



TIAGO LEONEL MAGALHÃES POULSON TEIXEIRA
Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

**REEDCOB - CONTRIBUTO PARA A CARACTERIZAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO
CONSTRUTIVA ECO-EFICIENTE DE PAREDES MONOLÍTICAS PARA ANGOLA**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil- Perfil de Construção

Orientadora: Professora Doutora Paulina Faria, Professora Associada da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Co-orientador: Professor Doutor Carlos M. Chastre Rodrigues, Professor Associado da Faculdade
de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Júri:

Presidente: Professor Doutor Corneliu Cismasiu

Arguente: Professor Doutor Fernando Farinha da Silva Pinho

Vogal: Professora Doutora Paulina Faria

“Copyright” Tiago Leonel Magalhães Poulson Teixeira, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, queria agradecer aos meus pais, Sandra Poulson e Jaime Poulson, que muito sacrificaram das suas vidas para que este sonho em comum, agora realidade, se concretizasse. Sempre foram os grandes impulsionadores de todas as etapas importantes que até agora concretizei e tiveram um papel fulcral no desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Paulina Faria e Professor Doutor Carlos Chastre, gostava de lhes agradecer pelo apoio, pelos conselhos úteis, pela simpatia e disponibilidade que sempre manifestaram, mesmo em momentos mais complicados. Gostava também de lhes agradecer pela compreensão e pelos momentos que com elogios ou críticas me incentivaram, e dizer se tivesse hoje de desenvolver uma dissertação, eles eram os meus orientadores escolhidos.

Gostava de agradecer à minha irmã mais velha, Ana Poulson, e à minha irmã mais nova, Sandra Poulson, pelo papel crucial que sempre tiveram, e continuarão a ter, no decorrer de todos os anos da minha vida.

À minha avó Esmeralda, queria retribuir com admiração a todo o apoio e amor que me prestou quando aos dezasseis anos me mudei sozinho para Lisboa para continuar o meu trajeto académico iniciado em Luanda, assim como aos meus primos Michel e Cláudia Sousa.

Ao Ricardo Manuel e à Inês Sousa, eu agradeço o apoio e afeição em muitos momentos, mas principalmente no final desta etapa. Gostava que eles soubessem que sem eles esta caminhada final tinha sido muito mais difícil e eles hoje assumem um papel muito importante na minha vida.

Ao Ximenes Nascimento, ao Luís Cláudio Kanje e ao Daniel Campos, os meus melhores amigos, queria agradecer por fazerem parte desta e de muitas fases importantes da minha vida, eles são e sempre serão muito importantes.

Ao meu amigo Frederico Mesquita gostava de agradecer o apoio e companheirismo, que para mim foi uma alegre surpresa, e que grande contributo teve no desenvolvimento deste trabalho.

À Ingrid Maria, minha prima, agradeço muito a estima e carinho durante este percurso.

Gostava de agradecer o apoio prestado nos últimos tempos pelo Ricardo Machado.

Gostava de agradecer a ajuda nos ensaios laboratoriais ao Engenheiro Victor Silva, assim como, a ajuda essencial no esclarecimento de dúvidas.

Gostava de agradecer ao Ricardo Henriques e à Linda Marques pelas descrições orais e fornecimento de fotografias, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos arquitetos Alina Jerónimo e Paulo Carneiro, queria agradecer o apoio, incentivo, transmissão de conhecimentos e bastante diversão durante os vários trabalhos de campo realizados durante esta dissertação.

Aos meus colegas, João Santos, Zé Maria, André Ferrão, Henderson Manico, Nuno Neves, Guilherme Alves e Francisco Monteiro, agradeço o companheirismo e diversão durante este percurso.

Resumo

Durante vários séculos a terra foi o principal material de construção, sendo utilizada em variadas metodologias construtivas de acordo com a localização, clima, cultura, materiais auxiliares disponíveis e meios para a edificação. Com o surgimento de novos materiais e domínio de novas técnicas, a construção com terra foi caindo em desuso e ficou maioritariamente restringida a alguns meios rurais, a maioria pertencentes a países menos desenvolvidos e com menos recursos financeiros.

Nas últimas décadas tem ressurgido um especial interesse pelas construções com terra por razões de eco-eficiência, nomeadamente por estas possibilitarem a construção recorrendo a materiais locais, com baixa energia incorporada. Em países em desenvolvimento, acresce serem técnicas que, para construção de pequeno porte, requerem pouca mão de obra especializada e equipamentos onerosos, baixando significativamente os custos inerentes à construção e possibilitando a autoconstrução. As paredes maciças de terra apresentam ainda grandes vantagens ao nível de conforto térmico no interior das habitações devido à sua elevada massa e à higroscopicidade das argilas, garantindo assim uma inércia térmica elevada e humidades relativamente estáveis.

A construção com terra é bastante utilizada em meios rurais Angolanos. No entanto, a partir de uma análise das técnicas mais utilizadas, verifica-se que ainda existe uma margem grande para a evolução das técnicas utilizadas e existe pouca informação científica, profissional e sensibilização sobre o tema.

Com o intuito de evoluir face às técnicas atualmente praticadas, foi analisada uma solução construtiva de paredes monolíticas autoportantes ligeira, com base em terra estabilizada com fibras vegetais e cal aérea, empilhada alternadamente com camadas de canas, designada por ReedCob. Foram executados ensaios *in situ* a um protótipo desta tipologia construtiva realizado em 2014 e desde então em envelhecimento em condições de exposição natural e, em laboratório, ensaios à compressão de muretes simulando as paredes, para complementar a caracterização da solução construtiva.

De modo a tornar a construção com terra apelativa para resolver a escassez de habitações, escolas, centros de saúde e outros serviços para os quais sejam necessárias construções de pequeno porte, apresenta-se uma análise de viabilidade da solução construtiva ReedCob em meios rurais angolanos.

Palavras-chave: Autoconstrução, Cana, Construção com terra, Construção rural em Angola,, Eco-eficiência da construção, Ensaio de compressão, Ensaio *in situ*, Fibra vegetal, Parede monolítica, Terra com fibras empilhada.

Abstract

For several centuries earth was the main building material, being used in various constructive methodologies according to the location, climate, culture, auxiliary materials available and building resources. With the commercialization of new materials and domain of new techniques, earth construction fell into disuse and was restricted to some rural environments, mostly in less developed countries with lower financial resources.

In recent decades there has been a resurgence and special interest in this type of constructions with earth because of its eco-efficiency, once it allows building using local materials and having low embodied energy. It also allows building without very specialized labor and expensive equipment, which can reduce the costs inherent to the construction and promote self-construction. Furthermore, this type of construction presents great advantages of thermal comfort in the interior of the buildings due to its high mass and hygroscopicity, thus guaranteeing a high thermal inertia and less variable relative humidity.

Earth construction is widely used in Angolan rural areas, as shown by the most common used techniques in these areas. However, there is still a large gap of development, and there is not much scientific and professional information, as well as sensibilization, on the subject.

In order to improve the techniques currently practiced, a constructive solution was analysed. It is based on lightweight self-supporting monolithic earth-based walls being the earth matrix stabilized with vegetal fibers and air lime, pilled with layers of reeds, designated by ReedCob. *In situ* tests were carried out on a prototype of this constructive technology built in 2014 and exposed to natural weathering since then and, in laboratory, compression tests of specimens simulating the walls were performed to increase the knowledge on ReedCob characteristics.

In order to make earth construction more appealing to solve the lack of low rise buildings such as housing, schools, health care centres and other services, a viability analysis of the ReedCob constructive solution for Angolan rural environments is presented.

Key words: Angola Rural dwelling, Cob, Compression test, Earth construction, Eco-efficient construction, *In situ* test, Monolythic wall, Reed, Self-construction, Vegetal fibre.

Índice Geral

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e metodologia	3
1.3 Organização da dissertação	3
2. Construção em Angola	5
2.1 Construção urbana em Angola.....	5
2.2 Construção com terra em Angola	7
2.2.1 Enquadramento	7
2.2.2 Construção com adobes ou com blocos de terra comprimida	10
2.2.3 Construção em tabique de terra ou pau-a-pique	21
2.3 Técnicas alternativas - Construção em cob e ReedCob	26
3. Caracterização do ReedCob	33
3.1 Materiais e muretes.....	33
3.2 Procedimentos	34
3.2.1 Ensaios <i>in situ</i> - realizados na célula.....	34
3.2.1.1 Inspeção visual	34
3.2.1.2 Resistência ao impacto da esfera.....	34
3.2.1.3 Dureza superficial	35
3.2.1.4 Absorção de água sob baixa pressão através de tubos de Karsten	36
3.2.2 Ensaio de compressão uniaxial	37
4. Resultados e discussão.....	41
4.1 Ensaios <i>in situ</i> -realizados na célula	41
4.1.1 Inspeção visual.....	41
4.1.2 Resistência ao impacto da esfera.....	46
4.1.3 Dureza superficial	50
4.1.4 Absorção de água sob baixa pressão através de tubos de Karsten.....	52
4.2 Ensaio laboratorial de compressão uniaxial.....	58
4.2.1 Análise dos resultados dos ensaios de compressão uniaxial	58
4.2.2 Modos de rotura observados nos ensaios de compressão uniaxial	64
4.2.3 Comparação dos resultados obtidos com outros autores	68
4.3 Análise de viabilidade do ReedCob para Angola	73
5. Conclusões.....	81
5.1 Conclusões finais.....	81
5.2 Desenvolvimentos futuros	82
Anexos	87
Anexo I-Fontes orais	89
Anexo II-Resultados individuais.....	91

Índice de figuras

Figura 2.1-Mercado do Kinaxixe, centro de Luanda, Angola.	6
Figura 2.2-Réplica do Palácio Dona Ana Joaquina, Baixa de Luanda, Angola.....	6
Figura 2.3-Palácio de Ferro localizado na baixa de Luanda (Ingonbota), Luanda, Angola.....	6
Figura 2.4-Igreja da Nossa Senhora dos Remédios, Sé Catedral de Luanda, localizada na baixa de Luanda, Angola.....	7
Figura 2.5-Habitação em adobe em que se pode observar tábuas de madeira maciça nos aros dos vãos da janela e da porta Kwanza-sul, Angola.	9
Figura 2.6-Casos de estudo em Angola: 1-Kwanza-Sul, 2-M'banza Kongo, Zaire, 3-Luena, Moxico, 4-Bengo.	9
Figura 2.7-Aldeia da Conda com construção típica em adobe, Kwanza-sul, Angola (caso de estudo 1)	10
Figura 2.8-Habitação típica recente em alvenaria de adobe, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1).	11
Figura 2.9- Fabrico de de adobes e o respetivo molde duplo de madeira, M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2).....	11
Figura 2.10- Tipos de moldes para execução de adobes.	12
Figura 2.11-Fornos a lenha de tijolo cerâmico resultantes da queima de adobes. M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2).....	13
Figura 2.12- Blocos de terra depois de cozidos em forno a lenha, M'Banza Kongo, Angola (caso de estudo 2).....	14
Figura 2.13- Alvenaria de adobe, Moxico, Angola (caso de estudo 3) (a); Alvenaria de tijolos cozidos M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2) (b).....	14
Figura 2.14-Soco de uma edificação de adobe, Kwanza Sul, Angola (caso de estudo 1).....	15
Figura 2.15-Interior de uma escola em adobe ,Kwanza Sul, Angola (caso de estudo 4).	16
Figura 2.16-Edificação de adobe com mais de 50 anos de idade com vãos vencidos com vergas de madeira, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1)	17
Figura 2.17- Cunhal de habitação em adobe rebocada no exterior com argamassa de cimento, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1) (a); habitação de adobe rebocada no exterior apenas pontualmente nos aros dos vãos, em zonas mais suscetíveis à ação da água da chuva, com argamassa de cimento, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1) (b).	17
Figura 2.18-Edifício de adobe rebocado a cimento e pintado a branco, Bengo. (Caso de estudo 4).	18
Figura 2.19-Três habitações de adobe com diferentes tipos de coberturas, chapas metálicas e palha. M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2).	19
Figura 2.20- Forno tradicional em adobe, rebocado com argamassa de terra, utilizado para a confeção de alimentos, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1)(a); habitação em que os alimentos são confecionados no interior, Kwanza-sul (caso de estudo 1) (b).	20
Figura 2.21-Verga de um edifício em adobe abaulado por fluência. Kwanza-sul (caso de estudo 1).	20
Figura 2.22-Habitação de tabique de terra ou pau-a-pique em que a estrutura resistente de troncos e ramos de madeira é visível por ter sido preenchida pelo interior e a parte exterior se ter degradado. A cobertura é feita com uma chapa flexível de alumínio. Luena, Moxico, Angola (Caso de estudo 3).....	21
Figura 2.23-Edificação típica em pau-a-pique, Luena, Moxico, Angola (caso de estudo 3).	22
Figura 2.24-Estrutura de madeira para construção de pau-a-pique composta por troncos verticais e ramos horizontais amarrados antes do preenchimento com pedras e argamassa de terra, Luena, Moxico, Angola (caso de estudo 3).....	22
Figura 2.25-Malha estrutural de pau-a-pique com troncos horizontais seguros com cordas, preenchida com pedras pequenas e argamassa de terra , Luena, Moxico, Angola (caso de estudo 3).	23
Figura 2.26-Habitação em pau-a-pique rebocada com argamassa de cimento, Luena, Moxico, Angola (caso de estudo 3).....	24
Figura 2.27-Edificações circulares em pau-a-pique, M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2).	24
Figura 2.28-Habitação em pau-a-pique, Bengo, Angola (caso de estudo 4).....	25
Figura 2.29-Habitação em pau-a-pique, Bengo, Angola (Caso de estudo 4).....	25
Figura 2.30-Habitação em pau-a-pique com proteção/reparação em chapa metálica, Bengo, Angola (Caso de estudo 4).	25
Figura 2.31-Parede de cob ainda em construção, sendo possível reconhecer as várias camadas e a proteção à água de troços a secarem.	27
Figura 2.32-Construção de uma cobertura de edifício com paredes de co.	28
Figura 2.33-Parede de ReedCob da célula durante a construção em que são visíveis as canas e a argamassa com fibras.	29
Figura 2.34-Célula em ReedCob localizada no campus FCT Nova.	29
Figura 2.35- Vista 3D, planta e corte do projeto da célula ReedCob.....	31
Figura 2.36-Prumos de madeira encastrados na fundação das paredes da célula em betão ciclópico.	32
Figura 3.1-Muretes (50 x 50 x 20 cm ³) edificados com as argamassas T1 (os três muretes à esquerda) e T2 (os três muretes à direita).	33
Figura 3.2-Curva granulométrica das terras utilizadas para as argamassas T1, T2 e do areão utilizado para a argamassa T1.....	34
Figura 3.3-Esquema do equipamento Martinet Baronnie a); Exemplo da realização do ensaio em área da célula	

onde tinha estado um prumo de alinhamento vertical b).	35
Figura 3.4-Realização do ensaio de dureza superficial utilizando o esclerómetro pendular.....	36
Figura 3.5- Realização do ensaio à absorção de água sob baixa pressão através de tubos de Karsten.	37
Figura 3.6- Esquema frontal dos ensaios à compressão uniaxial em que D1, D2, D3 e D4 representam os transdutores para a medição dos deslocamentos axiais, e D6 e D7 representam os transdutores para a medição dos deslocamentos laterais.	38
Figura 3.7- Pormenor da célula de carga de 50 kN (a laranja), do cilindro hidráulico (a amarelo) e dos quatro transdutores de deslocamentos verticais (a preto) durante o ensaio do murete M3.	39
Figura 3.8- Pormenor de um dos transdutores horizontais para medição dos deslocamentos laterais.	39
Figura 3.9- Vista geral do sistema de ensaio do murete M6 antes do ensaio de compressão uniaxial.	40
Figura 4.1-Fachada Sul da célula em ReedCob (com superfície da base descolada).	41
Figura 4.2-Fachada Oeste da célula em ReedCob em que se pode identificar uma mancha acastanhada bem definida na sua base.....	41
Figura 4.3-Fachada Este, onde se localiza a porta de entrada na célula.	42
Figura 4.4-Aparência da fachada norte da célula em estudo.	42
Figura 4.5-Alguns insetos e répteis abrigados dentro das paredes da célula em estudo.	43
Figura 4.6-Camada superficial descolada da fachada Sul a); Destacamento pontual causado por pelo impacto da esfera durante o ensaio b).	43
Figura 4.7-Parede interior sul em bom estado de conservação.....	44
Figura 4.8-Canto interior da célula entre as paredes Norte e Este.....	44
Figura 4.9-Mancha de humidade pertencente interior das paredes Oeste e Norte.....	45
Figura 4.10-Dimensão, em cm, das concavidades resultantes do impacto da esfera nas fachadas da célula e o respetivo valor médio de cada fachada.	47
Figura 4.11-Dimensão, em cm, das concavidades resultantes do impacto da esfera no interior das paredes da célula e o respetivo valor médio de cada fachada.	48
Figura 4.12-Resultados dos pontos ensaiados no exterior da célula em graus Vickers.	50
Figura 4.13-Resultados dos pontos ensaiados no interior da célula em graus Vickers.	51
Figura 4.14-Resultado do ensaio de absorção de água sob baixa pressão da fachada Norte.	53
Figura 4.15-Resultado do ensaio de absorção de água sob baixa pressão da fachada Sul.	53
Figura 4.16-Resultado do ensaio de absorção de água sob baixa pressão da fachada Este.	54
Figura 4.17-Resultado do ensaio de absorção de água sob baixa pressão da fachada Oeste.	54
Figura 4.18-Localização dos ensaios de absorção de água sob a baixa pressão nas diferentes fachadas.	55
Figura 4.19- Diagrama tensão-extensão dos muretes M1, M2 e M3.	59
Figura 4.20- Diagrama tensão-extensão dos muretes M4, M5 e M6.	59
Figura 4.21-Diagramas da extensão volumétrica versus extensão axial e lateral dos muretes M1, M2 e M3.	61
Figura 4.22-Diagramas da extensão volumétrica versus extensão axial e lateral dos muretes M4, M5 e M6.	62
Figura 4.23-Diagramas da dilatação em função da tensão aplicada nos muretes M1, M2, M3.....	63
Figura 4.24-Diagramas da dilatação em função da tensão aplicada nos muretes M4, M5, M6.....	64
Figura 4.25-Murete M1 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).....	65
Figura 4.26-Murete M2 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).....	65
Figura 4.27-Murete M3 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).....	65
Figura 4.28-Murete M4 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).....	66
Figura 4.29-Murete M5 antes (a), depois do ensaio (b) e o esquema respetivo representando a localização da falha de material neste murete (c).....	66
Figura 4.30-Esquema explicativo da origem do momento fletor que deu origem à rotação do murete M5.	67
Figura 4.31-Murete M6 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).....	68
Figura 4.32- Comparação dos diagramas tensão-extensão dos muretes em ReedCob com outras tipologias construtivas.	73
Figura 4.33-Planta da habitação tipo escolhida para um meio rural Angolano.	75

Índice de tabelas

Tabela 2.1-Caracterização de provetes ReedCob construídos com a argamassa T1 (FCT NOVA).	30
Tabela 2.2-Caracterização de provetes ReedCob construídos com a argamassa T2 (Fradical).	30
Tabela 3.1-Traços volumétricos da argamassa T1 constituinte dos muretes M1, M2 e M3, e da argamassa T2 constituinte dos muretes M4, M5 e M6.	33
Tabela 4.1-Média e desvio padrão do diâmetro da concavidade (em cm) resultante do impacto da esfera nas fachadas da célula.	47
Tabela 4.2-Média e desvio padrão do diâmetro da concavidade (em cm) resultante do impacto da esfera no interior das paredes da célula.	49
Tabela 4.3-Média e desvio padrão dos resultados de dureza superficial nas fachadas da célula.	50
Tabela 4.4-Média e desvio padrão dos resultados de dureza superficial no interior das paredes da célula.	51
Tabela 4.5-Valor médio dos tempos de absorção de água sob baixa pressão coeficientes de absorção e diâmetros molhados dos ensaios finalizados em cada fachada da célula.	56
Tabela 4.6-Direção dominante do vento durante ao longo do ano registada na estação meteorológica mais perto (Caparica).	57
Tabela 4.7-Valores na rotura da força, tensão, extensão axial e lateral e deslocamento dos muretes ensaiados das duas séries.	60
Tabela 4.8-Valores do módulo de elasticidade inicial, do módulo de elasticidade entre os 20% e 40% da tensão de rotura, e do coeficiente de Poisson dos muretes ensaiados das duas séries.	61
Tabela 4.9-Valores da extensão volumétrica máxima em percentagem de cada provete, as respetivas percentagens das tensões de rotura e os valores médios das argamassas T1 e T2.	63
Tabela 4.10-Comparação dos resultados obtidos no presente estudo com os resultados de outros autores.	72
Tabela 4.11-Caraterísticas geométricas da habitação tipo escolhida para um meio rural.	75
Tabela 4.12-Valores considerados para o cálculo da quantidade de canas existente na habitação tipo.	76
Tabela 4.13-Quantidades de solo, fibras e cal aérea necessárias para a edificação de um metro cúbico de argamassa para a edificação de paredes em ReedCob com um traço ao utilizado na construção da célula e dos muretes ensaiados (1:1:0,07 de solo: fibras: cal aérea).	77
Tabela 4.14-Estimativa de custos de uma habitação em materiais industrializados.	78
Tabela 4.15-Comparação da estimativa de custos entre uma habitação em materiais industrializados e uma habitação em ReedCob com e sem estabilização química com cal aérea.	78

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Desde sempre, o homem precisou de arranjar soluções para se proteger das condições climáticas e perigos a que estava exposto, sendo do conhecimento geral que os primeiros abrigos do homem foram em grutas. Com a evolução das civilizações, surgiu a necessidade de construção de abrigos, de modo a que a habitação não estivesse restringida a cavernas naturais e, dessa forma, o homem começou a escavar e construir grutas artificiais. O nomadismo trouxe a necessidade de edificar abrigos em locais específicos, principalmente onde existia pastagem para o seu gado.

Para colmatar estas necessidades da humanidade, a terra surgiu como um dos primeiros materiais de construção, em edificações acima e abaixo do solo, por ser um material de fácil acesso, tendo em conta a sua predominância à superfície na maioria das regiões geográficas (Faria et al., 2010; Minke, 2006).

Para além da utilização de terra, a madeira foi um material frequentemente utilizado na construção desde os tempos pré-históricos, principalmente pela sua abundância e fácil obtenção. Antes do corte de árvores de grande porte, a madeira usada era proveniente de arbustos. Os dois materiais, terra e madeira, foram muitas vezes aplicados em conjunto. Argamassas de terra foram muitas vezes usadas para o preenchimento de estruturas ligeiras de troncos e ramos de madeira que constituíam estruturas para a construção de cabanas.

Milénios depois, a facilidade de extração e aplicação, associados a um valor baixo de emissões de CO₂, um baixo valor de energia incorporada e um baixo custo económico, mantêm a terra como um material de construção apelativo ainda hoje. As construções com terra (principalmente as de pequeno porte) são uma solução com bastante potencial em regiões com carências económicas, principalmente em países em desenvolvimento, onde os novos materiais industrializados podem não ser a solução mais adequada, possível e económica. Em países mais desenvolvidos, as mesmas soluções são por vezes escolhidas, mas principalmente por razões ecológicas, em que a poluição e energia incorporada assumem um papel fundamental.

A terra tem muitas aplicações, desde construções em altura, como é o exemplo da cidade de Shibam (Iémen), com edifícios de dez andares, muralhas com grande extensão, como são exemplo alguns troços da grande muralha da China, embora também possa proporcionar uma alternativa sustentável em países desenvolvidos (Minke, 2006).

A terra como material de construção pode ser, ou continuar a ser, um material adequado para edificações em países em desenvolvimento, não só pelo baixo custo anteriormente referido, mas também pelas características técnicas associadas às várias tecnologias de construção em terra, como o contributo para o conforto térmico e acústico, devido à elevada inércia térmica e à higroscopicidade das argilas (Faria e Lima, 2018).

A utilização de terra como material de construção, com ou sem adições, implica o conhecimento de procedimentos de seleção, extração e aplicação da matéria-prima retirada do solo, ou o aproveitamento de terras de escavações. Em contrapartida, este material permite baixar drasticamente custos de transporte, aplicação e manutenção em relação a materiais mais recentes, como as argamassas feitas com diversos ligantes (cais aéreas, cais com propriedades hidráulicas, cimento), o betão, o aço, os plásticos. Segundo Faria et al. (2011) ao fim de

várias décadas de uso de “novos” materiais de construção, constatou-se que em alguns casos estes poderiam não ser os mais adequados.

África é um dos continentes em que a população tem mais carência em termos de bens essenciais para a vida humana. Segundo diversos investigadores (Toulmin, 2013 [w1]; Ozturk, 2017), em 2012, África subsariana tinha cerca de 239 milhões de pessoas com fome e aproximadamente 40% das crianças com menos de 5 anos sofriam de subnutrição. Os mesmos investigadores afirmam que a população africana pode quase duplicar até 2050. Embora esta questão deva ser avaliada e resolvida de forma integrada, o crescimento de população africana vai muito provavelmente agravar a escassez de recursos e infraestruturas em que atualmente se encontra.

No caso específico de Angola, em 2011 o Banco Mundial [w2] estimou que cerca de 30,1% da população vivia abaixo do limiar de pobreza de 1,9 dólares por dia por cada habitante. A mesma fonte estima que o PIB angolano tenha baixado de 126,777 biliões em 2014 para 95,335 biliões de dólares em 2016. A queda do PIB pode estar diretamente relacionada com a queda de exportações, com o aumento de importações e com um menor investimento governamental. Todos estes fatores podem ter origem na redução do preço do barril do crude nos últimos anos, uma das matérias primas mais exportadas do país. Angola é também o décimo sétimo país com maior taxa de mortalidade antes dos 5 anos do mundo [w3].

A parte da população mais prejudicada com estes fatores são os habitantes rurais, visto que são os que mais sofrem com a inexistência de melhores escolas, centros de saúde, serviços de transporte e condições para construir as suas habitações. Segundo o Banco Mundial, Angola tem uma população estimada em cerca de 30 milhões de habitantes e cerca de 10 milhões vive em meios rurais [w4]. Segundo a mesma fonte online [w5] só 16% dessa população rural tem acesso a eletricidade.

Duas das principais vantagens da construção com terra em regiões rurais de países em desenvolvimento é a possibilidade de autoconstrução e a utilização de materiais produzidos localmente. Tal torna a construção com terra bastante apelativa e condizente com o ambiente envolvente. Estes aspetos evitam a dependência de mão de obra especializada e de recursos financeiros avultados, tendo em conta a situação económica dos habitantes nestas áreas. No entanto, segundo Faria et al. (2011) a sensibilização de técnicos e da população envolvida no processo de construção com recurso a materiais locais é pertinente em muitos países lusófonos. Uma vez que muitas dessas pessoas associam a construção com terra a vulnerabilidade à água e baixa durabilidade, é necessária informação e exemplos de boas práticas, com resultados de construções económicas mas confortáveis e duráveis, que contrariem essa ideia pré-concebida.

Na verdade, embora atualmente grande parte da população angolana resida em construções com terra, este tipo de edifícios é normalmente associado à pobreza pelo senso comum. A simplicidade técnica envolvida na construção de edifícios de adobe tradicional e tabique de terra faz com que estas soluções sejam utilizadas na maioria dos edifícios rurais em Angola. Atualmente existem várias construções com terra em território angolano com idade superior a 50 anos, o que indica que a vida útil deste tipo de construções pode ser elevada.

Pelos motivos anteriormente referenciados, considera-se importante a caracterização das técnicas atualmente utilizadas em zonas rurais angolanas, a análise das suas vantagens e desvantagens, e a apresentação de alternativas, caso estas sejam apelativas e necessárias. É interessante também, segundo a perspetiva anterior,

que as soluções apresentadas melhorem o rendimento da autoconstrução já praticada e das condições de salubridade de novas construções comparativamente às existentes.

1.2 Objetivos e metodologia

A presente dissertação tem como objetivo contribuir para a otimização das técnicas de construção com terra atualmente praticadas em regiões rurais de Angola, nomeadamente através da análise de caracterização complementar e avaliação da viabilidade de aplicação de uma variante mais aligeirada da construção monolítica de paredes de terra empilhada, designada por ReedCob.

Com base numa breve descrição e análise das técnicas existentes em quatro regiões angolanas, pretende-se constatar onde podem ser implementadas melhorias.

Com a realização de ensaios *in situ* a um pequeno edifício (célula experimental) construído numa colaboração entre a Fradical, o CasStudio e a FCT NOVA em 2014 com a tecnologia ReedCob e de ensaios de compressão uniaxial realizados em laboratório a muretes simulando a técnica (construídos simultaneamente com a célula experimental), pretende-se complementar a caracterização desta técnica construtiva.

Através de uma análise de viabilidade de implementação desta técnica ReedCob em contexto rural angolano pretende-se averiguar quais as vantagens e desvantagens da técnica face às técnicas existentes.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação foi dividida em cinco capítulos, a que se acrescentam as referências bibliográficas e os anexos.

O primeiro capítulo é introdutório, englobando o enquadramento, os objetivos e a organização da dissertação.

No segundo capítulo, Construção em Angola, começa com uma breve descrição à construção urbana em Angola para comparação com a caracterização e análise das tipologias de construção de terra em quatro regiões urbanas do país. Esta descrição foi realizada com base em fontes orais e fotografias recolhidas em cada uma das regiões. As técnicas de construção com terra predominantes nas regiões estudadas foram o adobe e o tabique de terra. No final deste capítulo são também expostas duas técnicas de construção de terra como possíveis alternativas às tipologias tradicionalmente aplicadas nas regiões estudadas.

Num terceiro capítulo, Caracterização do ReedCob, está presente uma caracterização da célula experimental com a tecnologia ReedCob e dos muretes, seguida pela descrição dos procedimentos dos ensaios realizados.

No quarto capítulo, Resultados e discussão, são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios. No final do capítulo é realizada uma análise de viabilidade da técnica de ReedCob em regiões rurais angolanas. Esta análise teve em conta aspetos económicos, sociais e a disponibilidade das matérias-primas necessárias. A análise de viabilidade teve também em conta possíveis vantagens e inconvenientes do ReedCob em relação às técnicas existentes nestas regiões.

Finalmente, no quinto capítulo, Conclusões, são apresentadas as conclusões finais e alguns aspetos importantes de serem abordados em estudos que abordem temas do âmbito desta dissertação.

Nos anexos são apresentadas recolhas orais e os resultados experimentais individuais.

2. CONSTRUÇÃO EM ANGOLA

2.1 Construção urbana em Angola

Para possibilitar avaliar a disparidade de realidades entre as zonas rurais e urbanas, apresenta-se uma síntese das tipologias construtivas predominantes em contexto urbano angolano.

As tipologias de construção predominantes nas principais cidades angolanas, como por exemplo a cidade de Luanda, capital de Angola, são o betão armado em obras em altura ou habitações unifamiliares médias, e a construção em alvenaria resistente de blocos de betão ou tijolos em habitações unifamiliares. A edificação em alvenaria está normalmente associada a algumas limitações económicas. Também aí, tal como em Portugal, nota-se a falta de conhecimento por parte de projetistas, nomeadamente relativa a regras de construção de edifícios de pequeno porte com base em paredes resistentes, por exemplo de acordo com o Eurocódigo 6 (IPQ, 2000). Existem também edifícios de outras tipologias construtivas mais antigas, edificados durante o período de colonização Portuguesa.

Nesta etapa da história, que perdurou do século XV ao ano de 1975, foram contruídos muitos edifícios com paredes em alvenaria de pedra argamassada e outros já em betão armado nas últimas décadas de ocupação portuguesa, já no século XX. Muitos destes edifícios estão em utilização ainda hoje, principalmente igrejas, cinemas, quartéis, edifícios destinados ao comércio e habitação. Algumas destas construções encontram-se degradadas (muitas delas não tanto em termos estruturais, mas construtivos) e outras foram demolidas, talvez como forma de apagar alguma herança histórica deste período. Um destes edifícios foi a emblemática Praça do Kinaxixe que funcionou como o mercado de frescos mais importante da cidade de Luanda. De acordo com informação online [w6], existia a hipótese deste mercado ser classificado como património arquitetónico pela UNESCO antes da sua demolição. Este edifício em betão armado foi projetado pelo arquiteto Vasco Vieira da Costa, com uma linha influenciada pelo seu mestre, o arquiteto Le Corbusier [w6]. O mercado, caracterizado principalmente pela sua ventilação natural cruzada, muito adequada ao clima tropical de Luanda, foi demolido em 2009 [w6] (Figura 2.1).



Figura 2.1-Mercado do Kinaxixe, centro de Luanda, Angola (Correia, 2012).

O Palácio Dona Ana Joaquina (Figura 2.2), um edifício colonial com paredes de alvenaria de pedra argamassada, foi demolido para ser executada uma sua réplica em betão armado, onde hoje em dia funciona o tribunal provincial de Luanda.



Figura 2.2-Réplica do Palácio Dona Ana Joaquina, Baixa de Luanda, Angola (Correia, 2012).

Existem também edifícios com estrutura metálica, como é o exemplo do Palácio de Ferro, projetado por Gustave Eiffel, por volta de 1900 [w7] (Figura 2.3).



Figura 2.3-Palácio de Ferro localizado na baixa de Luanda (Ingonbota), Luanda, Angola (Correia, 2012).

Para além destes edifícios emblemáticos, existe também um grande grupo de edifícios com paredes de alvenaria de pedra argamassada, construídos principalmente durante os quase 500 anos de colonização portuguesa espalhados por todo o território. Estas obras estão mais concentradas nas principais cidades das províncias angolanas, como é o exemplo da Sé Catedral de Luanda (Figura 2.4).



Figura 2.4-Igreja da Nossa Senhora dos Remédios, Sé Catedral de Luanda, localizada na baixa de Luanda, Angola (Correia, 2012).

Embora a construção atual nas principais cidades angolanas seja executada com recurso a materiais industrializados, estes materiais são escassos em zonas rurais. A condição económica da população rural também é mais baixa que em zonas urbanas. Pelos motivos anteriormente referidos a construção com terra é predominante nas aldeias e povoações afastadas dos centros urbanos.

2.2 Construção com terra em Angola

2.2.1 Enquadramento

Em geral, todas as metodologias de construção com terra podem subdividir-se em três grupos. O primeiro consiste em paredes monolíticas em que a terra faz parte da estrutura resistente. O segundo sistema consiste em edificar paredes com blocos anteriormente fabricados, em sistemas de alvenaria, igualmente resistentes. O terceiro e último grupo é caracterizado pelo preenchimento e revestimento de uma estrutura ligeira, que normalmente é feita com troncos, ramos ou canas (Minke, 2006).

Para edificação de paredes monolíticas, a terra é compactada por camadas, em vários níveis, metodologia que caracteriza a taipa, ou empilhada em camadas à medida que o material vai ganhando resistência, forma como o *cob* (tecnologia construtiva muito corrente em diversos países, como a França e a Inglaterra, e respectivas comunidades de países Anglófonos e Francófonos, mas não tanto na comunidade de países de língua portuguesa) é executado.

O segundo grupo de técnicas de construção com terra é caracterizado pela montagem de blocos fabricados antes da aplicação. Estes blocos podem ser fabricados com terra moldada, o adobe, ou podem ser blocos de terra comprimida ou extrudida.

Quanto às técnicas de preenchimento e revestimento de estruturas em malha, existe o tabique, também conhecida como pau-a-pique em Angola, Moçambique e Brasil.

Para a terra ser aplicada como material de construção é essencial que esta se encontre húmida ou amassada no estado plástico. Por esse motivo, a terra é normalmente humedecida para se atingir a trabalhabilidade desejada durante a aplicação, a reorganização das partículas constituintes, e posteriormente alcançar a resistência necessária dos elementos construídos, sendo estes resistentes ou não.

Nem sempre a terra é diretamente aplicável devido às suas características ou devido às propriedades que se deseja atingir durante a vida útil da estrutura construída. Embora a terra seja normalmente de fácil acesso na maioria das regiões da esfera terrestre, a composição, granulometria e outras características físicas deste material natural variam de acordo com a região, com a origem geológica, zona de extração, processo de extração, profundidade de extração, condições climáticas e localização do nível freático.

Normalmente cada região tem várias composições de solos, que muitas vezes se misturam entre si. Devido a esta heterogeneidade pode-se encontrar várias composições de terra num raio de extração pequeno. O processo de extração pode condicionar a qualidade do material extraído. Por exemplo, se a matéria-prima for retirada de um curso de água com uma retroescavadora, este método pode promover uma lavagem dos finos.

O solo é proveniente da erosão de rochas e, desse modo, para além da granulometria, a composição química de cada partícula depende da rocha mãe de que teve origem (cada partícula pode ter um diferente mecanismo de transporte, quer este seja o vento, ou percolação freática, o que torna o solo muito heterogéneo). A profundidade pode também fazer variar a coesão do solo, devido à diferença de pressão a que o solo estava sujeito antes do material ser retirado. A obtenção de solo no mesmo local em diferentes estações climáticas pode fazer variar o seu teor em água. A localização do nível freático pode ser importante, principalmente pela variação da coesão. Por exemplo, se a extração for feita perto de um curso de água, pode-se retirar matéria com pressão intersticial negativa (pelo facto da água ter ascendido por capilaridade), o que pode aumentar a coesão. A alguns metros desse local pode existir material com a mesma composição, mas com menor coesão devido à origem da água ser a absorção direta da precipitação.

Pelos motivos apresentados anteriormente, muitas vezes a terra extraída precisa de ser aperfeiçoada. Segundo Faria et al. (2011) esta otimização pode ser realizada por peneiração, por calcinação, por adição de outros constituintes, como agregados não argilosos (areia, resíduos da exploração de pedra, de material cerâmico ou de outros resíduos), cal aérea (com origem na calcinação de rocha calcária ou dolomítica, ou calcinação de conchas), fibras resultantes de subprodutos agroindustriais, pozolanas naturais ou artificiais e adjuvantes naturais.

Os vãos de portas e janelas destas construções são normalmente vencidos com vergas de madeira (Figura 2.5), vigotas pré-fabricadas de betão (Marques L.). A entrega destes elementos nos nembos deve aumentar quanto maior for o vão a vencer, tentando evitar a concentração de tensões nessa área.

As paredes resistentes das construções com terra não estabilizada quimicamente são especialmente sensíveis à água no estado líquido. A água pode provocar a desintegração dos vários grãos constituintes das paredes e, por esse motivo, o contacto direto com canalizações deve ser evitado. As redes de água quentes e frias devem ser dispostas à vista de modo a evitar que eventuais roturas danifiquem as paredes.



Figura 2.5-Habitação em adobe em que se pode observar tábuas de madeira maciça nos aros dos vãos da janela e da porta Kwanza-sul, Angola [créditos: Poulson J.].

Atualmente em Angola, as técnicas de construção com terra dominadas pelas populações são a alvenaria de adobe e o tabique de terra, mais conhecido localmente por pau-a-pique. Os aspetos específicos de algumas regiões vão ser abordados ao longo deste capítulo, separados em quatro casos de estudo. O primeiro caso de estudo é a província do Kwanza-Sul no centro litoral de Angola. O segundo é referente aos arredores da cidade de M’Banza Kongo pertencente à província do Zaire. O terceiro caso de estudo é referente aos arredores da cidade do Luena, pertencente ao Moxico. A quarta e última região estudada está situada na província do Bengo, como exposto na Figura 2.6.

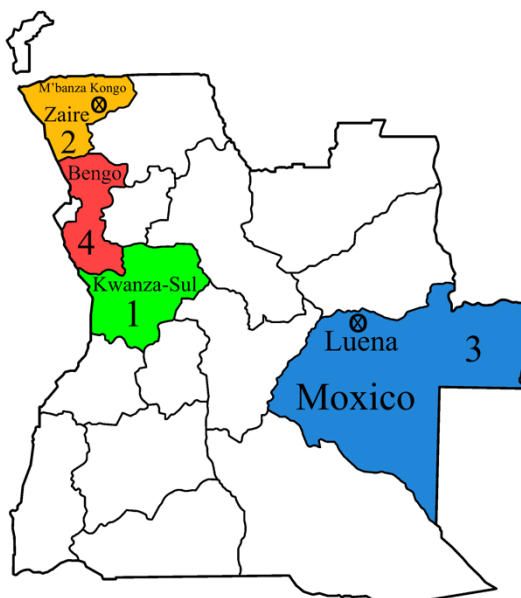


Figura 2.6-Casos de estudo em Angola: 1-Kwanza-Sul, 2-M'banza Kongo, Zaire, 3-Luena, Moxico, 4-Bengo.

As edificações individuais e comuns em cada região são construídas pelas comunidades locais, envolvendo quase todos os habitantes. A construção é geralmente orientada por um mestre, que normalmente domina somente uma técnica de construção específica. Por esse motivo, certas regiões têm edificações muito similares entre si, embora existam algumas regiões que combinem várias tipologias de construção. A técnica dominada por cada mestre de cada região é resultado do conhecimento transmitido de geração em geração, do tipo de vegetação local e da proximidade a cursos de água. Para a elaboração deste levantamento, recorreu-se a algumas fontes orais (Anexo I).

2.2.2 Construção com adobes ou com blocos de terra comprimida

O tipo de vegetação e a disponibilidade de água estão normalmente relacionados. Em regiões mais áridas ou montanhosas, a vegetação é maioritariamente rasa e está seca durante a época quente, que dura cerca de 9 meses do ano. Por essa razão, o capim pode ser encontrado em abundância. O excesso de vegetação rasa e seca durante a estação em que não chove, tornam o adobe a técnica de construção mais viável nestas regiões (Henriques, fonte oral - Anexo I). A aldeia da Conda, localizada na província do Kwanza-Sul, no centro do litoral de Angola, corresponde ao primeiro caso de estudo (Figura 2.7), onde a construção típica é a de alvenaria de adobe. A Figura 2.8 é um exemplo de construção típica mais recente da província do Kwanza-Sul.

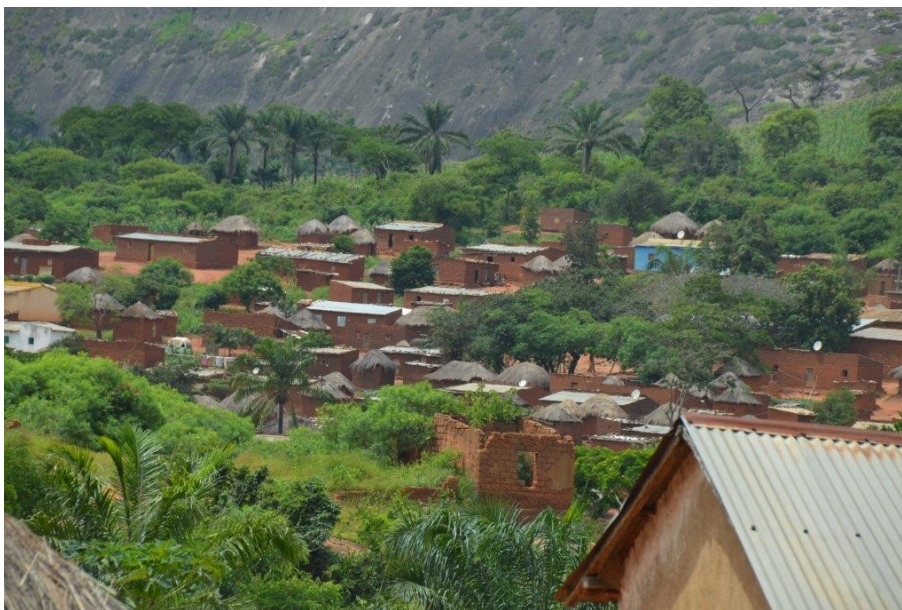


Figura 2.7-Aldeia da Conda com construção típica em adobe, Kwanza-sul, Angola (caso de estudo 1) [créditos: Poulson J.].

A técnica de construção em adobe é aplicada de forma semelhante pelo mundo todo. Segundo Minke (2006) é mais comum em climas tropicais e moderados. Segundo o mesmo autor, ainda hoje podem ser encontradas construções de adobe no Turquestão, com cerca de 10000 anos, local pertencente ao atual Cazaquistão. Embora esta técnica esteja associada a construções de pequeno porte, é possível edificar prédios com mais de 10 andares, como os atualmente existentes na cidade de Shibam no Iémen (Minke, 2006).



Figura 2.8-Habitação típica recente em alvenaria de adobe, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1) [créditos: Poulson J.].

A técnica de adobe tradicional é caracterizada pela edificação de paredes resistentes constituídas por blocos de terra, executados com recurso a moldes de madeira (Figura 2.9) e retirados dos mesmos ainda no estado relativamente fresco. Posteriormente estes blocos são deixados a secar à temperatura ambiente, preferencialmente ao sol se houver urgência na sua secagem. Se for possível, deve optar-se por uma secagem dos adobes à sombra, evitando elevados gradientes térmicos, principalmente a exposição ao sol, de modo a que a retração do material não se processe de uma forma brusca.



Figura 2.9- Fabrico de de adobes e o respetivo molde duplo de madeira, M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2) [créditos: Henriques R.].

De forma a solidarizar os vários blocos, normalmente é usada uma argamassa constituída pela mesma terra, o que pode melhorar a conexão entre os blocos. Ter uma argamassa com a mesma constituição dos blocos implica também a semelhança de algumas características físicas como de níveis de retração, de dilatação térmica, de deformabilidade, o que pode ser importante para evitar a fendilhação quando a estrutura estiver sob elevados gradientes de temperatura.

É importante também salientar que, durante a construção da alvenaria, a argamassa fresca de assentamento tem um teor em água superior ao dos adobes, que nessa fase já estarão completamente secos. Esta argamassa é aplicada no estado plástico, de modo a que seja moldável, e os blocos são aplicados depois do endurecimento.

Segundo Pinho (2008) as paredes de adobe eram construídas segundo as regras das paredes de pedra, embora a técnica de adobe se tratasse de uma alternativa menos nobre.

Segundo Minke (2006) os moldes podem ser preenchidos um de cada vez, ou a pasta de terra pode ser lançada de modo a que preencha vários moldes, sendo o excedente posteriormente retirado. O primeiro método descrito aparenta ser um método mais trabalhoso e menos eficiente, embora possivelmente os adobes apresentem mais qualidade por estarem mais compactos. O segundo método, que segundo o autor antes referido é típico de países mais desenvolvidos, proporciona um maior rendimento na produção de adobes e por esse motivo é mais eficiente. Na Figura 2.10 são apresentados vários tipos de moldes para a execução de adobes.

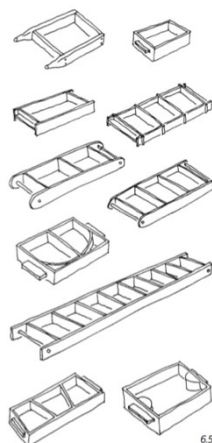


Figura 2.10- Tipos de moldes para execução de adobes (Minke, 2006).

As formas e dimensões dos moldes de adobe podem variar (Figura 2.10). Estas características dependem essencialmente da região, da forma e espessura das paredes pretendidas. Por exemplo na zona do Pinhal Novo, perto de Lisboa, e na zona de Leiria, ainda no século XX foram construídas muitas habitações com paredes de alvenaria de adobe não estabilizado quimicamente nem com fibras. As dimensões dos adobes das duas regiões eram muito parecidas, com cerca de 50 cm de maior dimensão, 30 cm de largura e 14 cm de altura. No entanto, os adobes da zona de Leiria tinham uma reentrância nas faces com 30 cm x 14 cm (Ferreira et al., 2017), que os do Pinhal Novo não tinham (Oliveira et al., 2017). As paredes da zona de Leiria eram realizadas à uma vez, com a espessura correspondente à maior dimensão dos adobes (cerca de 50 cm), a que acresciam os rebocos e que aderiam melhor por causa das reentrâncias, enquanto as paredes do Pinhal Novo eram realizadas à meia vez, com a espessura correspondente à 2ª maior dimensão dos adobes (cerca de 30 cm), a que acresciam também os rebocos.

De forma análoga a outras técnicas de construção com terra, os adobes podem ser reforçados com fibras naturais de forma a aumentar a resistência à tração e evitar ou reduzir a microfissuração devida à perda de água dos blocos durante a secagem (Minke, 2006).

Pelo interior, onde não recebem a ação da água da chuva, as paredes construídas com adobes não estabilizados podem ficar à vista ou podem ser rebocadas com uma argamassa à base de terra. Pelo exterior, as argamassas de reboco têm de ser de terra estabilizada com cal ou só de cal aérea e areia, para não serem vulneráveis à água da chuva.

Em Angola não existe um padrão de procedimentos para a execução de adobe, sendo que cada região ou localidade tem certas particularidades. Segundo Marques L. (fonte oral - Anexo I) para a execução de adobes na província do Kwanza-Sul (caso de estudo 1) é usada uma mistura de terra argilosa, fibras vegetais, e pedras de pequena dimensão. Esta mistura torna-se numa argamassa quando é misturada com água, e depois é colocada e comprimida com as mãos em moldes de madeira. No dia seguinte, os blocos são desmoldados e postos a secar ao sol durante um mês. Passado este tempo, a alvenaria de adobe é erguida a partir das fundações usando uma argamassa da mesma terra.

A Norte de Angola, mais precisamente nos arredores da cidade de M'Banza Kongo, (província do Zaire, caso de estudo 2), são produzidos blocos de terra (adobes) sem fibras vegetais (Figura 2.9) que são postos a cozer em fornos de lenha durante vários dias (Figura 2.11). Em seguida arrefecem lentamente dentro dos mesmos fornos (Henriques, R., fonte oral - Anexo I), resultando em “tijolos”. Uma mudança brusca da temperatura dos tijolos depois da cozedura poderia levar a uma microfissuração e à sua degradação.



Figura 2.11-Fornos a lenha de tijolo cerâmico resultantes da queima de adobes. M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2) [créditos: Henriques R.].

Pode ser notado, na Figura 2.11, que existem blocos castanhos claros que ainda não tinham sido cozidos, e existem outros avermelhados, que já tinham saído do forno, com uma cor ligeiramente mais clara que os tijolos tradicionais, o que é normal, pois estes últimos têm uma temperatura de cozedura bastante superior aos blocos cozidos em fornos a lenha.

Na Figura 2.12 e Figura 2.13 b) pode-se constatar que os tijolos cozidos apresentam vários tons, o que pode ter origem na mineralogia da terra utilizada ou na temperatura de cozedura, visto que esta pode não ser completamente uniforme dentro do forno.



Figura 2.12- Blocos de terra depois de cozidos em forno a lenha, M'Banza Kongo, Angola (caso de estudo 2) [Créditos: Henriques R.].

Os tijolos cozidos apresentam também uma resistência mecânica superior à dos blocos crus e são facilmente distinguíveis, não só pela cor mais escura, mas também pela textura, visto que a cozedura torna a sua superfície mais lisa e resistente à erosão e água líquida (Figura 2.13) (Henriques R., fonte oral- Anexo I).

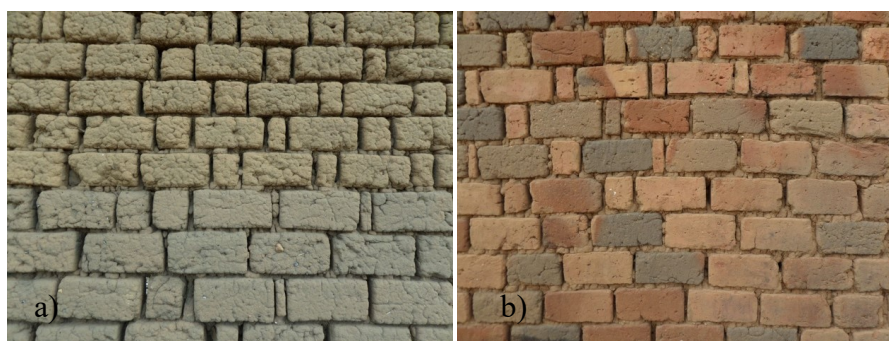


Figura 2.13- Alvenaria de adobe, Moxico, Angola (caso de estudo 3) [créditos: Henriques R.](a); Alvenaria de tijolos cozidos M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2) [créditos: Henriques R.](b).

A ligação entre os panos de alvenaria nos cantos é executada encaixando os blocos de um pano aos blocos do outro, de forma desencontrada entre fiadas dos tijolos ou adobes. Estes panos de alvenaria de adobe têm de ser suportados por fundações resistentes, niveladas, e que de alguma forma impeçam a absorção de água por capilaridade.

As fundações de paredes com terra podem ser constituídas por alvenaria de pedra ou betão, de modo a evitar ascensão de água por capilaridade e consequente desagregação dessas paredes (Faria-Rodrigues, 2007; Mascarenhas, 2010). Para além da água por si só representar uma ameaça, a sua secagem em zonas das paredes onde exista um equilíbrio entre a capilaridade e a capacidade de secagem, pode promover a cristalização de sais e consequente desagregação dos elementos resistentes em terra. Segundo Faria-Rodrigues (2007) e Mascarenhas (2010), é importante a colocação de uma pintura betuminosa entre a base das paredes de terra e as respetivas fundações. Embora a colocação de uma pintura betuminosa impeça a ascensão capilar de água das fundações,

esta pode também pôr em causa a aderência na base das paredes, principalmente no que se refere a fenómenos sísmicos, em que surgem forças horizontais proporcionais à massa dos elementos.

Nos casos de estudo analisados, os embasamentos para os pavimentos em contacto com o terreno de edifícios em adobe servem também de fundação e nivelamento para o arranque da alvenaria. Estes pavimentos geralmente são constituídos por pedras com cerca de dez a quinze centímetros na sua maior dimensão, que são partidas e preenchidas com uma argamassa de terra (Marques L., fonte oral - Anexo I). As pedras destes pavimentos são recolhidas nas proximidades das construções e dificultam a ascensão capilar por apresentarem uma porosidade muito inferior à da terra. Estas pedras conferem bastante resistência à compressão, por confinarem a terra envolvente e serem mais resistentes do que esta. Uma elevada resistência à compressão é necessária devido à grande massa volúmica das paredes de adobe. Como é possível observar na Figura 2.14 estes pavimentos são sempre elevados cerca de 20 a 30 centímetros para evitar o contacto entre a parede e a água do solo, especialmente na época das chuvas.

Para diminuir o contacto das paredes com a água proveniente da precipitação em caso de cheias, os locais a construir são habitualmente os mais altos. Estes locais acabam não acumulando água por possuírem um declive elevado e, desse modo, a água escorre facilmente para zonas mais baixas.



Figura 2.14-Soco de uma edificação de adobe, Kwanza Sul, Angola (caso de estudo 1)[créditos: Poulson S.].

A desvantagem dos revestimentos de pisos interiores em terra é que, com o passar do tempo e o desgaste causado pela utilização, começam a soltar grãos de terra. Para evitar a desintegração dos pisos de terra é comum a população local aspergir água e depois varrer, de forma a que estes se mantenham compactados (Poulson J., fonte oral - Anexo I). Na Figura 2.15 é apresentada uma escola em adobe com um pavimento executado com terra.



Figura 2.15-Interior de uma escola em adobe ,Kwanza Sul, Angola (caso de estudo 4) [créditos: Poulson J.].

A terra utilizada para este tipo de edificações é normalmente extraída a poucos metros de profundidade. O solo mais superficial contém muitas vezes matéria vegetal e orgânica, e tem um baixo teor em argila pelo facto de a água da pluviosidade normalmente lavar os finos (Henriques R., fonte oral - Anexo I). Segundo a mesma fonte oral, os teores de argila desejados encontram-se normalmente de entre 1 a 3 metros de profundidade.

Embora os blocos de adobe não cozidos, típicos de regiões como a do Kwanza-sul, tenham por norma uma estabilização física, as fibras, não têm nenhum tipo de estabilização química. A falta deste tipo de estabilização torna as construções de certo modo suscetíveis ao aparecimento de pequenos organismos e insetos, principalmente se a terra contiver restos de matéria orgânica provenientes de plantas ou animais. Segundo (Marques L., fonte oral - Anexo I) os blocos de adobe no Kwanza-Sul são às vezes atacados por Salalé, uma térmita característica de clima tropicais. Estes insetos acabam danificando as paredes, abrindo grandes orifícios ao construir os seus ninhos. A forma de remediar esta anomalia é remover as partes afetadas da parede e preenchê-las com terra. Este problema pode ser prevenido rebocando as paredes, o que reduz substancialmente a probabilidade de ataque de Salalé (Marques L., fonte oral - Anexo I).

É possível observar na Figura 2.16 uma habitação em adobe no Kwanza-Sul, com uma idade superior a 50 anos. Este pequeno edifício foi rebocado com argamassa de cimento (as manchas acinzentadas no soco) e foi aplicada cal em uma zona inferior (mancha esbranquiçada entre as portas). Devido à idade desta construção, os rebocos aplicados são provavelmente uma tentativa de evitar a contaminação das paredes por térmitas como o Salalé, visto que só foram aplicados nas zonas do soco da habitação.

Na Figura 2.16 pode-se observar também um pormenor da alvenaria da mesma habitação, em que se pode notar pequenas pedras nas juntas da alvenaria. Essa pedras podem ter sido acrescentadas à argamassa das juntas enquanto esta ainda estava fresca; será mais provável face a terem sido adicionadas à terra para execução da argamassa de assentamento dos blocos.



Figura 2.16-Edificação de adobe com mais de 50 anos de idade com vãos vencidos com vergas de madeira, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1) [créditos: Poulson S.].

Observam-se também algumas reparações feitas em argamassa de cimento nas juntas da alvenaria. A aplicação pontual e o reboco em cimento são intervenções que podem acelerar a natural degradação do pano de alvenaria por envelhecimento, visto que os dois materiais têm coeficientes de dilatação, resistências mecânicas e capacidades de secagem bastante diferentes. Sendo as argamassas de cimento muito mais impermeáveis ao vapor de água que a alvenaria de adobe, é provável que a água que aceda à alvenaria se concentre mais nas zonas de terra que nas zonas com cimento, acelerando a degradação dessas zonas de terra. Na Figura 2.17 podem observar-se dois exemplos da aplicação de cimento em como revestimento de edificações em adobe.

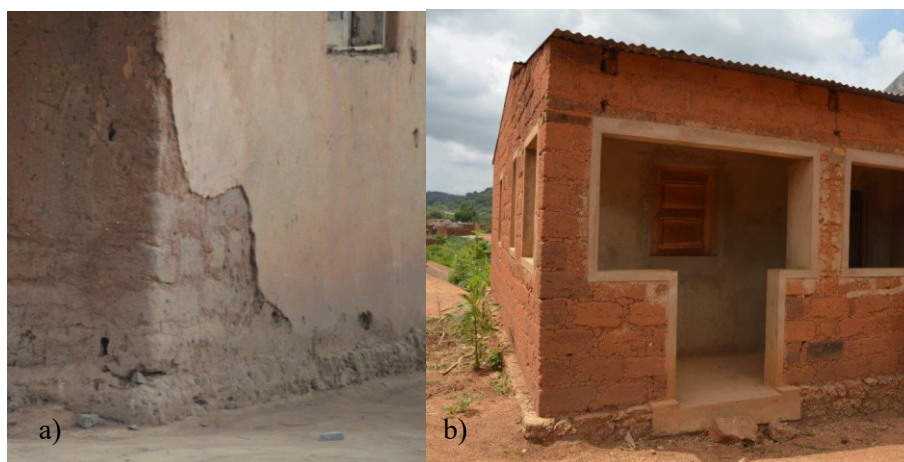


Figura 2.17- Cunhal de habitação em adobe rebocada no exterior com argamassa de cimento, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1) (a); habitação de adobe rebocada no exterior apenas pontualmente nos aros dos vãos, em zonas mais suscetíveis à ação da água da chuva, com argamassa de cimento, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1) (b) [créditos: Poulson S.].

Na Figura 2.17 a) é exposto o cunhal de uma habitação em adobe com alguns anos de existência e é notória a degradação do seu reboco em cimento. Na alínea b) da mesma figura está representada uma habitação em adobe mais recente que a anterior, em que se optou por rebocar a face interior das paredes e o seu pavimento com uma camada espessa de cimento. Pelo menos o revestimento interior das paredes deveria ter sido revestido com uma argamassa mais compatível com a alvenaria, como uma argamassa de reboco de terra ou terra e cal

aérea, em vez de cimento. A água da chuva vai ser absorvida pela face exterior das paredes e como não vai secar para o interior, vai degradar mais as próprias paredes.

A Figura 2.18 mostra um edifício em adobe, rebocado pelo exterior com argamassa de cimento. Este edifício apresenta-se num estado avançado de degradação, principalmente na base das paredes. Estas zonas da parede são mais propícias para a existência de água devida à ascensão capilar e incidência da pluviosidade. A parede vai-se degradando por trás do reboco mais impermeável ao vapor que a parede de terra, perde coesão, desagrega-se, resultando em bolsa ocas, e o reboco acaba por não ter onde aderir e vai cair em placas.



Figura 2.18-Edifício de adobe rebocado a cimento e pintado a branco, Bengo. (Caso de estudo 4) [créditos: Poulson J.].

O principal objetivo do reboco é proteger o pano de alvenaria, pois é uma camada de desgaste. Caso o reboco seja mais resistente que o seu suporte, a parede, pode fragilizá-la ou até esconder fissuras estruturais que são um alerta importante para a manutenção e reparação da mesma. Por outro lado, uma argamassa de cimento é um material menos poroso que um bloco de terra, o que pode impedir a parede de dissipar a sua humidade e secar. Uma das grandes vantagens das paredes de terra é o facto deste material apresentar uma higroscopicidade elevada, acumulando humidade em épocas húmidas, e baixando a humidade relativa no interior da construção (Faria e Lima, 2018). Em épocas secas o material constituinte da parede liberta essa humidade, aumentando a humidade relativa dentro do edifício. Este fenómeno faz com que o conforto interior das construções com terra seja elevado, mas só acontece caso os panos de alvenaria não estejam confinados por materiais que dificultem a troca de ar com o ambiente interior e exterior. No entanto, esta situação não será muito importante para a construção rural em Angola, por esta ser muito ventilada.

A opção adotada na habitação da Figura 2.17 b), em que uma camada de cimento espessa foi aplicada no interior, é menos prejudicial às paredes de terra por permitir a secagem das mesmas pelo exterior. Em contrapartida, esta solução não tira partido de todas as propriedades higroscópicas da terra das paredes por dificultar a troca de humidade entre estas paredes e o ar interior.

Os revestimentos das coberturas de edifícios em adobe podem ser executados em palha ou em chapas de zinco. Embora existam muitas regiões em que os dois tipos de cobertura são utilizados (Figura 2.19), existe uma tendência para as chapas de alumínio serem cada vez menos utilizadas quanto mais a localização das construções se afastam dos grandes centros urbanos (Henriques R., fonte oral - Anexo I).



Figura 2.19-Três habitações de adobe com diferentes tipos de coberturas, chapas metálicas e palha. M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2) [créditos: Henriques R.].

Uma das desvantagens do alumínio é que, sendo um material industrializado e não produzido na região, acaba tendo custos de transporte associados. O colmo utilizado nas coberturas de palha não tem custos de obtenção nem transporte, pois é extraído na periferia das construções. A segunda, e talvez a principal inconveniência do uso do zinco, é o facto deste material ser metálico e por esse motivo possuir uma condutibilidade térmica alta, aumentando bastante a temperatura das habitações devido à incidência solar.

As coberturas de colmo ou palha têm espessuras mais elevadas, com muitos vazios entre os seus constituintes, criando uma camada de ar que reduz drasticamente a transferência de calor, cumprindo com o seu principal objetivo, que é proteger a construção da água da chuva e da transmissão de calor devido à incidência solar. Além dos motivos já apresentados, as coberturas de palha permitem a ventilação natural e extração de vapores por convecção de dentro para fora das habitações pelos espaços vazios. No entanto, estas coberturas continuam a ser de certa forma impermeáveis à água da precipitação. Têm como desvantagem o perigo de incêndio. As coberturas de alumínio não permitem a saída de vapores, e por esse motivo, segundo Henriques R. não é comum que a confeção de alimentos seja feita dentro de habitações com este tipo de cobertura.

Para a confeção de alimentos fora das habitações, é comum serem construídos grandes fornos de blocos de adobe, revestidos com rebocos à base de terra (Figura 2.20 a). Estes fornos a lenha são normalmente usados pela comunidade para cozinhar alimentos em comum. Em algumas habitações os alimentos são confeccionados no interior, e por esse motivo, as paredes interiores começam a escurecer pelo acumular de vapores e gorduras devido às coberturas em alumínio (Figura 2.20 b).



Figura 2.20- Forno tradicional em adobe, rebocado com argamassa de terra, utilizado para a confeção de alimentos, Kwanza-Sul, Angola (caso de estudo 1)(a); habitação em que os alimentos são confeccionados no interior, Kwanza-sul (caso de estudo 1) (b) [créditos: Poulson S.].

Segundo Marques L. as vergas dos vãos das portas e janelas dos edifícios em adobe são vencidas com troncos, que ao longo do tempo vão abaulando. Podem também ser usadas tábuas de madeira, que garantem maior resistência mecânica ao longo do tempo. As variações de temperatura e humidade absorvida pelos ramos utilizados nos vãos podem contribuir para que estes comecem a ceder com o tempo. Em contrapartida, a causa mais provável da deformação por flexão destes elementos será a fluência causada pelo elevado peso suportado pelos mesmos (Figura 2.21).



Figura 2.21-Verga de um edifício em adobe abaulado por fluência. Kwanza-sul (caso de estudo 1) [Créditos: Poulson J.].

Outra técnica de construção com terra, variante do adobe que surgiu no final da 1ª metade do século XX na Europa, para reforço da construção no pós-guerra, é a alvenaria com blocos de terra comprimida (BTC), em que os blocos de alvenaria de terra são produzidos usando prensas manuais ou mecânicas, o que lhes confere mais resistência mecânica. Outra característica deste tipo produção de blocos é a estabilização com cimentos ou

cais. Segundo Minke (2006) esta estabilização com cimento varia entre 4 a 8% da massa e é indispensável. Caso contrário, a compressão na prensa pode fazer com que estes blocos tenham menos resistência mecânica que os blocos de adobe tradicional. Para a produção de BTC, a terra (ou a mistura de terra e ligante) está apenas húmida, como para o caso da taipa; não constitui uma argamassa plástica como no caso dos adobes. Tem a vantagem de consumir menos água para a sua produção e a desvantagem de necessitar de equipamento para compressão manual ou mecânica e, muito provavelmente, de ligante para proceder à estabilização.

2.2.3 Construção em tabique de terra ou pau-a-pique

A técnica de construção em tabique de terra ou pau-a-pique é caracterizada pelo preenchimento, com uma argamassa de terra no estado plástico, de uma estrutura resistente em madeira, geralmente composta por troncos de arbustos, de forma a esta ficar totalmente revestida. A função da terra é o preenchimento dos vazios e proteção da estrutura resistente de madeira. Segundo Minke (2006), o recobrimento mínimo de terra entre a superfície exterior da parede e a malha de madeira deve ser de 2 centímetros; caso contrário, a estrutura resistente de madeira pode apodrecer devido ao contacto direto com a água. Na Figura 2.22 é apresentada uma habitação em tabique de terra em que se pode observar a estrutura interna das paredes.



Figura 2.22-Habitação de tabique de terra ou pau-a-pique em que a estrutura resistente de troncos e ramos de madeira é visível por ter sido preenchida pelo interior e a parte exterior se ter degradado. A cobertura é feita com uma chapa flexível de alumínio. Luena, Moxico, Angola (Caso de estudo 3)[Créditos: Henriques R.]

O entrelaçado de madeira usado neste tipo de construção é normalmente constituído por ramos e troncos. Para além de troncos, a estrutura resistente preenchida com terra pode ser constituída por canas e galhos.

A terra usada para preencher a malha de madeira é usualmente misturada com palha e outras fibras naturais, com o intuito de aumentar a consistência durante a aplicação e controlar a retração. A retração durante a secagem da terra, causada pela perda de água, pode provocar fendilhações neste material. Segundo Minke (2006) o arquiteto alemão Hans-Bernd Kraus misturou serradura à terra para diminuir os efeitos deste fenómeno.

A terra usada no preenchimento pode ser colocada manualmente, ou pode ser projetada, o que aumenta o rendimento e diminui a mão de obra necessária.

Em Angola, as construções de em tabique de terra ou pau-a-pique são mais comuns em regiões mais húmidas e próximas de cursos de água. A vegetação dominante nestas regiões é constituída por arbustos e árvores,

fazendo com que existam muito ramos e troncos disponíveis, matéria prima necessária para esta tipologia construtiva (Figura 2.23).



Figura 2.23-Edificação típica em pau-a-pique, Luena, Moxico, Angola (caso de estudo 3) [Créditos: Henriques R.]

Os troncos mais resistentes são dispostos na vertical e cravados no solo. Os ramos, mais flexíveis, são colocados na horizontal e entrelaçados nos troncos verticais (Henriques R., fonte oral - Anexo I). Algumas vezes são usadas também folhas de palmeira em vez de ramos de árvores ou arbustos. Segundo Poulson J. (fonte oral - Anexo I) os ramos horizontais podem também ser amarrados ou pregados aos troncos horizontais, principalmente quando estes não são suficientemente flexíveis para serem entrelaçados uns nos outros. Estes pregos são depois tapados com caricas antes da parede ser preenchida. Em alternativa podem ser fixos aos troncos verticais com cordas vegetais (Figura 2.25). Na Figura 2.24 pode-se observar os ramos e troncos constituintes de uma estrutura de madeira antes do preenchimento com terra.



Figura 2.24-Estrutura de madeira para construção de pau-a-pique composta por troncos verticais e ramos horizontais amarrados antes do preenchimento com pedras e argamassa de terra, Luena, Moxico, Angola (caso de estudo 3) [créditos: Henriques, R.]

Depois da estrutura de madeira estar concluída, são colocadas pequenas pedras entre os ramos e em seguida esta é preenchida com argamassa de terra. As pedras entre os ramos de madeira diminuem a quantidade de terra e água utilizada, diminuindo a retração durante a secagem da argamassa de terra, reduzindo a quantidade de fendas e aumentando a durabilidade do edifício (Figura 2.25).

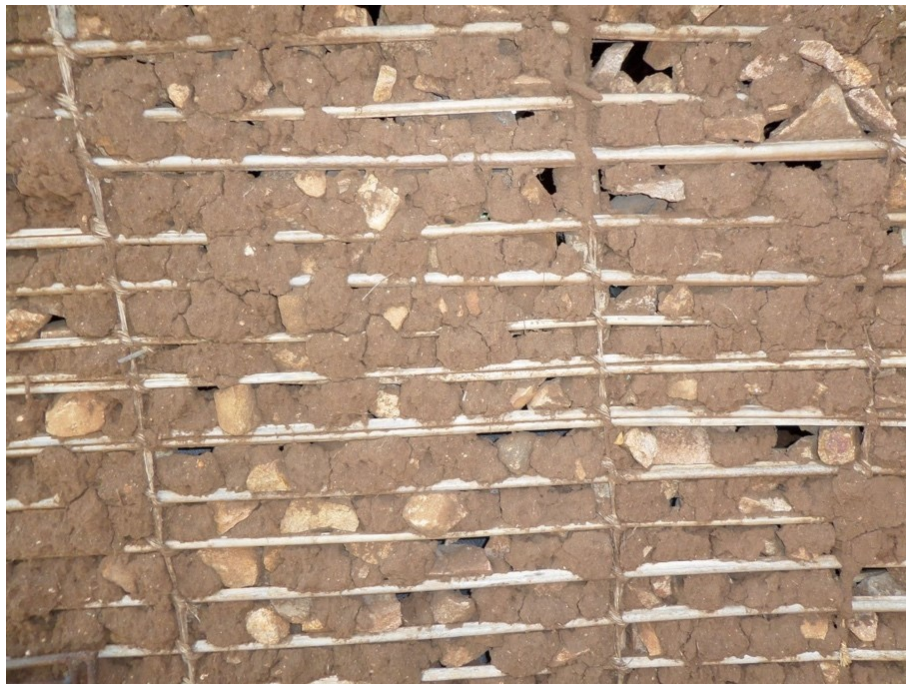


Figura 2.25-Malha estrutural de pau-a-pique com troncos horizontais seguros com cordas, preenchida com pedras pequenas e argamassa de terra , Luena, Moxico, Angola (caso de estudo 3) [créditos: Henriques, R.].

O clima tropical, típico de regiões como o centro e Sul do continente Africano, é caracterizado por períodos de chuva relativamente curtos, embora com grande intensidade. Por esse motivo, durante estes períodos de precipitação intensa, as construções de terra têm de estar preparadas para evitar que a água líquida contribua para a sua degradação, mesmo tendo em conta que estes períodos estejam associados a uma temperatura amena e a água se evapora facilmente. O contacto da estrutura de madeira dos edifícios de pau-a-pique com a água é inevitável, visto que os postes verticais estão embutidos na terra. Por essa razão, segundo Poulson J. (fonte oral - Anexo I), é comum ser cavada uma vala na periferia das paredes e preenchida com pedras de pequenas dimensões, constituindo uma vala de drenagem. Esta vala é posteriormente tapada com terra. Os vazios entre pedras podem prevenir que a água da chuva proveniente da cobertura se aproxime da base das paredes. Tendo em consideração que a vala não está protegida, é possível que a água vá arrastando finos até preencher os vazios do enrocamento que a preenche, o que pode reduzir a eficiência deste mecanismo ao longo do tempo.

De forma análoga às edificações em adobe, atualmente é comum revestir as paredes em pau-a-pique com ligantes hidráulicos, o que pode acelerar a sua degradação a médio e longo prazo (Figura 2.26).

Embora exista alguma dificuldade em evitar que as paredes das edificações em pau-a-pique tenham contacto com a água, segundo Poulson J. (fonte oral - Anexo I), estas têm uma vida útil considerável. No entanto, estas paredes necessitam de algumas pequenas reparações ao longo do tempo.

As plantas deste tipo de construção são por norma retangulares devido à sua estrutura de madeira, embora haja exemplos de pequenas habitações com paredes circulares no exterior (Figura 2.27). Estas paredes com formas circulares só são executáveis devido à flexibilidade dos ramos horizontais pertencentes à malha em madeira.



Figura 2.26-Habitação em pau-a-pique rebocada com argamassa de cimento, Luena, Moxico, Angola (caso de estudo 3) [créditos: Henriques R.].



Figura 2.27-Edificações circulares em pau-a-pique, M'Banza Kongo, Zaire, Angola (caso de estudo 2) [créditos: Henriques R.].

Com o envelhecimento das paredes em pau-a-pique, estas começam a perder material nas camadas exteriores. Dessa forma, começa a ser visível a estrutura de ramos, troncos e as pedras embutidas nas paredes durante a construção (Figura 2.28).



Figura 2.28-Habitação em pau-a-pique, Bengo, Angola (caso de estudo 4) [créditos: Poulson J.].

Como pode ser observado na (Figura 2.29), as primeiras zonas das paredes de pau-a-pique afetadas correspondem à base das paredes, onde a água da chuva incide mais.



Figura 2.29-Habitação em pau-a-pique, Bengo, Angola (Caso de estudo 4) [créditos: Poulson J.].

Na (Figura 2.30) é possível observar-se uma “reparação” de uma habitação em pau-a-pique recorrendo a uma chapa metálica.



Figura 2.30-Habitação em pau-a-pique com proteção/reparação em chapa metálica, Bengo, Angola (Caso de estudo 4) [créditos: Poulson J.].

2.3 Técnicas alternativas - Construção em cob e ReedCob

O cob é uma técnica de construção caracterizada pela execução de paredes monolíticas autoportantes por camadas, constituídas essencialmente por uma argamassa de terra e fibras vegetais que vai sendo empilhada (Quagliarini et al., 2018). Estes materiais formam uma argamassa depois de misturados com água, que vai sendo colocada no estado plástico por níveis até se atingir a altura desejada, sem necessidade de recurso obrigatório a qualquer tipo de cofragem (Harmad et al., 2016). Por vezes utilizam-se prumos laterais que funcionam como guias para o alinhamento e verticalidade das paredes. As superfícies das paredes podem ser “cortadas” na vertical para obtenção de planeza. Esta tipologia construtiva constitui uma boa alternativa à taipa e ao adobe em certas regiões. É estimado que existam atualmente cerca de 200.000 edificações em cob localizadas no território europeu (Harmad et al., 2016). Embora não exista termo específico em português, geralmente designa-se esta técnica construtiva como terra empilhada.

O procedimento para a construção em cob começa pela identificação da fonte de matéria-prima (terra e fibras) e sua extração ou corte, que normalmente ocorre num local próximo à construção. A matéria-prima tem depois de ser misturada e preparada antes de ser colocada na construção, seguindo-se a secagem da parede (Harmad et al., 2016).

A aplicação da mistura de terra no estado plástico faz com que esta esteja bastante moldável mas, em contrapartida, a resistência do material aplicado neste estado é baixa. Por essa razão, a velocidade de execução das paredes depende muito da capacidade de secagem e endurecimento da argamassa de terra e fibras. Durante a construção em cob as novas camadas de argamassa só podem ser sobrepostas às anteriores quando estas apresentarem o mínimo de resistência mecânica, de forma a que suportem o peso da camada adicionada. Segundo Niroumand et al. (2013) as fibras ajudam a conter a argamassa de terra na forma desejada durante a secagem.

A grande vantagem do cob em relação às outras técnicas de construção com terra anteriormente referidas é a capacidade de se construir sem a necessidade de qualquer equipamento específico (como cofragem, moldes, compactador) e mão de obra especializada, embora, segundo Niroumand et al. (2013), existem ferramentas específicas deste tipo de construção que podem facilitar o processo. Os intervenientes na construção têm somente de ser orientados por um elemento com experiência e conhecimento suficiente sobre a esta tipologia construtiva (Harmad et al., 2016). Este conhecimento pode resumir-se principalmente à seleção da matéria-prima e ao doseamento da quantidade e tipo de fibras e água necessária. É também importante garantir que os elementos edificados atinjam boas resistências e, quando a argamassa de terra não é estabilizada com ligante, fiquem protegidos do contato direto com a água. Na Figura 2.31 observam-se plásticos a proteger da água da chuva troços de paredes de cob.



Figura 2.31-Parede de cob ainda em construção, sendo possível reconhecer as várias camadas e a proteção à água de troços a secarem [w8].

Segundo Harmad et al. (2016) a terra ideal para a edificação em cob é a argila ou um silte argiloso, embora a areia siltosa e cascalho sejam o “esqueleto granular” final do material, conferindo à parede resistência mecânica. A argila assume o papel de ligante dos elementos granulares de maior granulometria (Watson et al., 2011). Pelo motivo anteriormente descrito, se a mistura utilizada na construção tiver escassez de argila, o material desintegra-se. Em contrapartida, o excesso de argila aumenta a retração, e por sua vez a microfissuração. Harmad et al. (2016) afirma que uma granulometria extensa diminui o volume de poros e, por esse motivo, ajuda a densificar o material, aumentando a resistência mecânica. Segundo Watson et al. (2011) a constituição ideal de uma argamassa de terra para uma construção em cob é de 30% a 40% de gravilha, 25% a 30% de areia, 10% a 20% de silte e 10% a 25% de argila.

A construção em cob está normalmente associada à adição de fibras naturais, sendo que a mais comum é a palha por ser um resíduo do sector agrícola. A função das fibras é facilitar a mistura, ajudar no manuseamento do material durante a modelagem, acelerar o tempo de secagem e aumentar a coesão e resistência aos agentes atmosféricos (Harmad et al., 2016). Segundo Watson et al. (2011) as fibras controlam a fendilhação na secagem e aumentam a resistência térmica das paredes. Na Figura 2.32 é apresentada uma construção em cob.

Segundo Morris (1992), as fibras ajudam a distribuir as fendas por retração por toda a massa da parede e evitar falhas estruturais. O mesmo autor afirma também que as fibras aumentam a resistência ao corte. Embora a resistência à tração da terra seja bastante reduzida, a das fibras é bastante superior. Por esse motivo, as fibras podem ajudar a parede a resistir à força de abertura de uma fenda (à tração), desde que estas estejam fixas por atrito ao longo do resto do seu comprimento. Segundo Morris (1992), para o cob deve-se adicionar 25 kg de fibras para cada metro cúbico de terra, o que dá um rácio aproximado de 2% de fibras em massa.



Figura 2.32- Construção de uma cobertura de edifício com paredes de cob [w9].

Para além da estabilização física recorrendo a fibras, a terra desta técnica construtiva pode ser estabilizada com um ligante como a cal aérea, embora seja um procedimento mais raro. As principais vantagens da estabilização com ligantes é a obtenção de um endurecimento mais rápido, o que acelera a construção pela obtenção mais rápida de resistência mecânica e, principalmente, a durabilidade face à água líquida. Quanto menos tempo cada camada erguida demorar a atingir uma resistência mínima, mais cedo uma nova camada pode ser sobreposta. Em contrapartida, a estabilização química com cal aumenta a energia incorporada da construção e pode, mais tarde, ser um impedimento para a reutilização direta do material, que é um dos aspetos mais importantes da construção em terra em geral.

Num estudo com o objetivo de caracterizar as propriedades mecânicas do cob, Vincelas et al. (2018) avaliaram a resistência à compressão uniaxial, retração, módulo de elasticidade e distribuição do tamanho de poros usando quatro muretes de $0,6 \times 0,6 \times 0,3 \text{ m}^3$, provetes cilíndricos com um diâmetro de $0,16 \text{ m}$ e $0,32 \text{ m}$ de altura e outros provetes com $0,15 \text{ m}$ de diâmetro e $0,3 \text{ m}$ de altura. Estes muretes e provetes foram curados em laboratório a 40°C ou em condições naturais entre 15°C a 30°C .

Com o intuito caracterizar o cob à escala real, Quagliarini et al. (2018) determinaram a resistência à compressão uniaxial, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson de quatro muretes com dimensões médias de $0,93 \times 0,31 \times 0,456 \text{ m}^3$ executados em laboratório. Os muretes permaneceram em cura durante dois anos em laboratório antes de serem ensaiados e foram protegidos com plásticos para reduzir o efeito da retração.

Numa colaboração entre a Fradical, o CasStudio e a FCT NOVA, em 2014 foi desenvolvida uma tecnologia construtiva para paredes monolíticas com base em terra, cal aérea, fibras de canas e canas, que se designou por ReedCob (Carneiro et al. 2017; Harnad et al., 2016; Val, 2015).

O ReedCob, uma variante aligeirada do Cob, consiste em intercalar camadas de argamassa com base em terra (estabilizada com cal aérea e fibras vegetais) com camadas de canas dispostas em planos horizontais. A argamassa com base em terra envolve as canas e fica à vista na parede (Figura 2.33). As canas podem conferir

alguma resistência inicial à parede, enquanto a argamassas de terra, cal e fibras que as envolve está a secar (e a carbonatar), o que possibilita diminuir o intervalo de tempo entre a execução das várias camadas da parede.



Figura 2.33-Parede de ReedCob da célula durante a construção em que são visíveis as canas e a argamassa com fibras (Carneiro et al. 2017).

Esta foi a técnica utilizada para a construção de um murete experimental construído (e entretanto demolido) nas instalações da Fradical, de um pequeno edifício experimental (protótipo) que se vai designar a partir daqui como célula (Figura 2.34), e de seis muretes de dimensão $0,5 \times 0,5 \times 0,2 \text{ m}^3$, três deles reproduzindo a parede do murete e outros três as paredes da célula.

Os seis muretes e a célula, construídos em 2014, foram os objetos de estudo experimental desta dissertação. Para a execução dos muretes e da célula foram utilizadas duas argamassas diferentes. Metade destes muretes e a célula foram construídos com uma argamassa com terra escavada no campus da FCT NOVA (zona da Estação de Exposição Natural de Alvenarias e Revestimentos, nas traseiras do Edifício IX), e um areão, que será designada de argamassa T1; os outros três muretes foram executados com uma argamassa com terra escavada nas imediações da Fradical (Charneca da Caparica), que será referenciada por argamassa T2 (Val et al., 2015).



Figura 2.34-Célula em ReedCob localizada no campus FCT NOVA.

Para além dos seis muretes referidos e da célula, foram anteriormente também realizados e ensaiados provetes menores, de diversas dimensões e constituições: cilíndricos com diâmetro de 9 cm e 2 cm de altura (incluindo fibras ou não mas sempre sem canas), prismáticos com dimensões 3 x 10 x 20 cm³ (sempre com fibras, não incluindo canas), prismáticos com 4 x 4 x 16 cm³ (constituídos por uma argamassa com e sem fibras mas sempre sem canas), prismáticos com 10 x 10 x 20 cm³ (sempre com fibras incorporadas, incluindo ou não canas) e provetes cúbicos de 15 cm de aresta (com argamassa com fibras e contendo ou não canas).

Os provetes de menores dimensões foram caracterizados no âmbito duma dissertação de mestrado anterior (Val, 2015; Val et al. 2015), enquanto os muretes de maior dimensão (0,5 x 0,5 x 0,2 m³) foram deixados em cura no laboratório do DEC.

Apresentam-se nas Tabelas 2.1 e 2.2 os resultados da caracterização dos provetes de pequenas dimensões produzidos com as argamassas T1 e T2, utilizadas para a realização, respetivamente, da célula e de três muretes de maiores dimensões, e do murete da Fradical e de outros três muretes de maiores dimensões. Os resultados dos ensaios à compressão da caracterização realizados por Val (2015) vão ser comparados aos valores obtidos nos ensaios à compressão uniaxial analisados no próximo capítulo desta dissertação.

Tabela 2.1-*Caracterização de provetes ReedCob construídos com a argamassa T1 (FCT NOVA) (Val, 2015).*

Valores médios de T1 (FCT-UNL)			
	Massa volúmica [kg/m ³]	Resistência térmica [m ² .K/W]	Resistência compressão [MPa]
Provetes com fibras sem canas	1509	-	0,36
Provetes com fibras e com canas	1133	0,76	0,37

Tabela 2.2-*Caracterização de provetes ReedCob construídos com a argamassa T2 (Fradical) (Val, 2015).*

Valores médios de T2 (Fradical)			
	Massa volúmica [kg/m ³]	Resistência térmica [m ² .K/W]	Resistência compressão [MPa]
Provetes com fibras sem canas	1346	-	0,28
Provetes com fibras e com canas	957	1,33	0,24

A célula localiza-se num terreno adjacente ao parque de estacionamento da FCT NOVA e foi construída em 2014 numa colaboração entre a Professora Paulina Faria, os Arquitetos Paulo Carneiro e Alina Jerónimo e um grupo de três alunos do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, com o apoio da Fradical que forneceu todos os materiais (exceto a terra local) e disponibilizou grande parte dos equipamentos. A planta e corte da célula em estudo estão apresentados na Figura 2.35 (Carneiro et al., 2016).

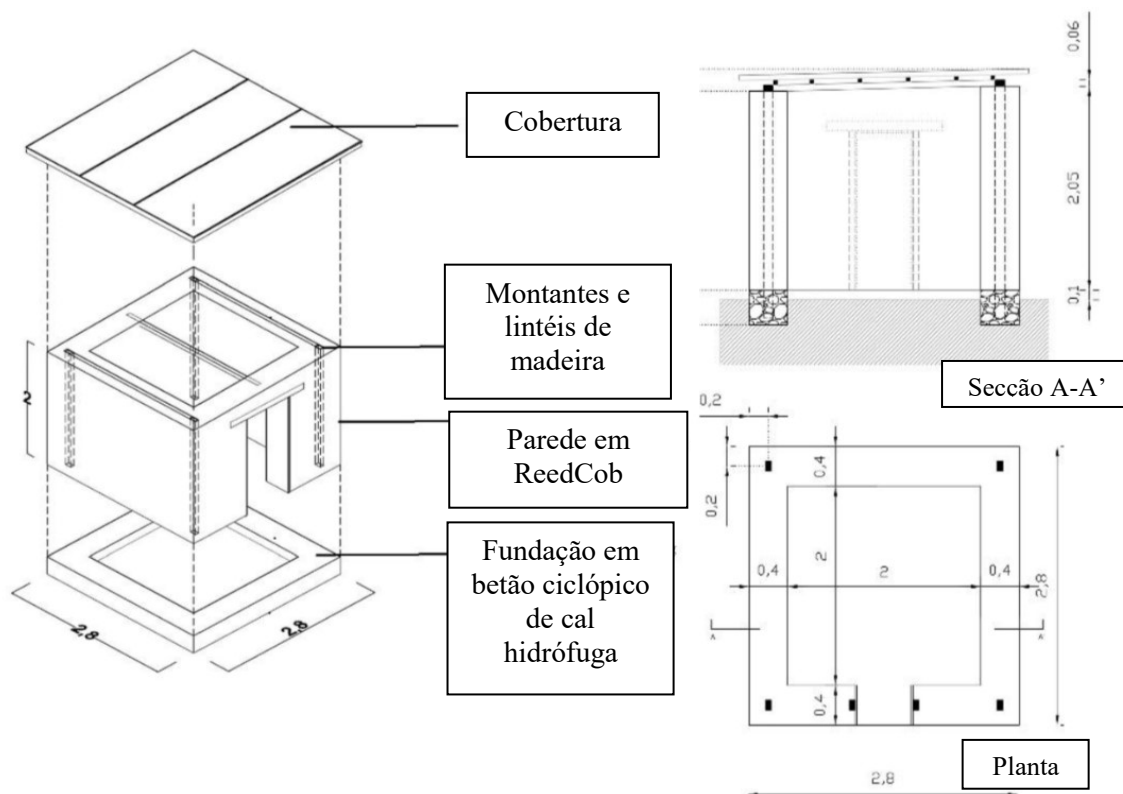


Figura 2.35– Vista 3D, planta e corte do projeto da célula ReedCob (adaptado de Carneiro et al., 2017).

Em primeiro lugar foi realizado uma escavação para a execução de uma pequena fundação contínua, com a espessura das futuras paredes. Essa escavação foi preenchida com pedras de grande dimensão e estas foram colmatadas por um betão de cal aérea hidrofugada, constituindo um betão ciclópico. Infelizmente a fundação não se prolongou muito para cima do nível do terreno. Antes da aplicação deste betão ciclópico foram colocados, para posteriormente ficarem encastrados no betão e no interior das paredes a executar, seis prumos de madeira, um em cada esquina da planta quadrangular (segundo o eixo das futuras paredes) e outros dois adjacentes às ombreiras da futura porta a colocar na célula (Figura 2.36).



Figura 2.36-Prumos de madeira encastrados na fundação das paredes da célula em betão ciclópico (Carneiro et al., 2017).

Nas laterais da fundação foram fixados no solo dois prumos (pelo exterior e pelo interior) perto das extremidades de cada uma das quatro paredes a servir de guia durante a construção (Carneiro et al. 2017). Estes prumos laterais foram removidos ao finalizar-se a construção das paredes (Faria, 2018).

Em seguida as paredes com dois metros de altura da célula foram erguidas, intercalando camadas de canas no sentido longitudinal e a argamassas com base em terra estabilizada com cal aérea não hidrofugada comercializada pela Fradical.

Em alguns níveis das paredes foram utilizadas cordas naturais para amarrar as canas aos prumos de madeira de contraventamento interior das paredes, nas esquinas. A superfície das paredes não foi “cortada” para obtenção de planeza; foi deixada tal qual como resultou da execução sem cofragem. Quando se retiraram os prumos para os alinhamentos laterais, apenas as áreas de contacto resultaram lisas; todas as restantes ficaram bastante rugosas.

Para conferir contraventamento foram dispostas pequenas vigas de madeira sobre o topo das paredes das fachadas Norte e Sul, fixadas aos prumos verticais de contraventamento interiores às paredes. Essas vigas serviram também para apoio da cobertura. A cobertura é inclinada e composta por uma placa metálica e uma camada de 10 cm de poliestireno expandido moldado (EPS) que apoia sobre estas vigas.

Foi colocada uma porta de madeira na fachada Este da célula. As fachadas Norte e Este foram deixadas sem qualquer revestimento superficial; nas fachadas Sul e Oeste foi aplicada uma caição por aspersão. Não foi aplicado qualquer revestimento pelo interior, exceto no pavimento onde foi aplicada uma betonilha de cal aérea hidrofugada, semelhante à utilizada para o betão ciclópico.

Embora o autor da presente dissertação não tenha estado presente na execução da célula e dos muretes em 2014, participou ativamente em dois workshops realizados na FCT NOVA em Junho e Julho de 2018 para adquirir experiência na execução da técnica construtiva.

3. CARACTERIZAÇÃO DO REEDCOB

3.1 Materiais e muretes

Nesta dissertação complementou-se a caracterização previamente realizada à tecnologia construtiva ReedCob (Vale et al. 2015; Carneiro et al. 2017) com a caracterização realizada *in situ* na célula construída em 2014 na Estação Experimental de Alvenarias e Revestimentos do DEC, FCT NOVA, e com caracterização laboratorial dos seis muretes referidos anteriormente: três com constituição e quantidade de canas semelhante às paredes da célula anteriormente descrita e outros três variando apenas um pouco na composição da matriz de terra, cal e fibras de canas.

Para a execução, em 2014, dos três muretes reproduzindo a célula foi usada uma terra da FCT NOVA (argamassa T1 – muretes M1, M2 e M3) e os restantes três muretes foram executados com terra retirada de um terreno adjacente à Fradical, na Charneca da Caparica (argamassa T2) – muretes M4, M5 e M6. Em todos se utilizou o mesmo areão (argamassa T1), a mesma cal aérea, tipo de fibras e canas.

Os muretes, com dimensão 0,5 x 0,5 x 0,2 m³, foram executados reproduzindo a execução da célula e do murete e deixados em cura em laboratório do DEC por mais de 3 anos (Figura 3.1).



Figura 3.1-Muretes realizados com as argamassas T1 (os três à esquerda) e T2 (os três à direita).

A Tabela 3.1 apresenta os traços em volume das argamassas com base em terra T1 e T2.

Tabela 3.1-Traços volumétricos da argamassa T1 constituinte dos muretes M1, M2 e M3, e da argamassa T2 constituinte dos muretes M4, M5 e M6 (Val, 2015).

Argamassa	Terra	Areão	Cal em pasta	Pozolana	Fibras	Secante
T1 (FCT)	1	1	0,175	0,125	2	-
T2 (Fradical)	1	0	0,09	0,06	1	0,05

Segundo a análise granulométrica a seco de Val (2015) (Figura 3.2) das duas terras usadas para constituir as duas argamassas, a terra utilizada para a argamassa T1 tem 62% de partículas passadas no peneiro 80 e cerca de 23% de partículas passadas no peneiro 200. Por outro lado, a terra utilizada em T2 tem 25% de partículas

passadas no peneiro 80 e só 6% das mesmas passaram o peneiro 200. Embora a argamassa T1 tenha a mesma quantidade da terra e de areão (Tabela 3.1), esta tem maior percentagem partículas finas que a argamassa T2 (que não possui areão).

Segundo Val (2015), a terra utilizada para a argamassa T2 tem 37% de partículas retidas no peneiro 80, o que demonstra uma grande quantidade de partículas de média dimensão (entre 0,25 e 0,177 milímetros).

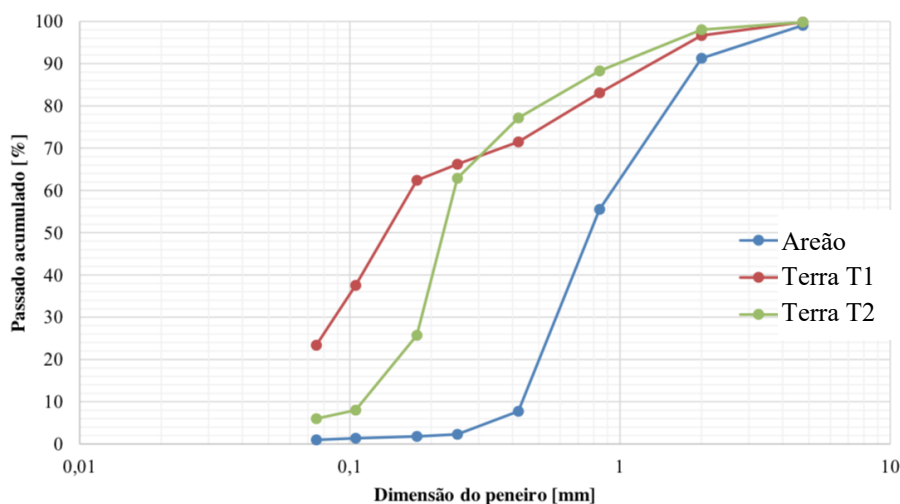


Figura 3.2-Curva granulométrica das terras utilizadas para as argamassas T1, T2 e do areão utilizado para a argamassa T1. (Val, 2015).

3.2 Procedimentos

3.2.1 Ensaios *in situ* - realizados na célula

Nesta fase de caracterização do ReedCob foi realizada uma inspeção visual e foram também realizados os ensaios de resistência ao impacto da esfera, dureza superficial e absorção de água sob baixa pressão através de tubos de Karsten nas paredes da célula.

3.2.1.1 Inspeção visual

Com o intuito de avaliar o estado de conservação e a durabilidade da célula após 3 anos em exposição natural, esta foi observada visualmente, fachada por fachada, desde a base até ao topo das paredes, pelo exterior e pelo interior. Esta avaliação visual permitiu também verificar a existência de alguma possível anomalia presente nas paredes da célula.

3.2.1.2 Resistência ao impacto da esfera

Com o intuito de avaliar a resistência superficial das 4 fachadas expostas, o ensaio ao impacto da esfera foi executado recorrendo ao aparelho *Martinet Baronnie* (Figura 3.3). Este ensaio foi também realizado pelo interior das paredes. O resultado final é expresso pela medição do diâmetro da concavidade deixada pelo impacto equivalente a 3 Joules da esfera de aço do aparelho com 50 milímetros de diâmetro (Veiga et al., 2004). De uma forma simplificada, pode-se afirmar que quanto maior for este diâmetro, menor será a resistência da superfície ensaiada. Paralelamente, se não ocorrer fissuração devida ao impacto, em redor da concavidade, maior será a deformabilidade da superfície. A comparação dos diâmetros obtidos nas diferentes fachadas e níveis em altura

podem permitir avaliar o estado de conservação superficial interna e externa das paredes da célula estudada nesta dissertação.

A energia de impacto é de aproximadamente 3 joules, calculada segundo a equação (3.1).

$$E_{imp} = m \times h \times g \quad (3.1)$$

m- massa da esfera [0,5 kg]

h- altura da queda da esfera metálica [0,6 m]

g- aceleração da gravidade [9,8 m/s²]

Para a execução do ensaio:

- os pontos a ensaiar são identificados;
- a esfera e o respetivo braço são encostados ao “corpo principal” do aparelho, colocado na perpendicular à parede;
- depois de garantida a horizontalidade do aparelho *Martinet Baronnie*, a esfera é deixada cair livre contra a superfície a ensaiar;
- o diâmetro da concavidade deixado pelo impacto da esfera é medido recorrendo a uma régua graduada;
- o procedimento é repetido para os pontos restantes.

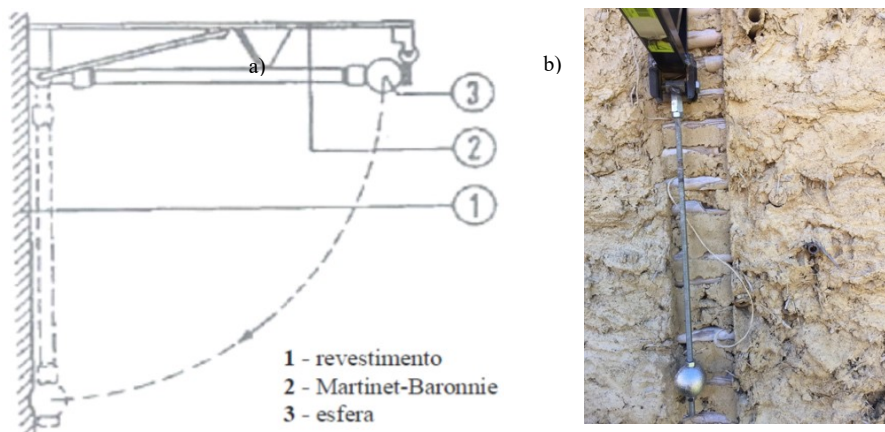


Figura 3.3-Esquema do equipamento Martinet Baronnie [fonte: Lino, 2013] a); Exemplo da realização do ensaio em área da célula onde tinha estado um prumo de alinhamento vertical b).

3.2.1.3 Dureza superficial

O ensaio de dureza superficial foi executado *in situ* utilizando o esclerómetro pendular Schimdt (Figura 3.4). Este aparelho permite avaliar a dureza superficial de paredes ou provetes baseando-se no ressalto da massa pendular do aparelho. O pêndulo deste aparelho bloqueia na posição máxima depois do ressalto, permitindo assim a leitura do valor em graus Vickers. Neste caso específico, os vários valores retirados do impacto do esclerómetro nas superfícies exteriores e interiores da célula em estudo permitem a comparação do estado de conservação das quatro fachadas da célula, que durante os 3 anos de existência tiveram diferentes exposições. De forma análoga ao ensaio de impacto da esfera, este ensaio permite avaliar a variação de dureza superficial em várias alturas de cada parede. Para este efeito, foram registados os valores deste ensaio pelas paredes exteriores e interiores.



Figura 3.4-Realização do ensaio de dureza superficial utilizando o esclerómetro pendular.

Para a realização do ensaio:

- são identificados os vários pontos a ensaiar;
- posiciona-se esclerómetro garantindo a sua verticalidade;
- o gatilho do esclerómetro é pressionado, libertando a massa pendular;
- o pêndulo embate contra a parede e ressalta, ficando bloqueado na sua posição máxima;
- o valor do ressalto da massa pendular é registado, assim como as coordenadas do ponto ensaiado.

3.2.1.4 Absorção de água sob baixa pressão através de tubos de Karsten

O ensaio de absorção de água sob baixa pressão recorrendo a tubos de Karsten permite avaliar a permeabilidade da parede, através da absorção superficial de água líquida em determinadas zonas (Veiga et al.,2004). O ensaio foi executado colando vários tubos graduados nas zonas pretendidas com plasticina resistente à água (Figura 3.5). Estes tubos são cheios com água e é medida a quantidade de água absorvida pela parede num determinado período de tempo. O coeficiente de absorção [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$] foi calculado de acordo com a equação (3.2) (LNEC FE Pa 39.1, 2002):

$$\text{Coeficiente de absorção} = \frac{X \times 10^{-3}}{d^2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{t}} \quad (3.2)$$

X – Quantidade de água absorvida [ml];

d – Diâmetro da superfície em se dá a absorção da água [mm];

t – Período de tempo após o qual se procede à leitura [min].



Figura 3.5- Realização do ensaio à absorção de água sob baixa pressão através de tubos de Karsten.

Para a realização do ensaio procede-se a:

- escolha do ponto a medir;
- colagem e vedação da secção exterior do tubo de Karsten com plasticina na parede;
- enchimento do tubo de Karsten até 4 ml;
- registo do tempo de absorção a cada 1 ml e das coordenadas do ponto ensaiado na fachada;

3.2.2 Ensaio de compressão uniaxial

A grande variedade da composição dos solos e dos procedimentos de construção com terra implica não só uma caracterização mecânica a uma pequena escala, mas também a uma escala próxima da real. A realização de ensaios a uma escala próxima da real permite a observação de fenómenos que de outra forma eram difíceis de detetar e também uma caracterização mecânica mais adequada destes materiais.

Nas paredes em ReedCob, para além de ser importante estudar os mecanismos de reação aos elementos atmosféricos (à água principalmente) é também crucial determinar a sua resistência à compressão, tendo em conta que é uma das características mais importantes das paredes autoportantes.

Os ensaios à compressão uniaxial foram realizados num pórtico existente no Laboratório de Estruturas Pesadas do Departamento de Engenharia Civil da FCT NOVA, constituído por uma base em betão armado e uma viga metálica superior apoiada em dois perfis metálicos, fixos à laje do laboratório através de dois varões Dywidag. Para a aplicação da força axial nos muretes foi utilizado um cilindro hidráulico fixo na viga superior metálica com recurso a varões roscados em aço inoxidável (Figura 3.6).

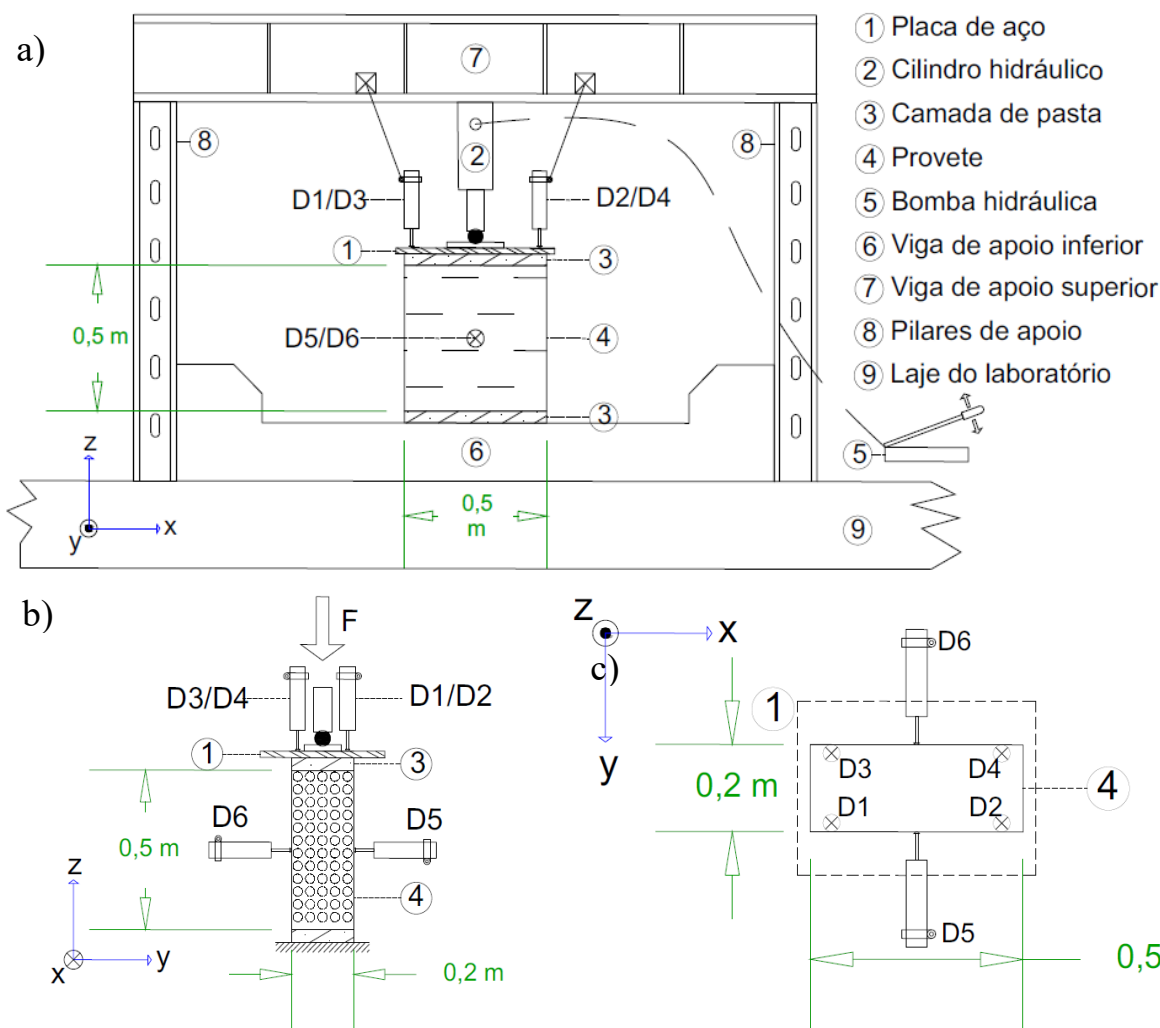


Figura 3.6- Esquema frontal dos ensaios à compressão uniaxial em que D1, D2, D3 e D4 representam os transdutores para a medição dos deslocamentos axiais, e D6 e D7 representam os transdutores para a medição dos deslocamentos laterais. a); Esquema com vista lateral dos ensaios de compressão uniaxial. b) Planta dos ensaios à compressão uniaxial c).

A força aplicada pelo cilindro hidráulico é transferida para o murete através de uma esfera de aço metálica e placas de aço. A esfera metálica permite que a carga seja aplicada pelo cilindro hidráulico de forma axial ao murete e as placas de aço fazem com que a carga concentrada fique uniformemente distribuída no topo do provete. Por cima do murete foi colocada uma chapa de aço em toda a sua secção transversal de 0,2 x 0,5 metros e por cima desta uma placa de aço com uma abertura circular para assentar a esfera. Além disso, para permitir uma aplicação uniforme da carga axial aos muretes foi necessário regularizar os topos dos muretes com uma pasta de gesso. Como medida de segurança para evitar que a instrumentação e as placas de aço caíssem no instante da rotura foram colados dois perfis de alumínio auxiliares ligados à viga superior do pórtico com recurso a fios de aço.

A força aplicada em cada murete foi medida através de uma célula de carga de 50kN da TML (CLC-50KNA), posicionada entre o cilindro hidráulico e a esfera de aço (Figura 3.7). Os deslocamentos axiais e transversais aos muretes foram medidos através de transdutores de deslocamentos CDP100 da TML com capacidade para medirem até 100 mm (Figuras 3.6 e 3.7).

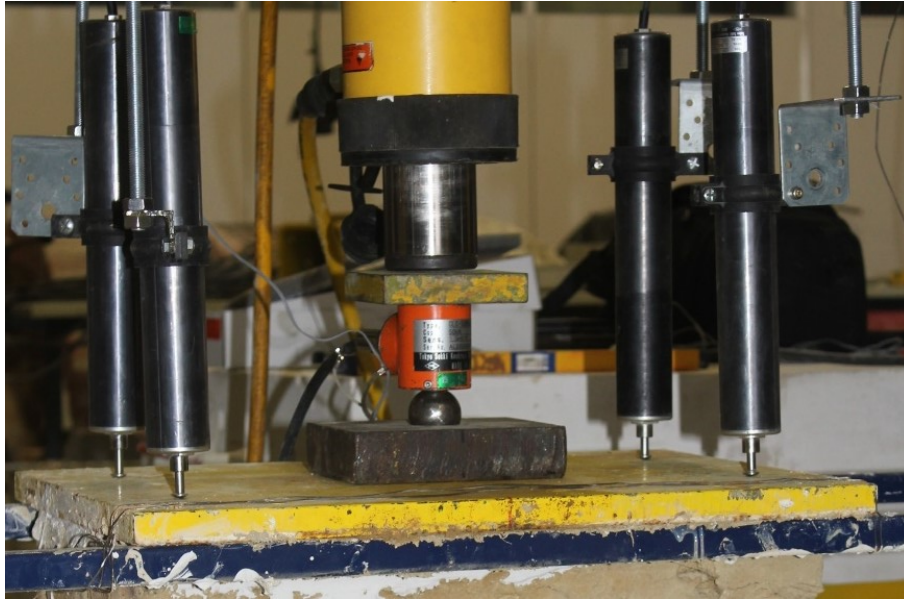


Figura 3.7- Pormenor da célula de carga de 50 kN (a laranja), do cilindro hidráulico (a amarelo) e dos quatro transdutores de deslocamentos verticais (a preto) durante o ensaio do murete M3.



Figura 3.8- Pormenor de um dos transdutores horizontais para medição dos deslocamentos laterais.

Na Figura 3.6 apresenta-se em forma de esquema a vista lateral e a planta dos ensaios de compressão uniaxial, com a indicação da localização dos transdutores de deslocamentos verticais D1, D2, D3 e D4 destinados a medir os deslocamentos axiais e os transdutores de deslocamentos horizontais D5 e D6 destinados a medir os deslocamentos laterais dos muretes durante os ensaios.

Os seis transdutores de deslocamentos e a célula de carga foram ligados a um datalogger Spider 8 da HBM e os seus valores foram registados num computador com recurso ao software *Catman*. Este software permitiu o registo dos quatro deslocamentos axiais, dois deslocamentos laterais e da força aplicada a cada provete. Com esse registo foi possível calcular a tensão instalada em cada murete (MPa) ao longo do ensaio, dividindo a força aplicada (F , em N) pela área média (A , em mm^2) de cada provete.

A extensão axial (em percentagem) foi calculada dividindo a média dos deslocamentos axiais ($d1$, $d2$, $d3$ e $d4$) pelo comprimento médio das arestas verticais dos muretes ($h1$, $h2$, $h3$ e $h4$), de acordo com a expressão (3.3).

$$\varepsilon_c = \frac{\left(\frac{d1+d2+d3+d4}{4}\right)}{\left(\frac{h1+h2+h3+h4}{4}\right)} \quad (3.3)$$

A extensão lateral (em percentagem) foi calculada dividindo a média dos deslocamentos laterais ($d5$ e $d6$) pela espessura média dos muretes ($e1$, $e2$ e $e3$), de acordo com a expressão (3.4).

$$\varepsilon_L = \frac{\left(\frac{d5+d6}{2}\right)}{\left(\frac{e1+e2+e3}{3}\right)} \quad (3.4)$$

A dilatação dos muretes foi obtida dividindo, em cada medição, a extensão lateral pela extensão axial de cada murete ocorrida durante o ensaio (expressão 3.5)

$$Dilatância = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_c} \quad (3.5)$$

A extensão volumétrica (em percentagem) foi calculada somando os valores da extensão axial ao dobro da média da extensão lateral, de acordo com a expressão (3.6).

$$\varepsilon_v = \varepsilon_c + 2 \times \varepsilon_L \quad (3.6)$$

Foi também calculado o coeficiente de *Poisson* inicial (entre 0 e 0,02 MPa) e após fendilhação (entre 20% e 40% da tensão de rotura) para cada provete. Estes valores foram obtidos dividindo o declive da curva tensão-extensão axial pelo declive da curva tensão-extensão lateral entre 0 e 0,02 MPa e entre 20% e 40% da tensão de rotura, respetivamente.

Na Figura 3.9 pode-se observar uma vista geral do sistema de ensaio do murete M6 antes do ensaio de compressão uniaxial. As escorrências de cor branca correspondem a pasta de gesso aplicada no topo e na base do provete.

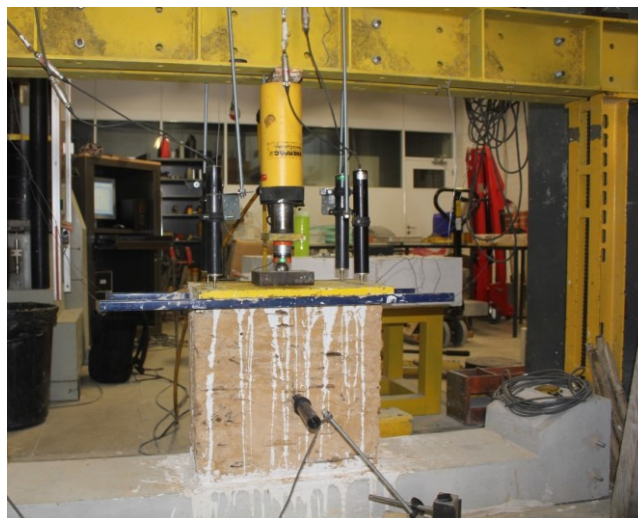


Figura 3.9- Vista geral do sistema de ensaio do murete M6 antes do ensaio de compressão uniaxial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaios *in situ* -realizados na célula

4.1.1 Inspeção visual

A observação visual das paredes da célula após 3 anos em exposição natural possibilitou registrar que existem poucas alterações significativas, o que comprova a durabilidade da solução construtiva. Em contrapartida, durante o tempo de exposição ocorreram alguns fenômenos que contribuíram para uma ligeira degradação das camadas superficiais exteriores e interiores das paredes em ReedCob.

Como anteriormente referido, a célula tem as duas fachadas Sul e Oeste caiadas, enquanto que as outras duas foram propositadamente deixadas sem qualquer proteção. Como se pode notar nas Figuras 4.1 e 4.2 as fachadas Sul e Oeste têm bastantes destacamentos.



Figura 4.1-Fachada Sul da célula em ReedCob (com superfície da base descolada).



Figura 4.2-Fachada Oeste da célula em ReedCob em que se pode identificar uma mancha acastanhada bem definida na sua base.

Para além dos vários destacamentos localizados, estas fachadas apresentam manchas acastanhadas nas zonas inferiores (principalmente na fachada oeste), o que pode estar relacionado com a zona de secagem da água nas paredes (Figura 4.3)

As fachadas Este e Norte têm uma exposição à radiação solar mais reduzida em relação às outras duas. Embora os destacamentos nestas fachadas (Este e Norte) não sejam facilmente visíveis, pelo facto de não serem caiadas, a observação ao pormenor permite afirmar estas apresentam um bom estado de conservação (Figuras 4.3 e 4.4).



Figura 4.3-Fachada Este, onde se localiza a porta de entrada na célula.



Figura 4.4-Aparência da fachada norte da célula em estudo.

Embora a célula estudada tenha uma fundação em betão ciclópico de cal aérea hidrofugada, há fortes indícios de que a proveniência da água não seja somente da chuva, mas também da ascensão capilar da água do solo. Para além dos danos possivelmente causados pelas águas da chuva e da ascensão capilar, as paredes com terra constituem uma região propícia para o abrigo de alguns insetos e répteis (Figura 4.5). Os abrigos “escavados” por estes seres criam regiões ocas no interior das paredes, o que acelera a sua degradação.



Figura 4.5-Alguns insetos e répteis abrigados dentro das paredes da célula em estudo.

É necessário também ter em conta que, para além dos fatores atmosféricos, a água da chuva, da radiação solar e dos abrigos criados por pequenos seres, estas paredes já foram várias vezes ensaiadas na sua superfície ao impacto da esfera e com o esclerómetro. Estes ensaios mecânicos contribuem para a degradação superficial deste tipo de paredes. Na Figura 4.6 apresenta-se um pormenor de um descolamento na camada superficial da fachada sul e um destacamento causado pelo impacto da esfera.



Figura 4.6-Camada superficial descolada da fachada Sul a); Destacamento pontual causado por pelo impacto da esfera durante o ensaio b).

A observação do interior das paredes da célula permite verificar que estas se encontram melhor conservadas no interior em relação ao exterior. Por outro lado, o interior das paredes Norte e Oeste apresentam-se num estado de conservação pior que o interior das outras duas paredes. Como é notório nas Figuras 4.7 e 4.8 o interior das paredes Sul e Este encontram-se em bom estado.



Figura 4.7-Parede interior sul em bom estado de conservação.



Figura 4.8-Canto interior da célula entre as paredes Norte e Este.

Em contrapartida, o interior das paredes Norte e Oeste apresentam uma faixa mais escurecida na sua base. Esta mancha sugere a constante presença de água nesta região, sendo que, a zona mais afetada é o canto entre as duas paredes. Na Figura 4.9 estão representadas as superfícies interiores das paredes Norte e Oeste.



Figura 4.9-Mancha de humidade pertencente interior das paredes Oeste e Norte.

Mesmo tendo em conta que, a fundação da célula em estudo é uma laje de betão ciclópico de cal aérea hidrofugada, não existe um corte hídrico individualizado. Desse modo, a provável origem da água nas paredes pode ser a ascensão capilar da água do terreno para a fundação, e desta para as paredes (principalmente durante a estação de Inverno).

O fenómeno de ascensão capilar ocorre até existir um equilíbrio entre a capilaridade do material e a sua capacidade de secagem, e esta secagem ocorre na superfície mais seca da parede. O lado mais seco da parede é o lado de dentro quando estas não recebem radiação solar, pois a humidade relativa exterior é normalmente superior à interior, tendo em conta que não há produção de vapor de água no interior.

Em contrapartida, no caso das paredes que recebem radiação solar, o lado mais seco é o lado de fora durante o dia, visto que, o aumento da temperatura baixa a densidade do ar, e por esse motivo, promove uma diminuição da humidade relativa.

Considerando que a fachada Sul tem incidência solar, o mais provável é a secagem ocorrer preferencialmente para o lado de fora desta parede. Em contrapartida, a parede virada a Norte não recebe radiação solar durante o dia, pelo que a face menos húmida da parede é a interior, o que leva a que o material desta zona da base da parede tenha menos resistência e se desagregue durante o impacto da esfera. A fachada Este também apresenta uma mancha escura na base pelo interior que indica a presença de alguma humidade, mas existiu bastante dificuldade em medir os diâmetros dos ensaios pela rugosidade nesta região.

A parede orientada a Oeste tem as duas superfícies (interior e exterior) descoladas, com pouca resistência superficial, o que indica que, a secagem da água ocorre nas duas faces da parede. Este facto sugere que, o lado mais seco da parede alterna durante o dia, o que é provável pois a fachada Oeste só recebe radiação solar direta ao final da tarde. Por essa razão, a humidade da parede dissipa-se para o interior no início do dia, e para o exterior no final do dia.

Caso a ascensão capilar fosse a única fonte de água na parede, o nível atingido pela água no interior deveria ser maior do que no exterior, visto que, o equilíbrio entre a capilaridade e a capacidade de secagem do material ocorre antes pelo exterior, pois a capacidade de secagem no exterior é superior em relação ao interior.

O facto de as faixas descoladas no exterior das paredes serem superiores às faixas interiores, indica que a precipitação tem um papel preponderante na presença de água na parede, sendo mais incidente nas zonas mais baixas, pois estas estão menos protegidas pela cobertura.

A presença de água líquida nas paredes de ReedCob pode causar um aumento de volume das canas longitudinais às paredes, o que acaba provocando tensões de tração, que provocam a rotura do material envolvente. A secagem da água nas faces das paredes também é prejudicial para as paredes, sobretudo se contiver sais, que durante a sua cristalização podem atingir volumes superiores ao volume dos poros em que estão contidos, exercendo uma tensão de tração ao material e desintegrando-o.

As zonas lisas visíveis em todas as fachadas e superfícies interiores das paredes correspondem aos locais onde foram colocados prumos verticais em madeira durante a construção da célula. Estes prumos serviram como guia de alinhamento e suporte provisório enquanto a argamassa das paredes se encontrava ainda no estado fresco e esta não tinha resistência suficiente para se autossustentar.

A inclinação do terreno constitui outro fator determinante para a maior acumulação de água na fachada Sul, visto que, é nesta zona que se encontra a menor cota do terreno envolvente da célula. Desse modo, toda a água da chuva que se infiltra nas cotas mais altas da região periférica da célula se encaminha para a zona envolvente da fachada Sul.

A baixa altura do soco da célula também é um fator determinante para o aumento de ascensão capilar, tendo em conta que, o caminho a percorrer pela água do terreno até à base das paredes é mais curto e a superfície de secagem da água na fundação é mais pequena.

4.1.2 Resistência ao impacto da esfera

A tecnologia ReedCob, como anteriormente referido, é caracterizada pelo empilhamento de uma argamassa com base em terra no estado plástico e fibras, intercalando camadas horizontais de canas. Desse modo, as superfícies (não rebocadas) das paredes da célula ReedCob são irregulares e heterogéneas, visto que, existem áreas com as fibras e canas expostas à superfície (de onde os prumos verticais para alinhamento das paredes foram removidos quando a construção foi concluída) e outras em que a argamassa com base em terra envolve as canas e as fibras. Estas superfícies degradam-se ao longo do tempo devido aos elementos atmosféricos e à presença de água, tornando-as ainda mais irregulares. Pelos motivos apresentados, os resultados dos ensaios de resistência superficial em paredes de ReedCob foram bastante dispersos, justificando a realização de médias e

respetivo desvio-padrão entre múltiplas medições (Tabela 4.1). Os resultados do ensaio de impacto da esfera em cada parede exterior de fachada são apresentados na Figura 4.10.

Apesar da dispersão dos resultados do ensaio de impacto da esfera no exterior, é notório que as fachadas com menos incidência solar, Norte e Este, apresentam um raio médio mais reduzido que as outras duas fachadas, valor esperado depois da inspeção visual realizada. Em contrapartida, os valores medidos na fachada Norte têm o maior desvio padrão (Tabela 4.1), resultado não expectável visto o bom estado de conservação da mesma.

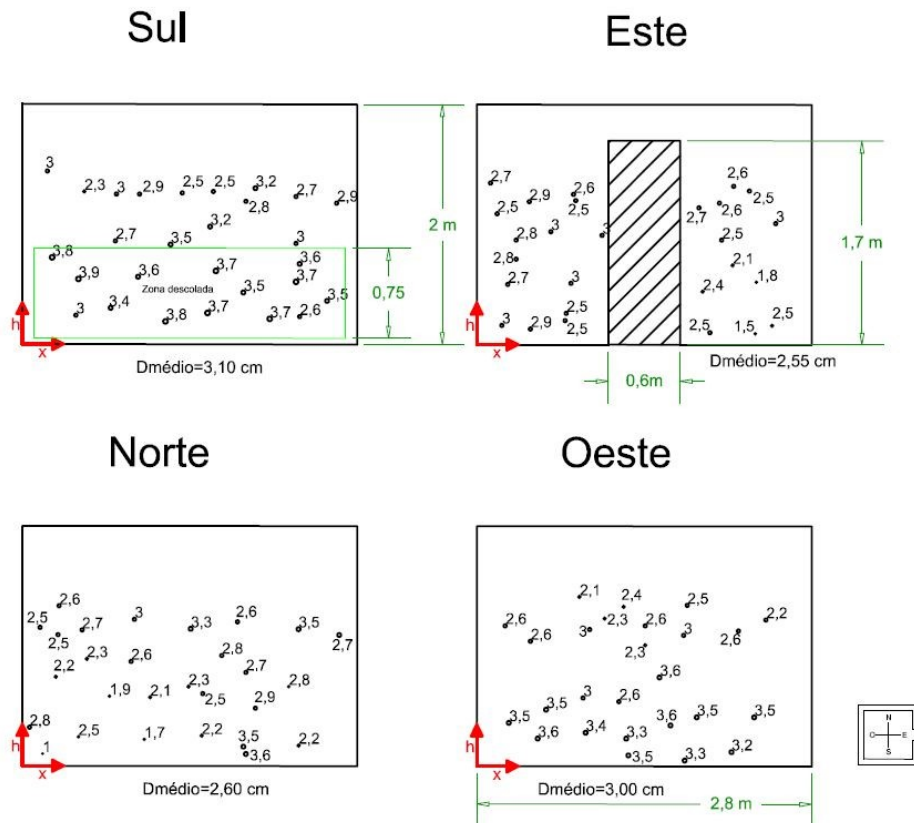


Figura 4.10-Dimensão, em cm, das concavidades resultantes do impacto da esfera nas fachadas da célula e o respetivo valor médio de cada fachada.

Tabela 4.1-Média e desvio padrão do diâmetro da concavidade (em cm) resultante do impacto da esfera nas fachadas da célula.

	Diâmetros medidos no exterior resultantes do impacto da esfera (cm)	
	Valor médio	Desvio padrão
Fachada Sul	3,10	0,48
Fachada Este	2,55	0,38
Fachada Norte	2,60	0,59
Fachada Oeste	3,00	0,49

A fachada Sul, como representado na Figura 4.1, tem uma faixa entre os 5 e 80 centímetros em que o reboco de cal se apresenta descolado (é possível ouvir um som de certo modo oco durante os impactos da esfera). Por essa razão, foram obtidos diâmetros maiores para esta região da fachada Sul, o que implica menos resistência superficial da mesma. Não foi possível medir muitos dos diâmetros dos ensaios realizados nesta zona, tendo em conta que, pequenos pedaços da parede se destacavam ou as canas absorviam o impacto da esfera.

Embora na fachada Oeste não exista uma zona tão bem definida como na fachada Sul, os valores dos diâmetros registados entre os 5 e 80 centímetros foram bastante maiores do que no resto da parede.

Os maiores valores dos diâmetros medidos neste ensaio foram obtidos para as fachadas Sul e Oeste, que visualmente se apresentam mais degradadas. A Figura 4.11 apresenta o resultado dos ensaios de impacto da esfera no interior das paredes da célula.

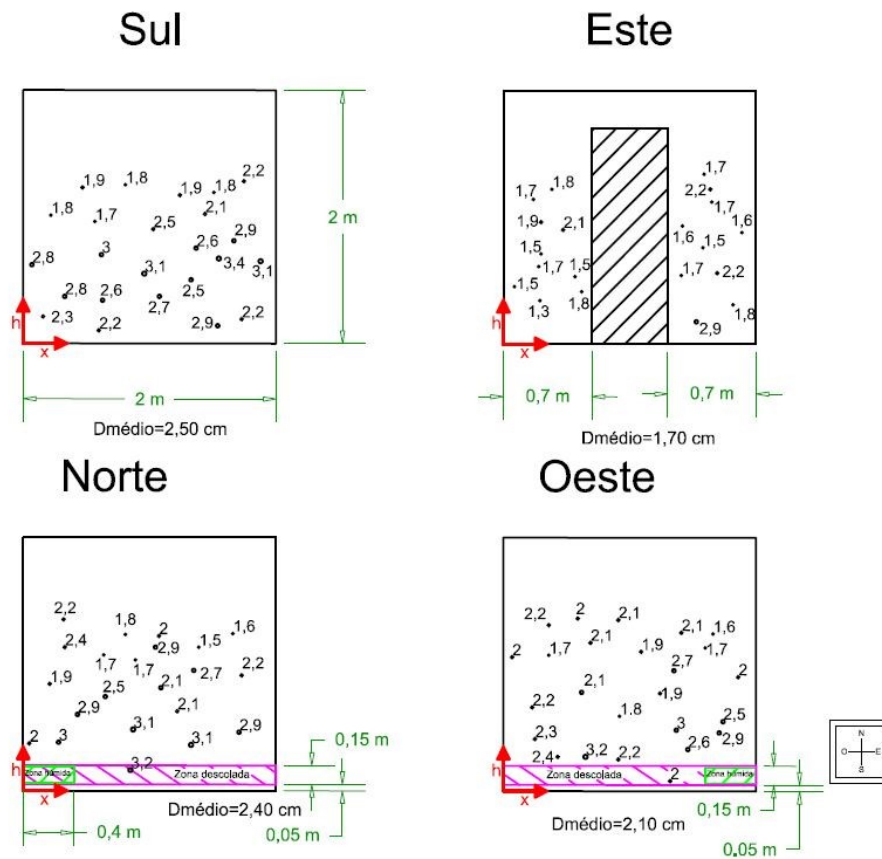


Figura 4.11-Dimensão, em cm, das concavidades resultantes do impacto da esfera no interior das paredes da célula e o respetivo valor médio de cada fachada.

Os resultados obtidos no interior da célula expostos na Figura 4.11 têm uma média bastante inferior aos diâmetros medidos no exterior, assim como no geral apresentam desvios padrão menores (exceto a parede sul (Tabela 4.2)). Isto demonstra que os agentes atmosféricos, como a radiação solar, os gradientes térmicos, a precipitação, o vento com partículas em suspensão, podem causar a degradação das paredes de ReedCob. A parede virada a Norte teve a maior dispersão e a parede Oeste a menor dispersão de resultados. No entanto, e tal como observado visualmente, a degradação é baixa para paredes de terra não rebocadas e expostas num ambiente relativamente agressivo, a cerca de 3 km do Oceano Atlântico.

Tabela 4.2-Média e desvio padrão do diâmetro da concavidade (em cm) resultante do impacto da esfera no interior das paredes da célula.

Diâmetros medidos resultantes do impacto da esfera (cm)		
	Valor médio	Desvio padrão
Parede Sul	2,50	0,49
Parede Este	1,70	0,36
Parede Norte	2,40	0,57
Parede Oeste	2,10	0,23

Não foi possível obter resultados nas zonas interiores compreendidas entre os 5 e 15 cm das paredes Norte e Oeste por existir um descolamento e pequenos destacamentos, na base das paredes, como exposto na Figura 4.11.

A análise dos resultados entre as superfícies exteriores e interiores de todas as fachadas, e entre as diferentes alturas de cada parede, permite a confirmação de alguns fenómenos anteriormente descritos, principalmente sobre o mecanismo da absorção, capilaridade e secagem de água.

A desagregação do material na base das paredes interiores Oeste e Norte identificadas na Figura 4.11 coincidem com manchas de humidade que podem ser notadas na Figura 4.9, o que indica que a água está na origem do enfraquecimento superficial destas zonas.

Num estudo anteriormente realizado de caracterização de blocos de terra comprimida (Ribeiro, 2016) foram executados alguns ensaios de impacto da esfera em dois muretes. Os dois muretes foram edificados na Estação de Exposição Natural de Alvenaria e Revestimentos do DEC da FCT NOVA. A sua fundação foi previamente executada em betão e posteriormente um desses muretes foi protegido com uma pequena cobertura em telha e o outro não. Os muretes foram erguidos com 1,1 m de altura e 2,45 m de largura com um arco na zona central da base. Os blocos de terra comprimida foram fabricados com 50% de solo proveniente das imediações da construção, 50 % de areão e estabilizados com 5% de cimento Portland em volume. Os ensaios foram realizados em diferentes alturas dos muretes, antes e depois de um período com chuvoso.

Os diâmetros médios obtidos, antes da precipitação, foram de 18 e 20 mm para as fachadas Norte e Sul, respetivamente. Os valores dos diâmetros subiram cerca de 2 a 3 mm depois do período de chuva.

Os valores médios obtidos para as fachadas da célula foram ligeiramente superiores aos obtidos nos muretes de BTC (Ribeiro, 2016), exceto os valores da fachada Este. Embora as paredes da célula apresentem valores bastantes dispersos, valores médios dos diâmetros podem sugerir uma maior deformabilidade do ReedCob em relação à alvenaria de BTC, o que é expectável devido a constituição aligeirada do ReedCob. O diâmetro médio medido na fachada Sul dos muretes de BTC foram superiores aos obtidos na fachada Norte, tendência que também se verificou na célula em estudo.

É importante também salientar que no mesmo estudo (Ribeiro, 2016) os resultados deste ensaio na base dos muretes em BTC foram superiores aos medidos na parte superior. Segundo este autor a causa provável para esta diferença é ascensão capilar de água líquida do solo, de forma análoga às conclusões da célula em estudo acima descritas.

4.1.3 Dureza superficial

Durante as medições usando o esclerómetro é suposto a massa pendular travar no ponto máximo do ressalto. No entanto, devido a deficiência do equipamento, a massa pendular não bloqueava nessa posição. Por esse motivo, a leitura de valores foi mais difícil e, conseqüentemente, a maioria dos valores registados são múltiplos de 5. Os valores registados nos ensaios de dureza superficial, as respetivas médias e desvios padrão no exterior da célula são apresentados na Figura 4.12 e na Tabela 4.3.

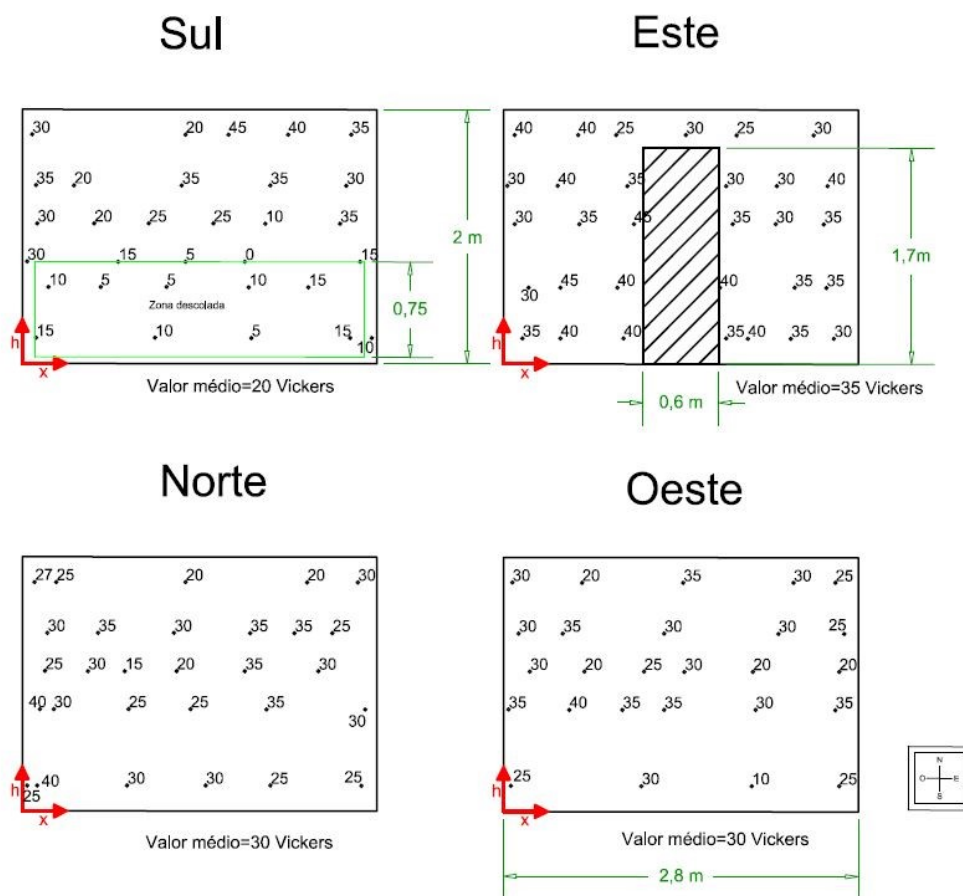


Figura 4.12-Resultados dos pontos ensaiados no exterior da célula em graus Vickers.

Tabela 4.3-Média e desvio padrão dos resultados de dureza superficial nas fachadas da célula.

Dureza superficial das fachadas da célula (Vickers)		
	Valor médio	Desvio padrão
Fachada Sul	20	12
Fachada Este	35	5
Fachada Norte	30	6
Fachada Oeste	30	7

De forma análoga ao ensaio de impacto da esfera, os resultados mais baixos foram obtidos na fachada Sul pois esta tem a menor média de valores registados (aproximadamente 20 graus Vickers). Esta fachada

apresentou também valores de dureza superficial bastante mais baixos na faixa descolada entre os 5 e 80 centímetros de altura da parede. A fachada Este tem a maior média (cerca de 35 graus Vickers), como o esperado, visto que esta apresenta um estado de conservação superior às outras, como anteriormente referido. Obteve-se a mesma média para as fachadas Norte e Oeste, embora a fachada Norte aparente estar ligeiramente em melhor estado.

Os valores registados nos ensaios de dureza superficial, as respetivas médias e desvios padrão no interior da célula são apresentados na Figura 4.13 e na Tabela 4.4.

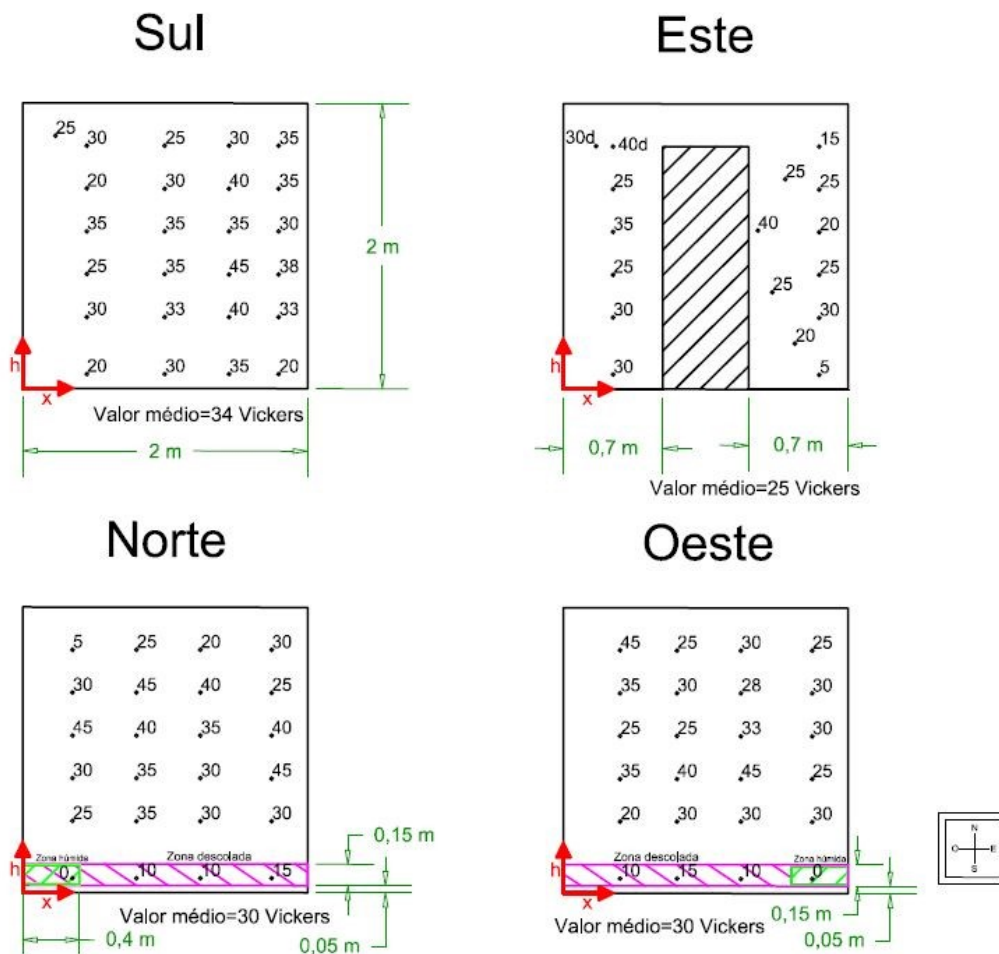


Figura 4.13-Resultados dos pontos ensaiados no interior da célula em graus Vickers.

Tabela 4.4-Média e desvio padrão dos resultados de dureza superficial no interior das paredes da célula.

Dureza superficial interior das paredes da célula (Vickers)		
	Valor médio	Desvio padrão
Parede Sul	33	6
Parede Este	25	10
Parede Norte	30	13
Parede Oeste	30	11

Assim como no exterior, os resultados obtidos no interior da célula confirmam os resultados obtidos no ensaio de impacto da esfera e as observações feitas durante a inspeção visual, embora não se consiga evidenciar

uma tendência de valores em função da altura das paredes. Os valores no interior da base das paredes Norte e Oeste revelaram uma dureza superficial reduzida. Embora os valores apresentados sejam estimados, o ressaltado da massa pendular do esclerómetro nesta região foi nulo ou quase imperceptível. Estes resultados eram expectáveis, visto que, como já referido, existe um descolamento região inferior das destas paredes.

É importante referir que não era esperado que a média dos resultados do inferior da parede Este fosse a menor, tendo em conta que, visualmente esta aparenta estar em melhor estado de conservação.

Segundo o estudo de Ribeiro (2016) anteriormente descrito, as médias dos valores de resistência superficial obtidas para as duas fachadas dos muretes de BTC foram superiores aos resultados obtidos na célula em ReedCob. Segundo este autor, o valor médio medido foi de 43 graus Vickers para a fachada Norte e 46 graus Vickers para a fachada Sul. Ao contrário das conclusões previamente descritas do ensaio do impacto da esfera, a resistência superficial da fachada Sul dos muretes em BTC foi superior à da fachada Norte. Os resultados da célula não vão de encontro a esta conclusão, uma vez que a fachada Sul da mesma tem a menor média de valores medidos.

Nesta fase, é necessário ter em conta que os ensaios nos muretes em BTC foram realizados pouco depois da sua construção, enquanto que, a resistência superficial da célula foi medida quando esta já contava com 3 anos de exposição aos fatores atmosféricos. Este tempo de exposição pode ser suficiente para reduzir certas propriedades de paredes com terra.

As medições com o esclerómetro nos muretes de BTC foram executadas previa e posteriormente a um período chuvoso. Contrariando as conclusões dos ensaios do impacto da esfera, os valores médios das medições com o esclerómetro revelaram maior dureza superficial depois da precipitação ter ocorrido. Os valores de resistência superficial obtidos na parte superior dos dois muretes durante a dissertação de Ribeiro (2016) foram inferiores aos valores medidos na base, tanto no murete com cobertura, como no murete sem proteção, o que também contradiz as conclusões do ensaio ao impacto da esfera.

Num estudo com o objetivo de avaliar argamassas de cal e terra (Jamú, 2013), foram executados ensaios de resistência superficial a um murete de taipa para a caracterização do suporte dessas argamassas. Os muretes de taipa foram construídos durante um workshop realizado em 2012 na FCT NOVA. O valor médio obtido foi de 86,83 graus Vickers, resultado muito superior ao obtido na célula.

Apesar destes resultados, o pêndulo do esclerómetro deixou marcas superficiais na estrutura. Pode-se chegar à conclusão que, embora este murete em taipa tenha uma elevada resistência superficial, revela-se um material frágil e quebradiço (Jamú N., 2013). Segundo este estudo, a humidade presente no material influencia negativamente os resultados, sendo que, quanto maior esta for, menor será a resistência superficial.

4.1.4 Absorção de água sob baixa pressão através de tubos de Karsten

As médias dos resultados dos ensaios realizados nas em todas fachadas exteriores estão representados na Tabela 4.5 e nas Figuras 4.14 a 4.18.

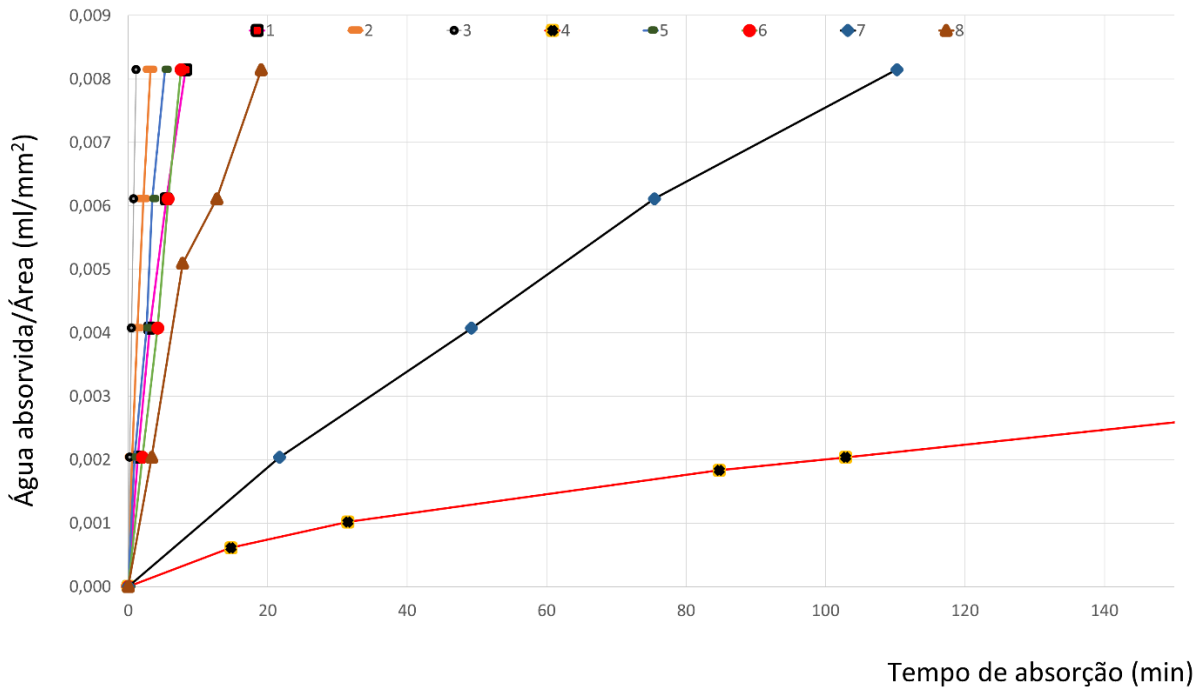


Figura 4.14-Resultado do ensaio de absorção de água sob baixa pressão da fachada Norte (tempo de absorção no eixo das abcissas e razão entre quantidade de água absorvida e a área de absorção no eixo das ordenadas).

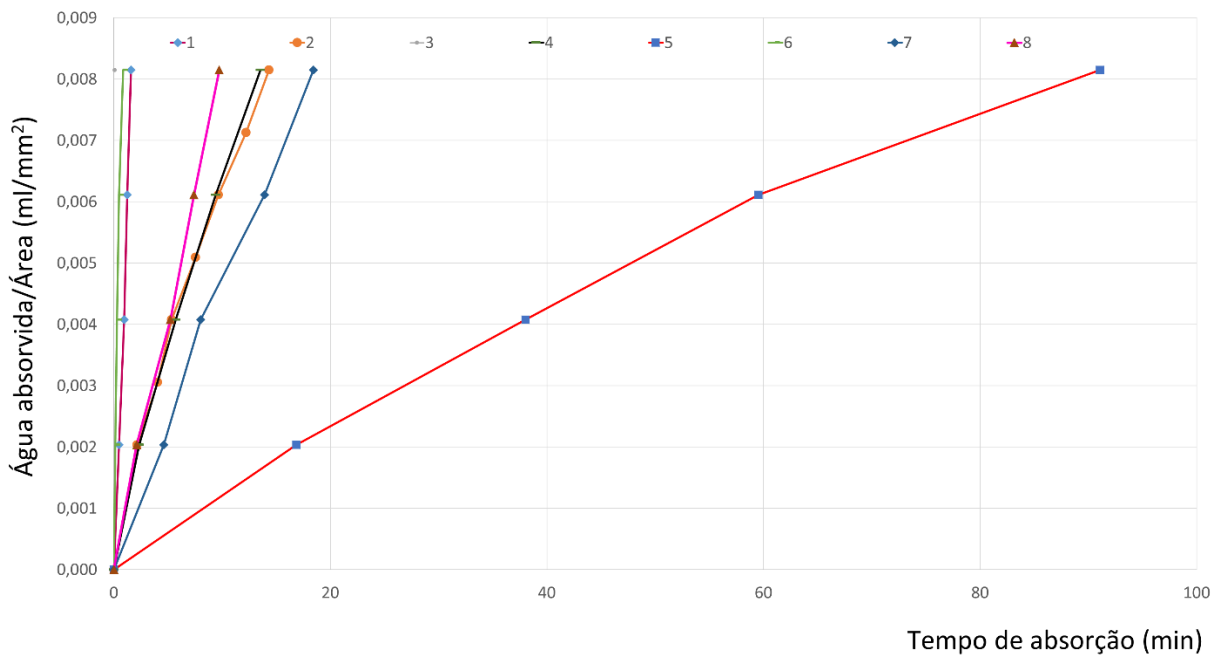


Figura 4.15-Resultado do ensaio de absorção de água sob baixa pressão da fachada Sul (tempo de absorção no eixo das abcissas e razão entre quantidade de água absorvida e a área de absorção no eixo das ordenadas).

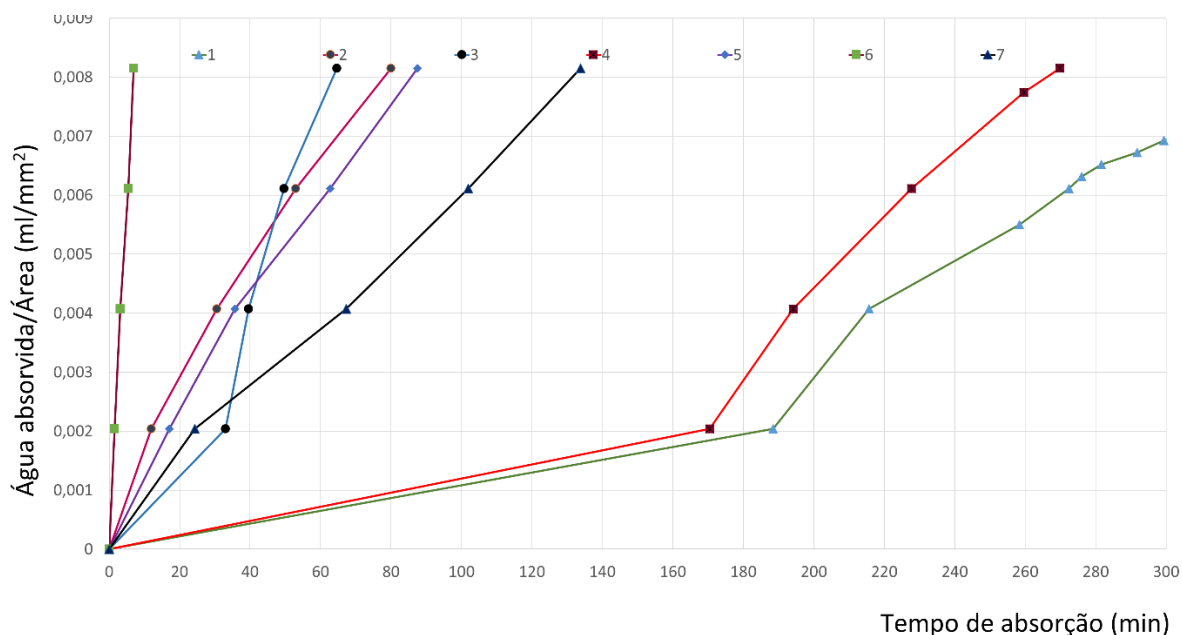


Figura 4.16-Resultado do ensaio de absorção de água sob baixa pressão da fachada Este (tempo de absorção no eixo das abcissas e rácio entre quantidade de água absorvida e a área de absorção no eixo das ordenadas).

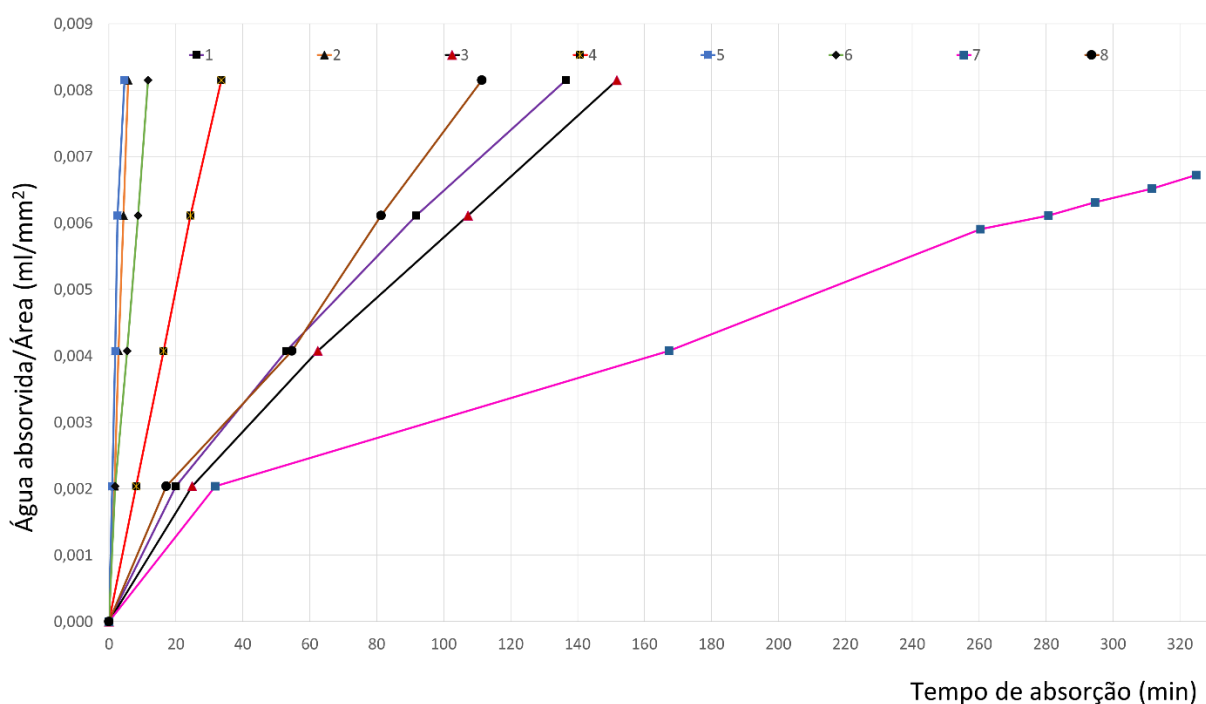


Figura 4.17-Resultado do ensaio de absorção de água sob baixa pressão da fachada Oeste (tempo de absorção no eixo das abcissas e rácio entre quantidade de água absorvida e a área de absorção no eixo das ordenadas).

Os resultados do ensaio de absorção de água sob baixa pressão costumam ser regulares, sobretudo quando é realizado em superfícies de paredes homogêneas e regulares. No entanto, as superfícies exteriores das quatro fachadas na célula em estudo apresentam bastantes as irregularidades que dificultam a comparação de resultados e a observação de uma tendência, de forma a ser possível caracterizar o material. Em muitos dos ensaios executados não foi possível a medição do tempo, pois a água dos tubos de Karsten foi absorvida pela parede em poucos segundos.

No entanto, foi possível realizar alguns ensaios com duração de mais de 5 horas em certos pontos das paredes da célula, principalmente em zonas que estas foram alisadas na construção, enquanto o material estava no estado fresco. Ao contrário das areias e siltes, que na sua maioria têm uma forma aproximadamente esférica, as partículas de argila são maioritariamente lamelares. Esta característica confere às argilas propriedades como a baixa permeabilidade, na natureza ou na construção, por formarem uma barreira eficaz à passagem de água. Esta propriedade verifica-se principalmente quando estas partículas lamelares estão dispostas na mesma direção, que acontece quando se tenta alisar a argamassa ainda moldável com uma espátula, uma talocha ou uma colher de pedreiro.

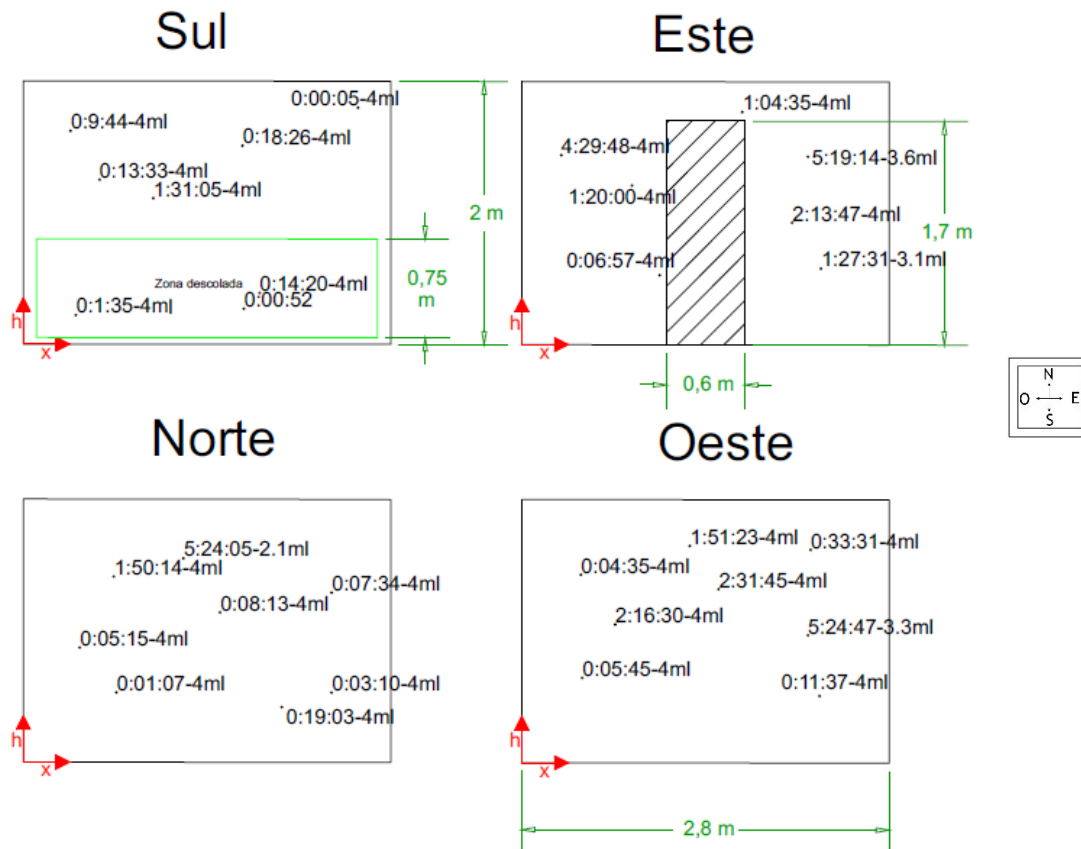


Figura 4.18-Localização dos ensaios de absorção de água sob a baixa pressão nas diferentes fachadas.

Existiram também ensaios de alguns minutos, em que a água absorvida na parede se infiltrou por fendas ou por canas dispostas muito perto da superfície ensaiada.

Este ensaio permitiu ter melhor conhecimento sobre a permeabilidade das paredes, embora não seja possível comparar as várias fachadas, pois a dispersão dos resultados não o permite. Também não foi possível avaliar o comportamento da zona descolada da fachada Sul, tendo em consideração que a mesma tem um ensaio de uma hora e meia, como representado na Figura 4.18.

Na Tabela 4.5 são apresentados os valores médios dos tempos totais dos ensaios realizados em cada fachada em que os 4 ml de água foram absorvidos. As fachadas Norte e Este têm dois ensaios de longa duração em que os 4 ml de água não foram totalmente absorvidos, e por esse motivo não foram contabilizados para o cálculo do tempo médio das mesmas.

Foram também calculadas as médias de dois coeficientes de absorção, um considerando o tempo total de cada ensaio e outro considerando uma duração de cinco minutos para comparação dos resultados entre as fachadas. Os valores dos coeficientes de absorção exprimem a quantidade de água absorvida durante um certo intervalo de tempo, através da área de interna dos tubos de Karsten, e desse modo, a comparação entre dos coeficientes de absorção só deve ser feita quando o tempo de absorção considerado é igual.

A duração de cinco minutos foi escolhida tendo em conta que esta englobava a maioria dos ensaios. Não foram escolhidas outras durações para a comparação destes coeficientes, visto que, estes não afetavam um número significativo de ensaios. Os valores médios dos diâmetros molhados medidos no final de cada ensaio de absorção sob baixa pressão também estão expostos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5-Valor médio dos tempos de absorção de água sob baixa pressão coeficientes de absorção e diâmetros molhados dos ensaios finalizados em cada fachada da célula.

	Diâmetro interno base (mm)			25
	Média dos tempos totais dos ensaios finalizados (4 ml)	Coef. Absorção médio (tempo total dos ensaios) kg/(m ² × √min)	Coef. Absorção médio (aos 5 minutos) kg/(m ² × √min)	Diâmetro molhado (mm)
Fachada Norte	00:22:05	1,8	1,1	37
Fachada Sul	00:18:43	3,6	1,5	41
Fachada Este	01:47:06	1,1	1,3	68
Fachada Oeste	01:05:01	1,7	2,3	44,7

Os resultados mostram que a fachada Norte tem o maior coeficiente de absorção aos 5 minutos, assim como a menor média dos diâmetros molhados. Em contrapartida, a fachada Este tem a menor média de coeficientes de absorção e a maior média de diâmetros molhados no final dos ensaios.


A quantidade de água absorvida pelas paredes da célula pode depender do facto de serem caiadas ou não, do seu estado de conservação e da humidade presente nas paredes quando os ensaios foram realizados. Quanto mais húmidas estiverem as paredes ensaiadas, menor é quantidade de água absorvida. As fachadas Este e Sul têm uma incidência solar grande durante o dia, o que pode fazer com que estas tenham menos humidade do que as fachadas Norte e Oeste durante o período seco.

Por outro lado, a humidade das paredes da célula durante o inverno depende, não só da incidência solar, mas também da quantidade de chuva incidente nas paredes, que por sua vez depende da direção predominante do vento.

Os ensaios de absorção de água sob baixa pressão foram realizados durante o mês de dezembro. Segundo [w10] o sentido predominante do vento em dezembro na estação meteorológica mais perto da célula estudada (Caparica) foi de Este para Oeste (Tabela 4.6). Desse modo, a fachada da célula com maior incidência de precipitação foi a orientada a Este, surgindo a fachada Sul em segundo lugar, tendo em conta que, a direção do vento registada está ligeiramente inclinada para o sentido sudeste-noroeste.

Tabela 4.6-Direção dominante do vento durante ao longo do ano registada na estação meteorológica mais perto (Caparica) [créditos:[https://www.windfinder.com/windstatistics/almada_colegio_campo_de_flores\[w10\]](https://www.windfinder.com/windstatistics/almada_colegio_campo_de_flores[w10])]

Mês do ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Direção dominante do vento	↖	↗	↘	↙	↖	↗	↘	↙	↖	↗	↘	↙	↖



Tendo em consideração as condições atmosféricas durante a realização deste ensaio, pode chegar-se à conclusão que os coeficientes de absorção referentes às fachadas Este e Sul podem ser bastante menores que as outras duas fachadas, pelo facto destas primeiras estarem mais expostas à pluviosidade, e conseqüentemente mais húmidas no seu exterior. Assim sendo, os coeficientes de absorção mais reduzidos das fachadas Este e Sul podem ter sido influenciados pela humidade existente nestas paredes, resultante da incidência de precipitação elevada durante o mês em que se realizou os ensaios. Para além destes fatores, os ensaios de absorção de água sob baixa pressão podem ter sido afetados por outros motivos anteriormente referidos.

Durante as campanhas experimentais de Ribeiro (2016) em muretes de alvenaria de BTC e Jamú (2013) numa parede de taipa não revestida (caracterização do suporte em taipa com o intuito de o rebocar posteriormente) foram executados ensaios de absorção de água sob baixa pressão recorrendo a tubos de Karsten. Segundo Jamú (2013), as médias dos coeficientes de absorção em uma hora da fachada Sul foram de 8,25 kg/(m².min^{1/2}) para a região superior (faixa menos exposta) e de 6,13 kg/(m².min^{1/2}) para a zona intermédia (faixa mais exposta).

Estes ensaios foram realizados seguindo uma metodologia diferente da usada durante os ensaios na célula. Durante a execução dos ensaios realizados durante por Jamú (2013), foi adicionada água aos tubos de Karsten durante uma hora e foi registada a quantidade de água absorvida nesse intervalo de tempo. Perante a heterogeneidade das superfícies da célula, a metodologia utilizada foi esperar o tempo necessário para que a água dos tubos de Karsten fosse absorvida, o que dificulta a comparação de resultados.

No entanto, como era previsível, a célula tem pontos em que a absorção de água foi bastante superior, e outros em que esta absorção foi muito reduzida. É importante salientar que, segundo Jamú (2013), quanto mais elevada for a humidade presente na parede, menor foi a absorção sob baixa pressão registada pelas paredes.

Durante o estudo de Ribeiro (2016), o tempo utilizado para o cálculo dos coeficientes de absorção foi de 4 minutos. A média dos coeficientes de absorção registados antes da precipitação foi de 2,1 kg/(m².min^{1/2}) e depois do curto período chuvoso foi de 1,5 kg/(m².min^{1/2}).

Embora os coeficientes de absorção médios das fachadas da célula tenham sido calculados aos 5 minutos, as fachadas Norte e Oeste apresentam médias ligeiramente superiores à média dos valores obtidos nos muretes de BTC medidos antes da precipitação (2,6 e 2,3 kg/(m².min^{1/2})) respetivamente (Tabela 4.5).

Neste caso, é importante perceber que o minuto de diferença no cálculo entre os coeficientes de absorção torna os valores incomparáveis, embora se possa afirmar que os ensaios da célula absorveram uma quantidade de

água ligeiramente maior em mais um minuto. Desse modo pode-se afirmar que a absorção de água nas fachadas Norte e Oeste foi muito similar à dos muretes de BTC antes do período de chuva.

O valor médio do coeficiente de absorção aos 5 minutos da fachada Sul da célula em estudo ($1,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$, Tabela 4.5) foi igual ao coeficiente calculado aos 4 minutos referente aos muretes em BTC, depois de um período de chuva ter ocorrido. Desse modo, a fachada Sul da célula absorveu a mesma quantidade de água que os muretes em BTC, embora num intervalo de tempo maior. Logo, pode-se concluir que fachada Sul absorveu menos água que os muretes de BTC em 4 minutos.

A fachada Este, com um coeficiente de absorção de $1,3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ absorveu uma porção de água em 5 minutos menor que os muretes em BTC em 4 minutos.

Estes resultados podem ajudar a confirmar a suspeita de que as fachadas Sul e Este da célula estavam mais húmidas pela maior incidência de chuva relativamente às outras duas, facto causado pela maior predominância do vento proveniente de Este e Sul.

Chega-se também à conclusão de que a quantidade de água absorvida na célula em condições de humidade reduzida e elevada é similar à dos muretes de BTC estudados em Ribeiro (2016).

Estes resultados confirmam também que quanto mais húmido estiver o material, menor vai ser a sua absorção, visto que os seus poros já estão preenchidos com água, seguindo a tendência do estudo de Jamú (2013) e da célula estudada nesta dissertação.

4.2 Ensaio laboratorial de compressão uniaxial

4.2.1 Análise dos resultados dos ensaios de compressão uniaxial

Foram realizados seis ensaios de muretes de ReedCob à compressão uniaxial divididos em duas séries, na primeira série realizaram-se três ensaios com a argamassa de terra T1 usada na célula do campus da FCT NOVA (*M1*, *M2* e *M3*) e na segunda série outros três com a argamassa de terra T2 (*M4*, *M5* e *M6*). Na Figura 4.19 apresentam-se os diagramas de tensão extensão axial dos muretes da primeira série - *M1*, *M2* e *M3* e na Figura 4.20 posteriormente os diagramas dos muretes ensaiados na segunda série - *M4*, *M5* e *M6*. Na Tabela 4.7 mostram-se os valores na rotura da força, tensão, extensão axial e lateral e deslocamento axial e lateral dos muretes ensaiados e na 4.8 os valores do módulo de elasticidade inicial e após fendilhação, e do coeficiente de Poisson dos muretes ensaiados. Na análise dos resultados dos ensaios de compressão assumiu-se que as extensões axiais são positivas e as extensões laterais são negativas.

Os muretes *M1* a *M4* foram carregados até que ocorresse uma perda de carga superior a 50% da força máxima, permitindo desta forma a obtenção das curvas tensão-deformação na fase ascendente e descendente. Os muretes *M5* e *M6* têm a fase ascendente completa até à rotura, instante em que estes dois ensaios foram interrompidos. A fase inicial ascendente dos diagramas apresentados nas Figuras 4.19 e 4.20 é caracterizada pelo aumento constante da carga suportada pelos muretes até se atingir a resistência máxima à compressão. Em seguida, as extensões axiais e laterais continuam a aumentar, mas a tensão suportada pelos muretes começa a decrescer até ocorrer o colapso do provete.

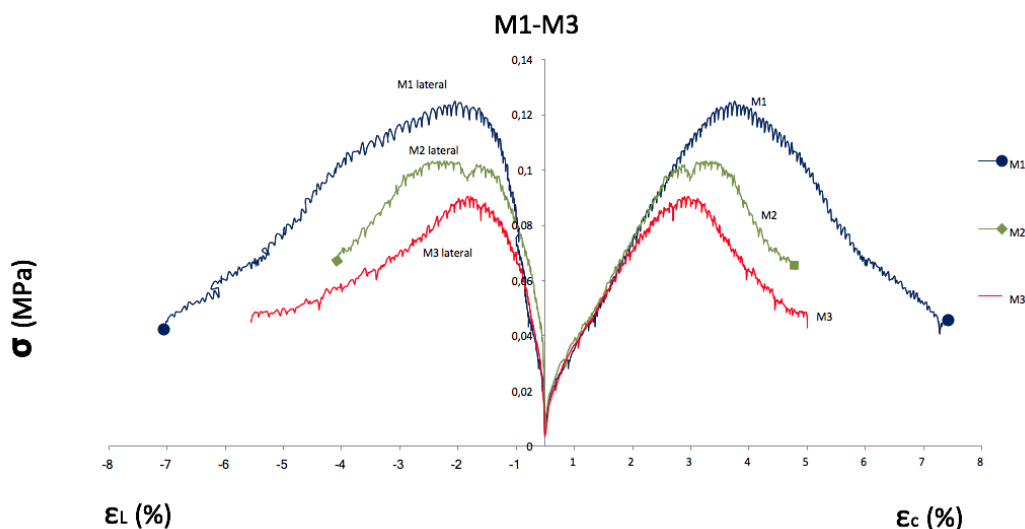


Figura 4.19- Diagrama tensão-extensão dos muretes M1, M2 e M3.

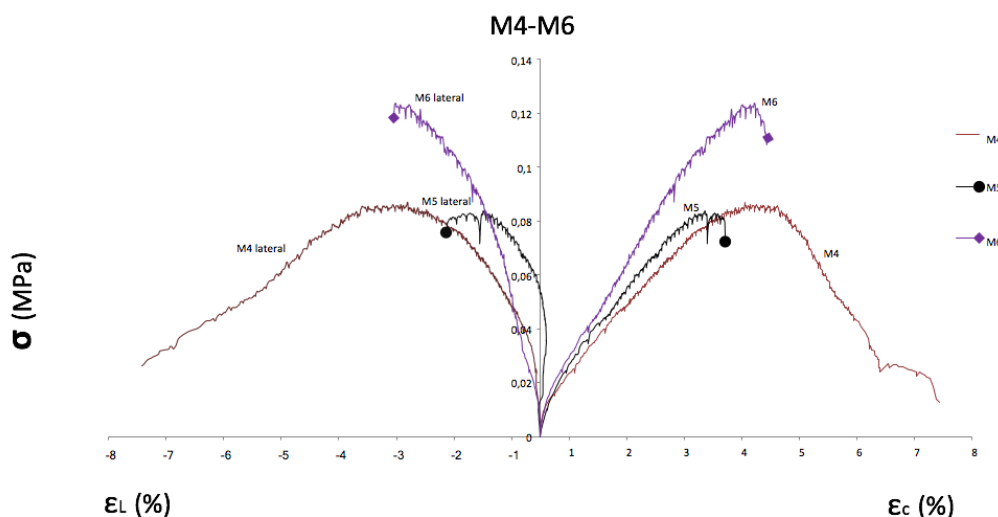


Figura 4.20- Diagrama tensão-extensão dos muretes M4, M5 e M6.

Nos ensaios da primeira série, o murete M1 teve uma capacidade de carga de 12,5kN, a que corresponde uma tensão máxima de 0,13 MPa. Por sua vez, o ensaio M2 correu de forma semelhante, embora tenha tido uma tensão máxima de 0,10 MPa e uma carga máxima de 10,2 kN, resultado que equivale a cerca de 80% do resultado do ensaio M1. No terceiro ensaio, M3, obteve-se uma força máxima de 9,0 kN e a uma tensão máxima correspondente de 0,09 MPa, sendo que este foi o pior resultado da primeira série de 3 muretes com a argamassa de terra T1, equivalendo a cerca de 72% do valor da resistência à compressão do murete M1.

Nos ensaios da segunda série referentes aos muretes com argamassa de terra T2, o murete M4 alcançou uma carga máxima de 8,4 kN, com uma tensão máxima respetiva de 0,09 MPa. Por sua vez, o murete M5 resistiu a uma carga máxima de 8,1 kN, com uma tensão máxima de 0,08MPa, sendo que, esta corresponde a 65% da capacidade resistente do murete M1, tendo-se interrompido o ensaio após a carga de rotura devido à rotação elevada da chapa de topo do murete. Finalmente, no murete M6 a carga máxima alcançada foi de 12,2 kN, com

uma tensão correspondente de 0,10 MPa, tendo o ensaio sido interrompido assim que se registou uma descida na carga aplicada.

Como se pode observar nas Figuras 4.19 e 4.20 e na Tabela 4.7, a extensão axial na rotura situa-se entre 2,5% e 3,7% para todos os muretes e existe uma tendência (dentro de cada série) para esta extensão ser tanto maior quanto maior for a resistência máxima à compressão de cada provete.

Tabela 4.7-Valores na rotura da força, tensão, extensão axial e lateral e deslocamento dos muretes ensaiados das duas séries.

Murete	Força axial na rotura (kN)	Deslocamento axial na rotura (mm)	Tensão máxima (MPa)	Extensão média axial na rotura (%)	Extensão média lateral na rotura (%)
M1	12,5	17	0,13	3,3	-1,5
M2	10,2	13	0,10	2,8	-1,7
M3	9,0	12	0,09	2,5	-1,3
Valor médio T1	10,6	14	0,11	2,8	-1,5
Desvio padrão T1	1,8	2,3	0,017	0,4	0,2
M4	8,4	18	0,09	3,5	-2,3
M5	8,1	14	0,08	2,9	-1,0
M6	12,2	19	0,12	3,7	-2,5
Valor médio T2	9,6	17	0,10	3,4	-1,9
Desvio padrão T2	2,3	2,2	0,022	0,5	0,8

Os muretes correspondentes à argamassa T1 (M1, M2 e M3) apresentaram valores de resistência à compressão relativamente superiores, tendo uma tensão de rotura média de 0,11 MPa, enquanto que, os muretes construídos com a argamassa T2 (M4, M5 e M6) apresentam uma média de 0,10 MPa. Esta diferença de tensões médias pode refletir-se numa diferença de 1 kN de força máxima. Para além de uma resistência à compressão superior, a argamassa T1 apresenta também menores extensões de rotura axial e lateral, relativamente à argamassa de terra T2. Os valores máximos de resistência à compressão uniaxial nos muretes estão compreendidos entre 0,08 e 0,13 MPa, sendo que o maior valor é correspondente ao murete M1 e o menor ao murete M5.

Os muretes correspondentes às duas argamassas T1 e T2, apresentaram uma redução dos módulos de elasticidade axiais e laterais após fendilhação, à exceção do murete M5. A média de extensões axiais durante a rotura dos muretes correspondentes às argamassas T1 e T2 foram de 2,8 % e 3,4%, respetivamente. A extensão média lateral na rotura segue a mesma tendência da extensão média axial nesta fase.

Tabela 4.8-Valores do módulo de elasticidade inicial, do módulo de elasticidade entre os 20% e 40% da tensão de rotura, e do coeficiente de Poisson dos muretes ensaiados das duas séries.

Murete	Módulo de elasticidade axial (0 a 0,02 MPa) (MPa)	Módulo de elasticidade lateral (0 a 0,02 MPa) (MPa)	Coefficiente de Poisson inicial (0 a 0,02 MPa) (Ea/EI)	Módulo de elasticidade axial (20% a 40% da tensão rotura) (MPa)	Módulo de elasticidade lateral (20 a 40% da tensão rotura) (MPa)	Coefficiente de Poisson (20 a 40% da tensão rotura)	Deslocamento axial máximo (mm)
M1	14	76	0,19	3	9	0,37	57
M2	18	111	0,16	4	40	0,11	42
M3	12	41	0,29	4	15	0,26	39
Valor médio T1	15	76	0,21	4	21	0,25	46
Desvio padrão T1	3	35	0,07	1	16	0,13	9
M4	4	20	0,18	3	13	0,21	35
M5	6	12	0,49	3	23	0,15	16
M6	7	13	0,53	3	9	0,37	20
Valor médio T2	6	15	0,40	3	15	0,24	24
Desvio padrão T2	2	4	0,19	0,3	7	0,12	10

Os diagramas apresentados nas Figuras 4.21 e 4.22 mostram as curvas da extensão volumétrica versus extensão axial ou lateral. A extensão volumétrica representa a soma da extensão axial com o dobro da extensão lateral média (Chastre Rodrigues, 2005).

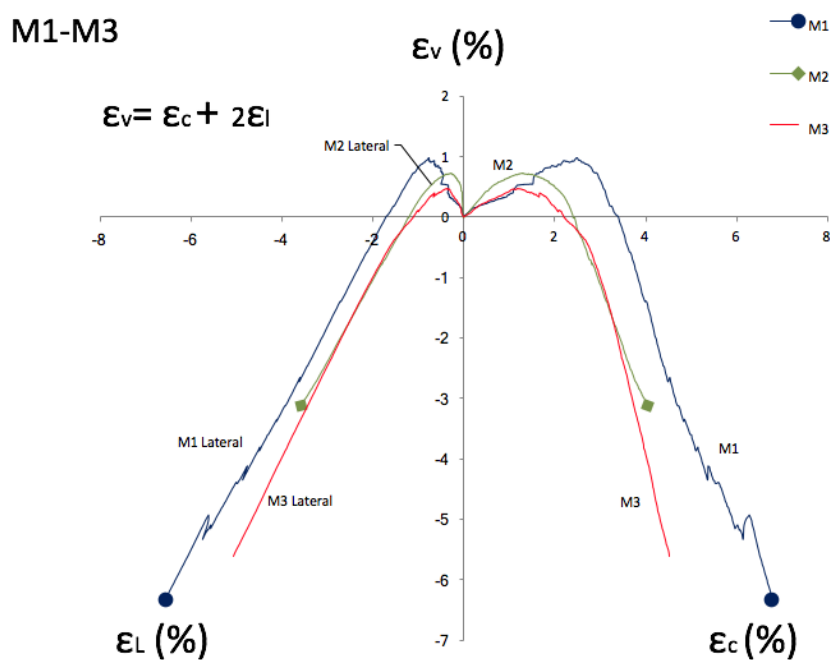


Figura 4.21-Diagramas da extensão volumétrica versus extensão axial e lateral dos muretes M1, M2 e M3.

M4-M6

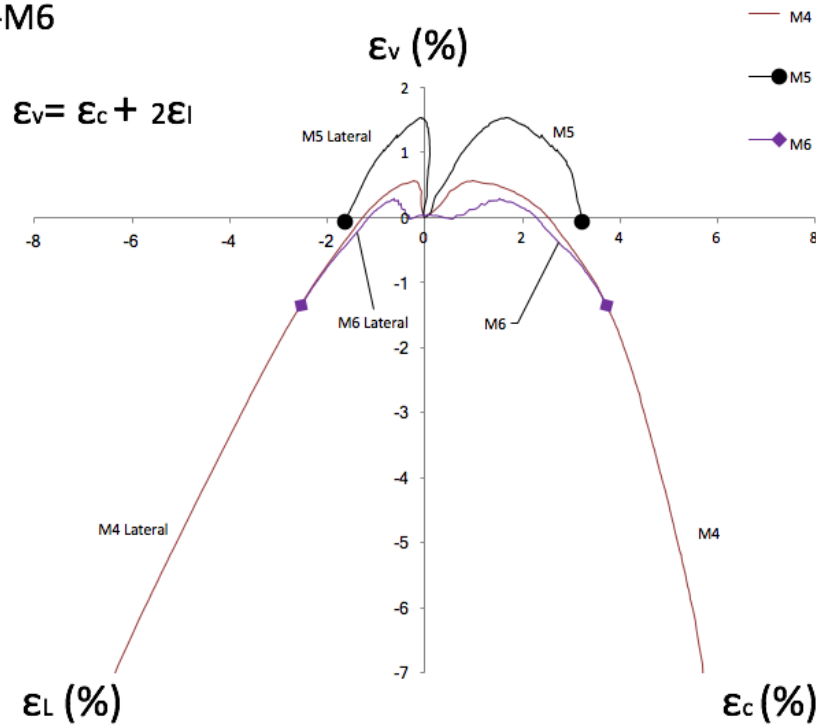


Figura 4.22-Diagramas da extensão volumétrica versus extensão axial e lateral dos muretes M4, M5 e M6.

Os diagramas apresentados nas Figuras 4.21 e 4.22 mostram um comportamento semelhante dos seis muretes, exceto no caso do murete M5, que embora tenha uma forma idêntica, apresenta um valor da extensão volumétrica máxima superior à dos outros muretes. O início da curva de cada diagrama é ascendente, o que significa que a extensão axial é bastante superior à extensão lateral e os muretes encontram-se numa fase de diminuição de volume. Após atingirem a extensão volumétrica máxima os muretes começam a entrar numa fase de aumento de volume. Conforme se pode constatar na Tabela 4.9, a média das extensões volumétricas máximas positivas (equivalente ao volume mínimo) é de 0,7% para os muretes construídos com a argamassa T1, enquanto que os muretes executados com a argamassa T2 apresentam um valor médio ligeiramente superior (0,8%). Nesta Tabela encontra-se igualmente indicada a que percentagem da tensão de rotura ocorre a extensão volumétrica máxima.

Observando a Tabela 4.9 pode-se concluir que, uma maior resistência à compressão uniaxial (argamassa T1) está associada a uma extensão volumétrica máxima menor (menor diminuição de volume durante o ensaio). Pode-se concluir também que a argamassa mais resistente, T1, atinge o seu menor volume mais perto da rotura.

Depois do pico de extensão volumétrica, segue-se uma fase descendente em que a parcela da extensão lateral é superior à da extensão axial. Nesta fase, os valores de extensão volumétrica passam de positivos a negativos quando os muretes estão aproximadamente na rotura. Os valores da extensão volumétrica nula na rotura dos muretes demonstram que nesta fase o volume que diminuiu axialmente é aproximadamente igual ao volume que aumentou na lateral. Os valores negativos da extensão volumétrica depois da rotura demonstram que nesta etapa existe uma grande dilatação lateral em relação a uma menor contração axial.

Tabela 4.9-Valores da extensão volumétrica máxima em percentagem de cada provete, as respetivas percentagens das tensões de rotura e os valores médios das argamassas T1 e T2.

T1	M1	M2	M3	Valor médio	Desvio padrão
Extensão volumétrica máxima (%)	0,97	0,73	0,47	0,7	0,3
Percentagem da tensão de rotura (%)	90	65	66	74	14
T2	M4	M5	M6	Valor médio	Desvio padrão
Extensão volumétrica máxima (%)	0,57	1,52	0,28	0,8	0,6
Percentagem da tensão de rotura (%)	42	73	55	57	16

Uma outra grandeza que é interessante analisar é a dilatância, a qual corresponde ao quociente entre os valores da extensão lateral e os valores da extensão axial. Nas Figuras 4.23 e 4.24 pode observar-se que à exceção da fase final dos ensaios M3 e M4, a dilatância foi sempre menor que 1, o que significa que, a extensão lateral foi, por norma, inferior à extensão axial. Os valores da dilatância são sempre crescentes, o que indica que a variação da extensão lateral é maior do que a variação da extensão axial ao longo dos ensaios (Figuras 4.23 e 4.24).

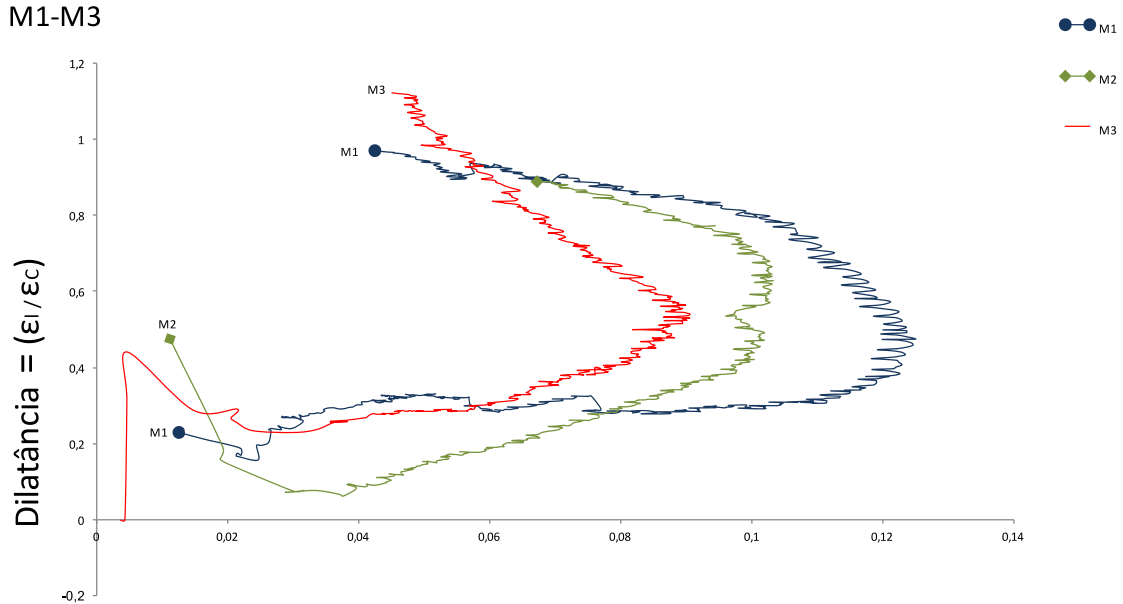


Figura 4.23-Diagramas da dilatância em função da tensão aplicada nos muretes M1, M2, M3.

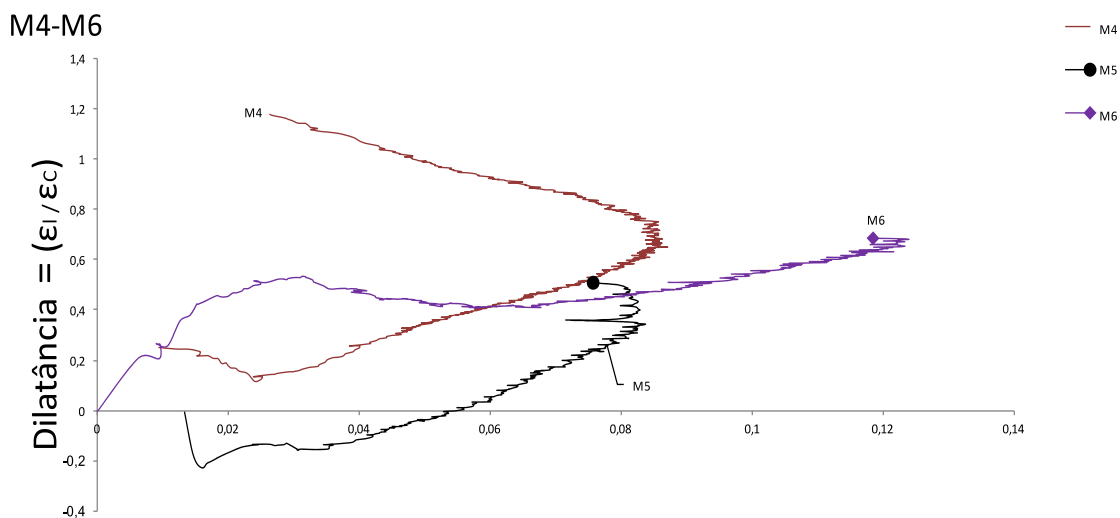


Figura 4.24-Diagramas da dilatação em função da tensão aplicada nos muretes M4, M5, M6.

Os muretes construídos com a argamassa T1 apresentam até à rotura uma dilatação entre 0,2 e 0,5, sendo que, este último valor é atingido próximo da rotura. Os muretes M4 e M6 apresentam uma dilatação de 0,7 na rotura. O murete M5 apresenta uma dilatação inicial negativa devido a uma contração lateral, que pode ter origem na rotação do topo deste provete. Se não se considerar o murete M5 por causa da sua rotação, pode-se afirmar que, a argamassa T1 apresenta uma dilatação na rotura inferior à argamassa T2.

4.2.2 Modos de rotura observados nos ensaios de compressão uniaxial

Durante a realização dos ensaios foi realizada uma reportagem fotográfica e de vídeo que permite analisar as várias superfícies de rotura e o estado inicial e final dos seis muretes. Durante a primeira fase dos ensaios, em que a carga aplicada é incrementada, só a deformação axial é visível a olho nu. Quando o valor da tensão instalada nos muretes se aproxima do valor da resistência máxima à compressão é possível ouvir os estalidos correspondentes à rotura das canas que compõem a solução construtiva. É também nesta fase que se começam a destacar lâminas de camadas de terra mais superficiais nas faces laterais dos muretes (0,5 x 0,5 m). A deformação e aumento de carga nesta solução construtiva é progressiva e dá muitos sinais de degradação antes do colapso, embora chegada a esta fase se processe de forma quase instantânea.

Em termos dos modos de rotura observados nos diversos ensaios constatou-se no murete M1 que se formaram duas superfícies de rotura na diagonal, conforme é possível verificar na Figura 4.25.

O ensaio M2 apresentou uma superfície de rotura diagonal bem delimitada, atravessando o murete de um lado ao outro. Tendo começado no canto superior do murete e descendo até a meio altura deste murete, como é visível na Figura 4.26.

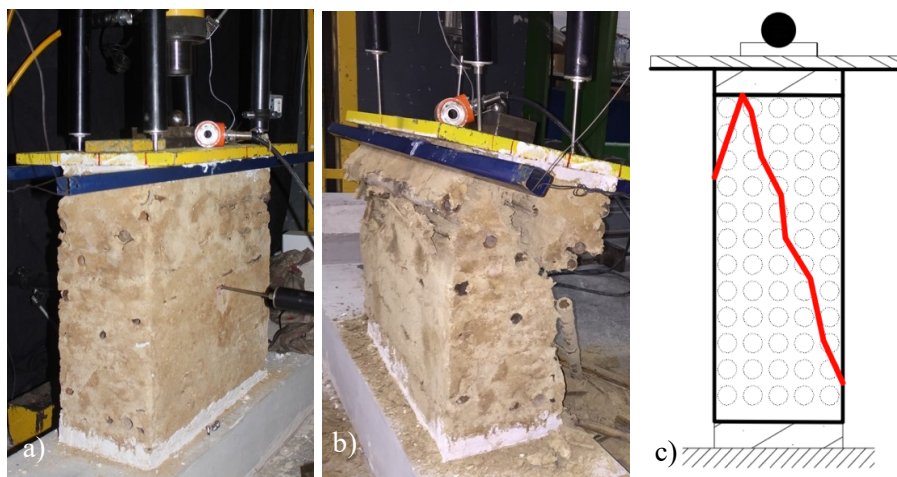


Figura 4.25-Murete M1 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).

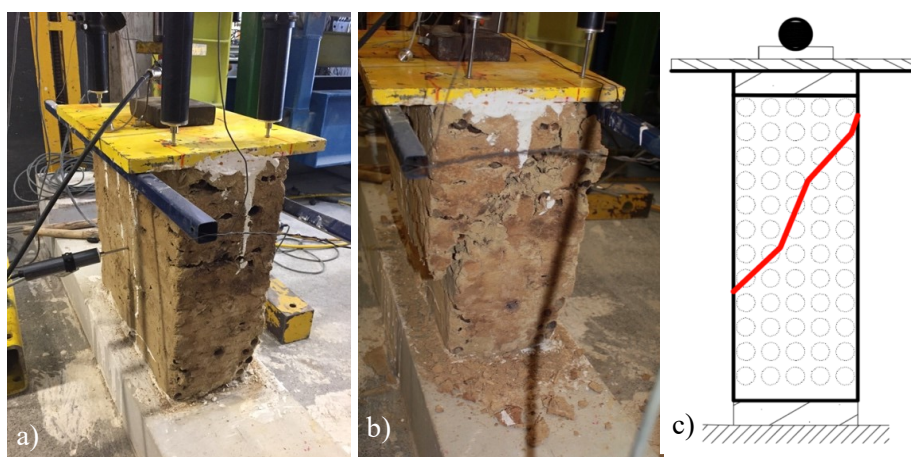


Figura 4.26-Murete M2 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).

No ensaio do murete M3, verificou-se a existência de uma superfície de rotura principal que começou no canto superior da secção transversal, atravessando em diagonal o murete até à sua base. Registou-se igualmente uma segunda superfície de rotura na direção perpendicular à primeira (Figura 4.27).

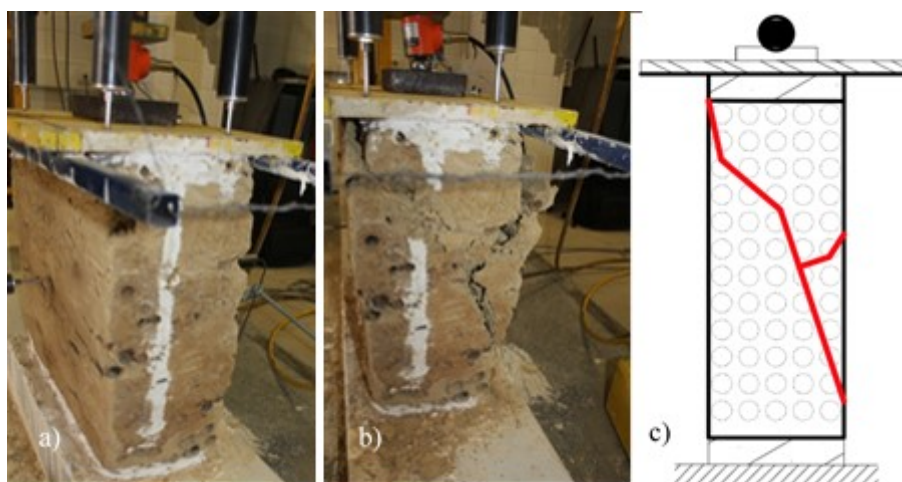


Figura 4.27-Murete M3 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).

No murete M4 a superfície de rotura observada é diagonal, começando num canto superior do murete e percorrendo-o até ao canto inferior do lado oposto (Figura 4.28).

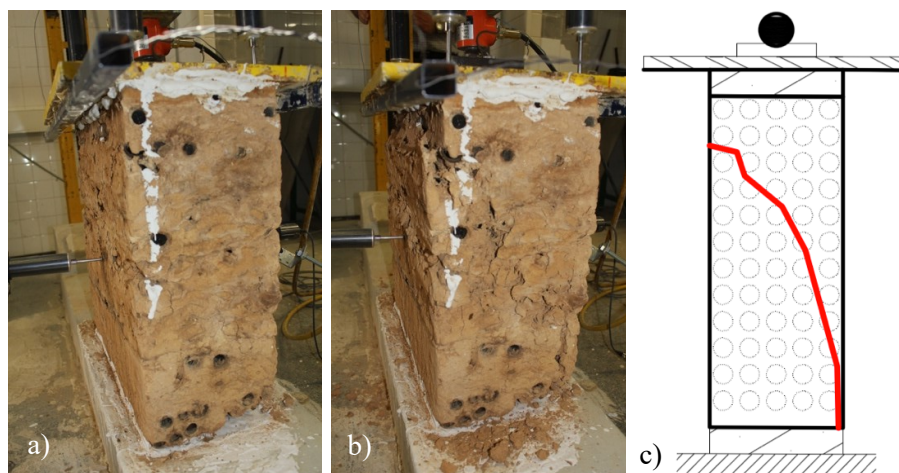


Figura 4.28-Murete M4 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).

O ensaio do murete M5 teve de ser interrompido por se ter observado uma grande rotação das placas metálicas no topo do murete (Figura 4.29). Essa rotação deveu-se à falta de uma cana no topo do provete. Refira-se contudo, que o murete M5 já tinha atingido o pico de tensão e desta forma a curva tensão-extensão até à rotura foi obtida na sua totalidade.

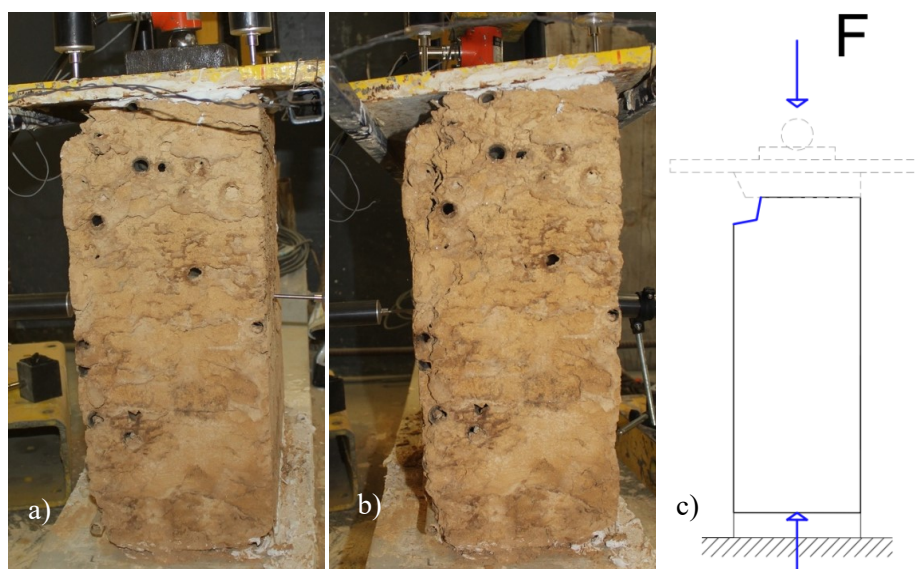


Figura 4.29-Murete M5 antes (a), depois do ensaio (b) e o esquema respetivo representando a localização da falha de material neste murete (c).

Como exposto no esquema da Figura 4.30, a força F aplicada na placa de aço existente no topo do murete provoca uma reação com a mesma intensidade, mas com sentido oposto, na base do provete, que se materializa numa tensão nesta base (força F a dividir pela área da base de largura “ b ” e comprimento “ c ”). No entanto, para essa reação existir, a força F tem de ser transmitida do topo do murete para a base. Caso o murete tivesse a mesma secção do topo ao à base, este estaria sujeito a uma tensão à compressão uniaxial, que é o objetivo do ensaio.

No entanto, o facto de faltar uma cana na secção de topo, faz com que a força F seja distribuída por uma área mais pequena (de largura “ a ” e comprimento “ c ”), o que induz um aumento da tensão aplicada nesta região e causa o esmagamento precoce da mesma, visto que, a largura “ a ” é mais pequena que a largura “ b ”. Para além do murete não estar com uma tensão constante do topo à base, a força resultante da tensão aplicada no topo do murete não está centrada a meio da secção do murete intacto, e sim a meio da secção mais pequena.

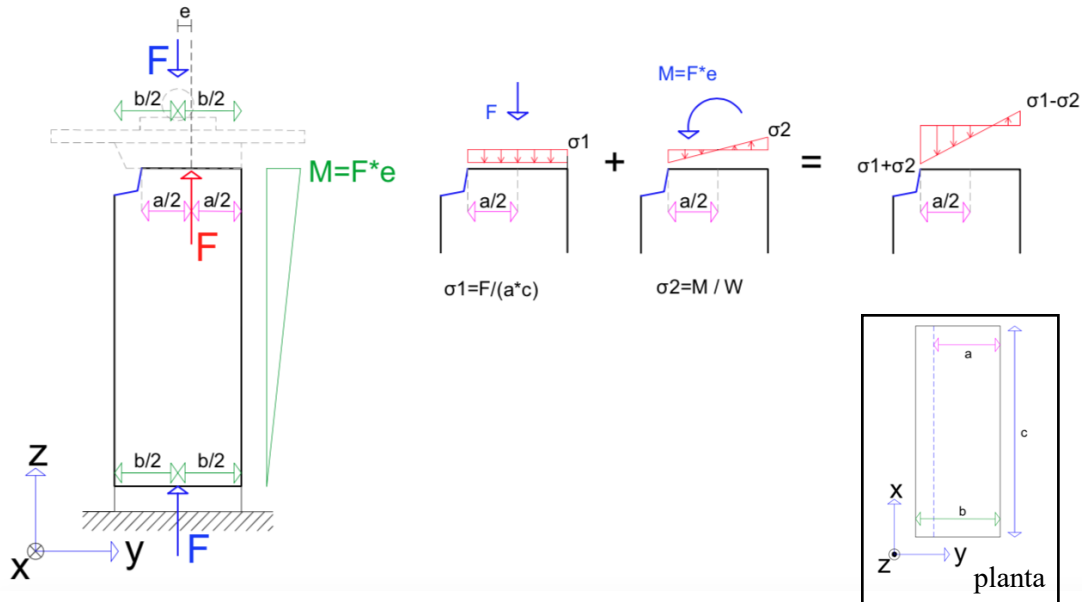


Figura 4.30-Esquema explicativo da origem do momento fletor que deu origem à rotação do murete M5.

Por essa razão, existe uma excentricidade entre a força aplicada e a reação no topo do provete. Desta excentricidade (“ e ” no esquema da Figura 4.30) resulta um momento M que causa uma rotação das placas de aço no topo do murete e que é perceptível na Figura 4.30. O somatório dos diagramas de tensões no topo do murete devido à força F e ao momento M evidenciam uma tensão superior onde existe a falta de material no murete (visto que os diagramas têm o mesmo sinal nesta zona ($\sigma_1 + \sigma_2$)) e uma tensão inferior no lado oposto (pois os diagramas de tensão devido à força F e ao momento M têm sinais contrários ($\sigma_1 - \sigma_2$)).

Equacionando-se a hipótese de uma futura solução de reforço dos muretes de ReedCob, o ensaio do murete M6 também foi interrompido assim que se atingiu a resistência máxima à compressão do provete, e desse modo, este não foi levado ao colapso, permitindo a possibilidade de reforço de dois muretes (M5 e M6). A superfície de rotura observada no murete M6 encontra-se esquematicamente indicada na Figura 4.31.

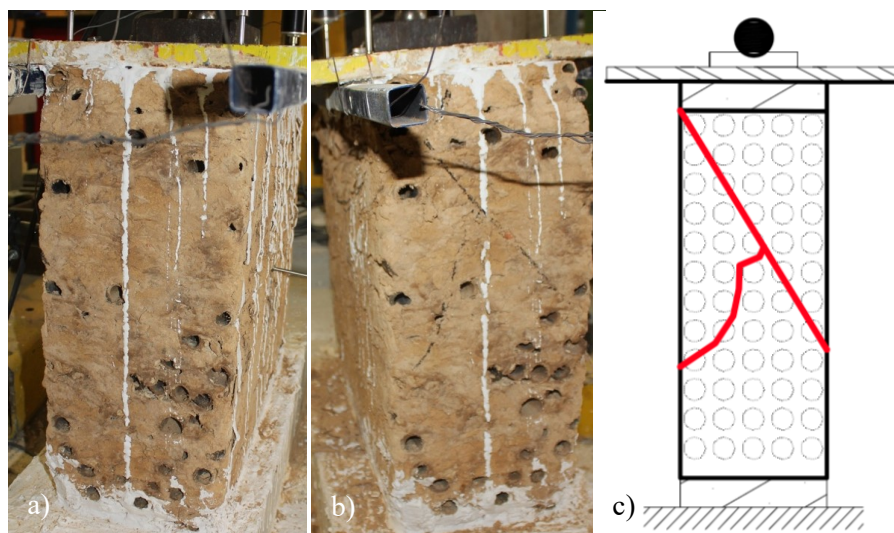


Figura 4.31-Murete M6 antes (a), depois do ensaio (b) e a respetiva superfície de rotura (c).

4.2.3 Comparação dos resultados obtidos com outros autores

Segundo Miccoli et al. (2014) o cob tradicional apresenta valores de deformabilidade na rotura bastante superiores aos valores típicos das outras principais técnicas de construção com terra, como a taipa e o adobe. Em Quagliarini et al. (2018), os muretes de cob tiveram uma extensão axial média na rotura durante os ensaios à compressão de 7,89 % (aproximadamente o dobro dos valores obtidos no ensaio à compressão dos muretes estudados nesta dissertação (Tabela 4.7)).

A grande quantidade de partículas finas confere aos muretes da argamassa T1 um menor volume de vazios, assim como pode significar uma maior quantidade de argilas (que são partículas mais finas que os siltes e areias). Um menor volume de vazios pode também implicar maior compactidade, o que pode contribuir significativamente para um aumento da resistência à compressão. Uma maior quantidade de argilas pode também significar um aumento de reação da cal aérea com as mesmas, tendo como consequência um aumento de resistência mecânica.

Com base nos resultados da caracterização do estudo realizado por Val (2015) pode admitir-se que os muretes T1 têm uma massa volúmica aparente superior aos muretes T2; isto porque entre os provetes cúbicos ensaiados por Vale (2015), com 15 cm de aresta com canas e fibras, os realizados com a argamassa T1 apresentam massa volúmica superior aos realizados com a argamassa T2 (1220 kg/m³ e 930 kg/m³ respetivamente). Desse modo, confirma-se uma maior compactidade, o que pode explicar a maior resistência mecânica da argamassa T1. A terra T2 já incorpora originalmente agregados grossos que tornam desnecessária a adição de areão, que para a terra T1 é imprescindível. Assim, somando os volumes de Terra e Areão, tem-se que o traço de T1 é 1:0,09:0,06:1 (de terra+areão:cal:pozolana:fibras). Verifica-se que as proporções entre T1 e T2 são exatamente as mesmas; apenas varia o tipo de terra. Segundo Val et al. (2015) a introdução de secante está associada ao aumento rápido de endurecimento. De acordo com o mesmo autor (Val, 2015), a argamassa T1 contém a mesma quantidade de areão e de terra, enquanto que, a argamassa T2 só tem terra. Isto deve-se à terra da FCT NOVA ser maioritariamente siltosa, sem grande percentagem de areias e agregados grossos (Tabela 3.1). Não foi adicionado qualquer secante à argamassa T1, ao contrário da argamassa T2.

Os resultados da caracterização mecânica realizada por Val (2015) composta por ensaios à compressão uniaxial, ensaios à flexão e módulo de elasticidade dinâmico, permitem a comparação das duas argamassas T1 e T2 utilizadas nos muretes ensaiados e confirmar a tendência dos resultados obtidos no presente estudo. Os ensaios à compressão uniaxial anteriormente realizados por Val (2015) aos provetes com canas e com fibras com dimensões 0,1 x 0,1 x 0,2 metros constituídos pela argamassa T1 tiveram uma média bastante superior aos constituídos pela argamassa T2, atingindo os valores de tensão de rotura de 0,411 MPa e 0,326 MPa, respetivamente.

De igual forma, os ensaios realizados no estudo de Val (2015), a provetes das mesmas dimensões que os anteriores, mas sem canas, confirmam uma maior resistência da argamassa T1 com uma média de tensões de rotura de 0,36 MPa, enquanto que, a argamassa T2 tem uma média de tensões de rotura de 0,257 MPa. Neste estudo (Val, 2015) o autor também contemplou ensaios à compressão uniaxial de provetes cúbicos de 0,15 m de aresta com canas e fibras. Os resultados médios obtidos das tensões máximas foram de 0,321 MPa para argamassa T1 e 0,098 MPa para a argamassa T2.

Embora todos os resultados anteriormente descritos indiquem uma maior resistência à compressão da argamassa T1, o cenário inverte-se na ausência de fibras, sendo que a média de tensões de rotura de T1 nestas condições a provetes de dimensões 4 x 4 x 16 cm foi de 0,42 MPa, e em contrapartida, a argamassa T2 teve uma média relativamente superior de 0,591 MPa. Visto que, estes resultados são médias de cinco e seis provetes de cada argamassa, pode-se concluir que as fibras assumem um papel importante não só na flexão (como citado em Val (2015)) mas também na resistência à compressão. Embora os resultados realizados em Val (2015) permitam a comparação entre as argamassas T1 e T2, os valores obtidos foram bastante mais elevados do que os resultados do presente estudo (entre 3 a 6 vezes superiores), o que se pode explicar principalmente pela grande diferença de dimensões entre os provetes e os muretes.

Segundo Val (2015) o aumento de dimensões das amostras de ReedCob está associado a uma diminuição de resistências mecânicas do material, tendência que se confirma no presente estudo. Tendo em conta que o ReedCob é uma tipologia de construção executada manualmente com materiais heterogêneos, como a terra, e outros materiais com variados tamanhos (fibras e canas), os muretes (de maior dimensão) tendem a possuir mais imperfeições do que os provetes (de pequena dimensão), o que pode influenciar diretamente o comportamento mecânico.

Durante a execução dos ensaios à compressão de muretes, a base e as placas de aço exercem uma força de atrito paralela às superfícies de contato proporcionais à força de compressão exercida. Tendo em conta que, o atrito é sempre contrário ao movimento e o murete tende a expandir-se nas direções perpendiculares à força de compressão do ensaio (efeito de Poisson), as forças resultantes deste atrito tendem a confinar o provete, contrariando esta expansão nestas zonas. O efeito deste atrito vai diminuindo quanto mais afastadas as secções horizontais estão das extremidades superiores e inferiores do murete ensaiado. Desse modo, a resistência à compressão é afetada pela esbelteza dos provetes ou muretes e não pela sua escala.

Segundo Quagliarini et al. (2018) quanto maior for a esbelteza dos provetes ensaiados, menor a tensão de rotura. A esbelteza de um provete é o rácio entre a altura e a área da base. Se esta relação for muito maior que uma unidade, o centro do provete ou murete deixa de ser afetado pelo atrito das placas de aço ou da base,

resultando uma resistência à compressão menor. Se a esbelteza dos provetes for menor que uma unidade, o centro dos provetes ainda é afetado pelo atrito nas superfícies de contato, diminuindo a extensão lateral e aumentando a resistência à compressão.

Os resultados à compressão uniaxial obtidos em Vincelas et al. (2018) dos provetes em cob variam entre 0,45 MPa e 0,68 MPa, nos provetes cilíndricos de menor dimensão, enquanto que, a média de tensão máxima dos muretes de grande dimensão foi de 0,78 MPa. Ao contrário dos resultados dos ensaios em ReedCob neste estudo, os muretes em cob de grande dimensão tiveram uma tensão máxima superior aos provetes cilíndricos mais pequenos.

Os muretes em cob à escala real ensaiados em Quagliarini et al. (2018) têm uma média de 1.12 MPa de resistência à compressão. Estes resultados são aproximadamente dez vezes superiores aos valores obtidos no corrente estudo, o que é normal, visto que, o cob é constituído por uma quantidade de terra muito superior em relação ao ReedCob (que tem um volume de vazios bastante superior devido às canas longitudinais). No estudo realizado por Quagliarini et al. (2018), foram também calculados os valores do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson antes e após a fendilhação dos muretes. O módulo de elasticidade teve um aumento pouco significativo após fendilhação e o valor médio do coeficiente de Poisson foi de 0,03 e 0,21, respetivamente, antes e depois da fendilhação. Segundo este autor (Quagliarini et al., 2018), uma menor velocidade de carregamento resulta em valores de resistência à compressão relativamente mais altos.

Os valores médios do coeficiente de Poisson obtidos em Quagliarini et al. (2018) são inferiores aos obtidos para os muretes em ReedCob. A argamassa T1 apresenta um valor do coeficiente de Poisson de 0,21 antes da fendilhação, resultado bastante superior ao valor de 0,03 apresentado por Quagliarini et al. (2018). Em contrapartida, os valores dos coeficientes de Poisson após fendilhação dos muretes em Cob são muito próximos aos muretes em ReedCob constituídos pela argamassa T1 (0,21 e 0,25 respetivamente). Os resultados da argamassa T2 podem distorcer as conclusões, visto que, a rotação do murete M5 inverte a tendência de um aumento do coeficiente de Poisson após fendilhação.

Pode-se concluir que, os muretes em Cob têm uma extensão lateral reduzida antes da fendilhação em relação ao ReedCob. Estes valores tendem a ficar muito próximos após a fendilhação.

Oliveira (2017) ensaiou à compressão adobes (15 x 15 cm e a terceira dimensão variável entre os 8 e 12 centímetros) retirados de 3 habitações existentes no concelho de Palmela. Os adobes foram ensaiados individualmente e em conjunto (dois meios adobes sobrepostos ligados com uma argamassa de terra). Os resultados médios foram de 0,83 MPa quando os adobes foram ensaiados individualmente e de 0,45 MPa quando se realizaram ensaios ao conjunto de dois meios adobes (Tabela 4.10).

Ferreira (2017) realizou ensaios à compressão a provetes de taipa prismáticos com dimensões 15 x 15 x 10 cm. A média dos resultados dos 15 provetes ensaiados foi de 0,63 MPa. No mesmo estudo foram ensaiados 14 amostras de adobe em que a média dos valores máximos de resistência à compressão foi de 0,88 MPa (Tabela 4.10).

Com o intuito de avaliar a influência da estabilização física recorrendo a fibras de coco, Sarma et al. (2016) ensaiaram à compressão provetes prismáticos com 23 cm x 15 cm x 75 cm de cob e de taipa. Os ensaios foram realizados em provetes estabilizados com 0,25% e 0,5% de fibras de coco em massa e em provetes não

estabilizados com fibras, simulando taipa. Os provetes em taipa atingiram um pico de tensão superior aos provetes cob ensaiados. Por outro lado, os provetes em cob exibiram uma deformabilidade de aproximadamente 250% em relação aos provetes de taipa. A média dos resultados de resistência à compressão dos provetes em cob não estabilizado foi de 0,71 MPa (Tabela 4.10).

Mansour et al. (2015) ensaiou à compressão blocos de terra comprimida com 7 cm x 7 cm x 7 cm. O intervalo de resultados obtido foi muito disperso, variando de 0,35 MPa a 4 MPa (Tabela 4.10), que os investigadores justificaram pelas diferentes massas volúmicas dos blocos. Segundo estes investigadores, a resistência à compressão dos blocos é diretamente proporcional à sua massa volúmica, que por sua vez é proporcional à pressão exercida durante o seu fabrico.

Na Tabela 4.10 são apresentados de forma resumida os valores de resistência à compressão dos estudos de caracterização de várias técnicas de construção com terra anteriormente descritos. Os resultados à compressão uniaxial apresentados na Tabela 4.10 têm alguma variação, mesmo quando se trata da mesma tipologia construtiva. As diferenças obtidas por diferentes investigadores para a mesma tipologia construtiva pode ser justificada pelas diferentes constituições das terras utilizadas para executar os provetes ensaiados pelas formulações dos materiais com base em terra (sem ou com estabilizações físicas e químicas), por diferenças dentro das próprias técnicas construtivas, pelos procedimentos e equipamentos de ensaio utilizados e pelas dimensões e tipos de provetes ensaiados. Por outro lado, embora existam procedimentos gerais para a execução de cada técnica construtiva, estes provetes e muretes são executados por vezes manualmente, o que pode originar alguma heterogeneidade de provete para provetes, o que influencia a sua resistência.

Como esperado, os resultados dos ensaios de muretes em cob (Sarma et al., 2016; Vincelas, 2018; Rizza et al., 2015; Quagliarini et al., 2010) apresentaram uma resistência à compressão superior aos muretes de ReedCob ensaiados durante a realização do presente estudo. Como antes referido, as canas da tipologia construtiva ReedCob diminuem a quantidade de argamassa à base de terra existente, aumentam a velocidade de construção, aligeiram a parede, mas reduzem a sua massa volúmica e a resistência à compressão comparativamente aos métodos de construção em que não são usadas canas.

Como se pode observar nos diagramas tensão-extensão de Rizza et al. (2015) apresentados na Figura 77, o tamanho das fibras adicionadas à argamassa têm bastante influência na resistência à compressão do cob. O melhor resultado de resistência à compressão deste estudo foi obtido para os provetes executados com fibras de média dimensão (da ordem de 10 cm de comprimento). No ReedCob analisado, as fibras apresentaram comprimentos de 20 a 30 centímetros de comprimento.

Os diagramas de tensão-extensão dos muretes em cob ensaiados por Quagliarini et al. (2010) apresentados na Figura 4.32 apresentam uma extensão na rotura bastante superior aos outros materiais ensaiados noutros estudos. É importante referir que a medição dos deslocamentos verticais foi realizada por Quagliarini et al. (2010) com recurso a um só transdutor, o que não permite detetar rotações anómalas do topo do murete. O uso de um só transdutor também pode ser arriscado, visto que, algum deslizamento ou mudança de posição do transdutor é suficiente para prejudicar os resultados. Por outro lado, a carga aplicada neste ensaio à compressão foi medida por Quagliarini et al. (2010) com uma célula de carga de 3000 kN com um erro de 1%, que equivale

a 30 kN. A célula de carga utilizada pode não registrar os valores de carga reais, tendo em conta que os valores de resistência à compressão dos muretes em cob foram inferiores a 0,5 kN.

Tabela 4.10-Comparação dos resultados obtidos no presente estudo com os resultados de outros autores.

Autores	Tipo de material ensaiado/tipologia construtiva	Dimensão dos provetes /muretes (cm)	Resistência à compressão uniaxial média (MPa)
Oliveira (2017)	Adobes simples	15 x 15 x 0,08 a 0,12	0,83
	Adobes sobrepostos por argamassa de terra	15 x 15 x 0,08 a 0,12	0,45
Ferreira (2017)	Taipa	15 x 15 x 10	0,63
	Adobe	42 x 30 x 14	0,88
Ribeiro (2016)	Bloco de terra comprimida	14 x 29,5 x 90	1,38
	Pequena alvenaria (3 blocos de terra comprimida)	14 x 29,5 x 27	0,52
Sarma et al. (2016)	Cob	23 x 15 x 75	0,71
	Taipa	23 x 15 x 75	0,85
Adorni et al. (2013)	Adobe	7 x 7 x 13 (com pequenas variações)	0,94
Miccoli et al. (2014)	Cob	42 x 42 x 11,5	1,59
Silveira et al. (2011)	Adobe	h=30 Φ =[8 a 9]	1,20
Pullen (2009)	Cob	h=30 Φ =15	0,70
Illampas et al. (2013)	Adobe	h=5 Φ =5	0,60 a 1,75
		5 x 10 x 10	0,45 a 3,31
Mansour et al. (2015)	Blocos de terra comprimida	7 x 7 x 7	0,35 a 4
Conventry (2004)	Cob	h=10 Φ =[25 a 35]	0,86
Vinceslas et al. (2018)	Cob	h=32 Φ =16 e h=30 Φ =15	0,45 a 0,68
		60 x 60 x 30	0,78
Rizza et al. (2015)	Cob	24 x 13 x 20 e 5 x 6 x 20	0,60
Quagliarini et al. (2018)	Cob	93 x 31 x 45,6	1,12
Quagliarini et al. (2010)	Cob	60 x 35 x 30	0,30
Presente estudo	ReedCob T1	50 x 50 x 20	0,11
	ReedCob T2	50 x 50 x 20	0,10

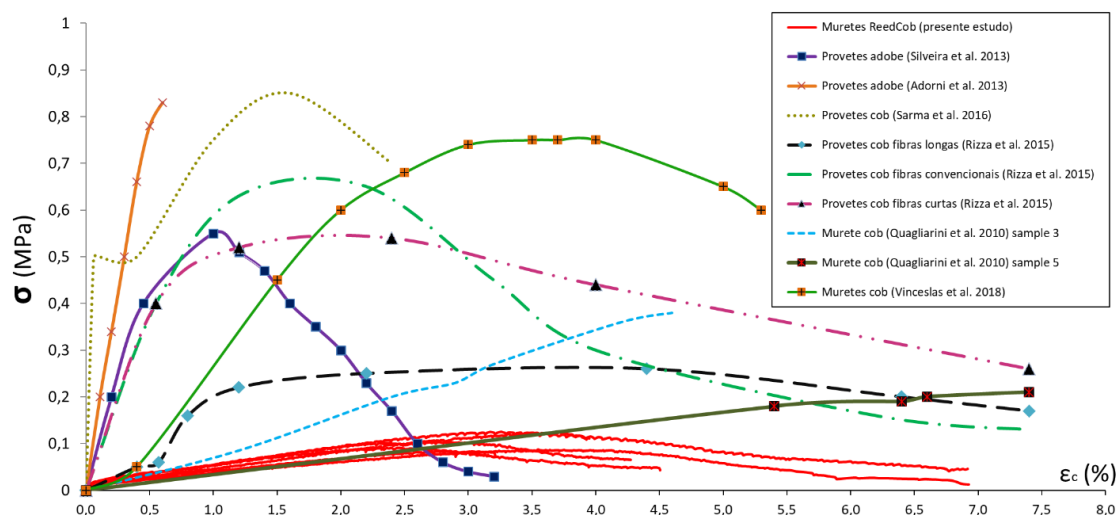


Figura 4.32- Comparação dos diagramas tensão-extensão dos muretes em ReedCob com outras tipologias construtivas. Adaptado de Sarma et al. (2016); Adorni et al. (2016); Silveira et al. (2011); Vincelas (2018); Rizza et al. (2015); Quagliarini et al. (2010)).

Os diagramas apresentados na Figura 77 permitem também constatar que os provetes ensaiados por Sarma et al. (2016) e Rizza et al. (2015) têm, por norma, um módulo de elasticidade (declive inicial dos diagramas tensão-extensão) superior aos muretes da mesma tipologia construtiva Vincelas (2018) e Quagliarini et al. (2010). Esta tendência também existe na resistência à compressão, visto que, a resistência à compressão dos provetes Sarma et al. (2016), Adorni et al. (2016) e Silveira et al. (2011) também foi superior aos muretes ensaiados por Vincelas (2018) e Quagliarini et al. (2010) apresentados na Figura 77. De forma análoga ao explicado anteriormente, esta tendência pode ser justificada com a esbelteza dos provetes e muretes, e com a influência do atrito proveniente do contacto entre o material ensaiado e as placas em que a força é exercida durante o ensaio. Por outro lado, os provetes ensaiados ensaiados por Sarma et al. (2016), Adorni et al. (2016) e Silveira et al. (2011) tiveram uma deformação no pico de tensão inferior aos muretes ensaiados por Vincelas (2018) e Quagliarini et al. (2010).

Como mostra a Figura 77, apenas os muretes em cob de Quagliarini et al. (2010) apresentam uma deformação durante a tensão máxima superior aos muretes em ReedCob. Desse modo, pode-se afirmar que uma das vantagens da aplicação das canas nas paredes em ReedCob é aumentar a deformabilidade.

4.3 Análise de viabilidade do ReedCob para Angola

No capítulo 2, foram descritas as tipologias de construção com terra mais usuais em zonas rurais de Angola, como a alvenaria de adobe e o tabique de terra. Foram também descritos os métodos de construção do cob e ReedCob. Nesta etapa, considera-se importante a avaliação da viabilidade da implementação do ReedCob como um método de construção com terra alternativa aos métodos já praticados em Angola, quer estes sejam em terra ou recorrendo a materiais industrializados.

Durante um estudo de viabilidade de uma nova tipologia de construção é essencial considerar os aspetos sociais, disponibilidade de matéria prima local, vantagens e desvantagens técnicas e alguns aspetos económicos. Qualquer uma destas questões pode tornar a implementação proposta inviável.

Um dos aspetos mais importantes a considerar durante o estudo de viabilidade de uma nova metodologia de construção é o contexto social. Por esse motivo, é essencial o estudo dos hábitos, da cultura e das rotinas da população local, e perceber a diferença entre as tipologias de construção atuais e os novos métodos de construção propostos, visto que estes podem ter impacto negativo no dia-a-dia das povoações estudadas.

Caso a solução de construção proposta tenha vantagens do ponto de vista técnico e económico, esta tem também de ser aprovada pelas pessoas que a vão materializar e utilizar durante anos. Se a solução não for aceite socialmente, dificilmente será implementada.

Para além dos aspetos sociais, tem de ser avaliada a existência de matéria prima para a construção, assim como a facilidade na sua obtenção. As paredes monolíticas de ReedCob são constituídas na sua maioria por terra, cal aérea, fibras vegetais e canas.

A terra, principal matéria prima necessária para a edificação em ReedCob, pode ser encontrada na maioria das regiões, embora tenha de existir uma seleção para garantir uma granulometria adequada e a existência de algum teor de argila. Uma terra com baixo teor de argila necessitará de ser estabilizada com cal enquanto uma terra com maior teor de argila até pode dispensar essa estabilização. Uma granulometria muito fina (tal como a T1) necessitará da adição de areão ou outro resíduo (por exemplo cascas rijas ou conchas) que possa constituir a estrutura da terra. De forma a garantir uma argamassa com a percentagem adequada de areia, siltes e argila, podem ser efetuadas misturas de vários solos, de forma análoga ao adobe e tabique de terra já existentes nas regiões estudadas.

A cal aérea, como referido anteriormente, é o estabilizante químico usado na solução proposta. Por esse motivo, é essencial que a comercialização da mesma seja feita nas imediações dos casos de estudo estudados. De uma forma geral, existe comercialização de cal aérea por quase todo o território angolano.

Uma das hipóteses para a obtenção de cal aérea nas zonas em que esta não é comercializada em sacos, é a produção da mesma através da calcinação de conchas ou calcário em fornos tradicionais, semelhantes aos fornos referenciados no terceiro capítulo desta dissertação (Figura 2.11). A disponibilidade de conchas está limitada às regiões litorais, como é o exemplo dos casos de estudo 1, 2 e 4. Caso não exista grande disponibilidade de cal aérea nas periferias da cidade de Luena, referente ao terceiro caso de estudo, a única alternativa possível é extração de calcário e posterior calcinação.

Embora a edificação em ReedCob não necessite de mão de obra especializada, este tipo de construção requer algum conhecimento na extração, seleção da matéria-prima e aplicação dos materiais durante construção.

Nos meios suburbanos e meios rurais perto das cidades angolanas, a tipologia de construção mais comum é a edificação recorrendo a alvenaria estrutural com blocos de betão ou de tijolo. Para a análise de viabilidade do ReedCob em Angola considerou-se importante fazer uma comparação de custos e resíduos gerados entre uma habitação em alvenaria com materiais industrializados e uma edificação com a mesma geometria, construída com a tipologia ReedCob.

Para esse efeito, foi considerada uma habitação social comum (de acordo com: *Arquitetura Sustentável em Angola: Manual de Boas Práticas, CPLP*) de 4 compartimentos, 3 quartos e uma zona comum de acesso (Figura 4.32).

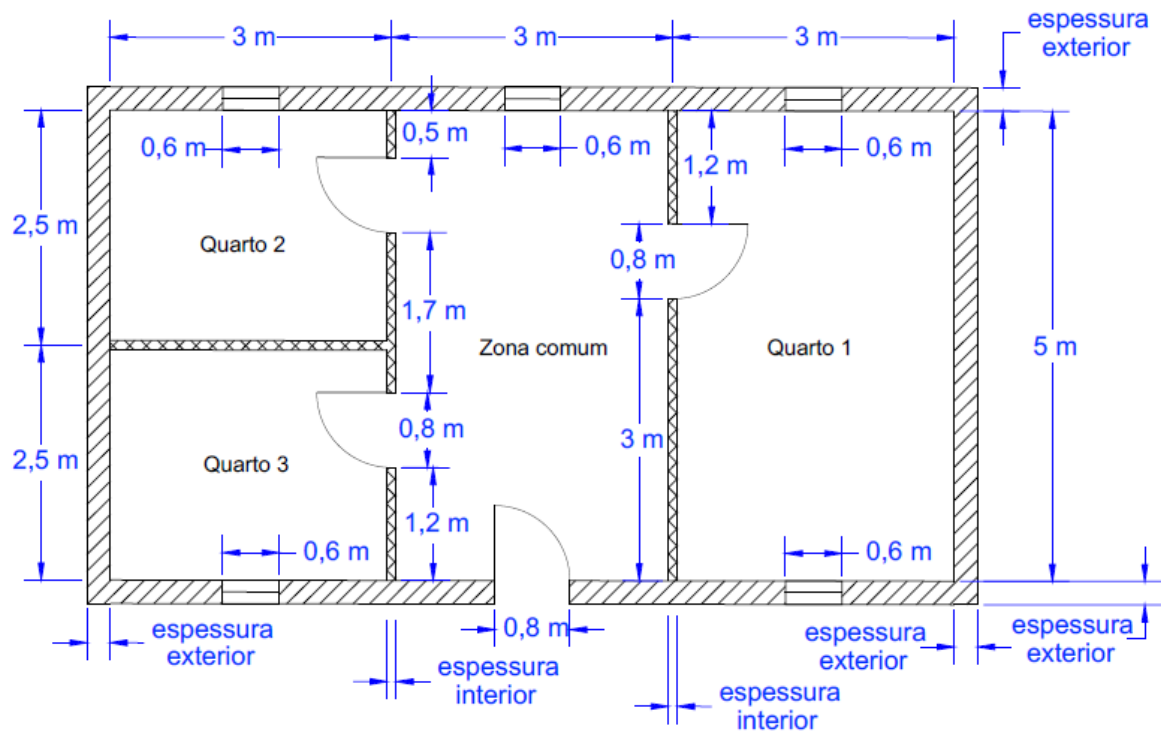


Figura 4.33-Planta da habitação tipo escolhida para um meio rural Angolano.

Como é comum em zonas rurais em angolanas, as habitações não contemplam compartimentos destinados a instalações sanitárias interiores, nem compartimentos destinados a confeção de alimentos. As principais características geométricas das duas habitações comparadas são iguais, sendo que só variam as espessuras das paredes interiores e exteriores (Tabela 4.11).

Tabela 4.11-Caraterísticas geométricas da habitação tipo escolhida para um meio rural.

Pé direito (m)	3,0
Área implantação (m ²)	45,0
Perímetro implantação (m)	28,0
Espessura do betão ciclópico (m)	0,2
Área de vãos envidraçados (m ²)	1,8
Área da porta exterior (m ²)	1,8
Área das portas interiores (m ²)	5,5
Área das paredes exteriores (m ²)	80,4
Área das paredes interiores (m ²)	33,5
Espessura das paredes exteriores ReedCob (m)	0,4
Espessura paredes interiores ReedCob (m)	0,3
Perímetro paredes exteriores (m)	28,0
Perímetro paredes interiores (m)	10,6
Volume paredes exteriores (m ³)	11,2
Volume paredes interiores (m ³)	3,2

Os preços calculados foram obtidos em kwanzas (moeda angolana em vigor) utilizando o gerador de preços online (<http://www.angola.geradordeprecos.info/>) [w11].

A fundação considerada para as duas habitações foi um massame de betão ciclópico de 20 centímetros de espessura. Este betão é executado em obra recorrendo a uma betoneira elétrica simples de 100 ou 200 litros. As portas e envidraçados também foram considerados iguais para as duas habitações. Os preços calculados para as fundações, envidraçados e portas não fazem diferença na subtração entre os preços finais totais, mas contribuem para uma estimativa total dos preços e resíduos das duas habitações.

Para a habitação com materiais industrializados, foi considerada uma alvenaria estrutural em blocos de betão de 20 centímetros de espessura exterior e uma alvenaria de 15 centímetros no interior. Os montantes, os lintéis e a argamassa de assentamento estão incluídos no preço por m² das alvenarias. O revestimento considerado para estas paredes foi um reboco de argamassa à base de cimento e areia, e posteriormente uma pintura em tinta plástica. Para a cobertura desta habitação, foi adotado um painel sandwich constituído pelo isolante térmico poliestireno expandido entre duas chapas metálicas. O isolante térmico foi considerado indispensável pela grande incidência solar durante a maioria dos meses e altas temperaturas típicas em território angolano.

Para a habitação em ReedCob foram consideradas paredes de 40 centímetros de espessura no exterior e 30 centímetros no interior. A percentagem estimada do volume total ocupado pela terra nas paredes foi de 58%. Esta percentagem foi obtida estimando o volume de canas ocupado nos muretes (0,2 x 0,5 x 0,5 metros) anteriormente ensaiados à compressão durante a presente dissertação.

Desse modo foi considerado que os muretes eram constituídos por 12 camadas horizontais de 5 canas, cada uma com cerca de 3 centímetros de diâmetro médio. Dessa forma, subtraindo o volume ocupado pelas canas ao volume total de um dos muretes é possível obter uma estimativa da percentagem de volume ocupado pelas canas (Tabela 4.11).

Tabela 4.12-Valores considerados para o cálculo da quantidade de canas existente na habitação tipo.

Quantidade aproximada de canas nos muretes	
Nº canas por camada	5
Nº camadas	12
Nº total canas	60
Largura provetes	0,5
Metros de cana	30
Volume provetes	0,05
Diâmetro exterior médio das canas (m)	0,03
Volume de canas/volume total do provete	0,42
Metros de cana por m ³	600
Altura das canas na natureza (m)	3,5
Número total de canas inteiras cortadas	2465

Estimando o número de canas num murete também foi possível chegar a um número total de canas a serem extraídas para executar este tipo de parede monolítica (Tabela 4.12).

Para a estimativa de custos de paredes ReedCob, foi pressuposta a autoconstrução e a extração da terra, obtenção de fibras e corte de canas nas imediações da construção. Desse modo, não foram tidos em conta custos de mão de obra especializada e custos de obtenção da matéria prima utilizada nas paredes, exceto os custos da cal aérea.

Para a estimativa das quantidades necessárias para a construção da habitação em ReedCob foi considerado um traço semelhante ao utilizado para a construção da célula e dos muretes alvos de estudo nesta dissertação (Tabela 3.1). Desse modo, foram consideradas quantidades iguais de terra e fibras em volume, assim como uma quantidade de cal aérea correspondente a cerca de 7% do volume de terra utilizado.

Embora seja utilizado um volume igual de terra e fibras, estes constituintes ocupam parcelas diferentes do volume total da argamassa, tendo em conta que a terra ocupa os vazios das mesmas fibras. Desse modo, considerou-se que para a execução de 1 m³ de argamassa são necessários 0,7 m³ de terra, (ocupando 70% do volume total) e 0,7 m³ de fibras, considerando que estas ocupam cerca de 30% do volume total da argamassa produzida (Tabela 4.12).

A quantidade de cal aérea utilizada para esta estimativa de custos foi de aproximadamente 7% do volume total de terra utilizada, o que equivale a 0,05 m³ por cada metro cúbico de argamassa produzida. Multiplicando este valor pela massa volúmica aparente da cal aérea (1300 kg/m³) pode chegar-se à conclusão que são necessários 63,7 kg para produzir um metro cúbico de terra (Tabela 4.13).

Tabela 4.13-Quantidades de solo, fibras e cal aérea necessárias para a edificação de um metro cúbico de argamassa para a edificação de paredes em ReedCob com um traço ao utilizado na construção da célula e dos muretes ensaiados (1:1:0,07 de solo: fibras: cal aérea).

Reedcob (1 m ³)	Traço 1:1:0,07 (solo:fibras:cal aérea)	Quantidade por m ³
Massa volúmica aparente cal aérea (fradical)=1300 kg/m ³		
Solo (m ³)		0,70
Fibras (m ³)		0,70
Cal aérea (7% volume total de terra) (m ³)		0,05
Cal aérea (7% volume total de terra) (kg)		63,7

Para a edificação em ReedCob foi considerado um reboco de argamassa de terra e cal aérea no exterior e uma argamassa só de terra no interior. A argamassa de terra e cal aérea tem maior resistência à água da precipitação. Caso a argamassa de terra do reboco exterior não seja estabilizada com cal aérea, esta tem de ser frequentemente reparada.

Depois de multiplicados os valores unitários pelas quantidades totais necessárias, foram obtidos os custos inerentes às duas edificações (Tabelas 4.14 e 4.15).

O custo total de cal aérea foi estimado multiplicando a quantidade de cal pelo preço unitário por quilograma (158 Kwanzas).

A estimativa de custo total de uma edificação em alvenaria de blocos de betão estruturais foi de 1.585.000 kwanzas enquanto que o orçamento total calculado para edificação em ReedCob (com 7% de cal aérea em volume) foi aproximadamente 1.250.000 kwanzas, o que resulta numa descida de 21% do custo total.

Tabela 4.14-Estimativa de custos de uma habitação em materiais industrializados.

	Habitação em alvenaria de blocos de betão					
	Material	Unidades	Valor unitário (Kz)	Quantidade	Total (Kz)	Resíduos gerados (litros)
Fundações/ Pavimento	Betão ciclópico	m³	7295	28	204262	20,06
Paredes exteriores	Alvenaria de Blocos betão (20 cm) estrutural com argamassa de assentamento em cimento, lintéis e montantes em betão armado	m²	1950	80,36	156710	12,54
	Reboco de argamassa de cimento	m²	900	80,36	72287	0,67
	Pintura com tinta plástica	m²	821	80,36	65984	0,03
Paredes interiores	Alvenaria de Blocos betão (15 cm) estrutural com argamassa de assentamento em cimento, lintéis e montantes em betão armado	m²	1765	33,48	59102	10,49
	Reboco de argamassa de cimento	m²	789	147,32	116210	0,66
	Pintura com tinta plástica	m²	470	147,32	69227	0,04
Vãos	Caixilharia madeira	Unidade	108202	5	541012	0,79
	Portas	Unidade	60909	4	243637	1,27
Cobertura	Painel sandwich (m)	m	6313	9	56818	0,26
Total					1585249	46,81

Tabela 4.15-Comparação da estimativa de custos entre uma habitação em materiais industrializados e uma habitação em ReedCob com e sem estabilização química com cal aérea.

Habitação em Reedcob					
Material	Unidades	Valor unitário (Kz)	Quantidade	Total (Kz)	Resíduos gerados (litros)
Betão ciclópico	m³	7295	28	204262	20,06
Terra	m³	0	4,5		-
Cal aérea (7% do volume total de terra)	kg	158	288	45314	0,03
Fibras	m³	0	4,5	-	-
Canas	m	0	6720	-	-
Reboco de argamassa terra estabilizada com 9% de cal aérea	m²	369	80,4	29617	-
Pintura com tinta de cal	m²	184	80,4	14752	0,03
Montantes de madeira de secção (15x7 Cm) (a cada 2 metros)	m	623	42	26174	-
Vigas de madeira de secção (15x7 Cm) (entre montantes)	m	623	10,6	6605,7	-
Terra	m³	0	1,3	-	-
Cal aérea (7% do volume total de terra)	kg	158	81,7	12866	0,03
Fibras	m³	0	1,3	-	-
Canas	m	0	1908	-	-
Reboco de argamassa de terra	m²	1	-	-	-
Montantes de madeira de secção (15x7 cm) (a cada 2 metros)	m	623	15,9	9909	-
Vigas de madeira de secção (15x7 cm) (entre montantes)	m	623	28,0	17449	-
Caixilharia madeira	Unidade	108202	5	541012	0,79
Porta	Unidade	60909	4	243637	1,27
Chapa metálica e colmo	m²	2171	45	97677	-
				1249274	22,21
		Diferença de preço total (kz)		335975	
		Diferença de resíduos gerados (l)		24,6	
		Total habitação em Reedcob com 3% de cal		1210487	-
		Diferença de preço total (kz)		374762	
		Total habitação em Reedcob sem cal		1191094	-
		Diferença de preço total (kz)		394155	
		Total habitação em Reedcob sem cal e sem valor dos envidraçados e portas		406445	-
		Diferença de preço total (kz)		1178805	

É usual que as paredes autoportantes com terra tenham uma espessura considerável, comparativamente a materiais industriais, principalmente devido à sua baixa resistência à compressão. Quando a terra que constitui estas paredes é quimicamente estabilizada, mesmo que com uma baixa percentagem de um ligante, existe um significativo do preço total.

O objetivo da estabilização química é aumentar a resistência mecânica, aumentar a velocidade de construção e melhorar a resistência à água. Dependendo das características finais desejadas, a percentagem de cal pode ser reduzida ou eliminada. Por esse motivo, foi estimado o valor de construção da habitação em ReedCob com paredes monolíticas contendo 3% de cal aérea e 0% de cal aérea, o que resultou numa redução de custos de 24% e 25%, respetivamente, em relação ao custo da habitação executada com blocos de betão.

É de notar também que o custo das janelas e portas utilizadas para as duas habitações têm uma influência bastante significativa no custo total. Numa tentativa de perceber se a tipologia construtiva ReedCob é viável em meios rurais é importante perceber que os preços estimados dos vãos são demasiado elevados para o poder económico das populações que lá habitam. Os preços estimados podem fazer sentido num contexto urbano, mas em zonas rurais, as janelas e portas são normalmente feitas pelos próprios habitantes, o que resulta numa diminuição dos custos na ordem dos 74% relativamente à habitação executada com materiais industriais.

Os resíduos gerados durante a construção foram também retirados do gerador de preços online (<http://www.angola.geradordeprecos.info/>) [w11]. O valor estimado de resíduos produzidos para a construção habitação em alvenaria de blocos de betão foi de 47 litros, enquanto que a habitação em ReedCob produziria menos de metade desse valor (22 litros de resíduos).

Os resíduos no final de vida útil não foram calculados, embora a habitação em ReedCob tenha a grande vantagem de ser constituída na sua maioria por terra e canas. Estes dois materiais acabam por se desfazer com o tempo caso não sejam protegidos, e voltam de certa forma às origens (principalmente se a terra não for estabilizada com cal aérea).

Durante a vida útil das paredes executadas com terra é comum existirem pequenas degradações. Estes pequenos problemas podem estar relacionados com o desgaste, embora normalmente estejam associados ao contacto com água que desintegra a terra. Outro problema comum de paredes com terra, como anteriormente referido, são os insetos e microrganismos que podem instalar-se no interior e acabam danificando as paredes. No entanto, é sinónimo de não toxicidade das paredes de terra e pode ser evitado pela utilização de revestimentos adequados. Embora a construção recorrendo a materiais industrializados esteja normalmente associada uma elevada durabilidade, a construção com terra pode atingir o mesmo patamar de conservação caso sejam feitas as intervenções de manutenção necessárias para evitar que pequenos danos se alastrem nas paredes. A habitação da Figura 2.16 tem mais de 40 anos de existência (como anteriormente referido) e comprova a elevada vida útil deste tipo de construções. Por todo o mundo existem construções com paredes de terra com centenas de anos, como é o exemplo das muralhas do castelo de Paderne, construídas em taipa militar no século XII (Cotrim et al., 2018).

Como anteriormente referido, as edificações localizadas nas zonas rurais do território angolano são usualmente o adobe ou o tijolo cozido e o tabique de terra (pau-a-pique). Numa análise de viabilidade do ReedCob é importante compará-lo com técnicas de construção com terra. Estas três tipologias construtivas têm vantagens e desvantagens, mas a escolha de uma delas depende dos meios e conhecimento técnico disponíveis, das condições climáticas e das características da flora que os circunda (esta pode limitar as matérias primas disponíveis).

Para garantir a resistência mecânica das edificações em ReedCob, as paredes têm de ser relativamente espessas, o que requer uma quantidade de terra superior ao tabique de terra, embora uma grande parte do seu volume seja ocupado por canas. As paredes em tabique de terra têm espessuras muito inferiores às paredes em ReedCob porque a malha de troncos e ramos assume o papel de estrutura resistente, embora mais leve e com menor durabilidade. Por outro lado, esta malha implica uma grande quantidade de árvores e arbustos nas imediações, o que limita a construção.

A construção em ReedCob também implica uma grande quantidade de canas, mas pode escolher-se uma espécie invasiva, com uma velocidade de crescimento muito superior às árvores que dão origem a ramos e troncos para a construção em tabique de terra.

Dependendo do método de corte das canas, o ReedCob pode ter um intervalo de tempo de execução mais curto, principalmente por não depender nem do corte de troncos e ramos, nem da montagem da malha resistente de madeira. Em contrapartida, essa malha de madeira é mais facilmente preenchida por não depender do endurecimento de camadas anteriores de terra.

Como anteriormente referenciado, a fixação direta no terreno da base da estrutura resistente em madeira de construções em tabique impossibilita a execução de um corte hídrico. O contato da base das paredes em tabique com o solo aumenta a probabilidade de ocorrer ascensão capilar, o que reduz a durabilidade das paredes comparativamente a construções ReedCob, na base de cujas paredes pode ser efetuado um corte hídrico. A degradação precoce da base das paredes em tabique de terra podem ser notadas nas Figuras 2.29 e 2.30.

Como descrito anteriormente, as alvenarias de adobe, bloco de terra comprimida ou tijolo têm a vantagem de os blocos serem pré-fabricados e, desse modo, o único período de secagem que tem de ser respeitado neste tipo de construção é o da argamassa de assentamento. Em função do tipo de bloco de alvenaria, o revestimento é dispensável ou mais necessário para garantir durabilidade da parede.

A quantidade de canas utilizadas durante a edificação em ReedCob também acelera o processo de construção e cura, diminuindo o volume de terra que tem de ser extraída. Por outro lado, a construção em ReedCob pode implicar uma quantidade de terra e fibras inferior, pelo facto de grande parte do seu volume ser ocupado pelas canas. A cozedura dos blocos de terra para a produção de tijolo pode implicar a construção de fornos e uma quantidade de lenha para arder como combustível.

As canas utilizadas para a edificação em ReedCob aumentam também o volume de vazios (ar não ventilado) no interior das paredes e, conseqüentemente, aumenta a sua resistência térmica em relação às paredes maciças de tabique de terra (muito delgadas) e alvenaria de adobe (mais espessas, dependendo da dimensão dos adobes e aparelho da alvenaria). Assim as paredes ReedCob terão um maior contributo para o conforto térmico, o que pode representar uma grande vantagem num clima com elevadas temperaturas. Em contrapartida, estes vazios dentro das canas reduzem a massa da parede e, conseqüentemente, sua a inércia térmica comparativamente a uma solução totalmente maciça; no entanto, a inércia continua a ser elevada.

A durabilidade de uma construção em ReedCob não deve variar muito de uma construção em alvenaria de adobe, principalmente tendo em conta os procedimentos e características inerentes à construção destas tipologias. No entanto, a estabilização da terra das paredes em ReedCob com cal aérea pode diminuir a sua vulnerabilidade à água e conseqüentemente aumentar a sua durabilidade e vida útil.

5. CONCLUSÕES

5.1 Conclusões finais

Durante a primeira fase desta dissertação, a descrição e análise detalhada dos processos construtivos com terra mais comuns em território angolano permitiu entender de que forma as condicionantes geográficas, culturais e climáticas podem ter influência na escolha da tipologia construtiva. Com base em fotografias e fontes orais foi possível perceber que algumas intervenções a construções com terra podem colocar em causa a sua conservação a médio e longo prazo, principalmente a tentativa do uso de ligantes hidráulicos em argamassas para revestir ou reparar estas paredes com terra.

Em contrapartida, verificou-se que uma solução alternativa para este contexto tem de ter um baixo custo, o que só é conseguido através da utilização de materiais e mão-de-obra local.

Assim, procedeu-se à ampliação da caracterização de uma tecnologia construtiva de paredes monolíticas com base em terra, fibras, cal aérea e canas, designada por ReedCob, nomeadamente através da caracterização *in situ* de um protótipo (célula) construído em 2014 na Estação de Exposição Natural de Alvenarias e Revestimentos do DEC da FCT NOVA, e ao ensaio de compressão a muretes que reproduziam essas paredes.

Os ensaios *in situ* na célula permitiram a identificação de algumas características físicas, assim como, possibilitaram avaliar o bom estado de conservação das paredes ReedCob passados 3 anos de exposição em condições atmosféricas naturais, mesmo sem a proteção de um reboco, apontando para aspetos de acumulação de água junto à fundação que poderão ser obviados. Os ensaios de impacto da esfera e de dureza superficial permitiram concluir que existe uma maior degradação da zona inferior das paredes da célula que pode estar relacionada com a ascensão capilar e com o mecanismo de secagem dependendo da exposição de cada fachada à radiação solar. Com efeito, as paredes com maior incidência solar estão em pior estado por fora, enquanto as outras duas estão em pior estado por dentro da célula.

O ensaio à absorção de água sob baixa pressão através dos tubos de Karsten apresentou resultados muito variados, que se podem justificar pela irregularidade das superfícies das paredes da célula ReedCob que, propositadamente, não foram regularizadas por um reboco, e que, dessa forma, dificultam a realização do ensaio.

Os resultados dos ensaios à compressão uniaxial aos seis muretes de ReedCob, 3 deles simulando a parede da célula e outros 3 simulando o murete anteriormente demolido na Fradical, permitiram concluir que a média da resistência à compressão dos três muretes simulando a célula (terra do Campus da FCT NOVA) é superior à média da resistência dos restantes 3 muretes (construídos com uma mistura com base em terra da Charneca da Caparica nas redondezas da Fradical). Os módulos de elasticidade axial e lateral acompanharam a mesma tendência da resistência à compressão.

Todos os muretes apresentaram uma extensão aproximada na rotura entre os 3% e 4%, e quanto maior esta extensão, maior foi o valor de resistência à compressão uniaxial obtido. Considerando-se a terra T1 (maioritariamente siltosa e sem agregados grossos) adicionada do areão como correspondente à terra T2, os teores de cal, pozolana e fibras são exatamente os mesmos. Assim, conclui-se que o aumento de resistência à compressão do ReedCob com terra T1 (+ areão) não está relacionado com o aumento do teor em cal e pozoalana utilizado na matriz de terra e que mesmo uma terra supostamente ineficiente para a técnica pode ser facilmente tornada adequada pela adição, neste caso, de um areão.

A análise de viabilidade permitiu concluir que a construção em ReedCob com terra estabilizada com cal pode diminuir 18% o custo total em relação à construção recorrendo a materiais industrializados. Esta redução de gastos pode chegar aos 22% caso a terra utilizada não seja quimicamente estabilizada com cal aérea.

Para além dos custos, concluiu-se que a solução ReedCob é viável. Esta solução tem uma inércia térmica, resistência térmica e isolamento acústico superiores e implica a utilização de uma quantidade de troncos e ramos inferior ao tabique de terra, muito corrente em regiões rurais em Angola. Mas por outro lado, exige uma grande quantidade de canas, fibras e, se se pretender uma construção rápida e sem necessidade de revestimento, cal aérea. Em virtude do contexto angolano, considera-se mais interessante proceder à construção de paredes ReedCob (ou mesmo Cob) não estabilizadas com cal, o que apenas limita a velocidade com que se pode construir em altura. Assim, ter-se-á de garantir uma secagem mínima de cada camada antes de proceder à aplicação da camada seguinte. Dessa forma, poupar-se-ia o uso da cal para estabilizar apenas argamassas de terra para realizar o reboco exterior, contribuindo para melhorar o aspeto estético da construção e, desse modo, para a motivação e interesse social por esta tecnologia construtiva por parte das populações.

No decorrer desta análise também se pode afirmar que a técnica de construção ReedCob exige menor quantidade de terra inferior ao adobe, principalmente porque tem grande parte do seu volume ocupado por canas e fibras vegetais, o que lhe confere maior resistência térmica e talvez menor inércia térmica (dependendo da espessura dos dois tipos de paredes). Já se a opção for por construir paredes Cob, a quantidade de terra necessária será maior que a correspondente ReedCob mas a inércia será maior. De qualquer modo, o volume e tipo de fibras utilizadas terá grande influência mesmo em termos de resistência.

Considera-se que, por utilizar materiais locais, por ser construída rapidamente por mão de obra com pouca especialização, comparativamente à construção com alvenarias de adobe, por constituir uma solução menos perecível e mais durável que a corrente construção em tabique de terra e menos dispendiosa que a construção em alvenaria de blocos de betão, tijolo cozido ou blocos de terra compactada, o ReedCob pode constituir uma alternativa possível para implementar em regiões rurais e semirurais em Angola.

A tipologia construtiva ReedCob pode ser efetuada recorrendo à autoconstrução, através de alguma formação conferida às populações, ou propiciar o estabelecimento de pequenas empresas de construção locais que procedam à construção ou que ajudem à construção conjuntamente com os proprietários.

No entanto, devido à terra continuar, nestes contextos angolanos associada a construção menos nobre, será importante levar a cabo construções de apoio social que, em cada comunidade, possam servir como (bons) exemplos iniciais.

5.2 Desenvolvimentos futuros

Depois de realizada esta investigação, considera-se importante que futuros estudos sobre o tema tenham em conta os seguintes fatores:

- Continuar a monitorizar o comportamento da célula ReedCob ao longo do tempo em exposição natural.
- O estudo da aceitação cultural de novas técnicas construtivas (como o ReedCob ou mesmo o Cob) em zonas rurais de Angola.
- Analisar a viabilidade desta tipologia construtiva noutros países em desenvolvimento, como é o caso de Timor-Leste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adorni, E., Coïsson, E., Ferretti, D. 2013. In situ characterization of archaeological adobe bricks. *Construction and Building Materials*, Vol 40, pp.1–9. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.004>)
- Carneiro P., Jerónimo A., Faria P., 2017. Reed-cob: tecnologia inovadora de baixo carbono para construção de pequeno porte. II Encontro nacional sobre reabilitação urbana e Construção Sustentável: do Edifício para a Escala Urbana. Lisboa, L. Bragança et al. (Eds.), iiSBE Portugal & Universidade do Minho, pp. 221-230, Portugal.
- Chastre C., 2005. Comportamento às acções cíclicas de pilares de betão armado reforçados com materiais compósitos. Tese de doutoramento, FCT NOVA, Caparica, Portugal.
- CEN, 2013. EN 16302: 2013 - Conservation of cultural heritage. Test methods. Measurement of water absorption by pipe method. Brussels, CEN.
- Conventry K.. 2004. Specification development for the use of Devon cob in earthen construction. Tese de doutoramento, School of Earth, Ocean and Environmental Sciences Faculty of Science, University of Plymouth, Reino Unido. (<http://hdl.handle.net/10026.1/1291>)
- Correia M., 2012. O “Patrimônio” do movimento moderno Luanda 1950-1975. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitectura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Cotrim M., Faria P., Silva A., 2018. Conservação das muralhas de taipa militar do castelo de Paderne-Uma história de intervenções. *Construção 2018*, Livro de atas, Casos de estudo, pp. 1480-1489. Lisboa
- Faria P., Amado M., Cartaxo F., 2011. Produção local de materiais para a sustentabilidade da construção, CLME 2011 - Congresso luso-moçambicano de engenharia, J. Silva Gomes et al. (Ed.), pp. 373-378 Maputo, Moçambique.
- Faria P., Lima J., 2018. Rebocos de terra. *Cadernos de Construção com Terra 3*, 1ª Ed., Argumentum, Lisboa.
- Faria P., 2007. Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias. *MUSA*, Vol 2, pp. 149-155, Portugal. (<http://run.unl.pt/handle/10362/9949>)
- Faria P., 2018, ReedCob: uma tecnologia eco-eficiente para a construção de habitação com paredes monolíticas de terra e canas / ReedCob: an eco-efficient construction technology for monolithic wall dwellings based on earth and reeds. *Repensar/Rethink Oé-Cusse - Timor Leste. Ensino e Investigação em Arquitetura/ Learning and Research in Architecture*. GEOTPU.LAB (Ed.), IST Press, e-book, pp. 298-305, pp. 314-315, Lisboa, Portugal (ISBN: 968-989-8481-68-9).
- Ferreira M., Lima J., Freire T., Faria P., 2017. Edifícios de adobe e taipa na região de Leiria, Portugal. Levantamento material e documental com vista à sua conservação e reabilitação. *CREPAT 2017 - Congresso da reabilitação do património*, A. Costa, A. Velosa, A. Tavares (Eds.), Universidade de Aveiro, pp. 31-40, Portugal.
- Ferreira M., 2017. Caracterização da construção com terra da região de Leiria. Contributo para a sua conservação, Dissertação de Mestrado, FCT NOVA, Caparica, Portugal.
- Guedes M., Pedro B., Silva I., Lopes L., Borges K. Cantuária G., Pinheiro M., Aleixo J., Pereira M., Lopes Â., Gomes C., Calixto L., 2010. *Arquitetura sustentável em Angola: Manual de boas práticas*, Comunidade dos Países de Língua Portuguesa.
- Hamard, E., Cazacliu B., Razakamanantsoa A., Morel J., 2016. Cob, a vernacular earth construction process in the context of modern sustainable building. *Building and Environment*, Vol. 106, pp. 103–119 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.009>).

Illampas, R., Ioannou, I., Charmpis, D., 2014. Adobe bricks under compression: Experimental investigation and derivation of stress-strain equation. *Construction and Building Materials*, Vol 53, pp. 83–90. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.103>)

Instituto Português da Qualidade, 2000. Eurocódigo 6, 2000. Projecto de estruturas de alvenaria. Parte 1.1: Regras gerais e regras para edifícios. NP ENV 1996-1, Lisboa.

Jamú N., 2013. Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra A influência da terra como ligante, Dissertação de Mestrado, FCT NOVA, Caparica, Portugal.

Keefe L., 2005. *Earth building e methods and materials, repair and conservation*, Taylor & Francis Group, Abingdon, Reino Unido.

LNEC, 2002 - Ficha de Ensaio, Revestimento de Paredes FE Pa 39.1 - Ensaio de Absorção de Água sob Baixa Pressão. Lisboa, Portugal

Lino G., 2013. Caracterização *in situ* de rebocos com base em cal e metacaulino aplicados em muretes experimentais, Dissertação de Mestrado, FCT NOVA, Caparica, Portugal.

Mansour, M. Ben, Jelidi, A., Cherif, A. S., Jabrallah, S., 2016. Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks (CEB). *Construction and Building Materials*, Vol 104, pp. 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.024>

Mascarenhas J., 2010. *Sistemas da construção- III-Paredes (2º parte) e materiais básicos (1º parte)*, Livros Horizonte, Lisboa, Portugal (ISBN: 978-972-24-1482-1).

Miccoli L., Muller U., Fontana P., 2014. Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob. *Construction and building materials*, Vol 61, pp. 327-339, Berlim, Alemanha (<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.009>).

Minke, G., 2006. *Building with earth, design and technology of a sustainable architecture*, Publishers for architecture, Birkhäuser, Basel, Switzerland.

Morris W., 1992. *The cob buildings of Devon 1-history, building methods and conservation*, historic building trust, London, Reino Unido. (www.devonearthbuilding.com/leaflets/cob_buildings_of_devon_1.pdf).

Niroumand H., Zain M., Jamil M., 2013. Various Types of Earth Buildings, *Procedia, Social and Behavioral Sciences* Vol 89, pp.226-230, Cyprus (<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.839>).

Oliveira I., Sampaio T., Faria P., 2017. A casa Caramela - Construção em alvenaria de adobe da região de Palmela. CREPAT 2017 - Congresso da Reabilitação do Património, 29-30 Junho 2017, A. Costa, A. Velosa, A. Tavares (Eds.), Universidade de Aveiro, pp.149-157, Portugal.

Oztruk, I., 2017. The dynamic relationship between agricultural sustainability and food- energy-water poverty in a panel of selected Sub-Saharan African Countries. *Energy Policy*, 107 (May), pp.289–299, Mersin, Turquia (<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.048>).

Pinho F., 2008. *Paredes de Edifícios Antigos em Portugal*, LNEC, Lisboa, Portugal. (ISBN: 978-972-49-1864-8)

Pullen, M. 2009. *Strength and composition of Willamette Valley cob: An earthen building material*. Tese de bacharelato, Oregon State University.

Quagliarini E., Maracchini G., 2018. Experimental and FEM Investigation of Cob Walls Under Compression, *Advances in Civil Engineering* (<http://doi.org/10.1155/2018/7027432>).

Quagliarini, E., Stazi, A., Pasqualini, E., Fratolocchi, E., 2010. Cob construction in Italy: Some lessons from the past. *Sustainability*, Vol 2(10), pp. 3291–3308. (<https://doi.org/10.3390/su2103291>)

Ribeiro D., 2016. Contributo para a caracterização de alvenarias de blocos de terra comprimida, Dissertação de Mestrado, FCT NOVA, Caparica, Portugal.

Rizza, M., Böttger, H., 2015. Effect of straw length and quantity on mechanical properties of cob. The 16th Non-Conventional Materials and Technologies, University of San Francisco, Estados Unidos da América. (http://umanitoba.ca/faculties/engineering/departments/ce2p2e/alternative_village/media/16th_NOCMAT_2015_submission_42.pdf)

Sarma P., Sangma, S., Tripura, D., 2016. Comparison of mechanical behaviour of rammed earth and cob comparison of mechanical behaviour of rammed earth and cob prism stabilised, National Institute of technology, Agartala, India (<https://www.researchgate.net/publication/303940909>)

Silveira, D., Varum, H., Costa, A., Martins, T., Pereira, H., Almeida, J., 2012. Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions. *Construction and Building Materials*, Vol 28(1), pp.36–44. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.046>)

Val D., 2015. Contributo para a caracterização de solução construtiva eco-eficiente de paredes monolíticas, Dissertação de Mestrado, FCT NOVA, Caparica, Portugal.

Val D., Faria P., Silva V., 2015. Solução construtiva eco-eficiente de paredes monolíticas contributo para a sua caracterização, CONPAT2015, Lisboa, Portugal.

Veiga M., Aguiar J., Silva A., Carvalho F., 2004. Conservação e Renovação de Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos, LNEC, Lisboa, Portugal (ISBN: 972-49-2009-7).

Vinceslas T., Hamard E., Razakamanantsoa A., Bendahmane, 2018. Further development of a laboratory procedure to assess the mechanical performance of cob, Institution of Civil Engineers. Bouguenais, França. (<https://doi.org/10.1680/jenge.17.00056>)

Watson L., McCabe K., 2011. The cob building technique. Past, present and future, *Informes de la Construcción* Vol 63, 523, pp.59-70, Plymouth, Reino Unido (<http://doi.org/10.3989/ic.10.018>).

Sítios on line

[w1]-[<https://www.theguardian.com/global-development/poverty-matters/2013/apr/18/africa-food-crisis-growing-crops-sustainably>] (2018);

[w2]-[https://data.worldbank.org/indicator/SH.DYN.MORT?year_high_desc=true] (2018);

[w3]-[<https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.DDAY?end=2008&locations=AO&start=2008&view=bar>] (2018);

[w4]-[<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.RU.ZS?view=chart>] (2018);

[w5]-

[http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_vulnerabilities&ThisRegion=Africa&ThisCcode=AGO] (2018);

[w6]-[<https://www.publico.pt/2008/09/22/jornal/kinaxixe-o-mercado-que-era-um-simbolo-de-luanda-ja-nao-existe-276979>] (2018);

[w7]-[<http://villasegolfe.co.ao/pt/articles/info/654/>] (2018);

[w8]-[https://i0.wp.com/www.fieldstudyoftheworld.com/wp-content/uploads/2017/08/DSC_0468-e1501694519138.jpg] (2018);

[w9]-[<https://blog.landcentral.com/land-university-blog/affordable-and-environmentally-sound-cob-housing/#.Wrji6NPwZ0s>] (2018);

[w10]-[https://www.windfinder.com/windstatistics/almada_colegio_campo_de_flores] (2018);

[w11]-[<http://www.angola.geradordeprecos.info/>] (2018);

ANEXOS

ANEXO I-FONTES ORAIS

Linda Marques (65 anos, construtora de habitações com terra)

Localização: Kunjo, Conda, Kwanza Sul, Angola

Linda Marques:

Há dois tipos de casa que se fazem localmente, uma é uma casa feita de paus e barro, com um entrançado de paus e barro e a outra é feita com blocos de barro, por isso feitos de lama, moldados de uma lama argilosa, com capim, com pedras e moldados com uma terra ligeiramente mais mole, são bem compactados, tira-se a forma e deixa-se ao sol durante um mês, e depois está pronta para ser montada ao sol. Entretanto antes de se montar os adobes, estes são montados em alicerces de pedra, a pedra é partida para o nivelamento do pavimento geralmente o cimento não é usado por motivos económicos, embora mesmo que o cimento seja usado as paredes são erguidas normalmente como as outras casas, embora sem os pilares de metal e argamassa. Os alicerces são armados em pedra, procuram-se os locais mais altos para a construção das habitações, pelo o facto de os blocos serem feitos de lama, que por qualquer razão fica duro e resistente. Como não há pilares nos cantos, os blocos são encaixados uns nos outros. As paredes são levantadas preenchendo os vazios com lama, fazendo uma argamassa de barro (de cor preta) e pedras pequenas. Embora na zona do kwanza Sul a terra seja preta, na gabela a terra é vermelha. Nas portas e janelas, são usados paus para resistir a paredes que estão por cima (“normalmente 4 paus no sentido longitudinal à parede”) embora este vá vergando com o tempo, pelo facto de estes serem feitos de paus. Para vencer os vãos também se pode usar “vigas” que garantem a horizontalidade.

As casas feitas com pau a pique, é um entrançado de paus, também usado pelos brasileiros hoje em dia no restauro, o pau a pique é um cruzamento geralmente, de folhas de palmeira, das empelas da palmeira, que depois de se fazer um entrançado das mesmas, são rebocadas por barro ou por cimento, argamassa de cimento. Há muita gente que faz casas de adobe e que as reveste com cimento, e elas ficam perfeitas.

As casas são muito frescas, e criam bichos às vezes como o salalé, pelo facto da terra não ser tratada, que cresce nas paredes, faz buracos grandes. Estas zonas com Salalé têm de ser removidas em preenchidas com terra. Embora estas mesmas paredes dificilmente criem bichos quando são rebocadas.

[qual é a duração dessas casas?] Duram muito tempo, existem casas abandonadas na conda que foram abandonadas na primeira guerra (1975) que ainda hoje estão de pé, mesmo sem teto, algumas com muros de quintal ainda de pé.

Ricardo Paulo da Cruz Henriques (40 anos, Construtor Civil)

Adobe

Tijolos cozidos ao sol e outros cozidos em fornos, fica lá dias, e tem de arrefecer lentamente.

Fornos são feitos de blocos e depois são tapados com lama e fica um pequeno orifício onde os tijolos são colocados com brasa de lenha, ficam lá dias a cozer e dias a arrefecer muito lentamente, o que faz com que as paredes tenham mais resistência

A terra argilosa é a matéria prima escolhida, às vezes avermelha, às vezes esbranquiçada.

É adicionada palha aos blocos

Autoconstrução – existe um mestre em cada zona, residente na aldeia, que domina uma certa técnica de construção, isto faz com que cada aldeia tenha as casas quase todas iguais. Quando é para construir a aldeia une-se toda em volta da casa a construir sob as orientações desse mestre. O facto de os telhados serem de uma ou duas águas ou redondos, depende do mestre de construção.

Fotos dentro das casas são raras pelo incomodo que causa às populações.

São colocadas pedras nas fundações das paredes para evitar a erosão.

Quanto mais próximo das cidades, mais materiais industrializados são usados. Como cobertura a chapa de zinco é usada em localidades próxima a cidades, e o capim é usado nas zonas mais longínquas. Existem zonas perto das cidades em que só é usada a chapa de zinco, até para as paredes.

Casas com cobertura de capim cozinham lá dentro, porque o calor acaba passando nos vazios entre os ramos, mas casas com coberturas de chapa cozinham no exterior.

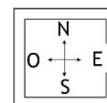
Por dentro as casas têm um pavimento de terra nivelada e compactada.

Pau-a-pique os ramos mais resistentes são enterrados no chão, enquanto que os mais flexíveis são entrelaçados horizontalmente aos primeiros. Depois da estrutura de madeira completa, são colocadas pedras entre os ramos e só depois é chapada a terra contra essa estrutura.

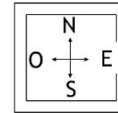
Pau a pique é mais comum em zonas com abundância de madeira, zonas em que a madeira é mais rara é dominada pelo adobe.

ANEXO II-RESULTADOS INDIVIDUAIS

Ensaio de impacto da esfera (exterior)



Fachada Este			Fachada Sul		
Diametro médio		2,55	Diametro médio		3,1
h (m)	x (m)	diametro (cm)	h (m)	x (m)	diametro (cm)
1,345	0,115	2,7	1,44	0,21	3
1,19	0,44	2,9	1,27	0,52	2,3
1,25	0,81	2,55	1,25	0,79	3
0,91	1,05	3	1,25	0,98	2,9
1,18	2,03	2,6	1,26	1,34	2,5
1,28	2,28	2,5	1,27	1,6	2,5
1,32	2,15	2,6	1,19	1,87	2,8
0,51	0,79	3	1,3	1,95	3,2
0,1	1,95	2,5	1,23	2,29	2,7
0,87	2,05	2,5	1,175	2,63	2,9
0,16	2,47	1,9	0,56	0,97	3,6
1,01	2,5	3	0,23	2,32	2,6
0,09	2,33	1,5	0,43	1,85	3,5
0,52	2,34	1,8	0,72	0,25	3,8
0,2	0,74	2,5	0,24	0,45	3
1,2	0,83	2,5	0,52	2,29	3,7
0,26	0,75	2,5	0,84	2,29	3
0,44	1,89	2,4	0,67	2,32	3,6
0,13	0,45	2,9	0,36	2,55	3,5
0,16	0,21	3	0,3	0,74	3,4
0,87	0,33	2,8	0,86	0,78	2,7
0,94	0,62	3	0,98	1,57	2,6
0,5	0,26	2,7	0,26	1,55	3,7
1,09	0,17	2,5	0,19	1,2	3,8
1,07	1,86	2,4	0,61	1,62	3,7
1,14	1,81	2,7	0,54	0,47	3,9
0,66	2,14	2,1	0,83	1,24	3,5
			0,21	2,07	3,7



Fachada Oeste			Fachada Norte		
Diametro médio		3	Diametro médio		2,6
h (m)	x (m)	diametro (cm)	h (m)	x (m)	diametro (cm)
1,17	0,24	2,6	1,15	0,15	2,5
1,04	0,45	2,6	1,13	0,5	2,7
1,14	0,945	3	1,22	0,94	3
1,17	1,41	2,6	1,14	1,41	3,3
1,09	1,73	3	1,2	1,8	2,6
1,13	2,19	2,6	1,14	2,31	3,5
1,22	2,42	2,5	0,1	0,17	1
0,12	2,13	3,2	0,24	0,47	1,8
0,23	0,51	3,6	0,6	1,51	2,5
0,23	1,25	3,3	0,25	1,5	2,2
0,54	1,19	2,6	0,17	2,31	2,2
0,09	1,27	3,5	0,32	0,06	2,8
0,05	1,74	3,3	0,16	1,85	3,5
0,17	0,65	3,3	0,1	1,87	3,6
0,57	0,89	3	1,09	0,3	2,5
1,33	1,23	2,4	0,66	1,39	2,3
1,01	1,41	2,3	0,22	1,02	1,7
1,41	0,86	2,1	0,58	0,73	1,9
0,41	1,84	3,5	0,66	2,23	2,8
1,23	1,07	2,3	0,89	0,54	2,3
0,74	1,53	3,6	0,92	1,67	2,8
0,41	2,32	3,5	1,33	0,31	2,6
0,36	0,27	3,5	0,57	1,07	2,1
0,28	0,91	3,4	0,78	1,87	2,7
0,34	1,62	3,6	1,09	2,65	3,4
0,47	0,58	3,5	0,87	0,91	2,6
1,34	1,76	2,5	0,74	0,28	2,2
			0,5	1,95	2,9

Ensaio de impacto da esfera (interior)



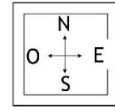
Parede Este		
Diametro médio		1,7
h (m)	x (m)	diametro (cm)
0,71	0,3	1,5
1,22	0,385	1,8
0,34	0,29	1,3
0,9	0,475	2,1
1,34	1,59	1,7
0,76	1,58	1,5
0,175	1,53	2,9
1,12	1,65	1,7
0,56	1,695	2,2
1,22	1,64	2,2
1,14	0,24	1,7
0,53	0,57	1,5
0,61	0,28	1,7
0,31	1,82	1,8
0,93	1,42	1,6
0,96	0,3	1,9
0,54	1,41	1,7
0,88	1,89	1,6
0,45	0,09	1,5
0,41	0,62	1,6

Parede Sul		
Diametro médio		2,5
h (m)	x (m)	diametro (cm)
0,37	0,33	2,8
0,1	0,6	2,2
0,9	1,03	2,5
0,5	1,33	2,5
1,01	0,22	1,8
0,7	0,62	3
0,37	1,08	2,7
0,34	0,63	2,6
0,62	0,07	2,8
0,55	0,96	3,1
0,67	1,55	3,4
1,28	1,75	2,2
0,81	1,67	2,9
1,23	0,47	1,9
1,02	1,44	2,1
0,19	1,73	2,2
0,21	0,16	2,3
0,65	1,88	3,1
1,25	0,81	1,8
0,75	1,37	2,6
0,14	1,54	2,9
0,96	0,57	1,7
1,19	1,51	1,8
1,17	1,24	1,9

Parede Oeste		
Diametro médio		2,1
h (m)	x (m)	diametro (cm)
0,25	0,91	2,2
1,35	0,91	2,1
0,33	1,46	2,6
0,77	1,24	1,9
1,055	0,07	2
0,08	1,32	2
1,25	1,41	2,1
1,13	1,6	1,7
0,41	0,25	2,3
0,78	0,62	2,1
1,36	0,59	2
1,17	0,69	2,1
0,66	0,23	2,2
1,1	1,09	1,9
0,27	0,43	2,4
0,55	1,74	2,5
1,31	0,36	2,2
0,59	0,92	1,8
0,9	1,86	2

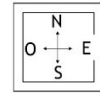
Parede Norte		
Diametro médio		2,4
h (m)	x (m)	diametro (cm)
1,22	1,075	2
0,16	0,85	3,2
1,13	1,39	1,5
1,13	1,05	2,9
1,03	0,89	1,7
0,625	1,22	2,1
0,84	0,21	1,9
0,37	0,05	2
0,38	0,28	3
1,35	0,32	2,2
1,13	0,33	2,4
0,6	0,43	2,9
0,74	0,65	2,5
0,36	1,33	3,1
0,91	1,73	2,2
1,23	0,81	1,8
0,27	0,65	3,2
0,95	1,35	2,7
0,46	1,71	2,9
1,24	1,66	1,6
1,07	0,64	1,7
0,48	0,87	3,1
0,81	1,09	2,9

Ensaio de dureza superficial (exterior)



Fachada Norte		
Valor médio		30
h (m)	x (m)	esclerómetro
1,8	0,1	27
1,8	0,47	25
1,8	1,29	20
1,8	2,25	20
1,8	2,65	30
1,4	0,2	30
1,4	0,6	35
1,4	1,2	30
1,4	1,8	35
1,4	2,15	35
1,4	2,45	25
1,1	0,18	25
1,1	0,52	30
1,1	0,81	15
1,1	1,22	20
1,1	1,76	35
1,1	2,34	30
0,8	0,05	40
0,8	0,14	35
0,8	0,25	30
0,8	0,84	25
0,8	1,93	35
0,8	2,71	30
0,2	0,04	25
0,2	0,21	40
0,2	0,83	30
0,2	1,45	30
0,2	1,96	25
0,2	2,68	25
0,8	1,33	25

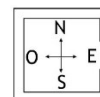
Fachada Sul		
Valor médio		20
h (m)	x (m)	esclerómetro
1,8	0,08	30
1,8	1,29	20
1,8	1,63	45
1,8	2,1	40
1,8	2,6	35
1,4	0,11	35
1,4	0,41	20
1,4	1,26	35
1,4	1,96	35
1,4	2,56	30
1,1	0,12	30
1,1	0,57	20
1,1	1	25
1,1	1,51	25
1,1	1,92	10
1,1	2,51	35
0,8	0,04	30
0,8	0,76	15
0,8	1,29	5
0,8	1,76	0
0,8	2,67	15
0,6	0,21	10
0,6	0,62	5
0,6	1,14	5
0,6	1,79	10
0,6	2,26	15
0,2	0,11	15
0,2	1,05	10
0,2	1,81	5
0,2	2,59	15
0,2	2,76	10



Fachada Este		
Valor médio		35
h (m)	x (m)	esclerómetro
1,8	0,09	40
1,8	0,59	40
1,8	0,89	25
1,8	1,44	30
1,8	1,84	25
1,8	2,45	30
1,4	0,03	30
1,4	0,43	40
1,4	0,98	35
1,4	1,76	30
1,4	2,16	30
1,4	2,69	40
1,1	0,09	30
1,1	0,6	35
1,1	1,03	45
1,1	1,81	35
1,1	2,15	30
1,1	2,53	35
0,6	0,2	30
0,6	0,45	45
0,6	0,9	40
0,6	1,71	40
0,6	2,3	35
0,6	2,55	35
0,2	0,15	35
0,2	0,45	40
0,2	0,95	40
0,2	1,76	35
0,2	1,93	40
0,2	2,27	35
0,2	2,61	30

Fachada Oeste		
Valor médio		30
h (m)	x (m)	esclerómetro
1,8	0,07	30
1,8	0,62	20
1,8	1,42	35
1,8	2,29	30
1,8	2,62	25
1,4	0,12	30
1,4	0,47	35
1,4	1,27	30
1,4	2,17	30
1,4	2,69	25
1,1	0,21	30
1,1	0,64	20
1,1	1,11	25
1,1	1,43	30
1,1	1,97	20
1,1	2,65	20
0,8	0,04	35
0,8	0,52	40
0,8	0,94	35
0,8	1,27	35
0,8	1,99	30
0,8	2,62	35
0,2	0,06	25
0,2	1,09	30
0,2	1,96	10
0,2	2,65	25

Ensaio de dureza superficial (interior)



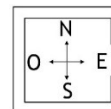
Parede Norte		
Valor médio		30
h (m)	x (m)	esclerómetro
1,7	1,75	30
1,4	1,75	25
1,1	1,75	40
0,8	1,75	45
0,5	1,75	30
0,1	1,75	15
1,7	0,8	25
1,4	0,8	45
1,1	0,8	40
0,8	0,8	35
0,5	0,8	35
0,1	0,8	10
1,7	0,35	5
1,4	0,35	30
1,1	0,35	45
0,8	0,35	30
0,5	0,35	25
0,1	0,35	0
1,7	1,25	20
1,4	1,25	40
1,1	1,25	35
0,8	1,25	30
0,5	1,25	30
0,1	1,25	10

Parede Sul		
Valor médio		33
h (m)	x (m)	esclerómetro
1,7	1,77	25
1,7	1,45	30
1,4	1,45	40
1,1	1,45	35
0,8	1,45	45
0,5	1,45	40
0,1	1,45	35
1,7	1	25
1,4	1	30
1,1	1	35
0,8	1	35
0,5	1	33
0,1	1	30
1,7	1,8	35
1,4	1,8	35
1,1	1,8	30
0,8	1,8	38
0,5	1,8	33
0,1	1,8	20
1,7	0,45	30
1,4	0,45	20
1,1	0,45	35
0,8	0,45	25
0,5	0,45	30
0,1	0,45	20

Parede Este		
Valor médio		25
h (m)	x (m)	esclerómetro
1,7	0,23	30
1,7	0,45	35
1,7	1,35	50
1,7	0,07	20
1,7	0,35	40
1,4	0,35	25
1,1	0,35	35
0,8	0,35	25
0,5	0,35	30
0,1	0,35	30
1,7	1,8	15
1,4	1,8	25
1,1	1,8	20
0,8	1,8	25
0,5	1,8	30
0,1	1,8	5
1,47	1,56	25
1,11	1,37	40
0,68	1,47	25
0,32	1,63	20

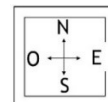
Parede Oeste		
Valor médio		30
h (m)	x (m)	esclerómetro
1,7	0,4	45
1,4	0,4	35
1,1	0,4	25
0,8	0,4	35
0,5	0,4	20
0,1	0,4	10
1,7	0,8	25
1,4	0,8	30
1,1	0,8	25
0,8	0,8	40
0,5	0,8	30
0,1	0,8	15
1,7	1,25	30
1,4	1,25	28
1,1	1,25	33
0,8	1,25	45
0,5	1,25	30
0,1	1,25	10
1,7	1,75	25
1,4	1,75	30
1,1	1,75	30
0,8	1,75	25
0,5	1,75	30
0,1	1,75	0

Resultados dos ensaios à permeabilidade sob baixa pressão na fachada Este



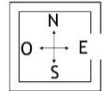
Fachada Este						Área de absorção (mm ²)	491	Diametro interno (mm)	25
Ensaio	h (m)	x (m)	Água absorvida ml	Água absorvida/área a contato (ml/mm ²)	cronómetro	Tempo (min)	Coef. Absorção (tempo total de cada ensaio) kg/(m ² × √min)	Coef. Absorção (aos 5 minutos) kg/(m ² × √min)	Diametro molhado (mm)
1	1,43	2,18	0	0	00:00:00	0,00	0,02	0,02	65
			1	0,00204	03:08:27	188,45			
			2	0,00407	03:35:40	215,67			
			2,7	0,0055	04:18:21	258,35			
			3	0,00611	04:32:24	272,40			
			3,1	0,00632	04:36:00	276,00			
			3,2	0,00652	04:41:37	281,62			
			3,3	0,00672	04:51:43	291,72			
			3,4	0,00693	04:59:21	299,35			
			3,5	0,00713	05:10:10	310,17			
			3,6	0,00733	05:19:14	319,23			
2	1,21	0,84	0	0	00:00:00	0,00	0,1	-	85
			1	0,00204	00:11:56	11,93			
			2	0,00407	00:30:35	30,58			
			3	0,00611	00:53:00	53,00			
			4	0,00815	01:20:00	80,00			
3	1,77	1,68	0	0	00:00:00	0,00	0,1	-	70
			1	0,00204	00:33:01	33,02			
			2	0,00407	00:39:32	39,53			
			3	0,00611	00:49:40	49,67			
			4	0,00815	01:04:35	64,58			
4	1,44	0,3	0	0	00:00:00	0,00	0,03	0,03	55
			1	0,00204	02:50:27	170,45			
			2	0,00407	03:14:09	194,15			
			3	0,00611	03:47:43	227,72			
			3,8	0,00774	04:19:34	259,57			
			4	0,00815	04:29:48	269,80			
5	0,58	2,,28	0	0	00:00:00	0,00	0,1	-	70
			1	0,00204	00:17:08	17,13			
			2	0,00407	00:35:43	35,72			
			3	0,00611	01:02:45	62,75			
			4	0,00815	01:27:31	87,52			
6	0,53 L	1,05	0	0	00:00:00	0,00	1,2	1,2	40
			1	0,00204	00:01:31	1,52			
			2	0,00407	00:03:09	3,15			
			3	0,00611	00:05:24	5,40			
			4	0,00815	00:06:57	6,95			
7	0,93	2,06	0	0	00:00:00	0,00	0,1	-	90
			1	0,00204	00:24:18	24,30			
			2	0,00407	01:07:15	67,25			
			3	0,00611	01:41:55	101,92			
			4	0,00815	02:13:47	133,78			

Resultados dos ensaios à permeabilidade sob baixa pressão na fachada Sul



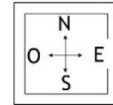
Ensaio	Fachada Sul					Área de absorção (mm ²)	491	Diametro interno (mm)	25
	h (m)	x (m)	Água absorvida ml	Água absorvida/área a contato (ml/mm ²)	cronômetro	Tempo (min)	Coef. Absorção (tempo total de cada ensaio) kg/(m ² × √min)	Coef. Absorção (aos 5 minutos) kg/(m ² × √min)	Diametro molhado (mm)
1	0,22	0,4	0	0,0000	00:00:00	0,00	5,1	-	25
			1	0,0020	00:00:30	0,50			
			2	0,0041	00:00:57	0,95			
			3	0,0061	00:01:15	1,25			
			4	0,0081	00:01:35	1,58			
2	0,39	1,8	0	0,0000	00:00:00	0,00	0,6	0,8	80
			1	0,0020	00:02:10	2,17			
			1,5	0,0031	00:04:03	4,05			
			2	0,0041	00:05:20	5,33			
			2,5	0,0051	00:07:33	7,55			
			3	0,0061	00:09:40	9,67			
			3,5	0,0071	00:12:13	12,22			
			4	0,0081	00:14:20	14,33			
3	1,8	2,55	4	0,0081	00:00:05	0,08			
4	1,25	0,58	0	0,0000	00:00:00	0,00	0,6	0,7	25
			1	0,0020	00:02:20	2,33			
			2	0,0041	00:05:44	5,73			
			3	0,0061	00:09:25	9,42			
			4	0,0081	00:13:33	13,55			
5	1,11	0,99	0	0,0000	00:00:00	0,00	0,1	-	60
			1	0,0020	00:16:51	16,85			
			2	0,0041	00:38:02	38,03			
			3	0,0061	00:59:32	59,53			
			4	0,0081	01:31:05	91,08			
6	0,27	1,68	0	0,0000	00:00:00	0,00	9,4	-	25
			1	0,0020	00:00:08	0,13			
			2	0,0041	00:00:17	0,28			
			3	0,0061	00:00:29	0,48			
			4	0,0081	00:00:52	0,87			
7	1,51	1,67	0	0,0000	00:00:00	0,00	0,4	0,4	35
			1	0,0020	00:04:37	4,62			
			2	0,0041	00:08:02	8,03			
			3	0,0061	00:13:55	13,92			
			4	0,0081	00:18:26	18,43			
8	1,62	0,36	0	0,0000	00:00:00	0,00	0,8	0,8	35
			1	0,0020	00:02:07	2,12			
			2	0,0041	00:05:13	5,22			
			3	0,0061	00:07:24	7,40			
			4	0,0081	00:09:44	9,73			

Resultados dos ensaios à permeabilidade sob baixa pressão na fachada Oeste



Fachada Oeste						Área de absorção (mm ²)	491	Diâmetro interno (mm)	25
Ensaio	h (m)	x (m)	Água absorvida ml	água absorvida ml	cronómetro	Tempo (min)	Coef. Absorção (tempo total de cada ensaio) kg/(m ² × √min)	Coef. Absorção (aos 5 minutos) kg/(m ² × √min)	Diâmetro molhado (mm)
1	1,05	0,71	0	0	00:00:00	0	0,1	-	6,6
			1	0,00204	00:20:00	20			
			2	0,00407	00:53:00	53			
			3	0,00611	01:31:45	92			
			4	0,00815	02:16:30	137			
2	0,645	0,46	0	0	00:00:00	0	1,4	1,4	9
			1	0,00204	00:01:41	2			
			2	0,00407	00:02:50	3			
			3	0,00611	00:04:17	4			
			4	0,00815	00:05:45	6			
3	1,32	1,5	0	0	00:00:00	0	0,1	-	6
			1	0,00204	00:24:49	25			
			2	0,00407	01:02:20	62			
			3	0,00611	01:47:17	107			
			4	0,00815	02:31:45	152			
4	1,62	2,2	0	0	00:00:00	0	0,2	-	51
			1	0,00204	00:08:06	8			
			2	0,00407	00:16:17	16			
			3	0,00611	00:24:20	24			
			4	0,00815	00:33:31	34			
5	1,43	0,45	0	0	00:00:00	0	1,8	1,8	85
			1	0,00204	00:00:56	1			
			2	0,00407	00:01:52	2			
			3	0,00611	00:02:34	3			
			4	0,00815	00:04:35	5			
6	0,51	2,27	0	0	00:00:00	0	0,7	0,8	60
			1	0,00204	00:01:52	2			
			2	0,00407	00:05:23	5			
			3	0,00611	00:08:42	9			
			4	0,00815	00:11:37	12			
7	0,97	2,18	0	0	00:00:00	0	0,02	0,02	50
			1	0,00204	00:31:48	32			
			2	0,00407	02:47:15	167			
			2,9	0,00591	04:20:27	260			
			3	0,00611	04:40:42	281			
			3,1	0,00632	04:54:35	295			
			3,2	0,00652	05:11:37	312			
			3,3	0,00672	05:24:47	325			
8	2	0	0	0	00:00:00	0	0,1	-	90
			1	0,00204	00:17:04	17			
			2	0,00407	00:54:40	55			
			3	0,00611	01:21:17	81			
			4	0,00815	01:51:23	111			

Resultados dos ensaios à permeabilidade sob baixa pressão na fachada Norte



Ensaio	Fachada Norte					Área de absorção (mm ²)	491	Diametro interno (mm)	25
	h (m)	x (m)	Água absorvida ml	Água absorvida/área a contato (ml/mm ²)	Cronómetro				
1	1,14	1,5	0	0,0000	00:00:00	0,00	1,0	1,1	25
			1	0,0020	00:01:20	1,33			
			2	0,0041	00:03:06	3,10			
			3	0,0061	00:05:27	5,45			
			4	0,0081	00:08:13	8,22			
2	0,53	2,35	0	0,0000	00:00:00	0,00	2,6	-	25
			1	0,0020	00:00:33	0,55			
			2	0,0041	00:01:17	1,28			
			3	0,0061	00:02:09	2,15			
			4	0,0081	00:03:10	3,17			
3	0,53	0,71	0	0,0000	00:00:00	0,00	7,3	-	25
			1	0,0020	00:00:13	0,22			
			2	0,0041	00:00:27	0,45			
			3	0,0061	00:00:47	0,78			
			4	0,0081	00:01:07	1,12			
4	1,55	1,22	0	0,0000	00:00:00	0,00	0,01	-	95
			0,3	0,0006	00:14:43	14,72			
			0,5	0,0010	00:31:30	31,50			
			0,9	0,0018	01:24:45	84,75			
			1	0,0020	01:42:52	102,87			
			1,4	0,0029	02:52:18	172,30			
			1,6	0,0033	03:32:14	212,23			
			1,9	0,0039	04:40:06	280,10			
			2	0,0041	04:52:00	292,00			
			2,1	0,0043	05:24:05	324,08			
5	0,87	0,43	0	0,0000	00:00:00	0,00	1,6	1,6	25
			1	0,0020	00:00:55	0,92			
			2	0,0041	00:02:36	2,60			
			3	0,0061	00:03:27	3,45			
			4	0,0081	00:05:15	5,25			
6	1,29	2,35	0	0,0000	00:00:00	0,00	1,1	1,1	30
			1	0,0020	00:02:01	2,02			
			2	0,0041	00:04:13	4,22			
			3	0,0061	00:05:42	5,70			
			4	0,0081	00:07:34	7,57			
7	1,41	0,69	0	0,0000	00:00:00	0,00	0,1	-	25
			1	0,0020	00:21:41	21,68			
			2	0,0041	00:49:13	49,22			
			3	0,0061	01:15:27	75,45			
			4	0,0081	01:50:14	110,23			
8	0,42	1,97	0	0,0000	00:00:00	0,00	0,4	0,7	43
			1	0,0020	00:03:20	3,33			
			2,5	0,0051	00:07:47	7,78			
			3	0,0061	00:12:41	12,68			
			4	0,0081	00:19:03	19,05			