

Construção sustentável nas comunidades rurais da Província de Maputo, Moçambique

Tárcia Novele ⁽¹⁾, Isabel Duarte ⁽²⁾, António Pinho ⁽³⁾

(1) Universidade de Évora, ECT, Évora, Portugal, tarcianovela@gmail.com

(2) Universidade de Évora, ECT, Dep. Geociências, Évora, Portugal, iduarte@uevora.pt

(3) Universidade de Évora, ECT, Dep. Geociências, Évora, Portugal, apinho@uevora.pt

Resumo

Nos últimos anos, o interesse pela construção sustentável tem aumentado significativamente, impulsionado pelo fato do setor da construção convencional constituir uma importante fonte de emissões de gases que promovem o efeito estufa, contribuindo para as alterações climáticas. Moçambique, situado ao longo do Oceano Índico, enfrenta uma vulnerabilidade grande a eventos climáticos extremos, tais como ciclones, secas e inundações, que afetam principalmente as construções menos resistentes nas áreas rurais. Porém, o conceito de construção sustentável e resiliente às alterações climáticas ainda é uma aspiração no País.

Este estudo tem como objetivo principal analisar o comportamento geotécnico de diferentes tipos de solos, com e sem reforço, de modo a desenvolver técnicas construtivas sustentáveis e resilientes às alterações climáticas nas comunidades rurais do Distrito de Moamba, na Província de Maputo. A pesquisa envolveu ensaios no campo, amostragem e ensaios laboratoriais nos solos.

O estudo inclui a identificação e caracterização geotécnica de dois tipos de solos predominantes na área: areias argilosas e areias siltosas. Os resultados obtidos revelaram que as areias argilosas são mais adequadas do que as areias siltosas para construções sustentáveis de terra.

Os resultados encorajadores levaram à produção experimental de adobes a partir das areias argilosas, com e sem reforço, utilizando vários aditivos. O uso do capim como reforço demonstrou contribuir consideravelmente para a resistência e durabilidade dos adobes.

Palavras-chave: adobes; alterações climáticas; construção sustentável; geotecnia; solo

1. INTRODUÇÃO

A construção sustentável surge como um tema de importância global, evidenciando-se como resposta relevante aos desafios contemporâneos, nomeadamente, às alterações climáticas e à necessidade de práticas construtivas mais respeitosas ao meio ambiente [1]. A indústria de construção, juntamente com a produção de energia e a indústria de automóveis, representa um dos três maiores contribuintes para as emissões de gases com efeito estufa (cerca de 40% das emissões) que ameaçam o clima da Terra [1, 2]. O reconhecimento deste impacto na sociedade levou a indústria global da construção a tomar medidas cada vez mais enérgicas destinadas a adotar práticas mais sustentáveis [3].

A adoção de práticas de construção sustentável adquire contornos específicos nas comunidades rurais da Província de Maputo, Moçambique, onde a integração de considerações culturais, socioeconómicas e ambientais torna-se fundamental [4].

Historicamente, as comunidades rurais moçambicanas apresentam uma tradição rica na utilização de materiais naturais, como terra, adobe e pau-a-pique, na construção das suas habitações [4]. No entanto, à medida que a modernização avança, surgem desafios relacionados com a estigmatização dessas técnicas construtivas, associadas, muitas vezes, ao conceito de precariedade e falta de recursos [1].

Este estudo propõe uma análise aprofundada da viabilidade e aplicação da construção sustentável na comunidade rural de Goane 1, Distrito de Moamba, Província de Maputo, com especial atenção à utilização do solo como principal material. Com base em estudos anteriores conduzidos por [4] e dados do Recenseamento Geral da População e Habitação de 2017 [5], constata-se a aplicabilidade do solo

existente no local na construção de habitações do tipo pau-a-pique, que é a técnica predominante na região.

Com o intuito de avaliar a eficácia do solo como material de construção sustentável na comunidade alvo, realizou-se uma análise das características geotécnicas de três tipos de solos locais, com e sem reforço, com o objetivo principal de desenvolver técnicas construtivas sustentáveis e adaptadas às alterações climáticas. A avaliação do comportamento geotécnico dos solos desempenha um papel crucial na seleção do tipo de solo para construção, especialmente em técnicas construtivas em terra, onde propriedades como a coesão, a expansibilidade e a compacidade influenciam diretamente a durabilidade das edificações [6, 7].

Os resultados encorajadores obtidos a partir dos ensaios impulsionaram a produção experimental de adobes a partir das areias argilosas, explorando diferentes abordagens de reforço, incluindo a introdução de aditivos. De maneira notável, o uso de capim como reforço demonstrou contribuir consideravelmente para a resistência e durabilidade dos adobes, sinalizando possíveis avanços práticos na construção sustentável na comunidade de Goane 1.

1.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo, denominada Goane 1, localiza-se na Província de Maputo, concretamente no Distrito de Moamba, na região Sul de Moçambique, país da África Austral (Figura 1.1). O Distrito de Moamba está situado na parte Norte da Província de Maputo, a 75 Km da capital do país, Cidade de Maputo, e está posicionado entre os paralelos 24° 27' e 25° 59' Sul e meridianos 31° 59' e 32° 37' Este. Este Distrito tem como limites geográficos, a Norte o Rio Massiontonto, que o separa do Distrito de Magude, a Sul os Distritos de Boane e Namaacha, a Este os Distritos da Manhica e Marracuene e a Oeste uma linha de fronteira artificial com a Província Sul-Africana do Transvaal [8].

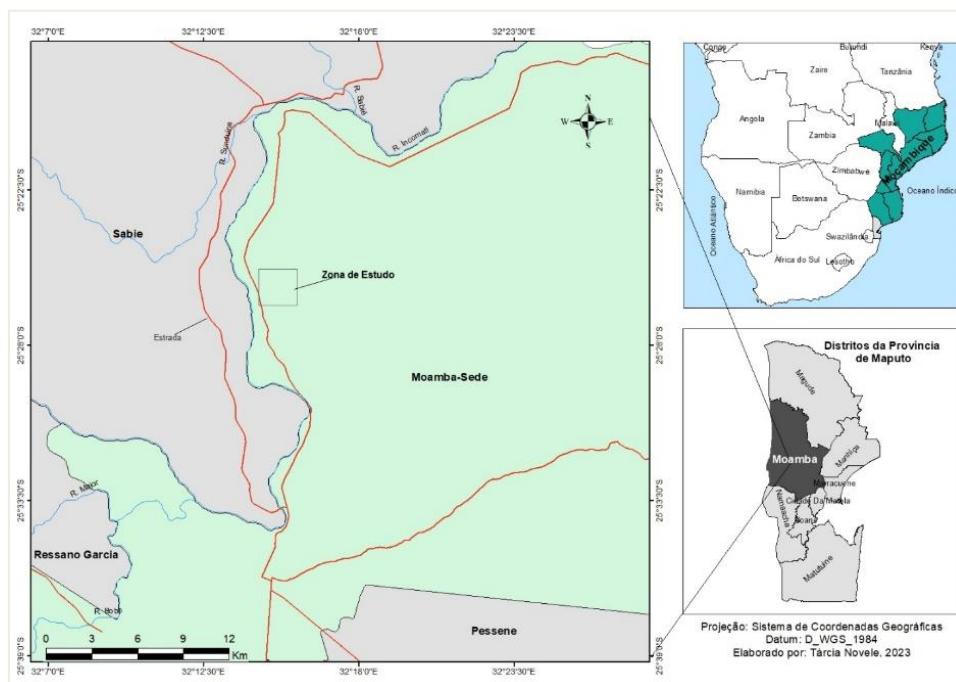


Figura 1.1: Localização da zona de estudo.

O clima da zona de estudo é dividido em duas estações distintas: uma estação quente, com temperaturas mais elevadas e pluviosidade acentuada, que ocorre de Outubro a Março e outra estação fresca, que se estende de Abril a Setembro. Esta região é atravessada pelo rio Incomati que dá o nome à sua importante bacia, e nasce na África do Sul, no planalto de Transvaal [9].

Segundo [8,9], a geologia da zona de estudo é caracterizada por diversas formações geológicas que datam da sedimentação do Karoo, formando bacias irregulares. Essa sedimentação teve início na região da Suazilândia e no Transvaal Lowveld, como resultado da fragmentação da antiga massa continental conhecida como Gondwanalândia. O termo "Karoo" deriva da área homónima na África do

Sul, onde esse sistema geológico foi amplamente representado, formando grandes bacias com uma sequência geológica bem caracterizada, contendo fósseis importantes. No entanto, em Moçambique, as bacias apresentam uma distribuição irregular.

Geomorfologicamente a região é caracterizada por extensas planícies, geralmente, com altitudes inferiores a 100 m. A única elevação significativa na região é o monte Corumana, com 275 m de altura [5, 9]. Os solos da região são de origem aluvionar e basáltica, de textura média e espessura variável. Os tipos de solos mais comuns são, nomeadamente, os solos vermelhos, pedocálicos, pardos, hidromórficos e aluvionares [9]. Os solos vermelhos são caracterizados por uma camada superficial castanho-avermelhada, com variações de tonalidade que se podem apresentar muito escuras.

Os solos pedocálicos, terras negras e acidentadas pedocálicas são particularmente expressivos nos depósitos de barros negros de Moamba, que estão presentes na área geológica do basalto terciário, abrangendo Moamba e áreas adjacentes [9]. Os solos negros, altamente argilosos e fissurados quando secos, estão geralmente associados aos solos vermelhos sobre o basalto. Em geral, esses solos apresentam uma tonalidade marrom-avermelhada leve, textura argilosa compacta, muitas concreções calcárias e um pH de aproximadamente 8,3 [8].

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do estudo compreende quatro fases: (i) Revisão bibliográfica (ii) Trabalho de campo e amostragem (iii) Ensaios de laboratório e (iv) Análise e interpretação dos dados. A revisão bibliográfica abordou técnicas tradicionais e inovadoras, propriedades dos solos na Província de Maputo, métodos de preparação das amostras, compactação e estabilização. Além disso, a bibliografia consultada orientou a seleção de áreas para estudos de campo, a preparação do guia de entrevista e a organização do material de amostragem, proporcionando uma base sólida para a pesquisa.

2.1 Trabalho de campo e amostragem

O trabalho de campo foi conduzido de modo a visualizar e mapear as edificações em terra, realizar entrevistas semiestruturadas nas comunidades, compreender as técnicas e processos construtivos, realizar ensaios expeditos *in situ*, além de recolher amostras de solo para os ensaios essenciais à caracterização geotécnica dos solos.

Durante o trabalho de campo, em colaboração com a comunidade local e orientados pelo Líder Comunitário, foram identificados três pontos para proceder à recolha de amostras de solo (P1, P2 e P3), considerando uma distância estratégica entre eles para observar variações nas propriedades do solo (Figura 2.1). A amostragem ocorreu em duas etapas, sendo desafiadora devido ao grau de compactidade do solo, exigindo esforços adicionais para garantir a representatividade das amostras. Os ensaios laboratoriais dessas amostras ofereceram *insights* cruciais sobre as propriedades geotécnicas do solo, fundamentais para avaliar a sua viabilidade na construção sustentável em comunidades rurais.

2.2 Ensaios de laboratório

Além dos ensaios expeditos *in situ*, como testes táteis, visuais, queda da bola, brilho, retração e sedimentação, as amostras de solo colhidas durante o trabalho de campo foram submetidas a ensaios laboratoriais (Figura 2.2), que decorreram no Laboratório de Engenharia de Moçambique (LEM), com vista à determinação das características geotécnicas e avaliação da viabilidade do solo como material de construção sustentável. As amostras foram preparadas conforme a especificação LNEC E 196-1966 e submetidas a ensaios de análise granulométrica, densidade das partículas, limites de consistência, ensaio de compactação Proctor e ensaio de expansibilidade, segundo as normas e especificações, (NP) 83-1965, NP-143 1969, Especificação (E) 197-1966, E 200 1967 e LNEC E 196-1966.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de laboratório, adotou-se a norma ABNT NBR 16814:2020 para o processo experimental de produção de adobes. O solo foi preparado, adicionando-lhe aditivos como cinza, capim ou esterco, seguido por mistura e moldagem em blocos retangulares. Os adobes, após 24 dias de secagem ao sol, foram submetidos a ensaios de resistência à compressão,

seguindo a norma mencionada, para avaliar a capacidade resistente destes adobes, com o objetivo da sua utilização como material de construção.



Figura 2.1: Localização dos pontos de amostragem.



Figura 2.2: Realização dos ensaios de laboratório no LEM. a) Preparação da amostra para o ensaio. b) Secagem das amostras na estufa a uma temperatura de 110 °C durante 24 horas. c) Imersão das amostras na água durante 24 horas. c) Pesagem das amostras após a lavagem e secagem na estufa. d) Série de peneiros utilizados para a peneiração das amostras de solo. f) Processo de separação do material retido nos peneiros para posterior pesagem.


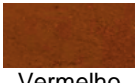
3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1 Ensaios expeditos *in situ*

Os ensaios expeditos *in situ* desempenham um papel fundamental na avaliação do potencial do solo local como material de construção sustentável. Conforme citado por [10], realização desses ensaios é

um passo importante para determinar a adequação de um solo para uma aplicação específica, pois é necessário conhecer o seu comportamento físico e mecânico *in situ*, ainda que através de ensaios expeditos. Não obstante as dificuldades que surgiram durante o trabalho de campo, tais como, a localização remota da zona de estudo, a disposição dispersa das habitações nas comunidades-alvo, as condições climáticas adversas, o que condicionou a amostragem, tornando a logística mais complexa, foi possível realizar vários ensaios expeditos *in situ*, cujos resultados se apresentam na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Resultados dos testes complementares *in situ*.

ID	Cor	Cheiro	Brilho	Tato	Queda da bola	Observações
Amostra 1	 Castanho escuro	Cheiro a húmus	Brilho nas superfícies	Asperozo e pegajoso entre os dedos	Não se espalha	Solo com muita matéria orgânica, areia fina e argila
Amostra 2	 Castanho escuro	Cheiro a húmus	Brilho nas superfícies	Asperozo e pegajoso entre os dedos	Não se espalha	Solo com muita matéria orgânica, areia e argila
Amostra 3	 Vermelho	Terroso	Superfície sem brilho intenso	Muito asperozo e pouco pegajoso entre os dedos	Espalha-se com pouca desagregação	Solo granular

Observações táteis, visuais e testes complementares (Tabela 3.1), revelaram a presença de solos arenosos avermelhados com silte e solos arenoargilosos castanhos. As amostras também foram submetidas a análises de sedimentação (teste da garrafa), conforme descrito em [11] e a ensaios de retração segundo a Norma NZS 4298: 1998, apresentando diferenças significativas na composição textural e na taxa de retração (Figura 3.1). Os resultados dos ensaios de sedimentação com garrafa revelam diferenças significativas nas proporções de areia, silte, argila e matéria orgânica presentes nas amostras de solo analisadas. De acordo com os dados obtidos, as amostras 1 e 2 não demonstraram diferenças substanciais entre si, exibindo uma percentagem de argila de 28 e 25 %, respetivamente, e uma percentagem de areia de 54 e 56 %, respetivamente. Por outro lado, a amostra 3 destaca-se pelas maiores percentagens de areia, totalizando aproximadamente 83 %, seguida por cerca de 11 % de silte e 6 % de argila. É evidente que esta amostra possui uma composição granulométrica distinta em relação às amostras 1 e 2, o que pode influenciar significativamente o seu comportamento mecânico.

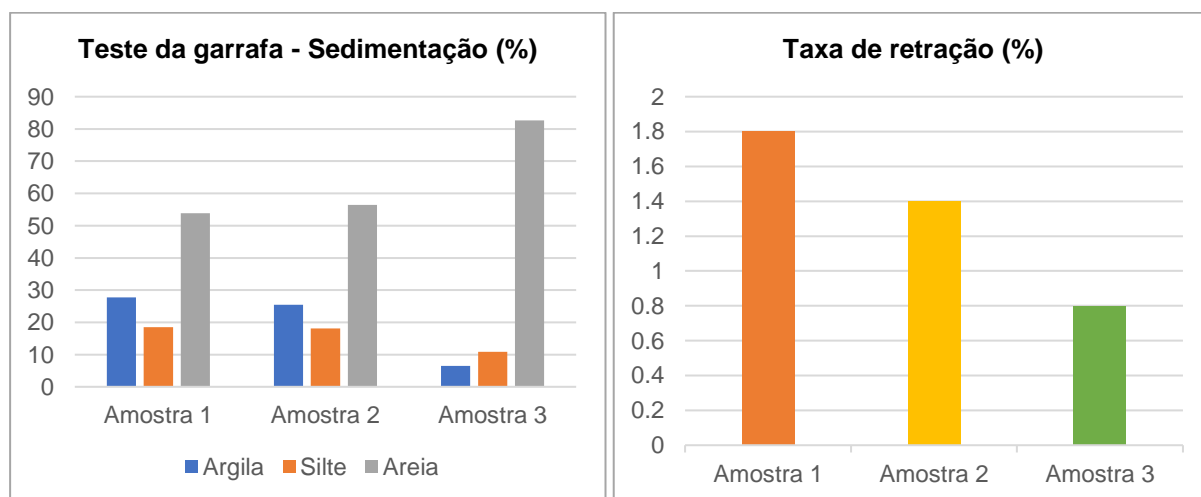


Figura 3.1: Resultados dos ensaios expeditos *in situ*: teste da garrafa aplicando a metodologia descrita em [11] e ensaio de retração de acordo com a Norma NZS 4298: 1998.

Existe consonância entre os resultados obtidos nos ensaios de sedimentação e retração (Figura 3.1) e os testes complementares referidos na Tabela 3.1: cor, brilho, cheiro, tato, queda da bola e descrição visual.

Os solos areno-argilosos, por conterem uma proporção significativa de argila na sua composição, tendem a apresentar maior taxa de retração (A1 - 1,8%; A2 - 1,4%) em comparação com os solos arenosos avermelhados (A3 - 0,8%). Apesar das rachaduras superficiais observadas, os valores de retração obtidos, inferiores a 3%, indicam a adequação dos solos para construção em terra, de acordo com as normas Neozelandesas NZS 4298 (1998) e 4297 (1998), conforme citado por [11]. Embora adequados para construção em terra, solos com percentagem considerável de argila requerem monitorização constante para prevenir problemas estruturais.

3.2 Ensaios de laboratório

Os ensaios laboratoriais realizados tiveram como objetivo a determinação das propriedades físicas e mecânicas dos solos amostrados e incluíram a distribuição granulométrica, a densidade das partículas, os limites de consistência, o comportamento sob compactação pelo método Proctor e a avaliação da expansibilidade do material.

3.2.1 Análise granulométrica

Os solos amostrados e devidamente preparados foram submetidos a análise granulométrica por peneiração e sedimentação, permitindo os dados obtidos construir as curvas granulométricas representadas na Figura 3.2. Verifica-se que a distribuição granulométrica das amostras 1 e 2 é muito semelhante, com percentagens de finos de cerca de 60 % (silte e argila) e percentagens de areia que rondam os 40%.

No entanto a amostra 3 destaca-se das anteriores por apresentar uma percentagem de areia superior, aproximadamente 70%, e por conseguinte uma percentagem de material fino de cerca de 30%.

Salienta-se que os solos analisados foram categorizados utilizando o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), tendo a amostra 1 e amostra 2 sido classificadas como areias argilosas e misturas de areia e argila, com características mal graduadas (SC), enquanto a amostra 3 foi classificada como areia siltosa e mistura de areia e silte (SM). Essas características são cruciais para determinar a adequação dos solos para construção em terra, ressaltando a importância de uma gestão precisa da humidade durante o processo construtivo.

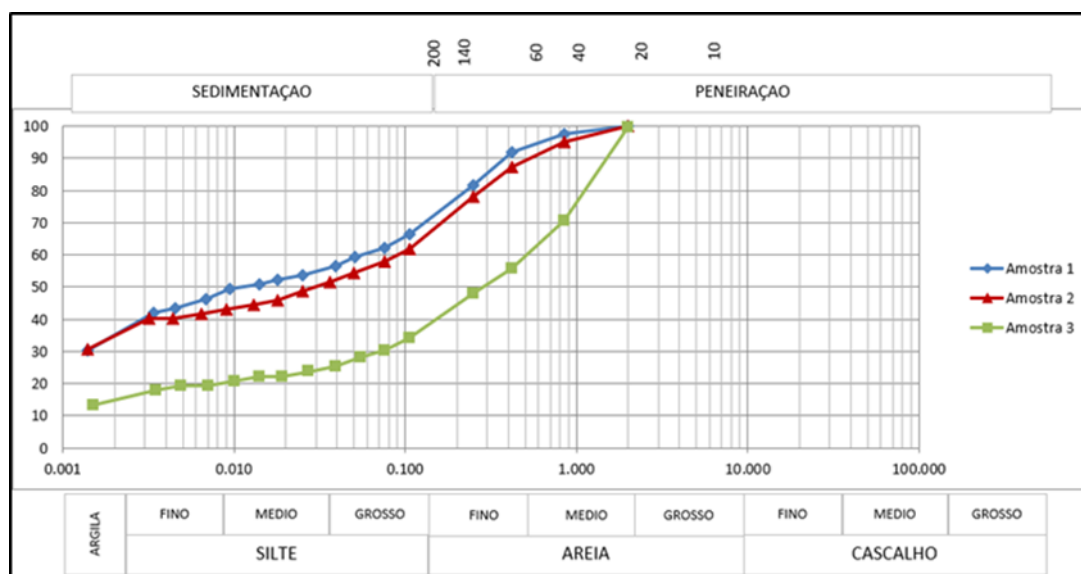


Figura 3.2: Distribuição granulométrica dos solos.

3.2.2 Limites de consistência

Os resultados dos testes de limite de liquidez para a amostra 1 (LL = 30% e LP = 18%) e a amostra 2 (LL = 23% e LP = 15%) possibilitaram a classificação desses solos como apresentando plasticidade

média, com índices de plasticidade (IP) de 11% e 8%, respetivamente. O facto do solo da amostra 3 ser não plástico (NP) torna-o menos adequado para a construção em terra, onde a plasticidade é um fator importante para a adesão e a coesão dos materiais durante o processo de moldagem e compactação.

A análise detalhada da plasticidade, com base na carta de plasticidade, revela que as amostras 1 e 2 pertencem à categoria CL, indicando argilas com plasticidade variando de baixa a média. Solos nesta faixa de plasticidade tendem a exibir resistência média a alta no estado seco. A amostra 3, classificada como ML, representa siltes inorgânicos e areias muito finas de baixa plasticidade. Esses resultados destacam a importância da compreensão da plasticidade dos solos para decisões na seleção de técnicas construtivas e na avaliação da estabilidade e desempenho estrutural ao longo do tempo.

3.2.3 Densidade de partículas

Os solos analisados apresentam valores para a densidade das partículas que variam entre 2,50 e 2,62, sendo influenciados pela composição textural e mineralógica dos mesmos, conforme destacado por [11]. As amostras classificadas como areias argilosas apresentam valores menores para a densidade (2,52 e 2,50 para amostra 1 e 2, respetivamente) em comparação com as areias siltosas (2,62). Fatores como a presença de partículas finas e a combinação de argila e silte contribuem para essa variação, devido aos pesos específicos inferiores dessas partículas em comparação com os grãos de areia presentes na matriz do solo, predominantemente argilosa (SC).

A mineralogia das partículas também desempenha um papel importante, com minerais argilosos (densidade 2,20 – 2,60) contrastando com minerais mais densos, como feldspatos (2,50 – 2,60) e quartzo (2,65) comuns em solos arenosos. Essa diversidade contribui para as diferenças de densidade entre solos areno-argilosos (SC) e solos areno-siltosos (SM).

A presença de matéria orgânica também afeta a densidade do solo. Por exemplo, a amostra 2 pode exibir menor densidade devido ao maior teor em matéria orgânica. Compreender a densidade é crucial para avaliar as restantes propriedades geotécnicas, como resistência, capacidade de suporte e comportamento durante a compactação, orientando o planeamento e a execução de projetos de construção envolvendo esses solos.

3.2.4 Ensaio de compactação do tipo Proctor

A técnica de compactação é fundamental na estabilização de solos, envolvendo a aplicação de energia por métodos como impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica [12]. À semelhança de outros autores [13, 14] que investigam a construção em terra, nomeadamente a produção de adobes, este estudo utilizou o ensaio de compactação do tipo Proctor Normal para investigar as propriedades mecânicas do solo, no que se refere à capacidade do solo e a sua relação com o teor em água e a energia de compactação. A curva de compactação (Figura 3.3), obtida a partir desses ensaios, revelou os valores para o teor em água ótimo para obter o máximo peso volumico seco (baridade seca máxima) das amostras 1 (17,2% - 1,77 g/cm³) e amostra 3 (11,6% - 1,87 g/cm³), indicando uma relação inversa entre teor de água e peso volumico seco máximo. Esses resultados alinham-se com estudos prévios realizados por [13] conforme citados por [14], destacando a faixa ótima de humidade (9% a 17%) para estabilização de solos na construção em terra. A concordância desses solos com os intervalos ótimos de teor em água destaca a sua viabilidade para construção de habitações em terra, na comunidade de Goane 1, proporcionando a resistência e a estabilidade desejadas. No processo construtivo em terra é preciso ter em conta as diferentes necessidades de água dos diversos solos, de modo a obter uma compactação adequada. Essas considerações são essenciais para otimizar a eficácia das construções em terra, adaptando-se às condições locais específicas.

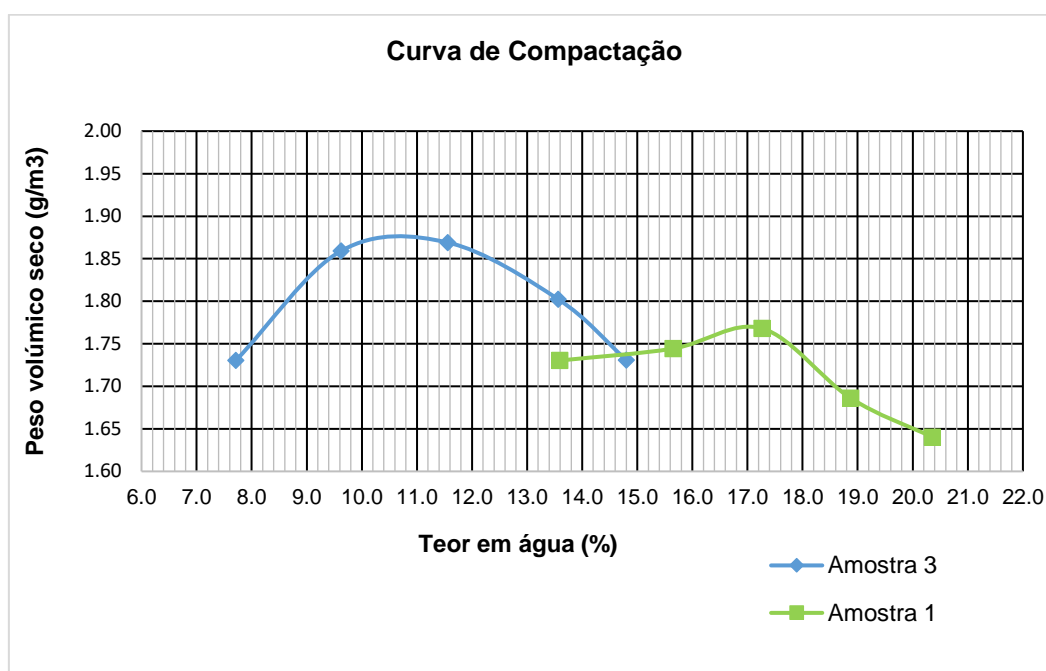


Figura 3.3: Resultado do ensaio de compactação.

3.2.5 Ensaio de expansibilidade

Destaca-se que a taxa de expansibilidade do solo areno-siltoso presente na amostra 3 é notavelmente reduzida, aproximadamente 0,6%, diferenciando-se significativamente dos solos areno-argilosos presentes nas amostras 1 e 2, com valores de expansibilidade superiores, 8,5% e 7,8%, respetivamente.

Os valores obtidos para a expansibilidade confirmam que o solo da amostra 3 é mais resiliente às variações de volume associadas à absorção de água ou à variação de humidade. Em contraste, os solos das amostras 1 e 2, com taxas de expansibilidade mais elevadas podem ser mais suscetíveis a variações significativas do seu volume em resposta às condições climáticas ou alterações do teor de água.

A análise da expansibilidade dos solos é crucial para avaliar a sua adequação para projetos construtivos, especialmente em regiões suscetíveis a variações climáticas consideráveis. A reduzida tendência para variações volumétricas indica uma maior resistência do solo a potenciais problemas associados à expansão e contração, proporcionando uma base mais sólida para as estruturas construídas com esse material. No entanto, é importante salientar que os valores de expansibilidade observados nos solos das amostras 1 e 2 não são considerados prejudiciais para sua utilização em projetos de construções sustentáveis, de acordo com [15].

3.3 Produção experimental de adobes

A produção dos adobes foi realizada num ambiente experimental, uma vez que construções utilizando essa técnica não foram observadas durante as atividades de campo. Os ensaios conduzidos nos solos evidenciaram a potencial capacidade desses solos para a produção de adobes, principalmente nos solos de composição areno-argilosa, apresentando proporções adequadas de areia (59,42%), silte (13,15%) e argila (27,43%), semelhantes ao sugerido por [16].

A produção dos adobes abrangeu tanto os solos areno-argilosos quanto os areno-siltosos, visando avaliar a aplicabilidade de ambos os tipos na fabricação de blocos de adobe. O processo de confeção dos adobes foi conduzido de forma natural, mas incluindo a incorporação de aditivos como capim, cinza e esterco, com diferentes combinações das características identificadas nos solos.

O primeiro bloco de adobe, produzido exclusivamente de areia argilosa, apresentou fissuras de retração após 24 horas de exposição ao ambiente atmosférico para secagem ao ar livre (Figura 3.4). Essas fissuras foram atribuídas à quantidade de água na mistura de solo, agravada pela incidência direta de

radiação solar. O grau de compactação durante a produção também pode ter contribuído para esse efeito. A falta de execução adequada do procedimento pode ter comprometido a resistência e estabilidade do adobe, impedindo a realização de testes de resistência. O grau apropriado de compactação é essencial para assegurar a distribuição uniforme de partículas e minimizar espaços vazios, contribuindo para a integridade mecânica do material.



Figura 3.4: Adobe deformado antes do tempo de cura.

A análise inicial do primeiro bloco conduziu à produção de um segundo bloco, incorporando areia argilosa e capim para reforço. De acordo com [16], a adição de fibras é uma estratégia eficaz para aumentar a resistência e aprimorar o comportamento estrutural dos elementos construtivos em adobe, especialmente em relação à resistência à tração. As fibras, provenientes de fontes naturais, sintéticas ou metálicas, como palha, capim e fibras de vidro, oferecem flexibilidade às técnicas de reforço, permitindo uma seleção adaptada às características de cada solo.

O adobe reforçado com capim apresenta uma notável resistência à compressão uniaxial de 2,05 MPa (Tabela 3.2), próxima ao valor admissível sugerido pela NBR 15.812-1:2010, que estabelece 3,5 MPa para elementos de adobe com furos verticais. No entanto, adobes sem reforço em areias siltosas apresentaram uma resistência superior quando comparados aos adobes produzidos com reforço. Composições de areia siltosa com argila e areia siltosa combinada com esterco demonstraram resistência de aproximadamente 0,34 MPa. Intrigantemente, a introdução de capim nos solos areno-siltosos resultou numa redução na resistência dos adobes produzidos. Esta diminuição pode estar relacionada ao grau de compactação conseguido durante o processo de fabrico.

Tabela 3.2: Resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial, realizados conforme NBR 15.812-1:2010.

Provete	Data de fabrico	Data de ensaio	Idade (dias)	Peso (kg)	Secção (10 mm ²)	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)
1 – Areia argilosa com capim	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	4,64	29	59,5	2,05
2 – Areia siltosa	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	4,26	29	11,3	0,39
3 – Areia siltosa com areia argilosa	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	3,61	29	10,1	0,34
4 – Areia siltosa com esterco	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	3,47	29	9,8	0,34
5 – Areia siltosa com capim	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	3,62	29	9,3	0,32

Essas descobertas sublinham a importância de conduzir testes rigorosos e explorar diferentes combinações de materiais, antes de implementar novos aditivos ou técnicas em larga escala. A compreensão completa das interações entre os componentes pode orientar a formulação de misturas otimizadas para alcançar os níveis desejados de resistência e durabilidade nos adobes, maximizando assim o sucesso das aplicações construtivas sustentáveis.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste estudo foi analisar o comportamento de diversos tipos de solos, com e sem reforço, visando desenvolver técnicas construtivas sustentáveis e resilientes. Essas técnicas têm o potencial de oferecer alternativas eficazes às práticas convencionais, contribuindo simultaneamente para a redução do aquecimento global e promovendo um futuro mais sustentável para as comunidades rurais do Distrito de Moamba, na Província de Maputo em Moçambique.

As considerações finais deste estudo ressaltam a importância de compreender as características dos solos locais e seu impacto na construção sustentável de estruturas resilientes. Os resultados indicam que as areias argilosas são mais adequadas que areias siltosas para a produção de adobes, especialmente quando reforçadas com capim. No entanto, são necessárias investigações adicionais para entender melhor os aspectos mecânicos, durabilidade e sustentabilidade desses adobes.

Apesar dos resultados promissores, a investigação ainda em fase inicial, necessita prosseguir para aprofundar o conhecimento sobre a produção e uso dos adobes com os solos da região. É importante avaliar as implicações práticas e económicas desta técnica construtiva, considerando as necessidades e desafios específicos das comunidades rurais.

O estudo destaca o potencial de desenvolver adobes mais resistentes e eficazes, utilizando recursos locais e técnicas sustentáveis. Ao integrar conhecimentos técnicos e experimentais, esta abordagem visa oferecer alternativas viáveis para a construção de estruturas otimizadas e resilientes às alterações climáticas, que promovam um futuro mais sustentável ao nível ambiental, económico e social para as comunidades rurais.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Novele TA (2023) O solo como material de construção sustentável nas comunidades rurais da Província de Maputo, Moçambique. Dissertação, Universidade de Évora
- [2] Stephenson MH, Ringrose P, Geiger S, Briden M, Schofield D (2019) Geoscience and decarbonization: current status and future directions. *Petroleum Geoscience*, Vol. 25: 501–508. <https://doi.org/10.1144/petgeo2019-084>
- [3] Kibert, CJ (2016) *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- [4] Ribeiro, M (2015) O Contributo da arquitetura tradicional para uma habitação “informal” sustentável em Moçambique. Dissertação, Instituto Universitário de Lisboa
- [5] Instituto Nacional de Estatística (2019) Recenseamento geral da população e habitação de 2017: resultados definitivos, Moçambique
- [6] Duarte IMR, Pedro EDC, Varum H, Mirão J, Pinho A (2014) Influence of geological features (geochemistry and mineralogy) of soil which constitutes adobes in their durability - Huambo, Angola. *Geophysical Research Abstracts*. Vol 16. EGU2014-13435-1, Vienna, Austria
- [7] Duarte IMR, Pedro EDC, 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. Print ISSN 1435-9529. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Doi: 10.1007/s10064-015-0800-3
- [8] Ministério de Administração Estatal (2005) Perfil do distrito de Moamba, província de Maputo
- [9] Ministério de Administração Estatal (2014) Perfil do distrito de Moamba, província de Maputo
- [10] Minke G (2006) *Building with earth, design and technology of a sustainable architecture*. Birkhauser Publishers for Architecture, Berlin
- [11] Wachilala PEM (2018) Caracterização geoquímica, mineralógica e geotécnica de solos para a construção em terra na província da Huíla, Angola. Dissertação, Universidade de Évora

- [12] Das, B.M. (2018) Fundamentals of geotechnical engineering. Cengage Learning
- [13] Torgal F, Jalali S (2009) Construção sustentável – o caso dos materiais de construção. IPCB, Universidade do Minho, Portugal
- [14] Wachilala PM, Duarte IMR, Pinho AB (2017) Ensaio in-situ e de laboratório para a caracterização dos solos utilizados na produção de adobes na Província da Huíla, Angola. In: J.F. Silva Gomes, C.C. António, C.F. Afonso & A.S. Matos, (Eds). Desafios e Oportunidades para a Engenharia na Cooperação para o Desenvolvimento, CLME. INEGI/FEUP. ISBN: 978-989-98832-8-4
- [15] Wachilala PEM, Duarte IMR, Pinho AB, Mirão JP, Neto MS (2018) A construção sustentável na perspetiva dos geomateriais utilizados na Província da Huíla, Angola. CLBMCS. ISBN: 978-989-98949-9-0
- [16] Inácio, CAES (2016) Estudo do solo enquanto material de construção sustentável. Dissertação, Universidade de Coimbra