaço de tubo em PVC com 1 cm de altura e 5 cm de diâmetro interior.
- 2) Com o solo humedecido, preencheu-se os anéis e alisou-se a superfície.
- 3) Deixaram-se os provetes secar durante 48 horas.
- 4) Mediu-se a retração (Figura 4.3).

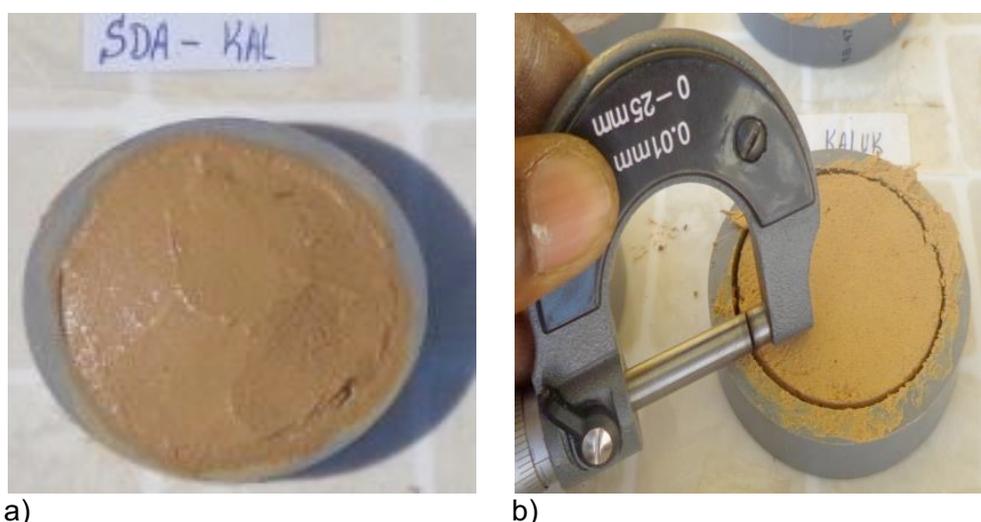


Figura 4.3 – Teste de retração dos solos nas argolas (5 cm de diâmetro; 1 cm de altura): a) antes da secagem; b) após 48 horas de secagem ao ar. Fonte: Fotografia de Wachilala.

Procurou-se analisar os resultados obtidos com base em valores normativos, referidos na “New Zealand Standard” (NZS 4298: 1998).

De forma a ser possível fazer algum tipo de comparação, converteram-se os valores para percentagens, da seguinte maneira:

$$\text{Retração (\%)} = \frac{\text{retração (mm)}}{\text{diâmetro da argola (mm)}}$$

4.3.4 Teste de sedimentação ou teste da garrafa

Este ensaio consiste em: (I) colocar uma porção de terra, seca e destorroada, dentro de um recipiente em vidro cilíndrico, liso e transparente, até cerca de 1/3 de sua altura; (II) adicionar água destilada até 2/3 da altura do vidro; (III) tampar o recipiente e agitar vigorosamente a mistura para que haja a dispersão do solo na água; (IV) deixar em repouso por 1 h e, em seguida, promover nova agitação; (V) colocar o recipiente em repouso, sobre uma superfície horizontal; (VI) cada um dos componentes da terra deposita em tempos diferentes formando distintas camadas que se podem visualizar; pedregulho e a areia sedimentam primeiro, por serem as partículas mais pesadas, seguidos do silte e por último a argila; se o solo contém matéria orgânica, esta sobrenada na superfície da água. (VII) quando a água estiver límpida, medir a altura das distintas camadas (Figura 4.4).

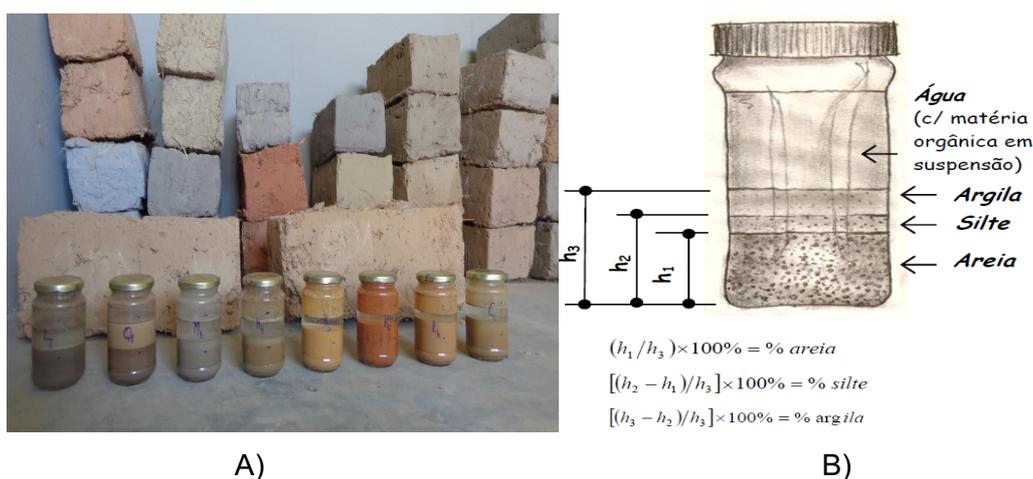


Figura 4.4 – Teste de sedimentação ou da garrafa: A) teste onde existe ainda uma quantidade de partículas em suspensão. Fonte: Fotografia de Wachilala. B) indicações sobre o cálculo das frações de cada componente do solo (Neves et al., 2010).

4.4 Ensaio de laboratório

A importância de conhecer a nível tecnológico o solo que será trabalhado é de suma importância e a forma segura de obter os resultados satisfatórios e indicadores da sua aplicabilidade para a construção em terra. Neste sentido, é necessária a realização de ensaios normalizados, cujos resultados possibilitam a identificação, caracterização e classificação do solo.

Os ensaios de laboratório permitem a identificação de um determinado tipo de solo. Na Figura 4.5 ilustram-se os procedimentos de preparação das amostras de solo, tal como são recebidas do campo, para análise das suas propriedades físicas, químicas, mineralógicas e mecânicas.



Figura 4.5 - Preparação geral das amostras de solos no laboratório: (A) Amostras de solo quantificadas; B) Desagregação dos torrões; C) Repartição dos solos. Fonte: Fotografia de Wachilala.

4.4.1 Análise granulométrica

Entende-se por composição granulométrica de um solo, a distribuição, expressa em peso, das partículas constituintes desse solo com tamanhos inferiores a determinadas dimensões.

A análise granulométrica das partículas que constituem o solo foi determinada por peneiração húmida (fração menor que 4.750 mm e fração superior a 0.075 mm) de acordo com a norma especificada em E 239-1970 LNEC, (1970). Este ensaio é efetuado agitando uma dada massa de solo sobre uma série de peneiros com malhas de diferentes dimensões (Figura

4.6). O solo retido em cada peneiro é posteriormente seco em estufa, para aferir a percentagem em relação à massa total do provete.



a)

b)

Figura 4.6 - Análise granulométrica: a) peneiros com malhas de diferentes dimensões. b) Análise granulométrica por peneiração húmida para se obter a desagregação das partículas mais finas dos provetes de solos. Fonte: Fotografia de Wachilala.

A série de peneiros utilizados corresponde à série de peneiros ASTM (American Society for Testing and Materials) de malha quadrada (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Malha de peneiros utilizados ASTM.

Nº do peneiro	4	10	20	40	60	140	200
Malha (mm)	4.750	2.000	0.850	0.425	0.250	0.106	0.075

Após a realização dos ensaios de análise granulométrica, os resultados são representados num gráfico em escala semi-logarítmica, em que nas abcissas, em escala logarítmica, são representados os diâmetros equivalentes das partículas com a respetiva malha dos peneiros, e em ordenadas, em escala decimal, são representadas as percentagens acumuladas de material que passa no respetivo peneiro, relativas à massa total do provete. A união, por troços retos, dos vários pontos representados neste gráfico constitui uma curva granulométrica.

4.4.2 Limites de consistência

Os limites de consistência ou de Atterberg², são teores em água que correspondem às fronteiras dos distintos estados físicos de comportamento de um solo fino (numa fração inferior a 0,425 mm), diante determinadas tensões e deformações.

Os limites de consistência (limite de liquidez e de plasticidade) foram determinados de acordo com a norma NP 143 (LNEC, 1969). A determinação destes limites é somente aplicável a solos com cerca de 30%, ou mais, em massa, de partículas de dimensões inferiores a 0,05 mm. Ficam, portanto, excluídos os solos predominantemente arenosos, para os quais o ensaio, mesmo quando possível, perde o seu significado. Este conjunto de ensaios são realizados, utilizando-se cerca de 200 g de material passado através do peneiro nº45 (0,425 mm). Após a preparação do solo, adiciona-se água destilada até se formar uma pasta homogênea e consistente. De cada vez que se adiciona nova porção de água, a amassadura deve durar, pelo menos 5 minutos.

Segundo a norma, em certos tipos de solos argilosos, é aconselhável deixar o material húmido durante 24 horas em recipiente fechado para que a humidade se distribua uniformemente pelas partículas, permitindo a hidratação das argilas.

4.4.2.1- Limite de Liquidez

O limite de liquidez (LL ou W_L) é o teor em água que serve de fronteira entre o comportamento fluido e o moldável, permitindo classificar os solos finos quanto à plasticidade.

As normas estrangeiras mais adotadas em todo o mundo para a determinação dos limites de liquidez são:

- I) As normas inglesas, British Standards Institution (BS) – Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes (BS 1377: Parte 2, 1990),

² O primeiro estudo sobre os limites de consistência foi levado a cabo por Atterberg em 1908, nome pelo qual os mesmos também são conhecidos. Propôs pela primeira vez para o estudo de solos argilosos uma classificação com base na granulometria, definindo o termo “argila” como a fração dos solos com dimensão inferior a 2μ .

que propõe o “*fall cone*” como o método principal em detrimento da concha de Casagrande.

II) Nos EUA, a American Society for Testing and Materials D4318-05 (ASTM, 2005), que recomenda a concha de Casagrande como a metodologia principal, contrariamente o proposto pelas BS.

Em Portugal, o método mais usado é o da concha de Casagrande, estando a sua metodologia apresentada na norma portuguesa NP 143 (LNEC, 1969). O método de *fall cone* também é usado em alguns laboratórios nacionais, como método secundário, tendo nesse caso que se seguir a metodologia inglesa, British Standard (BS 1377: Parte 2, 1990).

No presente trabalho, para avaliação do limite de liquidez foi adotado o método de concha de Casagrande.

O ensaio proposto por Casagrande³ para a determinação do limite de liquidez de uma amostra de solo, consiste em calcular o teor em água correspondente a 25 pancadas, obtido por interpolação numa curva que relaciona o teor em água de cada um de 4 provetes da amostra com o número de pancadas para o qual os bordos inferiores de um sulco aberto num provete se unem numa extensão de 1 cm.

Após a verificação de se a concha de Casagrande está perfeitamente limpa, e se cai livremente e sem demasiadas folgas, espalha-se uma porção de pasta preparada (como se indicou anteriormente) na concha, de modo a que se obtenha uma camada, não muito comprimida, com a espessura máxima de 1 cm e com a superfície nivelada. Antes do início do ensaio, procede-se com auxílio do calibre, à regulação da altura de queda da concha e também a um treino do operador com o objetivo de que a manivela da concha de Casagrande seja acionada, durante o ensaio, de modo a que dê 30 voltas em 15s. Preparado o primeiro provete, faz-se nele um sulco que deverá ser

³ A partir dos trabalhos de Casagrande (1948 in Budhu, 1999) os limites de consistência passaram a constituir parâmetros essenciais na classificação e caracterização de solos coesivos finos, estando intimamente relacionados com os principais parâmetros responsáveis pelo comportamento dos solos. O mesmo autor foi também o responsável pela criação do aparelho conhecido por concha de Casagrande.

obtido deslocando o riscador segundo o diâmetro da concha normal ao eixo da manivela e mantendo-o perpendicular à superfície da concha (Figura 4.7). Em seguida, aciona-se a manivela, à razão de 2 voltas por segundo, até que as duas porções do provete, devido às pancadas da concha sobre a base, entrem em contacto pela parte inferior do sulco numa extensão de cerca de 1 cm, anota-se o número de pancadas correspondente e retira-se com a ponta da espátula, cerca de 10 g do provete da zona do sulco em que se deu a união, que será pesado logo de seguida tal como foi colhido e após a secagem em estufa a 105 ° C, permitindo a determinação do seu teor em água, de acordo com a especificação NP 84 (LNEC, 1965).

Os teores em água dos 4 provetes devem ser escolhidos de modo que o número de pancadas necessário para unir os bordos dos sulcos varie entre 10 e 40, se distribuam, em dois ensaios, abaixo de 25 e, em outros dois, acima de 25 pancadas. Recomenda-se que sejam realizados 6 provetes, a fim de se ter 2 provetes suplentes, escolhendo-se os melhores valores, e evitando-se a repetição do ensaio caso algum valor obtido não seja o mais adequado.



Figura 4.7 - Determinação dos limites de liquidez dos provetes de solo pelo método da concha de Casagrande. Fonte: Fotografia de Wachilala.

4.4.2.2 - Limite de Plasticidade

Plasticidade é a propriedade de uma argila modificar a sua forma, sem ocorrer rotura, na presença de água e por aplicação de uma força exterior (Sousa, 2011). É uma propriedade de grande importância para os solos argilosos (solos de textura fina). Devido à forma lamelar das partículas das argilas, pode ocorrer um deslocamento das partículas sem variação do

volume (Alves, s.d). A plasticidade é influenciada por diversos fatores, entre os quais, a mineralogia do solo argiloso, a sua granulometria, a forma e carga elétrica dos cristais e o estado de desfloculação da argila.

Entende-se por limite de plasticidade de uma amostra de solo a média dos teores em água de 4 provetes da amostra a ensaiar, em que cada um dos quais é o maior teor em água com que rompe cada provete ao pretender-se transformá-lo num filamento cilíndrico com cerca de 3 mm de diâmetro, por rolagem entre a palma da mão e uma placa de vidro.

Este ensaio realiza-se, rolando um dos provetes da mistura obtida, de solo mais água destilada, entre a palma da mão e a placa de vidro, com pressão suficiente para a transformar num filamento cilíndrico. Quando o diâmetro do filamento atinge cerca de 3 mm, volta-se a formar uma esfera e a rolá-lo de novo, e continuam-se estas operações até que, devido à progressiva secagem do provete, se dê a rotura do filamento quando o seu diâmetro atinge cerca de 3 mm (Figura 4.8). Aglomeram-se os filamentos obtidos e determina-se o seu teor em água de acordo com a especificação da norma portuguesa NP E 16-1953.

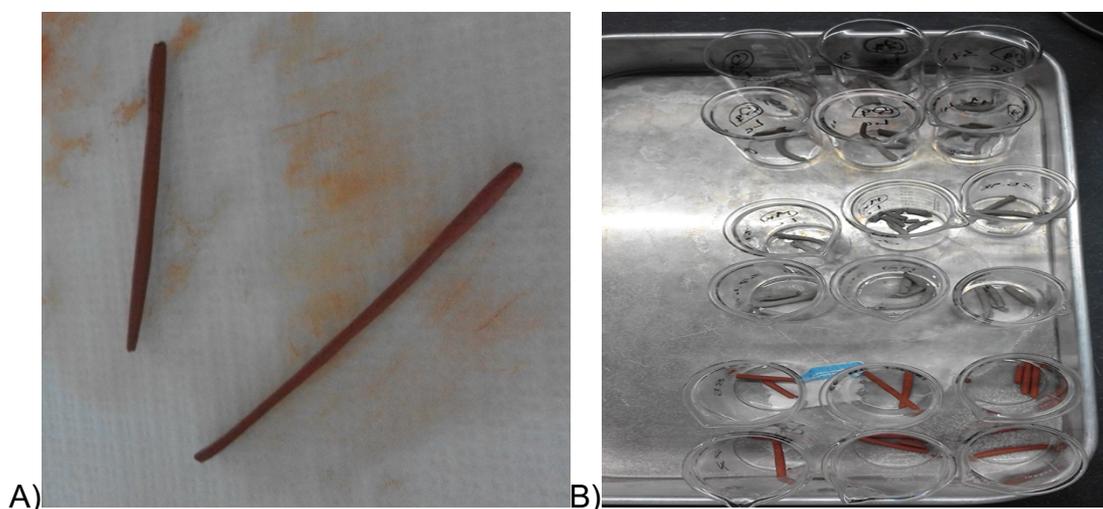


Figura 4.8 - Determinação do limite de plasticidade dos provetes de solos. A) Filamento cilíndrico dos provetes da amostra a ensaiar; B) Provetes a serem ensaiados. Fonte: Fotografia de Wachilala.

4.4.2.3 - Índice de Plasticidade

O índice de plasticidade (IP) está intimamente ligado à determinação dos limites de liquidez e de plasticidade. Entenda-se por índice de plasticidade o valor resultante da diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP):

$$IP = LL - LP \quad (4.1)$$

É um parâmetro muito útil para a classificação dos solos finos. A argila é mais compressível quanto maior for o IP.

O índice de plasticidade procura medir a plasticidade do solo e, fisicamente, representa a gama de teores em água para os quais um determinado solo tem comportamento plástico. A seguir, são apresentados na Tabela 4.4 alguns intervalos do IP para a classificação do solo quanto à plasticidade.

Tabela 4.4 – Classificação de Atterberg baseada no comportamento “plástico” dos solos (Folque 1991).

Valores de Plasticidade (%)	Classificação
IP = 0	Solo não plástico
1 < IP < 7	Solo de baixa plasticidade
7 < IP < 15	Solo de média plasticidade
IP > 15	Solo de elevada plasticidade

4.4.3 Ensaio de expansibilidade

A expansibilidade dos solos foi determinada de acordo com as normas especificadas em E 200-1967 (LNEC, 1967), que consiste na compactação de duas camadas aproximadamente iguais, calculando cada porção de tal modo que, após a compactação, o total exceda ligeiramente o bordo do molde. O ensaio de expansibilidade permite determinar a variação de volume, expressa percentualmente, de uma fração de um solo passado no peneiro nº 40 (0,425 mm), durante a absorção de água por capilaridade.

O referido ensaio é realizado utilizando cerca de 100 g de solo, constituído por uma porção devidamente homogeneizada do material que passa no peneiro nº 40 (0,425 mm), obtida de acordo com a especificação E 195 - 1966 “Solos – Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação (LNEC, 1966)”.

Uma vez realizada a compactação com um pilão normalizado, retira-se a alonga e rasa-se cuidadosamente o excedente do solo com a espátula, de modo a conseguir uma superfície perfeitamente plana e nivelada com os bordos do molde, sem excedentes de solo.

Após a montagem do defletómetro que vai medir os deslocamentos da tampa de perspex que cobre o solo devidamente compactado, é conveniente para assegurar um encosto perfeito, que a leitura inicial, com o solo seco na estufa a 60° C, seja superior a zero. Anota-se essa leitura l_0 .

De seguida, deita-se água destilada dentro do recipiente de vidro até ao nível da face superior da base do aparelho e põe-se o cronómetro a funcionar (Figura 4.9). Fazem-se leituras periódicas do defletómetro até que duas leituras com intervalo de 2 horas deem o mesmo valor ou valores decrescentes.

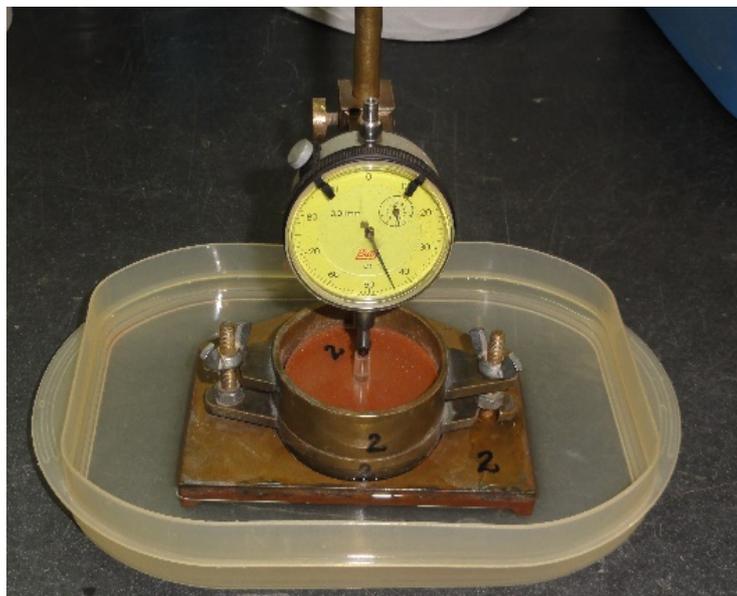


Figura 4.9 – Expansímetro com defletómetro, usado para o ensaio de expansibilidade. Fonte: Fotografia de Wachilala.

4.4.4 Determinação da densidade das partículas

A densidade das partículas do solo foi determinada após crivagem (fração inferior a 4.75 mm) de acordo com a norma especificada em NP 83 LNEC (1965). Os valores da densidade das partículas dos solos amostrados foram determinados pelo método com secagem prévia do provete.

Neste método, introduz-se o provete com cerca de 25 g na cápsula tarada, que se mantém na estufa entre 105 °C e 110 °C até obter massa constante, deixa-se arrefecer no exsicador e pesa-se. Transfere-se o provete, sem perdas, para o picnómetro, que se enche até cerca de $\frac{3}{4}$ da capacidade com água destilada, isenta de ar, e deixa-se a embeber durante pelo menos 12 horas. O ar remanescente, extrai-se ou por ebulição e agitação durante, pelo menos, 10 minutos, ou utilizando um exsicador de vácuo ligado a uma fonte de vácuo; neste último caso, deve reduzir-se progressivamente a pressão (nunca abaixo de 100 mm Hg) para que o desprendimento não seja tumultuoso. A seguir, deixa-se o picnómetro em repouso até que o seu conteúdo atinja a temperatura ambiente, acrescenta-se água destilada isenta de ar até ao traço de referência (100 ml), enxuga-se cuidadosamente o exterior, pesa-se o conjunto e determina-se a temperatura do conteúdo do picnómetro (Figura 4.10).



A)

B)

C)

Figura 4.10 - Determinação da densidade das partículas do solo: A) picnómetros com os provetes de solos e água destilada; B) provetes de solos em ebulição C) pesagem dos provetes de solos. Fonte: Fotografia de Wachilala.

4.4.5- Propriedades químicas e mineralógicas

4.4.5.1- Descrição do ensaio por espectrometria de fluorescência de raios-X

A espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) é, atualmente uma técnica analítica mais versátil e amplamente utilizada nos laboratórios envolvidos na análise química dos solos (Duarte, 2002). Este facto deve-se à simplicidade, rapidez e precisão do método na determinação de elementos químicos presentes nos solos.

Na técnica de fluorescência de Raios-X, um feixe de radiação de raios-X incide sobre a amostra a analisar. Baseia-se na produção e deteção de raios-X, característicos, produzidos pelo fenómeno fotoelétrico, emitidos pelos elementos constituintes da amostra quando irradiada com raios-X com energia apropriada. Os raios-X secundários são característicos de cada átomo (Pollard *et al.*, 2006). Na Figura 4.11 está representado o princípio da técnica de FRX.

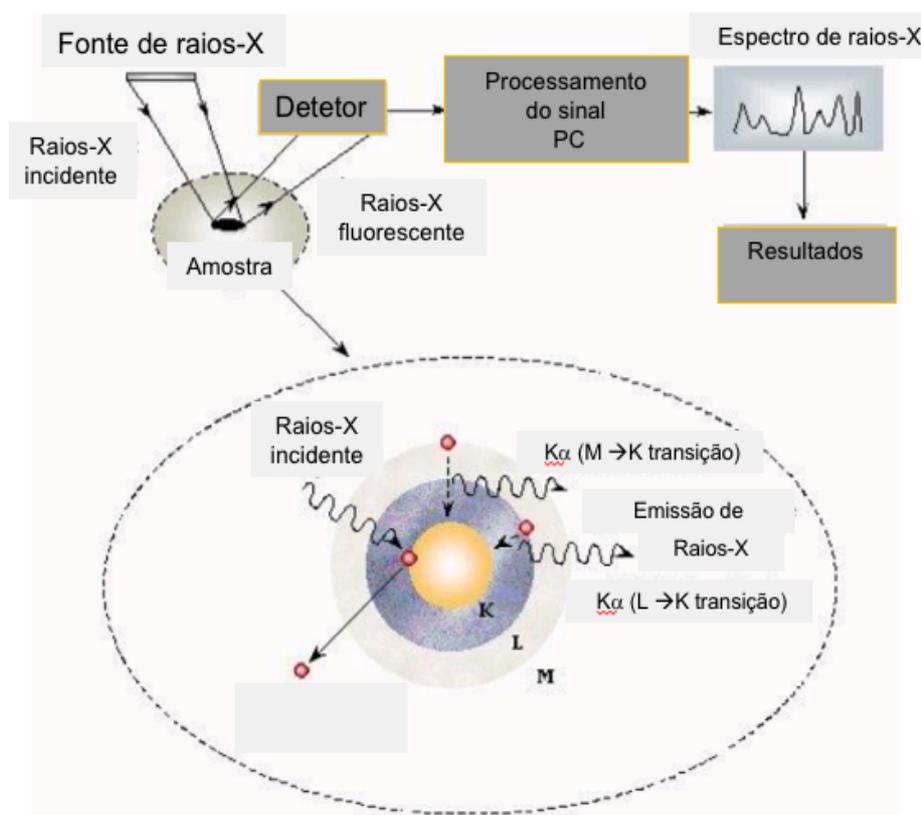


Figura 4.11 - Esquema representativo do princípio da técnica de fluorescência de raios-X e o típico arranjo de deteção de FRX (Adaptado de Council, 2013).

A FRX foi utilizada com o objetivo de analisar a composição química elementar quantitativa das amostras de solos das localidades de Lubango, Kaluquembe, Matala, Quipungo, Chibia e Humpata (Lh, Lt, Kc, Ks, Mk, Qq, Cc e Hh). Para tal, procedeu-se à moagem da fração de solo total, que se fez passar por um peneiro manual, de malha 65 μm (para os ensaios de FRX e DRX), (Figura 4.12).

As análises foram efetuadas num espetrómetro de XRF Bruker Tracer III-SD, equipado com um detetor SDD X-Flash[®] de 10 mm², refrigerado por efeito peltier com uma resolução típica de 145 eV a 100,000 cps e radiação Mn K α , e um tubo de raios-X com alvo de ródio. Todas as análises foram efetuadas com um potencial de 40 kV, intensidade de corrente de 35 μA , e tempo de aquisição de 120s.



Figura 4.12 – Provetes de solos a serem ensaiados para a análise de fluorescência de raios-X (FRX) e de difração de raios-X (DRX). Fonte: Fotografia de Wachilala.

4.4.5.2 - Descrição do ensaio por difração de raios-X

A difração de raios-X é uma técnica de análise não destrutiva e rápida, apresentando apenas como desvantagem o facto de não poder ser aplicada nos minerais não cristalinos, ou fracamente cristalinos.

Esta técnica de caracterização dos minerais argilosos baseia-se em vários fenómenos que ocorrem quando os cristais são sujeitos a um feixe de fótons (raios-X). O mecanismo de difração das ondas eletromagnéticas só ocorre porque os átomos absorvem a radiação X incidente e depois funcionam como fontes secundárias, emissoras de átomos. Na Figura 4.13 é ilustrado um esquema de um difractómetro de fonte linear, com as componentes principais de um difractómetro de raios-X.

Através da equação de Bragg (equação 4.2) é possível estabelecer a relação da distância entre camadas de átomos (d), o comprimento de onda de raios incidentes (λ) e o ângulo formado pelo raio incidente com os planos atômicos, designado por ângulo de difracção (θ), através da seguinte expressão (Klug and Alexander, 1974):

$$2d \sin(\theta) = n\lambda \quad (4.2)$$

d - afastamento entre dois planos do cristal;

θ - ângulo formado entre os raios do feixe incidente e os planos atômicos reflectores do cristal;

λ - comprimento de onda dos raios X;

n – ordem dos raios X difractados por um dado valor.

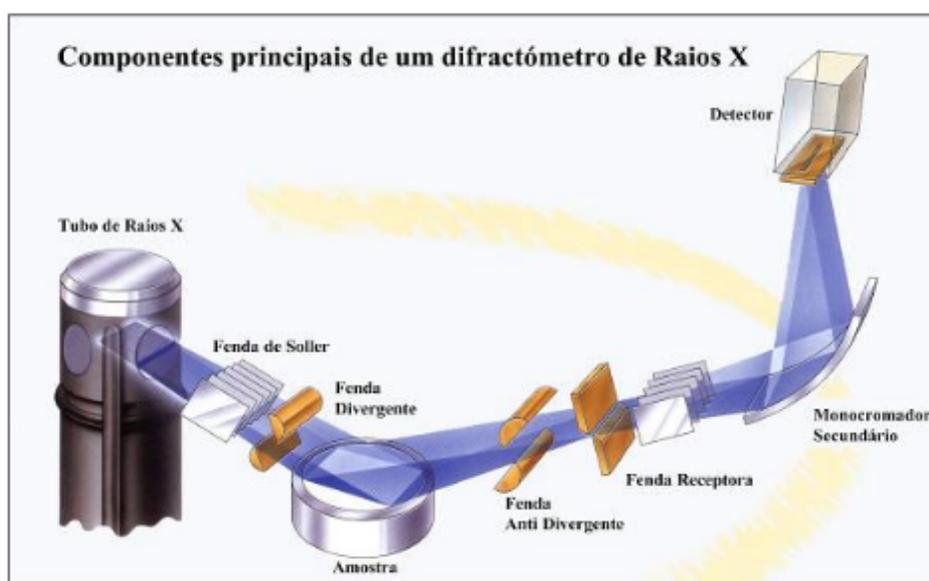


Figura 4.13 - Esquema de um difractómetro de fonte linear. Fonte: Carvalho (2008).

Assim, cada mineral tem a sua estrutura própria e diagrama de difracção de raios-X respetivo, designado de difratograma. Cada cristal da espécie mineral apresenta o seu próprio modelo de difracção a partir do qual se pode fazer a sua identificação, ou seja, variando o ângulo de incidência θ , as condições da Lei de Bragg são satisfeitas pelas diferentes distâncias d das espécies cristalinas. O registo das posições angulares dos picos e das intensidades, resultado da difracção, produz um padrão que é característico da amostra (Figura 4.14).

Quando uma mistura com diferentes fases é analisada, o difratograma é formado pela adição dos padrões individuais.

Em resultado da difração, originam-se diagramas que diferem de mineral para mineral, dependendo das suas características da equidistância dos planos cristalinos do material.

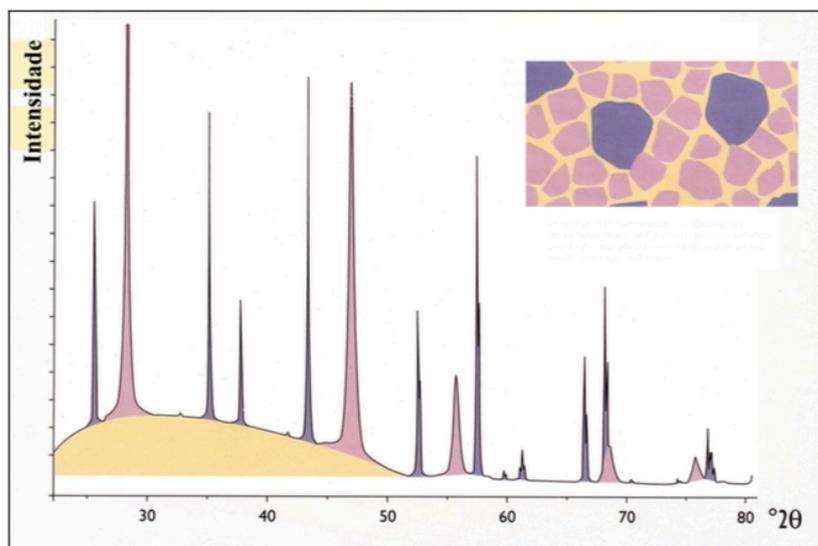


Figura 4.14 - Esquema de um difratograma que se pode obter se a amostra fosse constituída pelos espécimes na figura em caixa; mostra as fases presentes (pela posição dos picos); a concentração das fases (pela altura dos picos); conteúdo amorfo (background) e a dimensão dos cristais (pela largura dos picos). Fonte: Carvalho (2008).

No presente trabalho, a difração de raios-X (DRX) permitiu determinar a natureza mineralógica dos constituintes das amostras de solos. Os diagramas de raios-X foram realizados num difractor de raios-X, Bruker AXS-D8 DISCOVER (Bruker AXS Inc, Madison, USA), equipado com um detetor linear LynxEye 1D e correte dentro de uma estrutura DAVINCI, utilizando radiação Cu K α ($\lambda = 0,1540598$ nm), nas seguintes condições de ensaio: varrimento entre 3 a 75° 2 θ ; velocidade de varrimento de 0,05° 2 θ /s; tensão de aceleração de 40 kV e intensidade de corrente de 30 mA.

A aquisição da varredura e a identificação das fases cristalinas foram feitas usando o software DIFFRAC e a informação disponibilizada em SUITE da Bruker Company e o PDF-2 (Powder Diffraction Files) da base de dados do Centro Internacional de Dados de Difração (International Center for Diffraction Data - ICDD).

4.4.6 Teste de durabilidade e de erosão pelo método de Geelong

4.4.6.1 Objetivos do ensaio

O objetivo do ensaio Geelong é avaliar a erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva na superfície de adobes e observar a capacidade de absorção de água nos mesmos elementos.

4.4.6.2 Descrição geral do ensaio

O teste de erosão pelo método de Geelong, ilustrado na Figura 4.15, foi concebido para provetes de adobe (Walker 2000; Torgal et al., 2009; Pedro et al. 2014, 2015). Este ensaio consiste em gotejar 100 ml de água de uma altura de 40 cm sobre a face do provete inclinado 30°. O tempo de gotejamento ideal é de 30 minutos (NZS 4297, 1998 e NZS 4298, 1998) ou num intervalo entre 20 a 60 minutos. O grau de erosão é dado pela profundidade do sulco provocado pela queda da água no bloco de terra, sendo para que profundidades superiores a 15 mm se considera que os provetes devem ser rejeitados (Pacheco-Torgal et al., 2009, Pacheco-Torgal e Jalali, 2012b). O referido ensaio deve ser realizado num espaço resguardado do vento e do sol direto a fim de evitar a deturpação dos resultados.



Figura 4.15 – Sistema experimental do teste de erosão pelo método de Geelong “Geelong Test” (Carvalho, 2008).

4.4.7 Ensaio de compactação do tipo Proctor

4.4.7.1 Finalidade

A realização dos ensaios laboratoriais de compactação tipo Proctor, surgiram da necessidade de controlar os resultados conseguidos durante os trabalhos de compactação. Esses ensaios, tentando reproduzir em laboratório as

condições de campo, permitiram confirmar aquilo que a experiência tinha revelado: existir um determinado teor em água do solo para o qual, com uma determinada energia de compactação, se conseguia melhores resultados na compactação ou seja maior peso volúmico seco (baridade seca máxima).

4.4.7.2 Descrição geral do ensaio

O método de compactação adotado foi a compactação leve em molde pequeno, utilizado para determinar o teor de água ótimo, o qual corresponde à máxima compacidade do solo, de acordo com a norma especificada em E 197-1966 LNEC, (1966). Este ensaio utiliza uma fração de solo inferior a 4,76 mm (peneiro nº 4) ao qual se adicionam teores de água crescentes com diferenças de 2%, a qual é compactada em 3 camadas com 25 pancadas do pilão leve, de um aparelho manual (2,49 Kg e queda de 305 mm) ou mecânico, ilustrado na Figura 4.16. Regista-se o peso e o volume e, num gráfico marca-se em ordenadas, o peso volúmico seco, e em abcissas o teor de água, onde posteriormente se retira o teor de água ótimo que corresponde ao peso volúmico máximo seco.



Figura 4.16 - Ensaio de compactação tipo Proctor: A) Molde pequeno com o solo compactado; B) Pesagem dos provetes de solos; C) Equipamento de compactação mecânica. Fonte: Fotografia de Wachilala.

CAPÍTULO V APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

CAPÍTULO V

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Ensaio expedito *in-situ*

A Tabela 5.1 resume os resultados dos ensaios expeditos *in-situ* de cada tipo de solo utilizado na produção de adobes, onde foi possível verificar numa primeira análise que os solos da Província da Huíla são essencialmente areno-argilosos.

Tabela 5.1 - Resultados dos ensaios expeditos *in-situ* nos solos utilizados na produção de adobes.

Província da Huíla		Cor	Cheiro	Brilho	Tato	Queda da bola	Observações
Município	Localidade/Ref.						
Lubango	Toco Lt		Cheiro a mofo	As superfícies apresentam pouco brilho	Com aspereza quando esfregado entre os dedos	Espalha-se com desagregação	Solo granular
	Hoque Lh		Cheiro de argila	As superfícies são brilhantes	Pouco áspero quando esfregado entre os dedos	Espalha-se menos e com maior coesão	Mais argila e menos areia
Quipungo	Quipungo Qq		Cheiro a mofo	As superfícies apresentam pouco brilho	Pouco áspero quando esfregado entre os dedos	Espalha-se com desagregação	Solo granular
Kaluquembe	Sandula Ks		Cheiro forte de argila	As superfícies são brilhantes	Sem aspereza quando esfregado entre os dedos	Espalha-se menos e com maior coesão	Maior quantidade de argila
	Cacomba Kc		Cheiro forte de argila	As superfícies são brilhantes	Pouco áspero quando esfregado entre os dedos	Espalha-se menos e com maior coesão	Maior quantidade e de argila
Chibia	Chibia Cc		Não cheira a mofo	As superfícies são opacas	Pouco áspero quando esfregado entre os dedos	Espalha-se com esfarelamento	Solo muito granular
Matala	Kamúkua Mk		Pouco odor	As superfícies são opacas	Com aspereza quando esfregado entre os dedos	Espalha-se com desagregação	Solo muito granular
Humpata	Humpata Hh		Não cheira a mofo	As superfícies apresentam pouco brilho	Pouco áspero quando esfregado entre os dedos	Espalha-se com desagregação	Maior quantidade de silte

Os resultados do teste de sedimentação “teste da garrafa” mostram que a composição textural dos solos utilizados na produção de adobes na Província da Huíla, de acordo com a especificação D2487-17 (ASTM, 2017) enquadra-se no grupo de solos areno-silto-argilosos (Tabela 5.2). Neste contexto, pode-se confirmar a descrição realizada por meio dos testes tátil e visual (Tabela

5.1). Comparando aqueles valores com os resultados obtidos por Pedro, et al., (2016), na Província do Huambo, trata-se de solos com características semelhantes, devido essencialmente, ao enquadramento geológico, geomorfológico e climático de ambas as províncias.

Tabela 5.2 - Resultados do teste de sedimentação “teste da garrafa” dos solos nas localidades da Província da Huíla: percentagem das partículas de areia, silte e argila.

Partículas (%)	Locais							
	Lubango		Chibia	Humpata	Quipungo	Matala	Kaluquembe	
	Hoque	Toco				Kamúkua	Sandula	Cacomba
Areia	14,3	56,3	56,6	40,0	68,9	80,9	9,6	7,4
Silte	16,1	22,9	18,9	44,0	13,3	4,8	9,6	11,1
Argila	69,6	20,8	24,5	16,0	17,8	14,3	80,8	81,5

No mesmo sentido, na análise dos resultados obtidos no presente trabalho (Tabela 5.2), há que considerar que esta região da Huíla insere-se na principal unidade geomorfológica de Angola, designada Planalto Antigo, com cotas que podem atingir os 2300 m, correspondendo à Cadeia Marginal de Montanhas, que apresentam relevos com desníveis muito acentuados, onde se situam umas das zonas de maior altitude de Angola (Planalto da Humpata-Bimbe). Nos interflúvios e no sopé das montanhas desenvolvem-se solos lateríticos.

Nesta região abundam rochas granitóides, cuja alteração originou os denominados solos residuais. Estes são os solos utilizados em grande parte das construções em terra existentes na área de estudo. As propriedades texturais, geoquímicas e mineralógicas destes solos dependem não só da composição química da rocha mãe, mas principalmente das características geomorfológicas e climáticas locais (Duarte et al, 2011; 2012). Os elementos climáticos, precipitação pluvial, temperatura e humidade, determinam a natureza e a velocidade das reações químicas nas rochas e definem a pedogénese.

As características de relevo e o substrato rochoso de algumas localidades não contribuíram para o desenvolvimento de bons perfis de solo (presença

significativa de solos arenosos, pouco litificados), a não ser junto às drenagens. Ao contrário das localidades que apresentam relevo ondulado suave a muito suave (relevo, não muito convexo), o que determina amplitude moderada entre os interflúvios e os talwegues, facilitando a formação e permanência de solo. Os solos de texturas mais finas distribuem-se ao longo das encostas de drenagem livre e em pontos de menor cota (Ricardo et al, 1980), sob clima tipicamente tropical húmido, com um certo grau de humidade. A presença significativa de solo com textura grosseira, pouco litificados, das localidades do Toco, Quipungo, Matala e Chibia (leste e sul da Província da Huíla), estendem-se, às vezes, de maneira descontínua, ocupando área significativa nesta região (sudeste e sul), com teor de humidade mais seco.

Na Tabela 5.3 são sintetizados os resultados obtidos para a retração dos solos, os quais estão em congruência com as normas Neozelandesas, NZS 4298 (1998) e 4297 (1998), que recomendam para a construção em terra, valores não superiores a 3% para os solos não estabilizados. Os solos analisados possuem valores baixos de retração (< 3%). Entretanto, as amostras Lh, Ks e Kc apresentam valores próximos a 3%, isto indica que a retração aumenta com a natureza argilosa destes solos, ao contrário dos restantes solos granulares, pouco retráteis (< 2,5%).

Tabela 5.3 - Resultado do teste de retração dos solos utilizados na produção de adobes.

Solo		Retração (mm)	Retração (%)
Local	Ref.		
Lubango	Lh	1,4	2,8
	Lt	0,6	1,2
Matala	Mk	0,6	1,2
Chibia	Cc	0,9	1,8
Kaluquembe	Ks	1,4	2,8
	Kc	1,3	2,6
Quipungo	Qq	0,7	1,4
Humpata	Hh	1,2	2,4
Média		1,0	2,0

5.2 Ensaaios no laboratório

5.2.1 Propriedades físicas

Na Tabela 5.4 apresentam-se as características físicas dos solos utilizados na construção em terra na província da Huíla. Os resultados demonstram, com base no Sistema Unificado de Classificação dos Solos (USCS), que os solos ensaiados são essencialmente constituídos por areias silto-argilosas. Os solos analisados contêm uma percentagem significativa de finos (11% - 60%) e uma percentagem de areia que varia entre (40% - 71%). Os solos da Matala, Chibia e Quipungo são os mais arenosos. As amostras de Kaluquembe têm a maior percentagem de finos, (58% - 60%). A percentagem de cascalho é incipiente (geralmente < 5 %; exceto Quipungo).

Pelos valores obtidos para o índice de plasticidade (IP), um dos parâmetros recomendados por Torgal et al. (2009) para considerar se o solo tem aptidão como matéria-prima na construção em terra, verifica-se que os solos ensaiados têm uma plasticidade baixa a média ($0 < IP < 15$). As amostras Kc e Ks (Kaluquembe, a NW da Huíla) possuem os valores mais elevados de IP (12 e 15, respetivamente); maior % de finos (> 50%); maior % de argila, maior expansibilidade (5% - 9%), o que pressupõe, que estes solos argilosos tendem, a apresentar maior índice de plasticidade e maior expansibilidade, e retração. Neste sentido, a consistência dos solos, é essencialmente dependente da quantidade e da qualidade dos minerais argilosos. Entretanto, os solos do Lubango, Kaluquembe e Humpata (classificados como, CL e SC) apresentam valores de plasticidade próximos aos valores médios, recomendados por Pacheco-Torgal et al. (2009) para a construção em terra; também são solos razoavelmente expansivos (dependendo da quantidade e qualidade da argila).

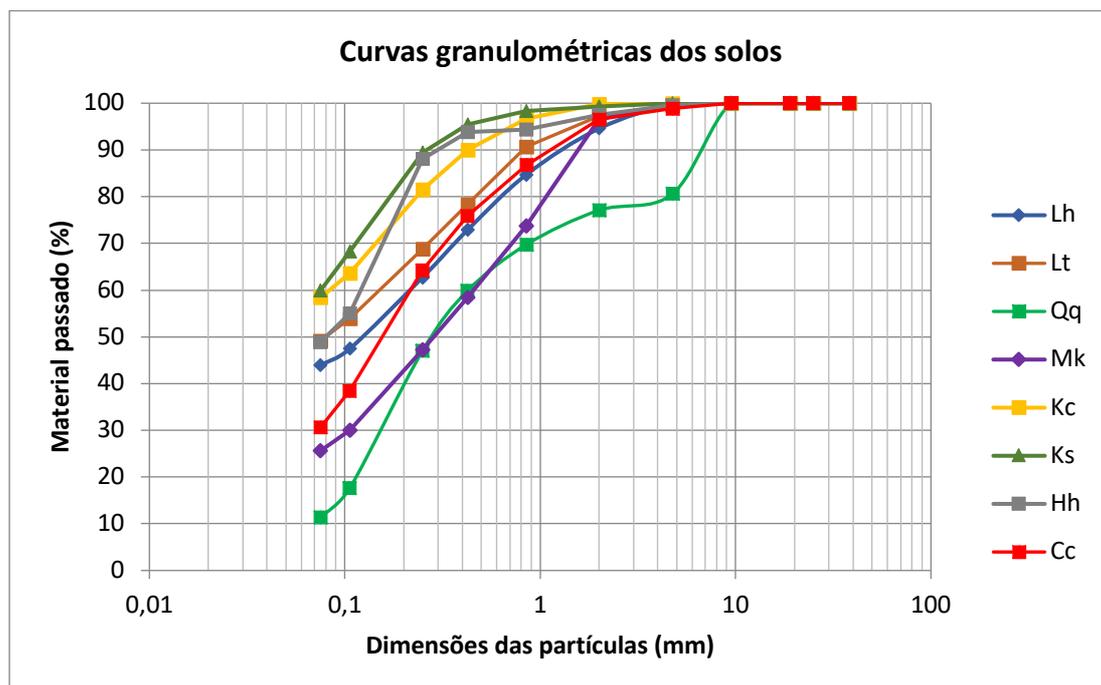
A densidade das partículas é uma característica que varia com a composição textural e mineralógica das partículas. Os valores da densidade das partículas dos solos estudados variam entre 2,53 a 2,65 (Tabela 5.4). Isto explica-se pelas características litológicas da área de estudo (maioritariamente granitos), cujos produtos de alteração resultaram em solos residuais graníticos. Porém, nenhuma amostra de solo apresenta valores de

densidade superiores a 2,65, o que pressupõe que estes solos são constituídos essencialmente por minerais mais leves, situando-se no grupo dos feldspatos (2,50 a 2,60), do quartzo (2,65) e dos minerais argilosos (2,20 – 2,60). Pela análise dos resultados, a amostra Qq (Quipungo), amostra com partículas de solo mais grosseiras (Tabela 5.4), apresenta o valor para a densidade de partículas mais alto, comparativamente aos valores dos restantes solos, o que se justifica pela presença de maior percentagem de minerais primários. Por seu turno, os solos com fração argilosa mais significativa (típicos de regiões tropicais húmidas), tendem a apresentar menores valores de densidade do que os solos arenosos (granulares). Por outro lado, quanto maior é o teor em matéria orgânica no solo, menor será a densidade das partículas. A matéria orgânica existente nos solos estudados exerce grande influência na densidade das partículas, dotando estes solos superficiais de densidades mais baixas do que os solos dos horizontes subjacentes.

Tabela 5.4 - Características físicas e classificação dos solos utilizados na construção em terra crua.

Província da Huila		Ensaio								
Município	Ref.	Granulometria (%) mm			Consistência (%)			Expansibilidade (%)	Densidade das partículas	Classificação dos solos (USCS)
		<2,00	<0,425	<0,075	ω_l	ω_p	IP			
Lubango	Lh	94,58	72,88	43,93	30	21	9	9,25	2,58	SC (areia argilosa)
	Lt	97,22	78,36	49,18	27	19	8	8,8	2,53	SC (areia argilosa)
Matala	Mk	96,62	58,49	25,59	17	17	0	0,6	2,57	SM (areia siltosa)
Chibia	Cc	96,53	75,85	30,58	16	15	1	4,53	2,57	SM (areia siltosa)
Kaluque-mbe	Ks	99,30	95,43	59,90	34	19	15	5,19	2,60	CL (argila magra arenosa)
	Kc	99,82	90,02	58,39	38	26	12	8,93	2,59	CL (argila magra arenosa)
Quipungo	Qq	77,09	59,87	11,34	17	14	3	1,53	2,65	SP-SM (areia mal graduada com silte e cascalho)
Humpata	Hh	97,55	93,76	48,88	22	14	8	4,73	2,61	SC (areia argilosa)

Os resultados da análise granulométrica por via húmida estão representados na Figura 5.1.



Fino	Médio	Grosso	Fino	Médio	Grosso
AREIA			CASCALHO		

Figura 5.1 - Análise do tamanho das partículas dos solos estudados, com escala ABNT.

5.2.2 Caracterização química

As oito amostras de solos foram submetidas à análise química por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX). Os resultados expressos em porcentagens dos elementos químicos maiores, sob a forma de óxidos e em *partes por milhão* (ppm) dos elementos menores, constam na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Composição química de amostras de solos utilizados na construção em terra crua na província da Huíla.

Teor de óxidos (%)	Amostras de solo							
	Lh	Lt	Mk	Cc	Ks	Kc	Qq	Hh
SiO ₂	45,00	56,60	66,00	65,30	45,00	44,70	55,40	62,10
Al ₂ O ₃	22,30	17,50	15,30	14,30	26,90	28,70	20,00	16,90
Fe ₂ O ₃	6,36	4,01	1,88	3,72	7,94	5,54	4,48	3,35
MnO	0,10	0,11	0,05	0,06	0,04	0,09	0,07	⁽⁵⁾
CaO	0,30	0,54	0,10	0,22	0,12	0,09	0,19	0,08
MgO	0,35	0,32	0,08	0,20	0,26	0,22	0,20	0,46
Na ₂ O	0,39	0,63	0,25	0,17	0,14	0,22	0,18	0,24
K ₂ O	2,20	3,93	2,63	3,03	0,63	0,41	0,17	1,43
TiO ₂	1,12	1,07	1,03	1,09	1,06	1,09	2,11	1,04
P ₂ O ₅	0,15	0,15	0,29	0,12	0,09	0,09	0,24	0,13
Soma	78,27	84,86	87,61	88,21	82,21	81,15	83,04	85,73
Elementos em ppm								
Zr	1800	893	3000	1500	698	789	2100	1100
Ba	474	1600	549	1300	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾	883	555
SO ₃	294	139	⁽⁵⁾	57	218	72	164	166
Rb	113	169	200	130	93	71	19	96
Sr	76	167	17	116	10	8	17	87
Y	49	56	164	46	30	28	79	55
Nb	24	29	157	16	17	23	28	28
Th	14	15	35	13	20	16	18	15
Cr	⁽⁴⁾	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾	26	⁽⁵⁾	81	25
Co	30	17	5	17	39	25	22	13
Ni	9	4	7	13	23	18	77	9
Cu	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾	12	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾
Zn	53	48	70	36	40	43	51	21
Ga	22	20	25	16	24	28	20	18
As	5	5	5	7	5	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾	5
Pb	37	⁽⁵⁾						
Sn	40	35	31	33	25	26	27	29
V	196	188	57	178	278	185	248	227

Pela análise da composição química das diversas amostras de solos, identificaram-se os seguintes compostos químicos maiores: a sílica (SiO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), óxido de manganês (MnO), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO), óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O) e o óxido de Titânio (TiO₂).

Comparando a distribuição em percentagem destes compostos, pode-se depreender que a sílica (SiO₂) está mais concentrado (entre os 55,40% - 66,00%) nas amostras de solos classificados como os mais arenosos (Mk, Cc, Hh, Qq e Lt). Por outro lado, o óxido de alumínio (Al₂O₃) e o óxido de ferro (Fe₂O₃), são os compostos mais importantes nas amostras de solos

⁽⁴⁾ A concentração está abaixo do limite detetado, pelo que não tem significado.

mais argilosos (Kc, Ks e Lh). Neste caso, pode-se também notar, nestes solos argilosos, uma presença menos significativa dos óxidos MnO, CaO, MgO, Na₂O, K₂O e P₂O₅. Este facto, deve-se, provavelmente, à elevada mobilidade destes compostos no processo intenso de alteração, como ilustra os valores apresentados na Tabela 5.6, obtidos a partir da aplicação de alguns índices de alteração química simples, propostos por vários autores que se dedicaram ao estudo da alteração de granitóides e os respetivos solos. Estes índices, baseiam-se em relações entre percentagens ponderais dos óxidos, que refletem a mobilidade dos elementos durante o processo de alteração.

Tabela 5.6 – Índice de variação química nos solos utilizados na construção em terra crua na província da Huíla.

Relação entre (%) ponderais dos óxidos	Amostras de solo							
	Lh	Lt	Mk	Cc	Ks	Kc	Qq	Hh
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	2,01	3,23	4,31	4,57	1,67	1,56	2,77	3,12
$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})}$	8,61	4,89	5,31	4,47	34,94	45,56	57,14	11,92
$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})}$	32,32	14,96	43,71	36,67	103,46	92,58	54,05	52,81
$\frac{(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	0,12	0,26	0,19	0,22	0,03	0,02	0,02	0,10
$\frac{\text{SiO}_2}{(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}$	1,57	2,63	3,84	3,62	1,29	1,31	2,26	3,07

A relação SiO₂/Al₂O₃ mostra que a perda de sílica total em relação à alumina é maior para os solos argilosos do Lubango (Lh) e de Kaluquembe (Ks e Kc) em condições de boa drenagem. Por conseguinte, a relação K₂O+Na₂O/Al₂O₃ (Jenny, 1941) permitiu quantificar o índice de lixiviação, constituindo um bom indicador do tipo de alteração verificada nos solos em estudo, pelo que se conclui que a transformação dos feldspatos predomina nestes processos de alteração. Para os solos de Kaluquembe (Kc e Ks) obteve-se um valor de

0,02 e 0,03 e para o solo do Quipungo (Qq) obteve-se um valor de 0,02 o que confirma a maior lixiviação sofrida por estes solos, corroborando com os resultados obtidos a partir da análise mineralógica (DRX) que confirma a ausência dos feldspatos potássico nos solos Kc, Ks e Qq.

5.2.3 Caracterização mineralógica

O objetivo deste estudo foi identificar os minerais presentes no solo utilizado na construção em terra crua na região do sudoeste de Angola, e relacionar com as características físicas.

Nas figuras 5.2, 5.3 e 5.4, apresentam-se três exemplos dos diagramas de difração de raios-X correspondentes aos solos da Matala, Lubango e Kaluquembe (Kc, Qq e Lt). Os resultados da análise semi-quantitativa da composição mineralógica estão resumidos na Tabela 5.6, e revelam a presença predominante de quartzo em todas as amostras, corroborando com a sua baixa a média plasticidade e expansibilidade moderada. Também é notória a presença de mineral argiloso caulinite em todas as amostras, apesar de em menor quantidade, sobretudo nas amostras de Kaluquembe e de Lubango (Lh), a que correspondem os maiores valores para o índice de plasticidade e de expansibilidade, bem como maiores índices de retração (2,6% - 2,8%) e maiores valores para o teor em água ótimo (13,40% - 16,0%) comprovados no ensaio de compactação Proctor em molde pequeno (ver na secção 3.4), o que pressupõe que os solos mais argilosos (Kc, Ks e Lh) necessitam de maior quantidade de água, para atingir aquele parâmetro, ao contrário dos solos arenosos. Estes resultados demonstram, que as propriedades mineralógicas controlam as propriedades geotécnicas dos solos e o comportamento dos mesmos para a construção em terra (Anon, 1990; Duarte, et al., 2000; Duarte, 2002).

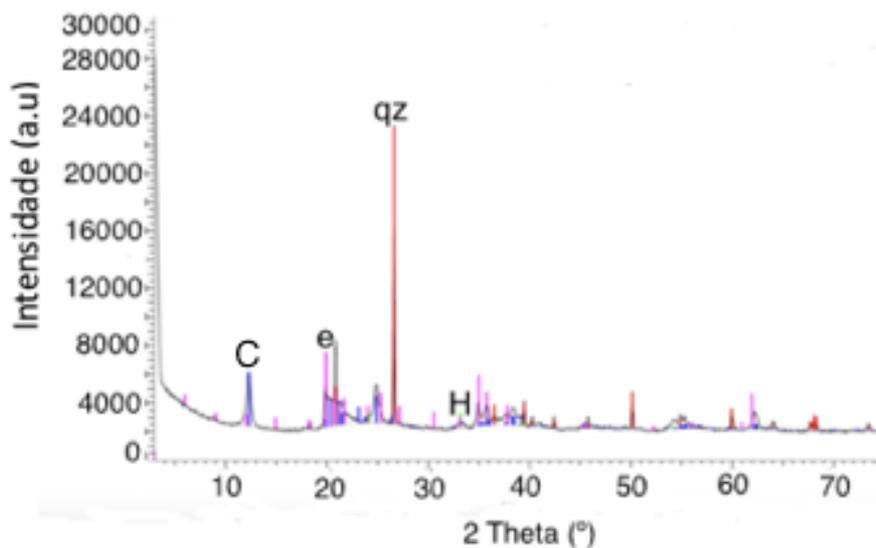


Figura 5.2 – Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Kc. Os picos dos minerais identificados: C – Caulinite; Qz – Quartzo; e – Interestratificados clorite-esmectite; H - Hematite.

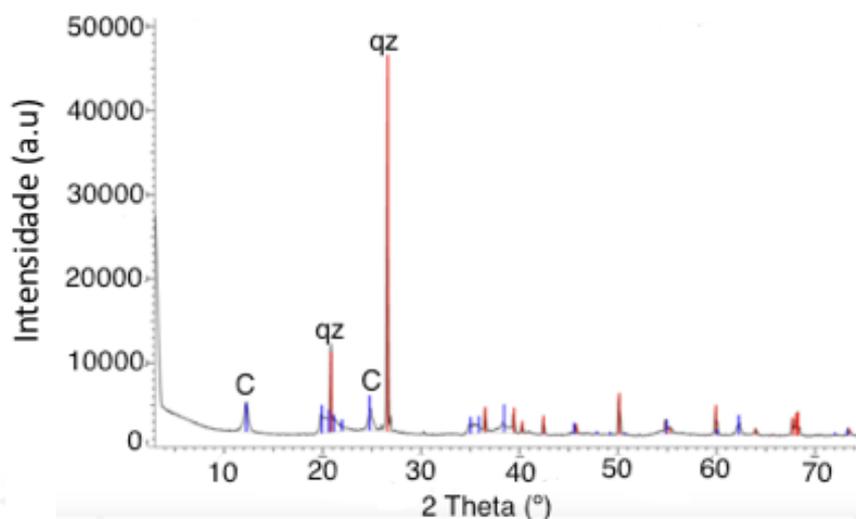


Figura 5.3 – Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Qq. Os picos dos minerais identificados: C – Caulinite; Qz – Quartzo.

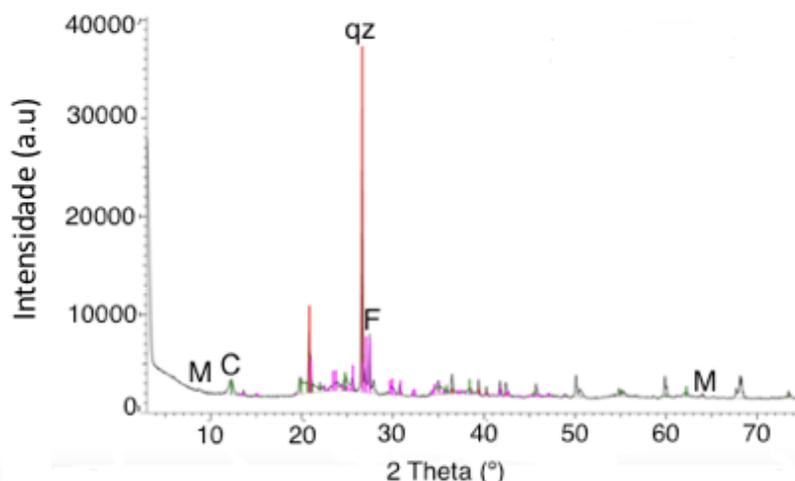


Figura 5.4 – Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Lt. Os picos dos minerais identificados: M – Moscovite; C – Caulinite; Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico.

Relativamente à presença dos silicatos (quartzo) em todas as amostras e dos feldspatos potássicos nas amostras Lh, Lt, Mk e Cc (Tabela 5.5), importa referir que estes minerais primários são herdados do material originário, a rocha-mãe, mantendo-se praticamente inalterados na composição dos solos, pois são os mais resistentes. Este facto vem confirmar que os solos estudados são classificados como sendo solos residuais. Por outro lado, a presença dos filossilicatos (como a caulinite) em todas as amostras, indica um estado mais evoluído destes solos, em termos de perfil de alteração. A caulinite, $Al_2(SiO_5)(OH)_4^-$ é um mineral argiloso cuja existência poderá decorrer a partir das reações de hidrólise dos silicatos, nomeadamente dos feldspatos potássicos, cuja presença se deteta nas amostras já referidas.

As amostras Lt, Lh e Hh foram classificadas como areia argilosa (Tabela 5.4), compatível com os resultados da DRX, devido à presença de caulinite e moscovite (micas), enquanto as amostras Mk e Cc, foram classificadas como areia siltosa, em conformidade com os minerais presentes nestas amostras (Tabela 5.7). As amostras Kc e Ks, classificadas como “argila magra arenosa” na Tabela 5.4, possuem uma composição mineralógica da fração argilosa marcada pela presença de minerais argilosos, óxidos e hidróxidos tais como, a caulinite, interestratificados clorite-esmectite, hematite e gibsite. Isto demonstra já a ocorrência de um processo intenso e/ou longo de meteorização, típico das bauxites e laterites. Esta conclusão baseia-se não só na representatividade de óxido de alumínio - gibsite ($Al(OH)_3$), na amostra

Ks, um dos principais constituintes das rochas bauxíticas, como na presença de óxidos de ferro como a hematite (Fe_2O_3), na amostra Kc, característicos das laterites. Este tipo de solos tem origem normalmente em zonas de clima tropical e subtropical como o que existe na região em estudo e desenvolvem-se sob condições de intensas e prolongadas meteorizações provocadas pela água pluvial, geralmente abundante, acompanhadas da lixiviação da sílica entre outros componentes mais leves. Quanto à caulinite, a sua origem é dada pela alteração de uma variedade de minerais primários como os feldspatos e micas em diferentes condições ambientais, sobretudo, em ambientes de clima quente e húmido (como é o caso da província da Huíla) com boa drenagem, mas não com excessiva lixiviação de sílica.

Existe alguma similitude nos difratogramas de raios-X dos solos de Kaluquembe e os resultados obtidos por Pedro et al. (2016) no seu estudo realizado na região do Planalto Central de Angola (Huambo), em função dos minerais identificados nestas amostras: minerais argilosos, tais como a caulinite, os óxidos e os hidróxidos (hematite e gibbsite). Nesta similitude, há que considerar o clima característico, a geologia e o relevo da região envolvente dos locais onde foram extraídas as amostras de solo, que são também semelhantes.

Tabela 5.7 - Composição mineralógica semi-quantitativa (%) dos solos utilizados na construção em terra crua na Província da Huíla.

Amostras		Compostos cristalinos identificados (%)						
		Quartzo	Feldspato potássico	Caulinite	Moscovite	Interestratificados clorite esmectite	Hematite	Gibbsite
Local	Ref							
Lubango	Lh	44,49	13,46	37,23	4,82			
Lubango	Lt	96,94	2,19	0,73	0,14			
Matala	Mk	71,96	16,86	11,18				
Chibia	Cc	69,01	26,89	4,1				
Kaluquembe	Ks	59,59		27,29				13,12
Kaluquembe	Kc	41,38		22,22		34,63	1,78	
Quipungo	Qq	78,06		21,94				
Humpata	Hh	80,25	4,21	3,88	2,45	9,21		

5.2.4 Durabilidade e erodibilidade dos adobes

O objetivo deste ensaio é avaliar a erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva na superfície de adobes e observar a sua capacidade de absorção de água (Tabela 5.8).

Dos resultados obtidos nos ensaios pelo método Geelong, efetuados sobre os adobes moldados com os solos estudados, verificou-se que a profundidade do sulco foi sempre inferior ou igual a 10 mm. Portanto, pode-se concluir, de acordo com as indicações da NZS 4298 (1998), Walter (2000) e Pacheco-Torgal et al. (2009), que os adobes ensaiados possuem características aceitáveis (isto é, profundidade do sulco inferior a 15 mm) para a construção em terra. Comparando com os resultados obtidos por Pedro et al. (2016), na Província do Huambo (profundidade do sulco inferior ou igual a 9 mm), mostram que os adobes ensaiados no presente estudo possuem durabilidade ligeiramente inferior, pelo que se torna fundamental proceder à sua melhoria, o que segundo Varum et al. (2007), deverá ter-se cuidado na produção dos adobes para se limitar a retração, devendo proteger devidamente as paredes das construções para evitar a sua degradação pela ação da água.

Tabela 5.8 - Resultados do ensaio de erosão pelo método de Geelong.

Adobe			Profundidade do sulco (mm)	Penetração da água (cm)
Amostra	Local	Ref.		
1	Hoque	Lh	6	1
2	Toco	Lt	7,5	6,5
3	Kamúkua	Mk	7	2,5
4	Chibia	Cc	10	6,5
5	Sandula	Ks	6	1,8
6	Cacomba	Kc	3	5,5
7	Quipungo	Qq	5	1,5
8	Humpata	Hh	5	1,3
Média			6,188	3,325

5.2.5 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação tipo Proctor permite, para uma dada energia de compactação, determinar o teor em água ótimo para o qual se obtém um peso volúmico seco máximo (Figura 5.5).

Dos resultados obtidos constantes na Tabela 5.9, verifica-se que o teor médio em água ótimo, varia entre 7,2% e 16%, valores que permitem obter a compacidade máxima dos solos, para aquelas condições de energia de compactação. Lourenço (2002) e Pacheco-Torgal, et al. (2009) referem que segundo as diretivas da CRATerre (1979), os solos com teores de água ótimos entre 9% – 17% são os mais fáceis de estabilizar. Outros autores, como Bahar, et al., (2004) recomendam um intervalo mais restrito para o teor de água ótimo entre 9,5 – 11%, pelo que com exceção do solo Mk, Cc e Qq (classificados como areia siltosa e areia mal graduada com silte e cascalho, respetivamente (Tabela 5.4), e em conformidade com os minerais presentes nestas amostras) todos os outros solos se inserem nos referidos intervalos. Isto pressupõe que quanto mais argiloso for o solo (o caso dos solos de Kaluquembe (Kc e Ks) e Lubango (Lh)), maior é a necessidade de água, e menor é a baridade seca máxima (17,95 – 18,44 (KN/m³)), ou baridade seca máxima, ao contrário dos solos arenosos.

Tabela 5.9 - Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor)

Amostras		Teor água ótimo (%)	Peso volúmico seco (KN/m ³)
Local	Ref.		
Lubango	Lh	15,50	17,95
Lubango	Lt	12,3	18,44
Matala	Mk	7,20	20,69
Chibia	Cc	7,80	20,59
Kaluquembe	Ks	13,40	18,44
Kaluquembe	Kc	16,0	18,04
Quipungo	Qq	8,8	20,30
Humpata	Hh	11,30	19,22
Média		11,54	19,12

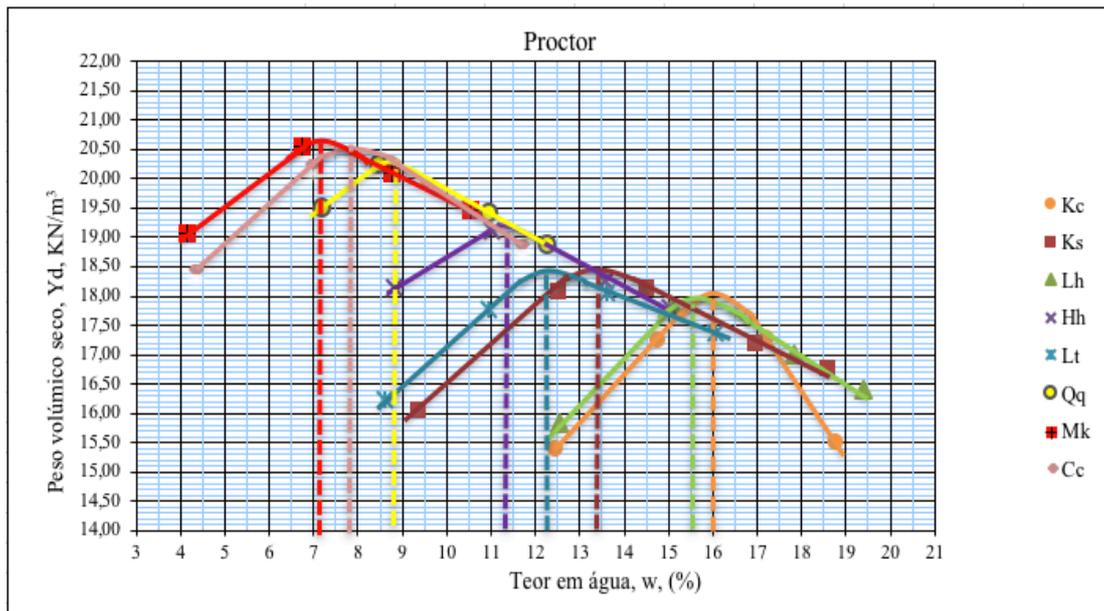


Figura 5.5 - Representação gráfica dos resultados obtidos através do ensaio de compactação tipo Proctor.

CAPÍTULO VI CONSIDERAÇÕES FINAIS

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que as propriedades mineralógicas controlam efetivamente as propriedades geotécnicas dos solos e o comportamento dos mesmos, para a construção em terra crua.

Os resultados da análise química por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) revelam a sílica (SiO_2) em maior proporção nos solos mais arenosos (Mk, Cc, Hh, Qq e Lt), ao contrário dos solos mais argilosos (Kc, Ks e Lh), cujos elementos mais representativos são o óxido de alumínio (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3) e em menor proporção os elementos de maior mobilidade (MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O), o que pressupõe um estágio mais evoluído destes solos argilosos, corroborando os resultados da difração de raios-X (DRX), que revelam a presença significativa de quartzo nos solos mais arenosos, bem como a presença de mineral argiloso caulinite, mas em menor proporção. No entanto, a caulinite ocorre em maior quantidade, nos solos argilosos do Lubango (Lh) e Kaluquembe, para além de outros minerais: esmectite, hematite e gibsite. Estas características estão em consonância com as propriedades geotécnicas, porque os solos ensaiados são essencialmente constituídos por areias silto-argilosas, com plasticidade baixa a média e expansibilidade moderada, e podem ser classificados em três grupos (USCS): (I) areias siltosas (SM); (II) argilas (CL) e (III) areias argilosas (SC).

Vale a pena referir, que a atividade das formigas (salalé) tem um efeito considerável sobre a aplicabilidade dos solos estudados, porque altera a plasticidade do solo, como é o caso do solo Mk que foi classificado como não plástico ($\text{IP} = 0$), visto que na região da Matala - Kamúkua (Mk), os solos trabalhados pelas formigas são frequentemente utilizados na construção em terra crua, aproveitando-se os morros de salalé (formigueiros com alturas que geralmente ultrapassam 1,5 m) como matéria-prima.

A densidade de partículas depende da composição granulométrica e mineralógica das partículas sólidas do solo e do teor de matéria orgânica (solos superficiais); quanto maior a matéria orgânica no solo, menor a densidade de partículas. Os valores da densidade das partículas dos solos estudados variam entre 2,53 a 2,65, corroborando com características litológicas da área de estudo (maioritariamente granitos), cujos produtos de alteração resultaram em solos residuais graníticos.

Os resultados obtidos no ensaio Geelong indicam que os adobes ensaiados possuem características aceitáveis para a construção em adobe, sendo a profundidade do sulco sempre inferior a 10 mm, o que está de acordo com as indicações da NZS 4298 (1998). Esse comportamento bem-sucedido dos adobes em relação à sua durabilidade e erodibilidade é devido, principalmente, à presença de quantidades significativas de quartzo nos solos amostrados.

O ensaio de compactação permitiu determinar o teor em água ótimo dos solos utilizados na construção em terra crua, onde foi possível concluir que os solos mais argilosos de Kaluquembe (Kc, Ks) e os intermédios (areias argilosas: Hh, Lh e Lt) absorvem mais água para atingir a compacidade máxima. De acordo com as diretrizes da CRAterre (1979), por possuírem valores entre 9% – 17% para aquele parâmetro, serão mais fáceis de estabilizar que os solos mais arenosos (Mk, Cc e Qq), por estes apresentarem valores inferiores a 9% para o mesmo parâmetro. Do mesmo modo, a expansibilidade e a retração tendem a aumentar com o carácter argiloso daqueles solos (Tabelas 5.3 e 5.4).

Com base na análise semi-quantitativa da mineralogia, é notório a abundância relativa de quartzo em todas as amostras, em comparação com os outros minerais. Isto é, devido, provavelmente, aos fenómenos de alteração intensa das rochas, típicos neste clima subtropical quente e húmido, o quartzo é o mineral primário mais resistente à alteração química e física, logo o mais abundante nos respetivos solos residuais. Essa quantidade considerável de quartzo nas amostras também pode ser responsável pela boa durabilidade dos adobes comprovada através dos resultados do teste Geelong (Tabela 5.8).

No sentido de melhorar o comportamento geotécnico dos solos ensaiados, bem como o seu desempenho em obra, sugere-se a adição, em proporções adequadas, de areia aos solos mais argilosos e de material fino aos solos mais arenosos, parecendo ser a solução mais viável, numa primeira abordagem, uma vez que solos granulares tendem a ser pouco retrácteis e, além disso, estes aditivos são de fácil aquisição na região, possuindo ainda a vantagem de serem materiais harmonizáveis com a tipologia construtiva utilizada (Wachilala et al., 2018a). A estabilização destes solos pode incluir também, as fibras vegetais naturais ou a utilização de solos trabalhados pela formiga salalé (formigueiros), ajustando-se às tradições locais. Por outro lado, os adobes deverão ser melhor compactados, permitindo reduzir ainda mais o índice de vazios e, desta forma, maximizar a resistência mecânica e a durabilidade destes materiais, o que está de acordo com Pacheco-Torgal et al. (2009), Varum et al. (2007) e Wachilala et al., (2018b).

Esta investigação é uma contribuição para a caracterização dos geomateriais utilizados na construção em terra crua na província da Huíla. No mesmo sentido, contribuirá para o desenvolvimento de soluções construtivas sustentáveis (ecoconstrução) com características melhoradas de conforto, segurança e durabilidade das habitações, estando deste modo em consonância com o eixo dos 4Rs da sustentabilidade (Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Recuperar), bem como os Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM) da ONU, que visam estabelecer uma relação mais harmoniosa entre o Homem e o Ambiente.

Nos trabalhos futuros procurar-se-á relacionar com maior profundidade as propriedades químicas, mineralógicas e físicas destes solos utilizados na construção em terra crua, com a composição química, mineralógica e textural da rocha mãe, de modo a compreender melhor a história geológica herdada da rocha mãe. Por outro lado, procurar-se-á estender este estudo para todos os municípios da Província da Huíla.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCP, (1985). Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland. BT-111.
- Alexandra, S. S. S. (2006). Arquitetura e Construção em Terra no Piauí: Investigação, Caracterização e Análise. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Piauí.
- Alves, L. M. (s.d). Aula 4 – Plasticidade e consistência do solo. Consultado a 28 de Novembro de 2017, em <https://lucasmaximoalves.files.wordpress.com/2010/03/mecsolosi-aula4-plasticidade econsistenciadosolo.pdf>
- Anon, (1990). Tropical residual soils. Geological Society Engineering Group Working Party Report, *Quarterly Journal Engineering Geology and Hidrogeology*, vol. 23, pp. 1-102.
- Araújo, A. G. e Guimarães, F. (1992). Geologia de Angola. Notícia explicativa da Carta Geológica, à escala 1:1000 000. Pub. inst. geol. Angola, 137 p.
- ASTM (2000), D4648-05. “Standard Test Method Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Claued Soil”. American Society for Testing and Materials, United States.
- ASTM (2005), D4318-05. “Standard Test Method for Liquid limit, Plastic Limit, and Plasticity Indexo of Soils”. American Society for Testing and Materials, United States.
- ASTM (2008), D2487-06. “Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)”. American Society for Testing and Materials, United States.
- ASTM D4318-10e1 (2010) Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils, Publisher: ASTM International, West Conshohocken, PA. doi 10.1520/D4318.
- ASTM (2017), D2487-17. “Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)”. American Society for Testing and Materials, United States.
- Augarde, C. (2012). Soil mechanics and earthen construction: strength and mechanical behavior. Modern earth buildings -Materials, engineering, construction and applications. Ed. Woodhead Publishing Limited, United Kingdom.
- Azevedo, A. L., Réfega, A. A., Sousa, E. C., Portas, C. A., Vilhena, M. A., Marques, M. M., Louro de Sá, V. H. (1972). Caracterização sumária das condições ambientais de Angola. Cursos Superiores de Agronomia e Silvicultura da Universidade de Luanda. Nova Lisboa.
- Baptista, J. L. S. C. (2014). Tecnologia Vernacular VS Tecnologia Global: Criação de Uma Metodologia de Projecto Para Países em Desenvolvimento. Sustentabilidade de Estruturas Ligeiras e Sua

- Aplicação no Sudoeste de Angola. Tese de Doutoramento. Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa.
- Bahar, R., Benazzoug, M., Kenai, S. (2004). Performance of Compacted Cement-Stabilised Soil. *Cement and Concrete Composites* 26, pp.811-820.
- Blondet, M., Villa G., Brzev, S. and Rubiños, Á. (2011). Earthquake-resistant construction of adobe buildings: A tutorial. Earthquake Engineering Research Institute (EERI)/International Association for Earthquake Engineering (IAEE), Oakland, California.
- BNH-DEPEA (1985). Uniformização das técnicas de aplicação do solo-cimento na construção habitacional. Elaborado por BNH-DEPEA, ABCP, CEPED, IPT, TECMOR, COHAB-SP, SEAD-PR, CETEC, CEHAB-RJ. BNH-DEPEA (Ed.). Rio de Janeiro.
- Budhu, M. (1999). "Soil Mechanics and Foundations". 2th edition, John Wiley and Sons, INC., USA, pp. 616.
- Borges, L. V. S. e Colombo, C. R. (2009). Construções com terra: alternativa voltada à sustentabilidade.
- BS 1377: Parte 2, (1990). "Methods of Test for Soil for Civil Engineering Purposes". British Standards, Londres.
- Carvalho, G. N. N. (2008). Estudo de soluções para uma escola em blocos de terra crua: Camabatela. Dissertação de Mestrado. Dep. Engenharia Civil. Universidade de Aveiro.
- CEPT (1968). Carta Generalizada dos Solos de Angola. 3^a Aproximação. Lisboa: Memórias da Junta de Investigação do Ultramar/IICT, 2^a Série.
- Cid, J. F., Mazarron, F. R., Guerrero, I. C. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la construcción revista de informacion tecnica*, v. 63, n. 523, p. 159-169, 2011.
- Correia, H. (1976). O Grupo da Chela e Formação da Leba como novas unidades litoestratigráficas resultantes da redefinição da Formação da Chela na região do Planalto da Humpata (Sudoeste de Angola). *Boletim da Sociedade Geológica, Portugal*, 20, 65-130.
- Council, M. D. (2013). Analysis of soil samples using a portable X-Ray Fluorescence Spectromety (XRF).
- CRATerre – Centre Internacional de la Construction en Terre (1979). *Construire en terre*. Paris: CRATerre. 270 p.
- Dethier, J. (1982). *Arquitetura de Terra ou o Futuro de uma tradição Milenar*. Catálogo de exposição. Rio de Janeiro: Avenir.
- Diniz, A. C. (2006). Características Mesológicas de Angola: descrição e correlação dos aspectos fisiográficos, dos solos e da vegetação das zonas agrícolas angolanas. 2^a Edição, Lisboa: Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento, Ministério dos Negócios Estrangeiros.
- Dinis, P. A., Catarino, L., Pascoal, T. (2012). Caracterização de adobes da região do Lubango (Angola). *Para Desenvolver a Terra*. Memórias e

Notícias de Geociências no Espaço Lusófono. Pombalina, Coimbra University Press.

- Duarte, I. M. R., Ladeira, F. L. and Gomes, C. F. (2000) – Características geológico geotécnicas do solo residual do granito de Marvão (Portalegre). Actas do VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto. Vol. 1, pp. 151-160.
- Duarte, I. M. R. (2002). Solos residuais de rochas granitóides a sul do Tejo. Características geológicas e geotécnicas. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora. 373 p.
- Duarte, I. M. R., Ladeira F. L., Gomes C. F. (2004). Influência das propriedades químicas e mineralógicas no comportamento geotécnico de dois solos residuais graníticos. Sociedade Portuguesa de Geotecnia. Univ. Aveiro. vol. 1, pp 229–238. ISBN: 972-789-115-115-2.
- Duarte I. M. R., Pedro E. D. C., Varum H., Mirão J. A. P., Pinho A. P. (2014). Influence of geological features (geochemistry and mineralogy) of soil with constitutes adobes in their durability, Huambo, Angola. Geophysical Research Abstracts, vol. 16, EGU2014-13435-1, European Geosciences Union, Vienna, Austria.
- Duarte I., Pedro E., Varum H., Mirão J. and Pinho A. (2015). Soil mineralogical composition effects on the durability of adobe blocks from the Huambo region, Angola. Bull. Eng. Geol. Environ., doi 10.1007/s10064-015-0800- 3 ISSN 1435-9529.
- Duarte, I. M. R.; Pedro, E. D. C.; Varum, H.; Mirão, J.; Pinho, A. (2017). “Soil mineralogical composition effects on the durability of adobe blocks from the Huambo region, Angola”. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 76, 125 – 132, Springer.
- Falcão, J. M. (2014). Arquitetura Contemporânea em terra. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Feio, M. (1946). Resenhas bibliográficas – I. O relevo de Angola, segundo Jessen. Junta Missões Geográficas Investigação Coloniais, Lisboa. Boletim Sociedade Geológica Portugal, Porto, 5 (3), 267-294.
- Feio, M. (1964). A evolução da escadaria de aplanção do Sudoeste de Angola. Garcia de Orta, Rev. Junta Missões Geográficas Investigação do Ultramar, Lisboa, 12 (2), 323-354.
- Feio, M. (1981). O Relevo do Sudoeste de Angola – Estudo de Geomorfologia. Memórias Junta Investigação Científica do Ultramar, Lisboa, nº 67, 326 p.
- Felix, M. e Mello, M. (2007). “O uso das tecnicas tradicionais em terra crua em obras de restauracao”. Terra em Seminario, Aveiro.
- Figueira, A. F. T. (2016). O carácter vernáculo na construção com terra no panorama contemporâneo (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Arquitectura, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Folque, J. (1991). “Um esboço da história da Mecânica dos Solos”. Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Nº 63, pp. 1-9.

- Ganduglia, M. (2012). *Arquitetura de Terra no Moxico. Do Projecto à construção*. EAL-Edições de Angola. Luanda, Angola.
- Gelard, D.; Fontaine, L.; Anger, R.; Abdelhay, Yehdih O. M.; Laurent, J. P.; Olagnon, H.; Damme, H. V. (2011). *Le rôle de l'eau dans la cohesion et l'adhésion du matériau terre: Une question d'équilibre*. Terra 2008: The 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, pp. 266-270.
- Gomes, C. F. (1988). *Argilas. O que são e para que servem*. Fundação Calouste Gulbenkian, 457 p.
- González, F. D. e Couceiro, M. (2005) *A sustentabilidade da forma na construção em terra crua - Seminário Ibero Americano de Construção em Terra*.
- Gonzalez, F. D. (2006). *Geometrias de arquitetura de terra: a sustentabilidade geométrica das construções em terra crua*. Lisboa: Universidade Lusitana Editora. 203 p. ISBN 972-8883-69-2.
- Guedes, M. C. (2009). *Arquitetura sustentável em Angola. Manual de Boas Práticas*. Universidade de Aveiro 19-25.
- Guerreiro, V. S. (2009). *Tradição Limitada: Arquitetura de terra*. Dissertação de Mestrado. FCT. Departamento de Arquitectura. Universidade de Coimbra.
- Guillaud, H.; Houben, H. (1989). *Traité de construction en terre*. Marseille: Editions Parenthèses, Marseille.
- Houben, H. e Guillaud, H. (1984). *Earth construction primer*. Brussels: CRATerre/UNCHS-PCD-CRA-AGCD.
- Houben, H. and Guillaud, H. (2006). *CRATerre - Traité de construction en terre* Parenthèses, Marseille.
- Houben, H. (2011). *L'architecture de terre, une discipline à part entière?* Terra 2008: The 10 th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. The Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- INE – Instituto Nacional de Estatística (2016). *Resultados definitivos do Recenseamento Geral da População e da Habitação de Angola, 2014*. Luanda – Angola.
- Jahn, G. V. (2005). *Barro, Vento e Sol. Raízes de uma Arquitetura Africana*. <http://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.057/496/pt>
- Jalali S., e Eires, R., (2008). *Inovações Científicas de Construção em Terra Crua*, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil.
- Jaquin, P. (2012). *History of earth building techniques. Modern earth buildings -Materials, engineering, construction and applications*. Edition Woodhead Publishing Limited, United Kingdom.
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. McGraw Hill Book Co, New York, 281 p.

- Jessen, O., 1936 (in Feio, 1946). *Reisen und forschungen in Angola*. Dietrich Reiner, Berlim.
- Klug, H. P. and Alexander, L. E. (1974). *X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials*. 2th edition, Wiley-Interscience, New York.
- LNEC (1966). E 195 - 1966 – Solos. Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação. LNEC, Lisboa.
- LNEC. (1966). E 197 -1966. Solos – Ensaio de Compactação. LNEC, Lisboa.
- LNEC (1967) E 200 -1967 – Solos. Ensaio de expansibilidade. LNEC, Lisboa.
- LNEC (1970) E 239 - 1970 – Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida. LNEC, Lisboa.
- LNICT – Laboratório Nacional de Investigação Científica Tropical (1980). *Geologia de Angola*. Folha N°3 à escala 1:1000 000. Serviços de Geologia e Minas (Junta de Investigações Científicas do Ultramar).
- Lourenço, P. I. (2002). *Construções em Terra*. Tese de Mestrado em Construção. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Medeiros, C. A. (1976). *A Colonização das Terras Altas da Huíla (Angola)*. Lisboa: Memórias do Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Instituto de Alta Cultura.
- Minke, G. (2005). *Manual de Construcción en Tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Fin de Siglo.
- Minke, G. (2006). *Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Birkhäuser – Publishers for Architecture, Basel- Berlin-Boston.
- Minke, G., (2012). *Building with earth. Design and technology of a sustainable architecture*. Birkhäuser, Basel – Berlin -Boston.
- Neves, C.; Faria, Borges, O.; Rotondaro, Rodolfo; Cevallos, Patrício Salas; Hoffmann, Márcio Vieira (2010). *Seleção de solos e métodos de controlo na construção com terra – práticas de campo*. PROTERRA. Disponível em <http://www.redprotterra.org>.
- Neves, C. e Faria, O. B. (2011). *Técnicas de construção com terra*. Bauru-SP. -UNESP/PROTERRA.
- Neves, C. e Milani, A. P. (2011). *Bloco de terra comprimida – BTC. Técnicas de Construção com Terra*. PRO TERRA.
- Ngongo, A. O. (2014). *Zoneamento Agroclimática para cultura do café em Angola (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal de Viçosa, Brasil. CDD 22. Ed. 630.251509673.
- NP 83 LNEC (1965) – Solos. Determinação da densidade das partículas. Lisboa.
- NP 84 LNEC (1965) – Solos. Determinação do teor em água. Lisboa.

- NP 143 (LNEC, 1969) – Solos. Determinação dos limites de consistência. Lisboa.
- NZS 4297 (1998). New Zealand Standards, Engineering design of earth buildings. New Zealand.
- NZS 4298 (1998). New Zealand Standards, Material and Workmanship for earth buildings. New Zealand.
- Pacheco-Torgal F. P., Eires, R. M. G. e Jalali, S. (2009). Construção em Terra. Universidade do Minho, Guimarães. Edição TecMinho. ISBN 978-972-8692-40-7. Delegación Portugal.
- Pacheco-Torgal, F. e Jalali, S. (2012a). Earth construction: lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, vol.29, pp. 512–519.
- Pacheco-Torgal F., e Jalali S. (2012b). Ensaios de avaliação da durabilidade das construções em terra. Técnicas, construção e I&DT. Universidade do Minho – Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães.
- Pedro, E., Duarte I. e Varum H. (2014). Características dos solos utilizados na produção de adobes na Província de Huambo – Angola. CLME 2014 / IV CEM – 7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / 4º Congresso de Engenharia de Moçambique, Inhambane, Moçambique (CD-ROM).
- Pedro, E. Duarte I, Varum H. and Pinho A. (2015). Characterization of adobes in the Central Plateau of Angola. *Engineering Geology for Society and Territory. Preservation of Cultural Heritage*. Vol. 8, 54, 311-316. Springer. ISBN 978-3-319-09407-6; ISBN 978-3-319-09408-3 (eBook); Doi: 10.1007/978-3-319-09408-3_54.
- Pedro, E. D. C., Duarte, I. M. R., Varum, H., Pinho, A. B. e Norman, A. (2016). Mechanical properties of Adobe Blocks used in building construction in Huambo Province – Angola. 35th International Geological Congress, Paper 2339, (<http://www.americangeosciences.org/information/igc>), Cape Town, South Africa.
- Pereira, E., Van-Dúnen, M. V., Tassinari, C.C.G., (2006). Carta Geológica de Angola, Notícia Explicativa da Folha Sul D 33/ N-III (Bibala), escala 1: 100 000. Pub. Instituto Geológico de Angola, 57 p.
- Pereira, E., Rodrigues, J. F., Tassinari, C. C. G. e Van-Dunen, M. V. (2013). *Geologia da região de Lubango, SW de Angola: evolução no contexto do cratão do Congo*. IGEO (1st. ed.). S. Mamede de Infesta: LNEG.
- Pinho, A. B., Gonçalves, A. O., Morais, E. A., Duarte, I. M. R. e Lopes, L. (2016). Do Planalto da Humpata ao deserto do Namibe, SW de Angola. Excursão de campo pós-congresso em Angola (EXSA-Post 6), 4 de setembro a 11 de Setembro de 2016. Editor: Universidade de Évora / Instituto de Ciências da Terra. ISBN: 978-989-8550-35-4.
- Pollard, M., Batt, C., Stern, B. e Young, S. M. M. (2006). Analytical Chemistry in Archaeology. (G. Barker, E. Slater, & P. Bogucki, EDX.). United States of America: Cambridge University Press.

- Rael, R. (2009). *Earth architecture*. New York: Princeton Architectural Press, 208 p. ISBN 978-56898-767-5.
- Ribeiro, N. P., Braga, M. (2003). *Técnicas construtivas tradicionais das alvenarias no Brasil. Conservação e restauro: arquitetura brasileira*. Rio de Janeiro: Editora Rio, p. 53-84. ISBN: 857579047-1). Consultado a 28 de Junho de 2018, em <http://patricultufes.blogspot.com/2012/06/tecnicas-construtivas-tradicionais-das.html>
- Ricardo R. P., Marques M. M., Ramos M. F. (1980). *Nota Sobre o Processo de Formação dos Solos Ferralíticos da Região do Hoque (Província da Huíla – Angola)*.
- Rodrigues, P. F. (2005). *Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias*. Musa. Faculdade de Ciência e Tecnologia – Universidade Nova Lisboa, Lisboa.
- Ruth, O. (2013). *Sedimentology and Geochemistry of the Mesoproterozoic Leba Formation in Angola, Africa*. Tesis Doctoral. Jackson State University.
- Santana, T. e Rodrigues, P. (2005). *Ensaio de caracterização laboratorial de solos com vista à sua utilização em Arquitectura de Terra crua*, FCT, Universidade Nova de Lisboa, In IV SIACOT, Monsaraz, PROTERRA/CdT.
- Santiago, C. C. (2005). *A terra nos tratados e nos manuais de arquitectura e construção*. *Arquitectura de terra em Portugal*.
- Schroeder, H. (2012). *Modern earth building codes, standards and normative development. Modern earth buildings-Materials, engineering, construction and applications*. Ed Woodhead Publishing Limited, United Kingdom.
- Sertoli, P. E. (2009). *As características do complexo de troca e a classificação dos solos da república de Angola*. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa.
- Silva, C. G. T. (2000). *Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.
- Silva, R. A., Oliveira, D. V., Miranda T., Soares, E., Cristelo, N., e Lourenço, P. (2014). *Caracterização do comportamento ao corte de alvenaria de blocos de terra compactada com junta seca*. 9º Congresso Nacional de Mecânica Experimental, (pp. 101-111). Aveiro.
- Sousa, P. M. L. P. (2011). *Limite de liquidez – Correlações e comparações entre os métodos de fall cone e da concha de Casagrande*. Dissertação de mestrado em Engenharia Geológica. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dep. Ciências da Terra. Universidade Nova de Lisboa.
- Thorntwaite, C. W. (1948). *An approach toward a rational classification of climate*, *Geographical Review*, New York, n. 1.

- Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. (1955) The water balance. Publication in Climatology, Laboratory of Climatology, Centerton, v. 8, n.1.
- Torres, C. (2005). "A Memória da Terra". Arquitectura de Terra em Portugal.
- Varanda, F. (2009). Art of building in Yemen. Argumentum, Lisboa.
- Varum, H., Costa, A., Silveira, D., Carvalho, G. e Silva, L. (2007). Caracterização dos solos e adobes usados na construção em Camabatela, Angola. V Seminário de Arquitectura de Terra em Portugal, Aveiro, Portugal.
- Viana da Fonseca, A. (1996). Geomecânica dos solos residuais do granito do Porto. Critérios para dimensionamento de fundações directas. Tese de Doutoramento. Universidade do Porto. Porto. 774 p.
- Wachilala, P. M., Duarte I. M. and Pinho, A. B. (2016). Methods of Earth Building in the Huíla province, Angola. 35th International Geological Congress, Paper 4946, (<http://www.americangeosciences.org/information/igc>), Cape Town, South Africa.
- Wachilala, P. M., Duarte I. M. e Pinho, A. B. (2017). Ensaios *in-situ* e de laboratório para a caracterização dos solos utilizados na produção de adobes na Província da Huíla, Angola. CLME 2017 / V CEM – 8º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / 4º Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo, Moçambique.
- Wachilala, P. M., Duarte I. M., Pinho, A. B., Mirão, J. P. e Neto, M. S. (2018a). A construção sustentável na perspetiva dos geomateriais utilizados na província da Huíla. 3º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Coimbra.
- Wachilala, P. M., Duarte I. M., Pinho, A. B., Mirão, J. P. (2018b). *Caracterização mineralógica e geotécnica dos solos para a construção em terra crua no sudoeste de angola*. 16 CNG – 16º Congresso Nacional de Geotecnia, Açores.
- Walker, P. (2000). Review and experimental comparison of erosion tests for earth blocks. In: Terra 2000, 8th International Conference on the study and conservation of earthen architecture. ICOMOS, Torquay, Devon, UK, pp 176–181.
- WHEAP- World Heritage Earthen Architecture Programme, (2012). Inventory of earthen architecture. ISBN: 978-2-906901-70-4 – CRATerre-ENSAG.
- Williams, C. J. e Kniveton, D. R. (2011). African Climate and Climate: Change Physical, Social and Political Perspectives. London: Springer Science+Business Media B.V., pp. 1-12.
- WRB (2006). World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. ISBN 92-5-105511-4.

Anexos



Figura 1 - Morro de térmitas (formigas de salalé), Município da Matala. Fonte: Fotografia de Wachilala.

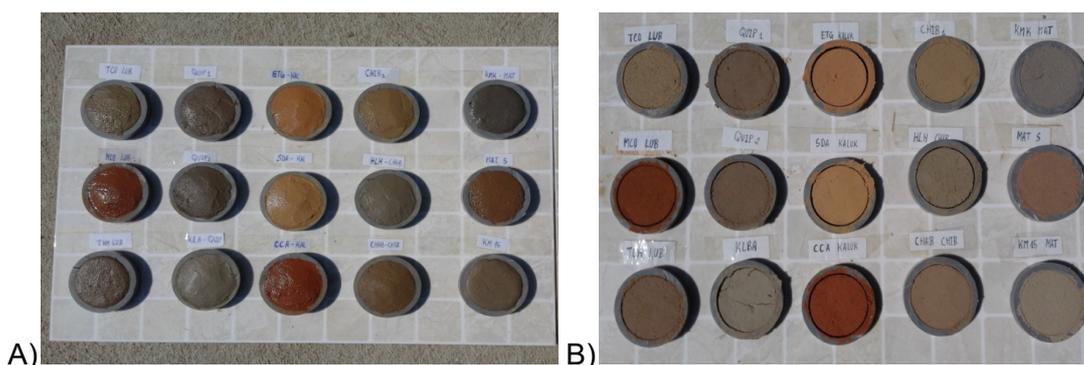


Figura 2 - Realização de ensaios *in-situ*: Teste de retração. A) Argolas com solo húmido. B) Após 48 horas de secagem ao ar.



Figura 3 - Realização de ensaios *in-situ*: Ensaio de sedimentação “Teste da garrafa”.

1. Análise granulométrica

Tabela 1 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Mk.

Peso inicial (g) 309,76

Peneiro	P. da cúp	Cáp + Solo ret	Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1		0	0	0	100,00
1"	25,000		0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000		0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500		0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,750	101,45	101,85	0,40	0,13	99,87
10	2,000	90,52	100,59	10,07	3,25	96,62
20	0,850	93,95	164,91	70,96	22,91	73,71
40	0,425	119,57	166,73	47,16	15,22	41,51
60	0,250	119,61	154,28	34,67	11,19	52,71
140	0,106	120,16	173,58	53,42	17,25	69,95
200	0,075	93,35	107,17	13,82	4,46	74,41
Fundo				0,00	0,00	74,41

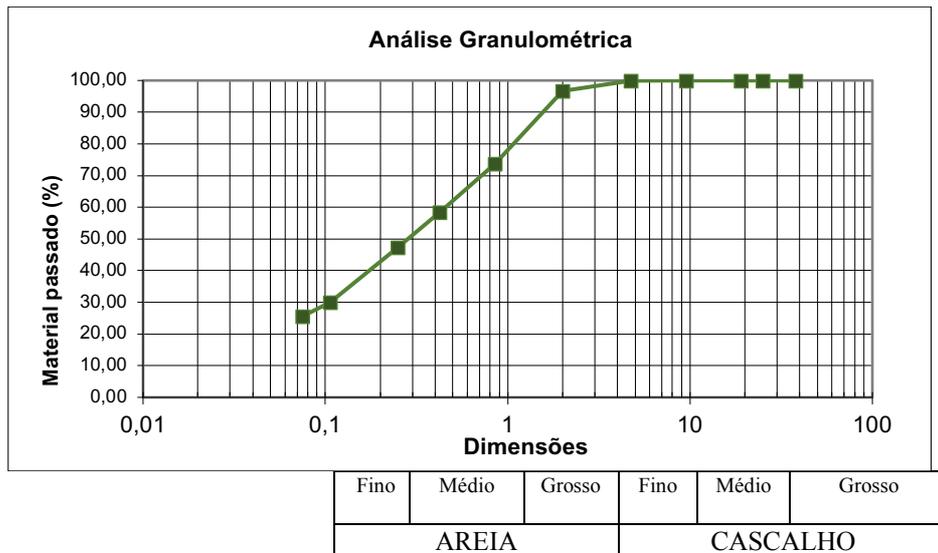


Figura 4 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Mk, com escala ABNT.



Figura 5 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Mk.

Tabela 2 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Hh.

Peso inicial (g) 339,50

Peneiro	P. da cúp	Cáp + Solo ret	Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1		0	0	0	100,00
1"	25,000		0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000		0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500		0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,750	99,00	100,63	1,63	0,48	99,52
10	2,000	90,22	96,90	6,68	1,97	97,55
20	0,850	120,00	130,76	10,76	3,17	94,38
40	0,425	98,31	100,41	2,10	0,62	93,76
60	0,250	99,89	119,15	19,26	5,67	88,09
140	0,106	119,43	231,57	112,14	33,03	55,06
200	0,075	118,99	139,97	20,98	6,18	48,88
Fundo			0,00	0,00	51,12	48,88

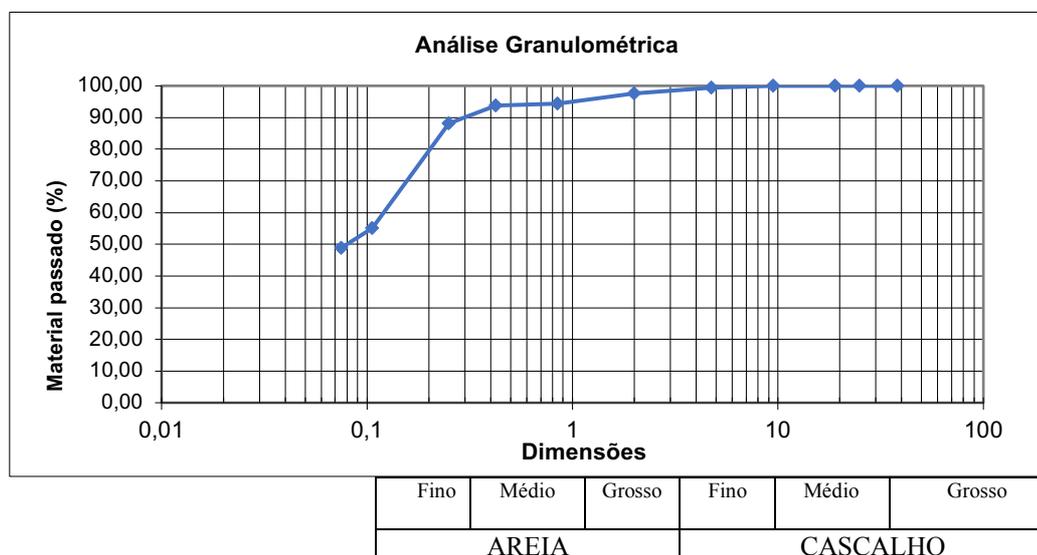


Figura 6 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Hh, com escala ABNT.



Figura 7 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Hh.

Tabela 3 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Qq.

Peso inicial (g) 308,38

Peneiro	P. da cúp	Cúp + Solo ret	Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1			0	0	100,00
1"	25,000			0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000			0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500			0,00	0,00	100,00
4	4,750	4,75	64,60	59,85	19,41	80,59
10	2,000	66,38	77,19	10,81	3,51	77,09
20	0,850	99,21	121,82	22,61	7,33	69,75
40	0,425	119,20	149,67	30,47	9,88	59,87
60	0,250	94,38	133,94	39,56	12,83	47,05
140	0,106	98,24	188,98	90,74	29,42	17,62
200	0,075	97,80	117,17	19,37	6,28	11,34
Fundo				0,00	0,00	11,34

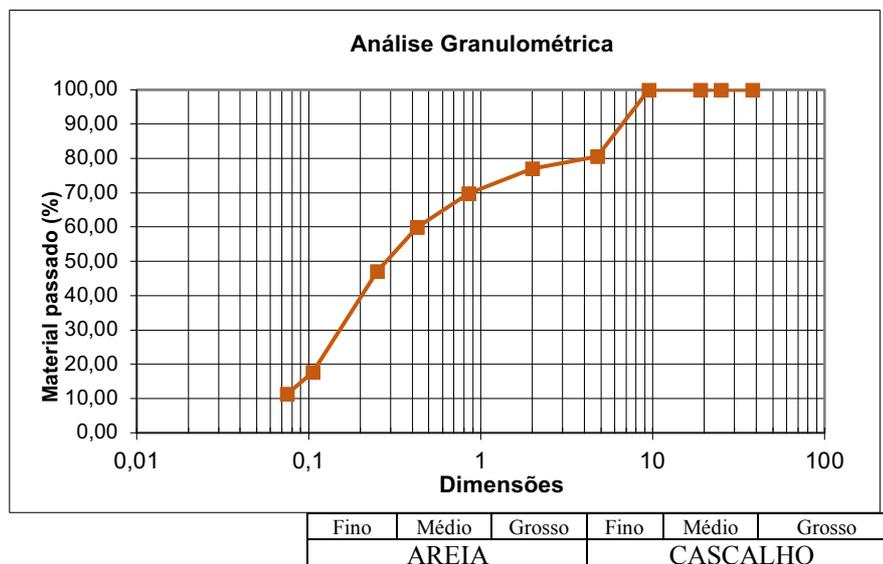


Figura 8 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Qq, com escala ABNT.



Figura 9 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Qq.

Tabela 4 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Cc.

Peso inicial (g) 298,32

Peneiro		P. da cúp	Cáp + Solo ret	Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1			0	0	0	100,00
1"	25,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,500			0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,750	104,90	108,25	3,35	1,12	1,12	98,88
10	2,000	119,47	126,46	6,99	2,34	3,47	96,53
20	0,850	121,12	150,39	29,27	9,81	13,28	86,72
40	0,425	118,89	151,31	32,42	10,87	24,15	75,85
60	0,250	117,08	151,71	34,63	11,61	35,75	64,25
140	0,106	120,06	197,00	76,94	25,79	61,54	38,46
200	0,075	120,11	143,61	23,50	7,88	69,42	30,58
Fundo				0,00	0,00	69,42	30,58

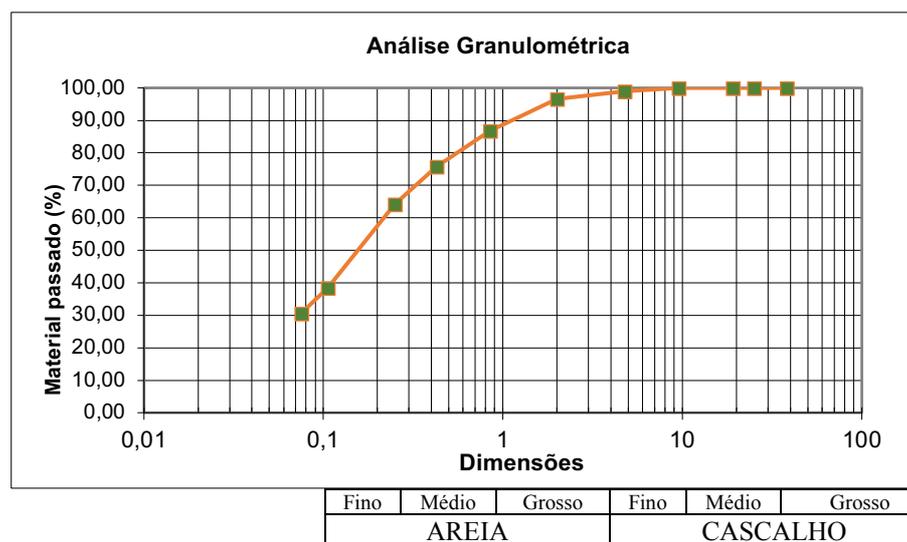


Figura 10 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Cc, com escala ABNT.

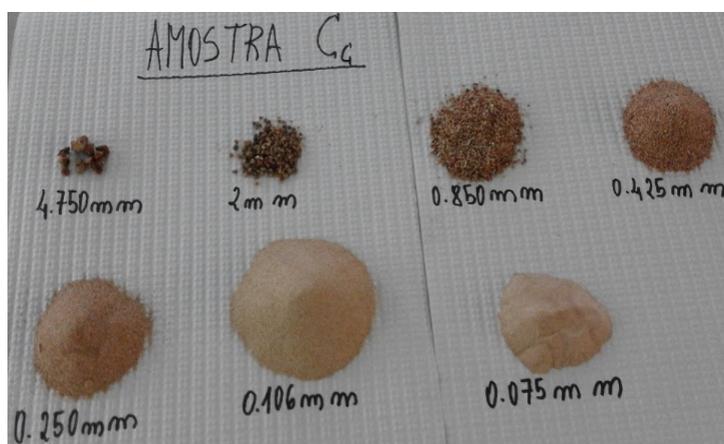


Figura 11 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Cc.

Tabela 5 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Ks.

Peso inicial (g) 293,96

Peneiro		P. da cúp	Cáp + Solo ret	Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1			0	0	0	100,00
1"	25,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500			0,00	0,00	0,00	100,00
4"	4,750			0,00	0,00	0,00	100,00
10"	2,000	120,26	122,31	2,05	0,70	0,70	99,30
20"	0,850	99,63	102,34	2,71	0,92	1,62	98,38
40"	0,425	118,21	126,88	8,67	2,95	4,57	95,43
60"	0,250	102,99	120,51	17,52	5,96	10,53	89,47
140"	0,106	117,86	180,00	62,14	21,14	31,67	68,33
200"	0,075	100,29	125,09	24,80	8,44	40,10	59,90
Fundo				0,00	0,00	40,10	59,90

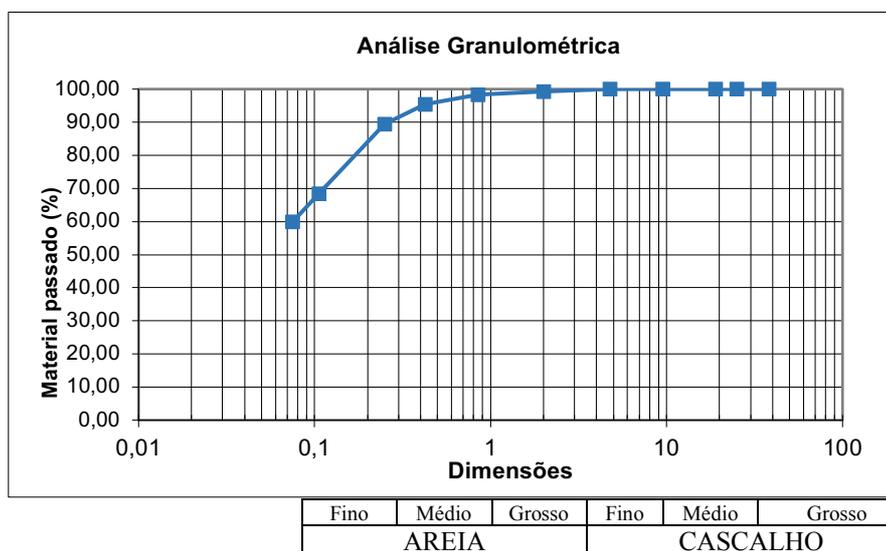


Figura 12 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Ks, com escala ABNT.

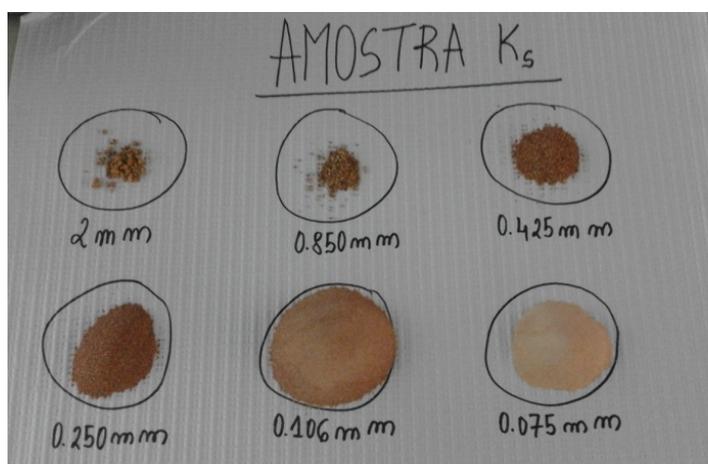


Figura 13 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Ks.

Tabela 6 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Kc.

Peso inicial (g) 305,63

Peneiro		P. da cúp	Cáp + Solo ret	Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1			0	0	0	100,00
1"	25,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,500			0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,750			0,00	0,00	0,00	100,00
10	2,000	118,78	119,34	0,56	0,18	0,18	99,82
20	0,850	118,99	128,61	9,62	3,15	3,33	96,67
40	0,425	118,84	139,16	20,32	6,65	9,98	90,02
60	0,250	99,29	125,31	26,02	8,51	18,49	81,51
140	0,106	119,37	174,12	54,75	17,91	36,41	63,59
200	0,075	103,20	119,11	15,91	5,21	41,61	58,39
Fundo				0,00	0,00	41,61	58,39

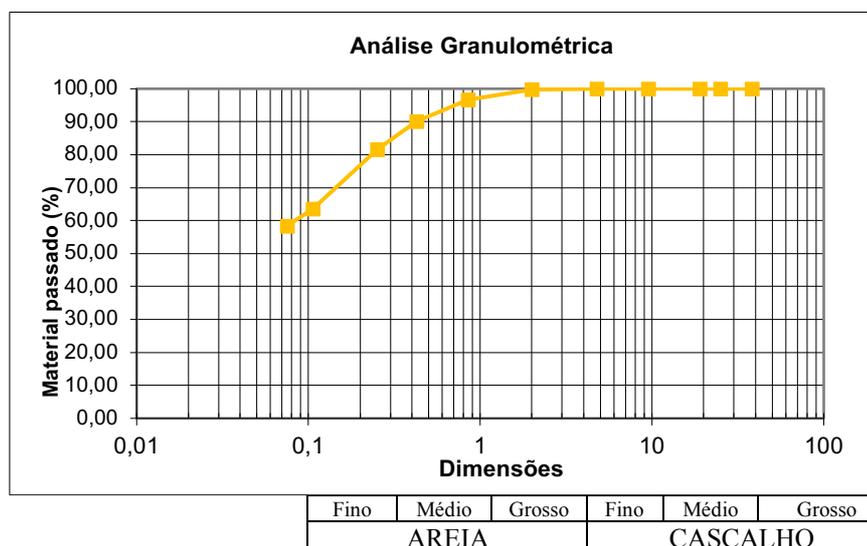


Figura 14 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Kc, com escala ABNT.

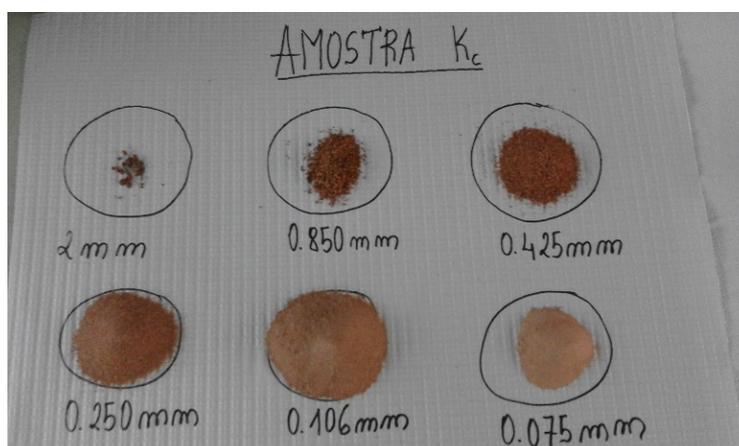


Figura 15 - Distribuição das frações de solo, exemplo da amostra Kc.

Tabela 7 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Lt.

Peso inicial (g) 347,18

Peneiro		P. da cúp	Cáp + Solo ret	Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1			0	0	0	100,00
1"	25,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,500			0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,750	49,09	50,82	1,73	0,50	0,50	99,50
10	2,000	98,57	106,49	7,92	2,28	2,78	97,22
20	0,850	99,64	122,14	22,50	6,48	9,26	90,74
40	0,425	97,80	140,78	42,98	12,38	21,64	78,36
60	0,250	88,21	121,29	33,08	9,53	31,17	68,83
140	0,106	99,30	151,11	51,81	14,92	46,09	53,91
200	0,075	99,20	115,60	16,40	4,72	50,82	49,18
Fundo				0,00	0,00	50,82	49,18

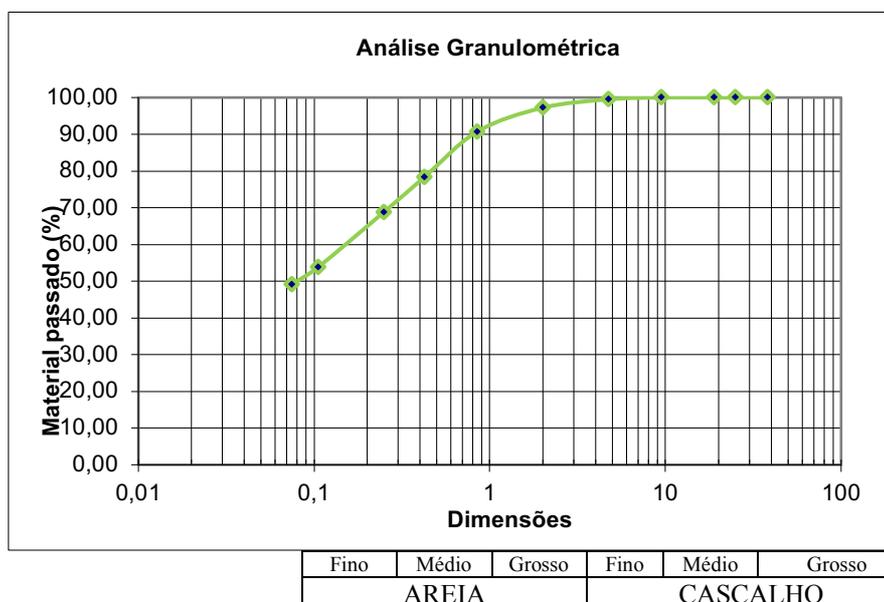


Figura 16 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Lt, com escala ABNT

Tabela 8 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida, exemplo da amostra Lh.

Peso inicial (g) 257,88

Peneiro		P. da cúp	Cáp + Solo ret	Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1			0	0	0	100,00
1"	25,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,500			0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,750	44,01	44,72	0,71	0,28	0,28	99,72
10	2,000	102,45	115,72	13,27	5,15	5,42	94,58
20	0,850	119,27	144,67	25,40	9,85	15,27	84,73
40	0,425	116,57	147,13	30,56	11,85	27,12	72,88
60	0,250	119,03	145,20	26,17	10,15	37,27	62,73
140	0,106	120,28	159,71	39,43	15,29	52,56	47,44
200	0,075	93,31	102,37	9,06	3,51	56,07	43,93
Fundo				0,00	0,00	56,07	43,93

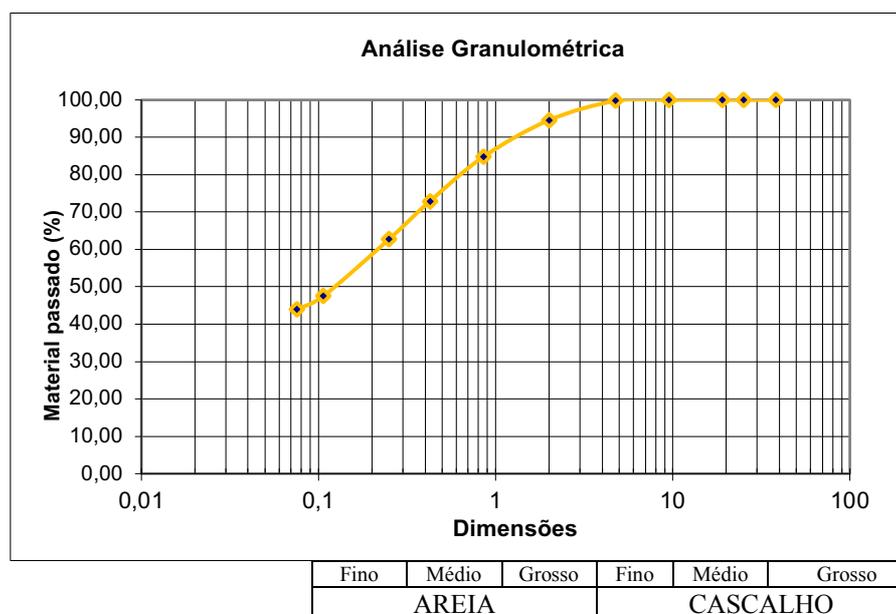


Figura 17 - Análise do tamanho das partículas da amostra de solo Lh, com escala ABNT

2. Determinação dos limites de consistências

Tabela 9 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de liquidez, exemplo da amostra Lh.

		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	51,23	37,3	45,06	48,95		
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	48,88	35,27	42,97	46,94		
C = A - B	P. da água (g)	2,35	2,03	2,09	2,01		
D	P. da Cápsula	41,54	28,57	35,85	40,18		
E = B - D	P. do solo seco (g)	7,34	6,70	7,12	6,76		
$W=100 \times \frac{C}{E}$	Teor de Humidade (%)	32,02	30,30	29,35	29,73		
P	Número de Golpes	14	23	31	39		
W_L	Limite de Liquidez	30					

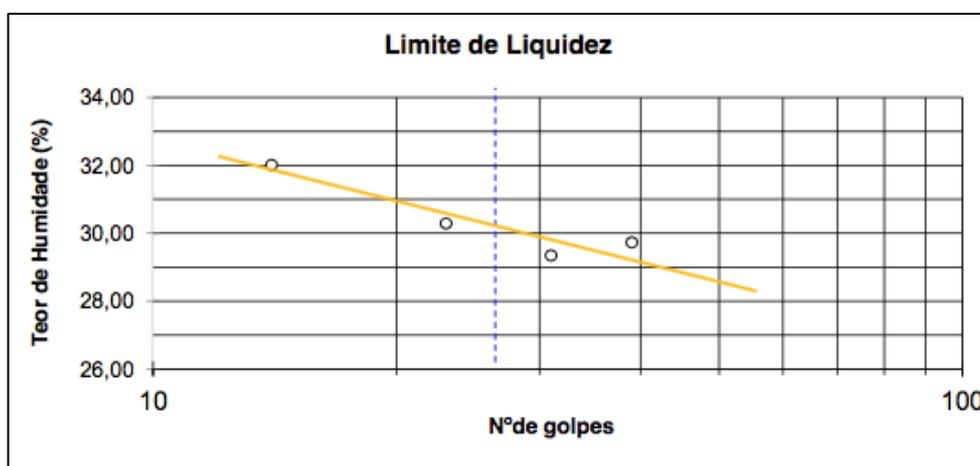


Figura 18 – Representação gráfica resultante do ensaio de determinação do limite de liquidez, exemplo da amostra Lh.

Tabela 10 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de plasticidade, exemplo da amostra Lh.

		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	37,15	37,06	39,52	39,73		
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	36,93	36,87	39,27	39,49		
C = A - B	P. da água (g)	0,22	0,19	0,25	0,24		
D	P. da Cápsula	35,92	35,96	38,08	38,33		
E = B - D	P. do solo seco (g)	1,01	0,91	1,19	1,16		
$W=100 \times \frac{C}{E}$	Teor de Humidade (%)	21,78	20,88	21,01	20,69		
W_P	Limite de Plasticidade	21					

3- ÍNDICE DE PLASTICIDADE

$$I_P (W_L - W_P) = 9$$

Tabela 11 – Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de liquidez, exemplo da amostra Lt.

		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	42,94	46,42	44,83	49,19		
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	39,92	44,14	42,98	46,73		
C = A - B	P. da água (g)	3,02	2,28	1,85	2,46		
D	P. da Cápsula	29,00	35,58	35,94	37,21		
E = B - D	P. do solo seco (g)	10,92	8,56	7,04	9,52		
$W=100 \times$ C/E	Teor de Humidade (%)	27,66	26,64	26,28	25,84		
P	Número de Golpes	21	24	29	37		
WL	Limite de Liquidez	27					

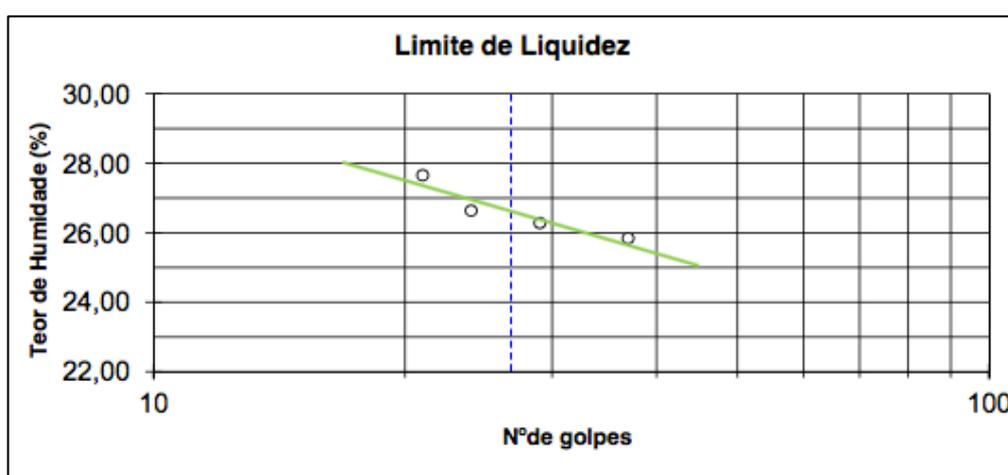


Figura 19 – Representação gráfica resultante do ensaio de determinação do limite de liquidez, exemplo da amostra Lt.

Tabela 12 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de plasticidade, exemplo da amostra Lt.

		1	2	3	4
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	37,04	37,18	40,05	36,58
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	36,88	37,01	39,81	36,43
C = A - B	P. da água (g)	0,16	0,17	0,24	0,15
D	P. da Cápsula	36,06	36,13	38,59	35,64
E = B - D	P. do solo seco (g)	0,82	0,88	1,22	0,79
$W=100 \times$ C/E	Teor de Humidade (%)	19,51	19,32	19,67	18,99
WP	Limite de Plasticidade	19			

3- ÍNDICE DE PLASTICIDADE

$$I_p (W_L - W_P) = 8$$

3. Determinação da expansibilidade

Tabela 13 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Lh.

DATA	20/09/2016		21/09/2016		22/09/2016		23/09/2016	
Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div	
**		0 (24h)	142	0 (48h)	197	0 (72h)	260	
**		2 h	142	2 (49h)	197	2 h (74h)	260	
09:45	0 min	112	4 h	143	4 h(52h)	211	4 h (76h)	260
	1 min	124	6 (31h)	150	6 h	6 h	0	
	2 min	124	8 h		8 h	8 h	0	
	3 min	123	10 h		10 h	10 h	0	
	4 min	122	12 h		12 h	12 h	0	
	5 min	122	14 h		14 h	14 h		
	10 min	133	16 h		16 h	16 h		
	15 min	133	18 h		18 h	18 h		
	30 min	136	20 h		20 h	20 h		
	45 min	138	22 h		22 h	22 h		
	1 h	138	24 h		24 h	24 h		
	2 h	139	2 h		2 h	2 h		
	4 h	139	4 h		4 h	4 h		
	6 h		6 h		6 h	6 h		
	8 h	139	8 h		8 h	8 h		
	10 h		10 h		10 h	10 h		
	12 h		12 h		12 h	12 h		
	14 h		14 h		14 h	14 h		
	16 h		16 h		16 h	16 h		
	18 h		18 h		18 h	18 h		
	20 h		20 h		20 h	20 h		
	22 h		22 h		22 h	22 h		
	24 h		24 h		24 h	24 h		

Expansibilidade (%)	=	9,25
----------------------------	---	------

Tabela 14 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Lt.

DATA	20/09/2016		21/09/2016				
Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div
**		24 h	250	0 min		0 min	
**		2h (26h)	251	2 h		2 h	
09:46 0 min	119	4 h ...	251	4 h		4 h	
1 min	125	6 h		6 h		6 h	
2 min	124	8 h	0	8 h		8 h	
3 min	128	10 h	0	10 h		10 h	
4 min	135	12 h	0	12 h		12 h	
5 min	143	14 h	0	14 h		14 h	
10 min	172	16 h	0	16 h		16 h	
15 min	198	18 h		18 h		18 h	
30 min	204	20 h		20 h		20 h	
45 min	208	22 h		22 h		22 h	
1 h	208	24 h		24 h		24 h	
2 h		2 h		2 h		2 h	
4 h	207	4 h		4 h		4 h	
6 h	208	6 h		6 h		6 h	
8 h	208	8 h		8 h		8 h	
10 h		10 h		10 h		10 h	
12 h		12 h		12 h		12 h	
14 h		14 h		14 h		14 h	
16 h		16 h		16 h		16 h	
18 h		18 h		18 h		18 h	
20 h		20 h		20 h		20 h	
22 h		22 h		22 h		22 h	
24 h		24 h		24 h		24 h	

Expansibilidade (%)	=	8,8
----------------------------	---	------------

Tabela 15 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Mk.

DATA	03/02/2017		04/02/2017				
Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div
**		2h (24h)	185	2h (48h)		2h	
**		4h	185	4h		4h	
**		6h	184	6h		6h	
15:43	0 min	8h	184	8h		8h	
	1 min	6 h		6 h		6 h	
	2 min	8 h		8 h		8 h	
	3 min	10 h		10 h		10 h	
	4 min	12 h		12 h		12 h	
	5 min	14 h		14 h		14 h	
	15 min	16 h		16 h		16 h	
	30 min	20 h		20 h		20 h	
	45 min	22 h		22 h		22 h	
	1 h	24 h		24 h		24 h	
	2 h	2 h		2 h		2 h	
	3 h	4 h		4 h		4 h	
	4 h	6 h		6 h		6 h	
	5 h						
	6 h						
	7 h						
	8 h						
	9 h						
	10 h						
	11 h						
	12 h						
	13 h						
	14 h						
	15 h						
	16 h						
	17 h						
	18 h						
	19 h						
	20 h						
	21 h						
	22 h						
	23 h						
	24 h						

Expansibilidade (%) = 6,07

Tabela 16 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Ks.

DATA	03/02/2017		04/02/2017		05/02/2017		
Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div
**		2h (24h)	254	2h (48h)	252	2h	
**		4h	254	4h	252	4h	
**		6h	254	6h	252	6h	
17:12	0 min	168	8h	255	8h	251	8h
	1 min	214	6 h		6 h		6 h
	2 min	219	8 h		8 h		8 h
	3 min	221	10 h		10 h		10 h
	4 min	222	12 h		12 h		12 h
	5 min	223	14 h		14 h		14 h
	15 min	232	16 h		16 h		16 h
	30 min	235	20 h		20 h		20 h
	45 min	237	22 h		22 h		22 h
	1 h	239	24 h		24 h		24 h
	2 h	243	2 h		2 h		2 h
	3 h	246	4 h		4 h		4 h
	4 h	247	6 h		6 h		6 h
	5 h	249					
	6 h	250					
	7 h	251					
	8 h	252					
	9 h						
	10 h						
	11 h						
	12 h						
	13 h						
	14 h						
	15 h						
	16 h						
	17 h						
	18 h						
	19 h						
	20 h						
	21 h						
	22 h						
	23 h						
	24 h						

Expansibilidade (%) = 5,19

Tabela 17 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Kc.

DATA	03/02/2017		04/02/2017				
Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div
**		0 (24h)	254	0 (48h)		0 (72h)	
**		2 h	254	2 (49h)		2 h (74h)	
15:36 0 min	120	4 h	254	4 h(52h)		4 h (76h)	
1 min	172	6 h		6 h		6 h	
2 min	200	8 h		8 h		8 h	
3 min	211	10 h		10 h		10 h	
4 min	214	12 h		12 h		12 h	
5 min	215	14 h		14 h		14 h	
15 min	226	16 h		16 h		16 h	
30 min	234	20 h		20 h		20 h	
45 min	240	22 h		22 h		22 h	
1 h	244	24 h		24 h		24 h	
2 h	246	2 h		2 h		2 h	
3 h	254	4 h		4 h		4 h	
4 h	254	6 h		6 h		6 h	
5 h	254						
6 h	254						
7 h	254						
8 h	254						
9 h							
10 h							
11 h							
12 h							
13 h							
14 h							
15 h							
16 h							
17 h							
18 h							
19 h							
20 h							
21 h							
22 h							
23 h							
24 h							

Expansibilidade (%) = 8,93

Tabela 18 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Qq.

DATA	03/02/2017		04/02/2017				
Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div
**		0 (24h)	171	0 (48h)		0 (72h)	
**		2 h	171	2 (49h)		2 h (74h)	
15:52	0 min	148	4 h	171	4 h(52h)	4 h (76h)	
	1 min	157	6 (31h)		6 h	6 h	0
	2 min	163	8 h		8 h	8 h	0
	3 min	166	10 h		10 h	10 h	0
	4 min	168	12 h		12 h	12 h	0
	5 min	169	14 h		14 h	14 h	
	10 min	169	16 h		16 h	16 h	
	15 min	171	18 h		18 h	18 h	
	30 min	171	20 h		20 h	20 h	
	45 min	171	22 h		22 h	22 h	
	1 h	171	24 h		24 h	24 h	
	2 h	171	2 h		2 h	2 h	
	4 h	171	4 h		4 h	4 h	
	6 h	171	6 h		6 h	6 h	
	8 h	171	8 h		8 h	8 h	
	10 h		10 h		10 h	10 h	
	12 h		12 h		12 h	12 h	
	14 h		14 h		14 h	14 h	
	16 h		16 h		16 h	16 h	
	18 h		18 h		18 h	18 h	
	20 h		20 h		20 h	20 h	
	22 h		22 h		22 h	22 h	
	24 h		24 h		24 h	24 h	

Expansibilidade (%)	=	1,53
----------------------------	---	-------------

Tabela 19 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Hh.

DATA	03/02/2017		04/02/2017				
Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div
**		24 h	242	0 min		0 min	
**		2h (26h)	242	2 h		2 h	
16:36	0 min	171	4 h ...	242		4 h	
	1 min	210	6 h			6 h	
	2 min	220	8 h			8 h	
	3 min	228	10 h			10 h	
	4 min	230	12 h			12 h	
	5 min	231	14 h			14 h	
	10 min	231	16 h			16 h	
	15 min	236	18 h			18 h	
	30 min	239	20 h			20 h	
	45 min	242	22 h			22 h	
	1 h	242	24 h			24 h	
	2 h	242	2 h			2 h	
	4 h	242	4 h			4 h	
	6 h	242	6 h			6 h	
	8 h	242	8 h			8 h	
	10 h		10 h			10 h	
	12 h		12 h			12 h	
	14 h		14 h			14 h	
	16 h		16 h			16 h	
	18 h		18 h			18 h	
	20 h		20 h			20 h	
	22 h		22 h			22 h	
	24 h		24 h			24 h	

Expansibilidade (%)	=	4,73
----------------------------	---	------

Tabela 20 – Resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade, exemplo da amostra Cc.

DATA	03/02/2017		04/02/2017				
Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div	Tempo	Div
**		2h (24h)	250	2h		2h	
**		4h	250	4h		4h	
**		6h	250	6h		6h	
16:30	0 min	182	8h	250	8h	8h	
	1 min	188	6 h		6 h	6 h	
	2 min	208	8 h		8 h	8 h	
	3 min	215	10 h		10 h	10 h	
	4 min	221	12 h		12 h	12 h	
	5 min	225	14 h		14 h	14 h	
	15 min	240	16 h		16 h	16 h	
	30 min	243	20 h		20 h	20 h	
	45 min	249	22 h		22 h	22 h	
	1 h	250	24 h		24 h	24 h	
	2 h	250	2 h		2 h	2 h	
	3 h	250	4 h		4 h	4 h	
	4 h	250	6 h		6 h	6 h	
	5 h	250					
	6 h	250					
	7 h	250					
	8 h	250					
	9 h						
	10 h						
	11 h						
	12 h						
	13 h						
	14 h						
	15 h						
	16 h						
	17 h						
	18 h						
	19 h						
	20 h						
	21 h						
	22 h						
	23 h						
	24 h						

Expansibilidade (%) = 4,53

4. Determinação da densidade das partículas

Tabela 21 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Cc.

DESIGNAÇÃO	SÍMBOLO	PROVETES			
		24	25	26	27
PICNÓMETRO ÁGUA DESTILADA	m3	155,62	155,90	156,11	156,23
PICNÓMETRO+PROVETE ÁGUA DESTILADA	m5	171,34	171,97	172,03	172,30
CÁPSULA	-	24	25	26	27
CÁPSULA (MASSA)	-	55,45	55,63	55,97	56,01
PROVETE SECO+CÁPSULA	-	81,55	81,86	82,05	82,02
PROVETE SECO	m4	26,01	26,23	26,08	26,01
TEMPERATURA DO ENSAIO	t	27	27	27	27
RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DA ÁGUA À TEMPERATURA DO ENSAIO E A 20°	k	0,998	0,998	0,998	0,998
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS	d	2,52	2,58	2,56	2,61

$$d = k \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} = 2,57$$

Tabela 22 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Mk.

DESIGNAÇÃO	SÍMBOLO	PROVETES		
		13	14	15
PICNÓMETRO ÁGUA DESTILADA	m3	162,62	149,30	149,89
PICNÓMETRO+PROVETE ÁGUA DESTILADA	m5	178,34	165,35	165,85
CÁPSULA	-	13	14	15
CÁPSULA (MASSA)	-	62,95	49,78	50,22
PROVETE SECO+CÁPSULA	-	88,74	76,00	76,39
PROVETE SECO	m4	25,79	26,22	26,17
TEMPERATURA DO ENSAIO	t	26	26	26
RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DA ÁGUA À TEMPERATURA DO ENSAIO E A 20°	k	0,999	0,999	0,999
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS	d	2,56	2,58	2,56

$$d = k \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} = 2,57$$

Tabela 23 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Qq.

DESIGNAÇÃO	SÍMBOLO	PROVETES		
		9	10	11
PICNÓMETRO ÁGUA DESTILADA	m3	161,13	176,70	147,03
PICNÓMETRO+PROVETE ÁGUA DESTILADA	m5	177,45	192,81	163,55
CÁPSULA	-	9	10	11
CÁPSULA (MASSA)	-	61,51	77,04	47,32
PROVETE SECO+CÁPSULA	-	87,73	102,66	73,99
PROVETE SECO	m4	26,22	25,62	26,67
TEMPERATURA DO ENSAIO	t	27	27	27
RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DA ÁGUA À TEMPERATURA DO ENSAIO E A 20°	k	0,998	0,998	0,998
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS	d	2,64	2,69	2,62

$$d = k \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} = 2,65$$

Tabela 24 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Kc.

DESIGNAÇÃO	SÍMBOLO	PROVETES		
		21	22	23
PICNÓMETRO ÁGUA DESTILADA	m3	183,47	156,09	157,00
PICNÓMETRO+PROVETE ÁGUA DESTILADA	m5	198,95	172,05	172,72
CÁPSULA	-	21	22	23
CÁPSULA (MASSA)	-	83,70	55,88	56,78
PROVETE SECO+CÁPSULA	-	109,36	82,13	82,56
PROVETE SECO	m4	25,66	26,25	25,78
TEMPERATURA DO ENSAIO	t	27	27	27
RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DA ÁGUA À TEMPERATURA DO ENSAIO E A 20°	k	0,998	0,998	0,998
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS	d	2,52	2,55	2,56

$$d = k \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} = 2,54$$

Tabela 25 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Ks.

DESIGNAÇÃO	SÍMBOLO	PROVETES		
		16	17	18
PICNÓMETRO ÁGUA DESTILADA	m3	160,90	154,06	174,16
PICNÓMETRO+PROVETE ÁGUA DESTILADA	m5	177,11	169,93	190,41
CÁPSULA	-	16	17	18
CÁPSULA (MASSA)	-	61,26	54,05	74,67
PROVETE SECO+CÁPSULA	-	87,36	79,88	101,17
PROVETE SECO	m4	26,01	25,83	26,5
TEMPERATURA DO ENSAIO	t	27	27	27
RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DA ÁGUA À TEMPERATURA DO ENSAIO E A 20°	k	0,998	0,998	0,998
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS	d	2,65	2,59	2,58

$$d = k \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} = 2,60$$

Tabela 26 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Hh.

DESIGNAÇÃO	SÍMBOLO	PROVETES		
		2	3	4
PICNÓMETRO ÁGUA DESTILADA	m3	177,39	148,66	161,31
PICNÓMETRO+PROVETE ÁGUA DESTILADA	m5	192,96	165,58	177,01
CÁPSULA	-	2	3	4
CÁPSULA (MASSA)	-	77,90	49,09	61,81
PROVETE SECO+CÁPSULA	-	103,11	76,59	87,04
PROVETE SECO	m4	25,21	27,5	25,23
TEMPERATURA DO ENSAIO	t	27	27	27
RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DA ÁGUA À TEMPERATURA DO ENSAIO E A 20°	k	0,998	0,998	0,998
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS	d	2,61	2,59	2,64

$$d = k \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} = 2,61$$

Tabela 27 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Lt.

DESIGNAÇÃO	SÍMBOLO	PROVETES	
		31	32
PICNÓMETRO ÁGUA DESTILADA	m3	157,13	156,37
PICNÓMETRO+PROVETE ÁGUA DESTILADA	m5	172,98	172,04
CÁPSULA	-	31	32
CÁPSULA (MASSA)	-	56,92	56,09
PROVETE SECO+CÁPSULA	-	83,22	82,11
PROVETE SECO	m4	26,03	26,02
TEMPERATURA DO ENSAIO	t	27	27
RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DA ÁGUA À TEMPERATURA DO ENSAIO E A 20°	k	0,998	0,998
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS	d	2,55	2,51

$$d = k \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} = 2,53$$

Tabela 28 – Resultados obtidos através do ensaio de densidade das partículas, exemplo da amostra Lh.

DESIGNAÇÃO	SÍMBOLO	PROVETES	
		29	30
PICNÓMETRO ÁGUA DESTILADA	m3	156,16	155,80
PICNÓMETRO+PROVETE ÁGUA DESTILADA	m5	172,37	172,14
CÁPSULA	-	29	30
CÁPSULA (MASSA)	-	55,85	55,57
PROVETE SECO+CÁPSULA	-	82,34	82,18
PROVETE SECO	m4	26,49	26,61
TEMPERATURA DO ENSAIO	t	27	27
RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DA ÁGUA À TEMPERATURA DO ENSAIO E A 20°	k	0,998	0,998
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS	d	2,57	2,59

$$d = k \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} = 2,58$$

5. Determinação da compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor)

Tabela 29 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Kc.

Peso do molde	Volume do molde				Baridade seca máx. (g/cm ³)			
1721,34	956				Teor óptimo de humidade (%)			
	12%	15%	18%	20%				
Água adicionada	12%	15%	18%	20%				
Peso do molde (g)	1721,34	1721,34	1721,34	1721,34				
Volume do molde (cm ³)	956	956	956	956				
Molde + Solo humido (g)	3410,61	3652,03	3696,94	3516,88				
Solo humido (g)	1689,27	1930,69	1975,6	1795,54				
Baridade humida (g/cm ³)	1,77	2,02	2,07	1,88				
Peso volúmico seco Yd, (KN/m ³)	15,41	17,26	17,29	15,51				
Cápsula N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso da cápsula (g)	105,85	119,95	108	101,6	105,57	119,67	108	101,6
Solo Humido + Cap. (g)	204,5	218,8	217,1	217	215,57	225,66	220,24	214,52
Solo Sêco + Cap. (g)	193,6	207,87	203,08	202,17	199,44	210,11	202,45	196,73
Peso de Água (g)	10,9	10,93	14,02	14,83	16,13	15,55	17,79	17,79
Solo Seco (g)	87,75	87,92	95,08	100,57	93,87	90,44	94,45	95,13
Teor em água (%)	12,42	12,43	14,75	14,75	17,18	17,19	18,84	18,70
Teor em água w (%)	12,43		14,75		17,19		18,77	

Tabela 30 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Ks.

Peso do molde	Volume do molde				Baridade seca máx. (g/cm ³)					
	956				Teor óptimo de humidade (%)					
1721,34										
Água adicionada	12%		15%		18%		20%		10%	
Peso do molde (g)	1721,34		1721,34		1721,34		1721,34		1721,34	
Volume do molde (cm ³)	956		956		956		956		956	
Molde + Solo humido (g)	3704,92		3744,9		3682,24		3658,16		3432,6	
Solo humido (g)	1983,58		2023,56		1960,9		1936,82		1711,26	
Baridade humida (g/cm ³)	2,07		2,12		2,05		2,03		1,79	
Peso volúmico seco (KN/m ³)	18,08		18,13		17,20		16,75		16,05	
Cápsula N°	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12
Peso da cápsula (g)	88,05	103,58	86,92	107,45	87,79	103,31	107,45	86,91	119,04	199,75
Solo Humido + Cap. (g)	199,8	212,44	204,15	219,53	197	215,71	216,81	195,99	226,21	307,09
Solo Sêco + Cap. (g)	187,38	200,31	189,3	205,31	181,17	199,37	199,68	178,88	217,03	297,92
Peso de Água (g)	12,42	12,13	14,85	14,22	15,83	16,34	17,13	17,11	9,18	9,17
Solo Seco (g)	99,33	96,73	102,38	97,86	93,38	96,06	92,23	91,97	97,99	98,17
Teor em água (%)	12,50	12,54	14,50	14,53	16,95	17,01	18,57	18,60	9,37	9,34
Teor em água médio (%)	12,52		14,52		16,98		18,59		9,35	

Tabela 31 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Lh.

Peso do molde	Volume do molde				Baridade seca máx. (g/cm ³)					
	956				Teor óptimo de humidade (%)					
1721,34										
Água adicionada	12%		15%		18%		20%			
Peso do molde (g)	1721,34		1721,34		1721,34		1721,34			
Volume do molde (cm ³)	956		956		956		956			
Molde + Solo humido (g)	3458,14		3720,53		3675,96		3631,93			
Solo humido (g)	1736,8		1999,19		1954,62		1910,59			
Baridade humida (g/cm ³)	1,82		2,09		2,04		2,00			
Baridade sêca (g/cm ³)	15,83		17,82		17,02		16,42			
Cápsula N°	1	2	3	4	5	6	7	8		
Peso da cápsula (g)	117,83	120	49,66	50,61	119,71	117,55	142,93	121,85		
Solo Humido + Cap. (g)	220,34	223,88	153,75	158,39	230,22	226,51	251,58	232,97		
Solo Sêco + Cap. (g)	208,95	212,24	140,08	144,29	213,57	209,95	234	214,85		
Peso de Água (g)	11,39	11,64	13,67	14,1	16,65	16,56	17,58	18,12		
Solo Seco (g)	91,12	92,24	90,42	93,68	93,86	92,4	91,07	93		
Teor em água (%)	12,50	12,62	15,12	15,05	17,74	17,92	19,30	19,48		
Teor em água médio (%)	12,56		15,08		17,83		19,39			

Tabela 32 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Hh.

Peso do molde	Volume do molde				Baridade seca máx. (g/cm ³)			
	956				Teor óptimo de humidade (%)			
1721,34								
Água adicionada	8%		11%		14%		16%	
Peso do molde (g)	1721,34		1721,34		1721,34		1721,34	
Volume do molde (cm ³)	956		956		956		956	
Molde + Solo humido (g)	3647,3		3789,72		3742,81		3718,62	
Solo humido (g)	1925,96		2068,38		2021,47		1997,28	
Baridade humida (g/cm ³)	2,01		2,16		2,11		2,09	
Baridade sêca (g/cm ³)	18,15		19,11		18,26		17,81	
Cápsula N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso da cápsula (g)	120,65	119,22	64,49	63,43	120,37	118,96	64,45	188,03
Solo Humido + Cap. (g)	222,34	222,57	175,7	172,17	230,21	226,02	174,79	302,05
Solo Sêco + Cap. (g)	214,09	214,19	164,67	161,34	217,07	213,25	160,38	287,15
Peso de Água (g)	8,25	8,38	11,03	10,83	13,14	12,77	14,41	14,9
Solo Seco (g)	93,44	94,97	100,18	97,91	96,7	94,29	95,93	99,12
Teor em água (%)	8,83	8,82	11,01	11,06	13,59	13,54	15,02	15,03
Teor em água médio (%)	8,83		11,04		13,57		15,03	

Tabela 33 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Lt.

Peso do molde	Volume do molde				Baridade seca máx. (g/cm ³)			
	956				Teor óptimo de humidade (%)			
1721,34								
Água adicionada	8%		11%		14%		17%	
Peso do molde (g)	1721,34		1721,34		1721,34		1721,34	
Volume do molde (cm ³)	956		956		956		956	
Molde + Solo humido (g)	3441,4		3643,75		3722,07		3686,3	
Solo humido (g)	1720,06		1922,41		2000,73		1964,96	
Baridade humida (g/cm ³)	1,80		2,01		2,09		2,06	
Baridade sêca (g/cm ³)	16,25		17,77		18,07		17,37	
Cápsula N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso da cápsula (g)	98,44	98,7	52,71	58,12	98,16	98,42	58,12	49,66
Solo Humido + Cap. (g)	199,72	200,5	155,56	160,88	207,89	203,3	168,29	161,48
Solo Sêco + Cap. (g)	191,67	192,47	145,41	150,72	194,77	190,72	153,05	146,03
Peso de Água (g)	8,05	8,03	10,15	10,16	13,12	12,58	15,24	15,45
Solo Seco (g)	93,23	93,77	92,7	92,6	96,61	92,3	94,93	96,37
Teor em água (%)	8,63	8,56	10,95	10,97	13,58	13,63	16,05	16,03
Teor em água médio (%)	8,60		10,96		13,60		16,04	

Tabela 34 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Qq.

Peso do molde	Volume do molde				Baridade seca máx. (g/cm ³)			
	956				Teor óptimo de humidade (%)			
1721,34								
Água adicionada	8%		10%		13%		15%	
Peso do molde (g)	1721,34		1721,34		1721,34		1721,34	
Volume do molde (cm ³)	956		956		956		956	
Molde + Solo humido (g)	3759,13		3863,62		3797,42		3788,2	
Solo humido (g)	2037,79		2142,28		2076,08		2066,86	
Baridade humida (g/cm ³)	2,13		2,24		2,17		2,16	
Baridade sêca (g/cm ³)	19,51		20,26		19,42		18,89	
Cápsula N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso da cápsula (g)	106,02	120,82	48,71	63,41	105,74	120,56	119,98	63,39
Solo Humido + Cap. (g)	215,75	236,45	151,02	166,48	213,71	235,16	226,09	172,03
Solo Sêco + Cap. (g)	208,4	228,72	143,04	158,44	203,03	223,9	214,49	160,16
Peso de Água (g)	7,35	7,73	7,98	8,04	10,68	11,26	11,6	11,87
Solo Seco (g)	102,38	107,9	94,33	95,03	97,29	103,34	94,51	96,77
Teor em água (%)	7,18	7,16	8,46	8,46	10,98	10,90	12,27	12,27
Teor em água médio (%)	7,17		8,46		10,94		12,27	

Tabela 35 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Mk.

Peso do molde	Volume do molde				Baridade seca máx. (g/cm ³)			
	956				Teor óptimo de humidade (%)			
1721,34								
Água adicionada	4%		7%		10%		12%	
Peso do molde (g)	1721,34		1721,34		1721,34		1721,34	
Volume do molde (cm ³)	956		956		956		956	
Molde + Solo humido (g)	3656,97		3860,11		3850,97		3818,14	
Solo humido (g)	1935,63		2138,77		2129,63		2096,8	
Baridade humida (g/cm ³)	2,02		2,24		2,23		2,19	
Baridade sêca (g/cm ³)	19,07		20,55		20,09		19,46	
Cápsula N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso da cápsula (g)	100,68	119,27	49,55	44	100,4	119	49,57	44
Solo Humido + Cap. (g)	255,48	264,8	162,57	151,91	213	226,18	156,76	153,75
Solo Sêco + Cap. (g)	249,24	259,08	155,42	145,08	204,33	217,18	146,56	143,29
Peso de Água (g)	6,24	5,72	7,15	6,83	8,67	9	10,2	10,46
Solo Seco (g)	148,56	139,81	105,87	101,08	103,93	98,18	96,99	99,29
Teor em água (%)	4,20	4,09	6,75	6,76	8,34	9,17	10,52	10,53
Teor em água médio (%)	4,15		6,76		8,75		10,53	

Tabela 36 – Resultados do ensaio de compactação leve em molde pequeno (tipo Proctor), exemplo da amostra Cc.

Peso do molde	Volume do molde		Baridade seca máx. (g/cm ³)					
1721,34	956		Teor óptimo de humidade (%)					
Água adicionada	4%	7%	10%	13%				
Peso do molde (g)	1721,34	1721,34	1721,34	1721,34				
Volume do molde (cm ³)	956	956	956	956				
Molde + Solo humido (g)	3596,63	3830,21	3847,66	3775,84				
Solo humido (g)	1875,29	2108,87	2126,32	2054,5				
Baridade humida (g/cm ³)	1,96	2,21	2,22	2,15				
Baridade sêca (g/cm ³)	18,45	20,23	19,92	18,88				
Cápsula N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso da cápsula (g)	117,47	90,9	66,4	91,51	90,63	117,2	66,4	91,51
Solo Humido + Cap. (g)	265,71	234,91	180,65	206,28	202,28	232,76	175,28	201
Solo Sêco + Cap. (g)	259,6	229,01	173,28	198,83	192,53	222,76	163,9	189,6
Peso de Água (g)	6,11	5,9	7,37	7,45	9,75	10	11,38	11,4
Solo Seco (g)	142,13	138,11	106,88	107,32	101,9	105,56	97,5	98,09
Teor em água (%)	4,30	4,27	6,90	6,94	9,57	9,47	11,67	11,62
Teor em água médio (%)	4,29		6,92		9,52		11,65	

6. Caracterização mineralógica: Difração de raios-X

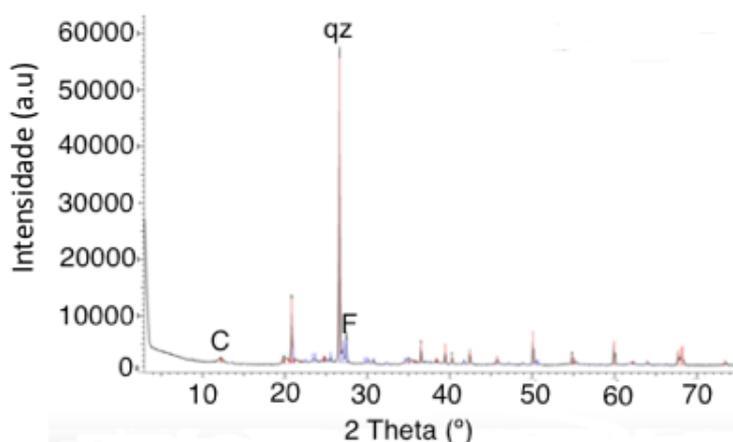


Figura 20 – Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Cc. Os picos dos minerais identificados: C – Caulinite; Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico.

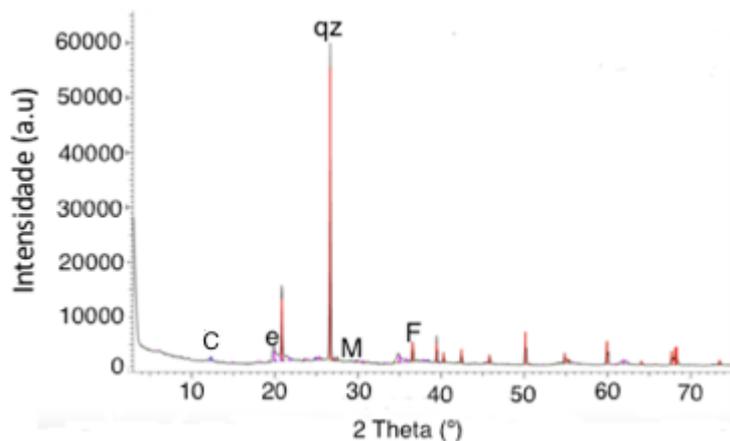


Figura 21 – Diagramas de difracção de raios-X correspondentes ao solo Hh. Os picos dos minerais identificados: Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico; M – Muscovite; C – Caulinite; e – Interestratificados clorite esmecite.

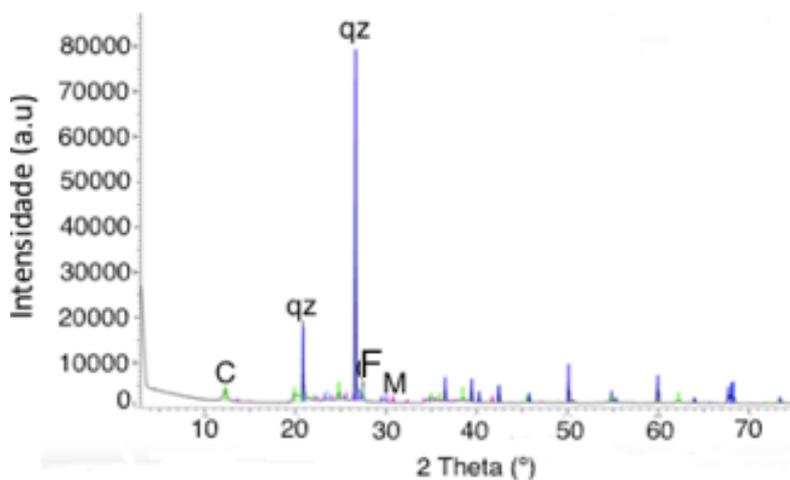


Figura 22 - Diagramas de difracção de raios-X correspondentes ao solo Mk. Os picos dos minerais identificados: M – Muscovite; C – Caulinite; Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico.

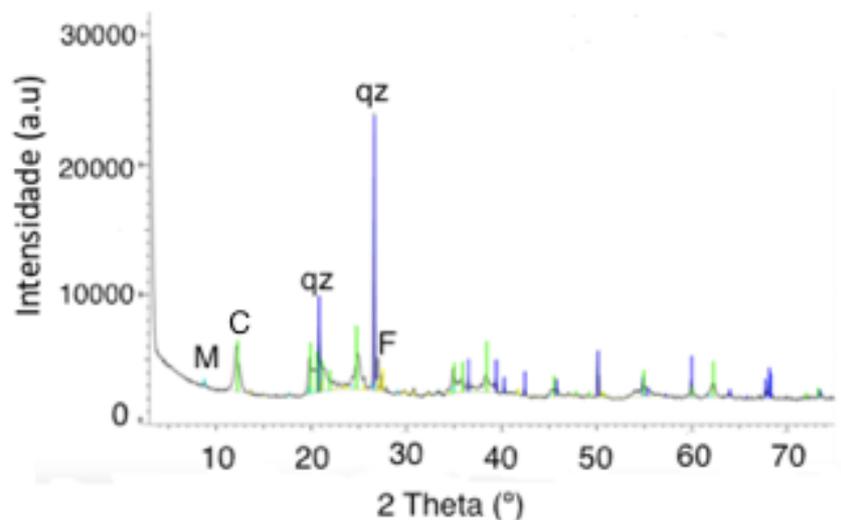


Figura 23 - Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Lh. Os picos dos minerais identificados: M – Moscovite; C – Caulinite; Qz – Quartzo; F – Feldspato potássico.

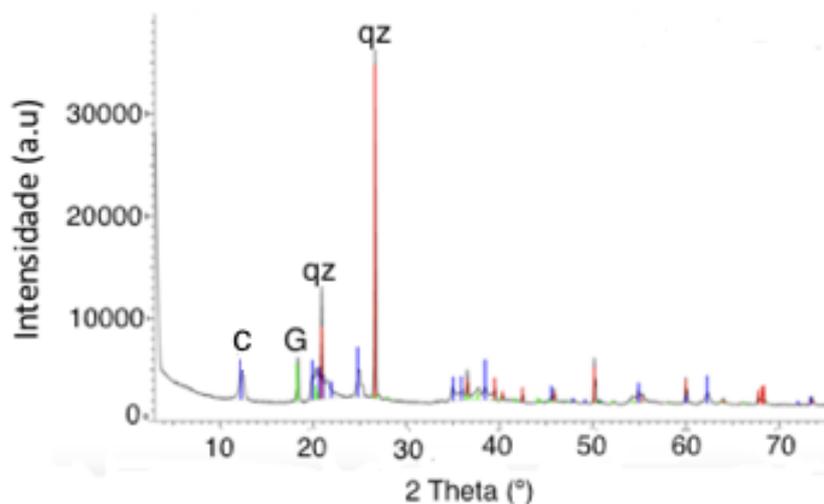


Figura 24 - Diagramas de difração de raios-X correspondentes ao solo Ks. Os picos dos minerais identificados: C – Caulinite; Qz – Quartzo; G – Gibbsite.