



Maria Idália da Silva Gomes

Mestre em Construção

Conservação de construções de taipa: argamassas de reparação

Tese para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil,
Especialidade Ciências da Construção

Orientador: Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues,
Professora Associada, FCT UNL
Co-orientador: Teresa Cláudio Diaz Gonçalves Enes Dias,
Investigadora Auxiliar, LNEC

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Manuel dos Anjos Henriques
Arguente(s): Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Prof. Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato

Vogais: Prof. Doutor Fernando Manuel dos Anjos Henriques
Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Prof. Doutora Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues
Prof. Doutora Maria Isabel Morais Torres
Prof. Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato
Doutora Sofia Sousa Ribeiro
Doutora Teresa Cláudio Diaz Gonçalves Enes Dias



Dezembro 2013

Tese desenvolvida no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) ao abrigo de uma bolsa de doutoramento, SFRH/BD/48394/2008, concedida pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CIÊNCIA

Conservação de construções de taipa: argamassas de reparação

“Copyright” Maria Idália da Silva Gomes, 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 tese 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.

À minha mãe

“O património é de todos. Um direito. Uma herança. Um dever. (...) Apresentando factos. Assumindo opiniões. Debatendo ideias, muitas ideias. E não discutindo pessoas. Interessa-nos o património. Porque é de todos. Porque é para todos.”

(in revista online Património,
<https://www.facebook.com/patrimonio.pt.spira/info>, setembro 2013)

AGRADECIMENTOS

Ao terminar a tese de doutoramento, quero expressar a mais sincera gratidão a todos os que me acompanharam e apoiaram ao longo destes anos, e direta ou indiretamente estiveram presentes e contribuíram para a concretização da mesma.

Agradeço à minha orientadora, Doutora Paulina Faria, que ajudou na escolha do tema, agradeço o constante incentivo e apoio, a confiança sempre depositada no meu trabalho e as palavras amigas nos tempos mais difíceis. Da mesma forma agradeço à Doutora Teresa Gonçalves, por ter ajudado a percorrer um caminho de procura de respostas e a desbravar território.

Agradeço à Doutora Maria Helena Marecos, à Professora Cristina Machado e à Professora Manuela Gonçalves da Área Departamental de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, por ajudaram a criar condições para a realização desta tese.

Agradeço ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), por ter facultado o acesso a documentação, por ter proporcionado um gabinete de trabalho e o uso total de instalações e equipamentos, e à Fundação para a Ciência e Tecnologia, pelo apoio financeiro prestado através da Bolsa de Doutoramento concedida (ref. SFRH/BD/ 48394/2008).

Da mesma forma agradeço aos técnicos do DM/NBPC-LNEC pelo apoio incansável à execução dos mais diversos trabalhos laboratoriais e de campo, nomeadamente ao José Costa, João Júnior e Luís Nunes.

Agradeço ainda às diversas pessoas do LNEC por ajudarem em fases específicas do trabalho técnico, nomeadamente: do DE/CH - Fernando Rodrigues e António Cardoso; do DED/NRI - Bento Sabala, José Manuel da Fonseca e Ramiro Godinho Flores; do CIC/NSEM - Cláudio Neves e Arménio Gomes da Silva; do DM/NMM - Doutor Santos Silva; do DM/NBPC - Margarida Miranda; e do DED/CH - Eng.º Grandão Lopes.

Agradeço à Arq.ª Inês Fonseca, Arq.ª Florbela Vitorino e Raul Almeida por intermédio dos quais pude estabelecer contacto com alguns proprietários dos edifícios. Agradeço ainda aos próprios proprietários por facultarem a recolha de amostras nos seus edifícios: Mário Silva, José João da Encarnação, Cândida Maria, Júlia do Monte Velho.

Agradeço às empresas, pela oferta dos materiais: Sorgila pelo Eng.º Guilherme Andrade; Lusical pelo Eng.º Mário Marques; Secil e Secil Martingança pela Eng.ª Dina frade; Cânhamo Portugal, L^{da} pelo Augusto Teixeira e no âmbito do projeto ROCARE EU agradeço ao Georg Hilbert, Johannes Weber e Grzegorz Adamski.

Agradeço à Arq.ª Maria Fernandes e à Dr.ª Teresa Freire pela constante disponibilidade no fornecimentos de elementos bibliográficos.

Agradeço à minha mãe pelo seu apoio incondicional em todos os momentos, pela sua força e coragem que sempre demonstrou e me ensinou a ser a pessoa que sou hoje. Aos meus amigos e familiares próximos que, com o seu apoio, contribuíram de sobremaneira para o bom êxito da presente tese.

CONSERVAÇÃO DE CONSTRUÇÕES DE TAIPA: ARGAMASSAS DE REPARAÇÃO

RESUMO

Atualmente existe grande interesse pelas técnicas construtivas com terra crua, que tinham caído em desuso mas que ressurgiram com a consciencialização face à ecoeficiência e no sentido de explorar recursos locais reutilizáveis.

A taipa é, a nível mundial, uma das mais antigas e difundidas técnicas de construção. Em Portugal a taipa reúne grande atenção porque é uma das principais técnicas utilizadas na nova construção com terra. Mas esta atenção decorre também da necessidade de reabilitação de edifícios antigos e da existência de um vasto e valioso património arquitetónico, que precisa ser preservado. Contudo, muitos dos edifícios antigos de terra deterioram-se por falta (ou ineficiência) de manutenção e reparação. De facto, existe um elevado desconhecimento ao nível das técnicas de reabilitação e conservação.

O presente trabalho de investigação explora a questão da adequabilidade de argamassas de reparação para a reparação de paredes de taipa. A escassa informação nesta área justificou o estudo das características mais adequadas para estas argamassas de reparação e a definição de recomendações para sua aplicação. Partiu-se do pressuposto que, para perspetivar intervenções de reparação com maior ciclo de vida, é importante asseverar não só a durabilidade das argamassas de reparação, mas também a sua compatibilidade com a parede.

A principal conclusão é que, sempre que possível, as argamassas devem ser efetuadas com a mesma terra utilizada na parede ou com materiais tão semelhantes a esses, para que as propriedades físicas, mecânicas e químicas sejam compatíveis com as da parede a reparar. Se a taipa não tiver sido estabilizada com ligantes minerais, estes não devem também ser utilizados nas argamassas de reparação. Observou-se ainda que as argamassas estabilizadas com ligantes minerais apresentam uma absorção capilar muito mais rápida do que o mesmo tipo de argamassas sem estabilização e que a utilização de fibras vegetais potencia o aparecimento de bolores, quando as argamassas se encontram em ambientes com elevada humidade relativa.

PALAVRAS-CHAVE:

- construção com terra
- taipa
- argamassas de reparação
- conservação
- metodologia de intervenção

CONSERVATION OF RAMMED EARTH BUILDINGS: REPAIR MORTARS

ABSTRACT

Rammed earth is one of the oldest and most widespread construction techniques. There is currently a renewed interest for raw earth construction methods, which had been falling out of use but have re-emerged due to the increased ecoefficiency awareness and the will to employ local resources.

In Portugal, the relevance of rammed earth is related with the construction of new buildings, the rehabilitation of old ones and the preservation of a rich and valuable architectural heritage using this technique. However, many old rammed earth walls degrade over time due to the inexistence (or incorrection) of maintenance and repair works and there is an obvious lack of understanding about the proper preservation of these buildings.

The choice for this research topic stemmed from the need to increase the knowledge on mortars appropriate for the repair of rammed earth walls. The lack of information in this area justified the development of a study aiming to find the most appropriate repair mortars and which recommendations could be set out for their application. The underlying assumption was that it is important to ensure not only the durability of repair mortars, with a view to improve the life-cycle of rammed earth constructions, but also their compatibility with the existing walls.

The main conclusion is that, whenever possible, repair mortars should be made with the same raw materials found in the original earthen walls, so that their physical, mechanical and chemical properties are consistent with the wall to be repaired. It was observed that, for chemically unstabilized rammed earth walls, no mineral binder stabilizers should be used in the repair mortars. It was also observed that: stabilized mortars with mineral binders have a much faster capillary absorption than the same type of mortars without stabilization, and the use of organic fibers enhances the appearance of mold when the mortars are in environments with high relative humidity.

KEY-WORDS:

- earth construction
- rammed earth
- repair mortars
- conservation
- intervention methodology

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Abstract	xi
Índice geral	xiii
Índice do texto	xv
Índice de figuras	xix
Índice de tabelas	xxvii

TEXTO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - A CONSTRUÇÃO DE TAIPA E A SUA CONSERVAÇÃO	9
CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS DE ENSAIO ADOTADOS	61
CAPÍTULO 4 - ESTUDOS DE CASO	85
CAPÍTULO 5 - MATERIAIS UTILIZADOS E BLOCOS DE TAIPA	125
CAPÍTULO 6 - ESTUDO DAS ARGAMASSAS	141
CAPÍTULO 7 - AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REPARAÇÃO APÓS APLICAÇÃO NO SUPORTE	185
CAPÍTULO 8 - CONCLUSÕES	223
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	233

ANEXOS

ÍNDICE DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	2
1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA	5
1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	7
2. A CONSTRUÇÃO DE TAIPA E A SUA CONSERVAÇÃO	9
2.1. INTRODUÇÃO	10
2.2. A TERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	12
2.2.1. Normalização	13
2.2.2. O material terra	17
2.2.3. Modos de utilização da terra	18
2.3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA TERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	21
2.3.1. Caracterização mineralógica - conceito	22
2.3.2. Granulometria - conceito e valores limite	24
2.3.3. Plasticidade - conceito e valores limite	30
2.3.4. Compactabilidade - conceito e valores limite	32
2.3.5. Retração linear - conceito e valores limite	33
2.3.6. Teor de matéria orgânica - conceito e valores limite	35
2.3.7. Teor em sais - conceito e valores limite	37
2.4. ESTADO DA PRÁTICA	39
2.4.1. Análise da degradação nas paredes de taipa	40
2.4.2. Reparação/conservação de paredes de taipa: legislação e princípios éticos	46
2.5. ARGAMASSAS	47
2.5.1. Trabalhabilidade	48
2.5.2. Constituição	52
2.5.3. Características no estado endurecido.....	53
2.5.3.1 Absorção capilar	54
2.5.3.2 Secagem	56
2.5.3.3 Velocidade de propagação por ultrassons	58
2.6. SÚMULA	59
3. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO ADOTADOS	61
3.1. INTRODUÇÃO	62
3.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	63
3.2.1. Caracterização mineralógica.....	64
3.2.2. Análise granulométrica	64
3.2.3. Limites de consistência	66
3.2.4. Ensaio de compactação Proctor	66
3.2.5. Retração linear.....	67
3.2.6. Teor de matéria orgânica	67
3.2.7. Teor de sais	69
3.2.8. Baridade das taipas locais	71
3.2.9. Baridade dos materiais granulares	72
3.3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS FRESCAS	72
3.3.1. Massa volúmica	72
3.3.2. Consistência por espalhamento.....	73

3.3.3. Consistência por penetrómetro	73
3.3.4. Escoamento por cone de Marsh	73
3.3.5. Avaliação direta da trabalhabilidade	74
3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ENDURECIDAS	75
3.4.1. Retração linear e retração volumétrica	75
3.4.2. Absorção de água por capilaridade.....	76
3.4.3. Secagem	77
3.4.4. Módulo de elasticidade dinâmico	78
3.4.5. Resistências à tração por flexão e à compressão.....	79
3.4.6. Dureza superficial	81
3.4.7. Velocidade de propagação por ultrassons	83
4. ESTUDOS DE CASO	85
4.1. INTRODUÇÃO.....	86
4.2. ANÁLISE DOS EDIFÍCIOS NO ALENTEJO: MÉTODOS	88
4.3. CARACTERÍSTICAS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO	90
4.3.1. Estudo de caso 1: Monte das Covas, Valongo - Avis.....	90
4.3.2. Estudo de caso 2: Monte do Pá Danado, Taliscas - Odemira	92
4.3.3. Estudo de caso 3: Monte Val Chaim, Taliscas - Odemira	93
4.3.4. Estudo de caso 4: Monte Se Deus Quiser, Corte Zorrinho - Almodôvar	94
4.3.5. Estudo de caso 5: Escola do Barranco do Cai Logo, Herdade da Afincerna, Colos - Ourique	95
4.3.6. Estudo de caso 6: Arraiolos	97
4.3.7. Edifícios inspecionados.....	98
4.3.8. Anomalias em paredes de taipa.....	101
4.3.9. Súmula	104
4.4. PROPRIEDADES DO MATERIAL DAS PAREDES	105
4.4.1. Recolha de amostras	105
4.4.2. Caracterização mineralógica - resultados e discussão	107
4.4.3. Granulometria - resultados e discussão	108
4.4.4. Plasticidade - resultados e discussão	112
4.4.5. Compactabilidade - resultados e discussão.....	113
4.4.6. Retração linear - resultados e discussão	116
4.4.7. Teor de matéria orgânica - resultados e discussão.....	117
4.4.8. Teor em sais - discussão e resultados	119
4.5. SÚMULA.....	120
5. MATERIAIS UTILIZADOS E BLOCOS DE TAIPA.....	125
5.1. INTRODUÇÃO.....	126
5.2. MATERIAIS UTILIZADOS	126
5.2.1. Terras	126
5.2.2. Cal aérea hidratada.....	130
5.2.3. Cal hidráulica natural	130
5.2.4. Cimento Portland	131
5.2.5. Cimento natural.....	132
5.2.6. Areia	133
5.2.7. Fibras de cânhamo	134
5.3. BLOCOS DE TAIPA	134

5.3.1. Preparação e execução	135
5.3.2. Realização dos defeitos-padrão.....	138
5.3.3. Controlo de secagem.....	139
6. ESTUDO DAS ARGAMASSAS	141
6.1. INTRODUÇÃO	142
6.2. FASE I: DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS QUE MELHOR TRADUZEM A TRABALHABILIDADE DE UMA ARGAMASSA DE TERRA	143
6.2.1. Execução das argamassas	144
6.2.2. Consistência por espalhamento e por penetrómetro	146
6.2.3. Escoamento por cone de Marsh	147
6.2.4. Avaliação direta da trabalhabilidade	148
6.2.5. Seleção dos ensaios para traduzir a trabalhabilidade	153
6.3. FASE II: PRE-SELEÇÃO DAS ARGAMASSAS EM FUNÇÃO DO TEOR DE ÁGUA	154
6.4. FASE III: SELEÇÃO DO TRAÇO DAS ARGAMASSAS APÓS ESTABILIZAÇÃO COM AREIA E FIBRAS ..	156
6.5. FASE IV: CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	158
6.5.1. Ensaio no estado fresco.....	161
6.5.1.1 Massa volúmica.....	161
6.5.1.2 Consistência por espalhamento	161
6.5.2. Execução dos provetes e condições de cura.....	162
6.5.3. Desenvolvimento biológico	163
6.5.4. Ensaio no estado endurecido.....	165
6.5.4.1 Retração linear e volumétrica	165
6.5.4.2 Absorção de água por capilaridade.....	166
6.5.4.3 Secagem	171
6.5.4.4 Módulo de elasticidade dinâmico	174
6.5.4.5 Resistências à tração por flexão e à compressão	176
6.5.5. Seleção das argamassas a aplicar nos blocos de taipa	180
6.6. SÚMULA	181
7. AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REPARAÇÃO APÓS APLICAÇÃO NO SUPORTE	185
7.1. INTRODUÇÃO	186
7.2. APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS NOS BLOCOS.....	186
7.3. ANOMALIAS VERIFICADAS APÓS APLICAÇÃO	192
7.4. AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	200
7.4.1. Dureza superficial	200
7.4.2. Velocidade de propagação de ultrassons.....	201
7.5. ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL ACELERADO POR CICLOS DE MOLHAGEM/SECAGEM	206
7.5.1. Fase de embebição	207
7.5.1.1 Metodologia de ensaio	209
7.5.2. Resultados do ensaio de envelhecimento artificial acelerado.....	211
7.6. SÚMULA	219
8. CONCLUSÕES.....	223
8.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	224
8.2. TRABALHOS FUTUROS	230
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	233

ANEXOS

Anexo A - Fichas técnicas de inspeção dos edifícios observados	3A
Anexo B - Tabelas de correspondência entre as argamassas aplicadas e os blocos de taipa	63B
Anexo C - Registos da temperatura e humidade relativa	65C
Anexo D - Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta	71D
Anexo E - Calendarização do ensaio de envelhecimento artificial acelerado	73E
Anexo F - Ficha técnica dos ligantes minerais fornecidos pelos fabricantes	75F

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Construção com terra a nível mundial (Grandeau e Delboy, citado por Anger <i>et al.</i> 2011).....	11
Figura 2.2. Diagrama estabelecido pelo CRATerre das técnicas construtivas com terra, Fontaine e Anger (2009) adaptado de Houben e Guillaud (2006).....	19
Figura 2.3. Escalas para as frações granulométricas	25
Figura 2.4. Recomendações sobre os limites para as diferentes frações do solo a utilizar na técnica construtiva da taipa	27
Figura 2.5. Variação de volume e de consistência em função do teor em água dos solos (adaptado de Keefe 2005).....	30
Figura 2.6. Esmagamento com fissuração vertical devido à estrutura da cobertura apoiar diretamente na parede de taipa: à esquerda, edificação nas Taliscas, Odemira; à direita, esmagamento com fissuração a partir da zona de apoio da cumeeira, na localidade de Sobral da Adiça	41
Figura 2.7. Edificação de taipa em S. Domingos, com um revestimento muito frágil, apresentando baixa coesão, e denotando muita percentagem em areia e baixa percentagem em ligante	42
Figura 2.8. Utilização de argamassas cimentícias numa edificação em Avis, para colmatar a degradação superficial no paramento de taipa	43
Figura 2.9. Ermida de S. Sebastião em Ferreira do Alentejo: à esquerda, fenómenos visíveis de ascensão de água por capilaridade; à direita, utilização de argamassas cimentícias para reparação do paramento de taipa	44
Figura 2.10. Herdade de Afonseanes no Sobral da Adiça, onde se pode visualizar o crescimento de fungos na superfície da parede de taipa.....	45
Figura 2.11. Fenómeno da capilaridade com pormenor da pressão capilar dentro de um poro capilar	55
Figura 2.12. Curva típica de absorção de água por capilaridade de materiais porosos	55
Figura 2.13. Fases do processo de secagem (Brito 2009)	56
Figura 2.14. Curva típica de secagem de um material poroso	57
Figura 3.1. Sequência de trabalhos para a caracterização mineralógica efetuada por difratometria de raios X: à esquerda, peneiração da amostra; ao centro, introdução da amostra no porta amostras; à direita, equipamento utilizado <i>X Philips X'PERT</i>	64
Figura 3.2. Metodologia de ensaio para determinação da baridade seca: à esquerda, provete mergulhado em parafina derretida; ao centro, caixas de petri de vidro, cada uma contendo material para um ensaio; à direita, provetes numa proveta graduada com água.....	71
Figura 3.3. Esquema do funil de vidro utilizado no ensaio de escoamento	74
Figura 3.4. Esquema das medições efetuadas no provete da argamassa no ensaio de retração	76
Figura 3.5. Sequência dos trabalhos no ensaio de absorção de água por capilaridade: à esquerda, provete impermeabilizado com pez de louro e cera de abelha, com a face inferior coberta com tecido de algodão;	

ao centro, pesagem do provete; à direita, provetes sujeitos à absorção de água por capilaridade, com a franja capilar já a chegar ao topo	77
Figura 3.6. Sequência dos trabalhos no ensaio de secagem: à esquerda, provete saturado; ao centro, selagem do provete com folha de polietileno; à direita, provetes sujeitos ao ensaio de secagem.....	78
Figura 3.7. Sequência dos trabalhos para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico: à esquerda, medição dos provetes; à direita, medição da frequência fundamental de ressonância por vibração induzida longitudinalmente através do equipamento “Sonometer”	79
Figura 3.8. Sequência dos trabalhos no ensaio de resistência à tração por flexão: à esquerda, colocação do provete no equipamento; ao centro, provete sujeito ao ensaio; à direita, resultado final sobre os provetes....	80
Figura 3.9. Provete sujeito ao ensaio de resistência à compressão	80
Figura 3.10. Durómetro com pormenor do pino que, quando pressionado contra o material, indica a dureza superficial desse material (Adaptado de ASTM D2240-05 2010).....	81
Figura 3.11. Ensaio com o durómetro - Shore A: à esquerda, argamassa sujeita ao ensaio; à direita, esquema com os 12 pontos para medição	82
Figura 3.12. Ensaio de ultrassons: à esquerda, aparelho de ultrassons modelo <i>Steinkamp ultrasonic tester BP-7 version 4.11</i> ; ao centro, método de transmissão indireta; à direita, método de transmissão direta	83
Figura 3.13. Ensaio de ultrassons: à esquerda, esquema com os 10 pontos para utilização no método de transmissão indireta; à direita, esquema com os 11 pontos para utilização no método de transmissão direta	84
Figura 4.1. Localização geográfica dos seis edifícios em taipa não estabilizada no Alentejo, Portugal, onde foi efetuada a recolha de material para caracterização da matéria-prima.....	87
Figura 4.2. Ficha técnica de inspeção.....	89
Figura 4.3. Edificação do Monte das Covas, Avis: à esquerda, fachada sudeste e nordeste; à direita, fachada noroeste com um contraforte de pedra e fachada sudoeste	91
Figura 4.4. Edificação do Monte das Covas, Avis: à esquerda, paramento com a técnica da taipa arenosa, com juntas horizontais de cascalho rolado; à direita, parede com a técnica do adobe (à esquerda) e taipa arenosa incluindo cascalho angular (à direita)	92
Figura 4.5. Edificação do Monte do Pá Danado, Odemira: à esquerda, fachada este e sul (principal) em taipa; à direita, paredes do edifício anexo, de taipa e alvenaria de xisto, acoplado à fachada a norte da edificação	92
Figura 4.6. Edificação do Monte do Pá Danado, Odemira: à esquerda, utilização de tirantes em ferro forjado; à direita, duas camadas de reboco sobre a taipa.....	93
Figura 4.7. Edificação do Monte Val Chaim, Odemira: à esquerda, zona do telheiro, fachada sudeste; à direita, estrutura da cobertura envolta com elementos de xisto na zona de entrega	94
Figura 4.8. Edificação do Monte Se Deus Quiser, Almodôvar: à esquerda, fachada principal (sudeste) e fachada lateral (nordeste); à direita, pormenor do embasamento, verga da porta em madeira e junta horizontal entre blocos de taipa com elementos de xisto	95

Figura 4.9. Escola do Barranco do Cai Logo, Ourique: em cima, fachada principal (noroeste); em baixo à esquerda, paredes interiores mostrando a zona de entrega da estrutura do soalho entre pisos; e em baixo à direita, pormenor do lintel de betão armado, da verga da janela e dos elementos em tijolo cozido furado na zona da entrega da estrutura da cobertura	96
Figura 4.10. Edificação em Arraiolos: à esquerda, fachada principal (norte); à direita, empena do alçado este degradado	98
Figura 4.11. Três edifícios de taipa com pé direito particularmente elevado: à esquerda, Monte Fernando Baixo, em Safara; ao centro, Herdade Afonseanes, no Sobral da Adiça; à direita, Mercado de São Luís, em Odemira	99
Figura 4.12. Edificação com a técnica construtiva da taipa construída no século XIX, Malhada do Monte Sal, Sobral da Adiça; introdução de fiadas de pedra no meio das camadas de taipa e reforço nos vãos de portas	100
Figura 4.13. Elementos lineares horizontais em madeira encastrados (em forma de L) (Correia 2007)	100
Figura 4.14. À esquerda, degradação superficial no revestimento de um paramento de taipa, na localidade de Barrancos; à direita, erosão da taipa associada à ascensão de água do terreno na localidade da Bemposta, Odemira	102
Figura 4.15. Erosão no paramento de taipa devido à existência de sais associado à ascensão capilar, Mercado de S. Luís, Odemira	102
Figura 4.16. Utilização de argamassas de base cimentícia para colmatar a erosão no paramento de taipa, verificando o destacamento das mesmas e a nidificação de pequenos insetos no seu interior, Mercado de São Luís, Odemira	103
Figura 4.17. Utilização de argamassas de revestimento de base cimentícia, verificando-se o destacamento, no estudo de caso localizado em S. Domingos, Santiago do Cacém	103
Figura 4.18. Nidificação de pequenos insetos nas paredes de taipa, na edificação localizada em Bicos, Cercal do Alentejo	104
Figura 4.19. Sequência dos trabalhos para a recolha de amostras: remoção do reboco e corte da taipa em blocos.....	106
Figura 4.20. Difrátogramas de raio X dos seis edifícios. Os picos nos difratogramas correspondem a uma fase cristalina identificada: Q - quartzo; F - feldspatos; M - mica/ilite; Cl - clorite; K - caulinite; Af - anfíbola; H - hematite e Po - pico porta amostra	107
Figura 4.21. Curvas granulométricas dos seis edifícios em estudo	109
Figura 4.22. Curva granulométrica dos seis edifícios em estudo com os limites recomendados	111
Figura 4.23. Relação entre a percentagem de material inferior a 0,06 mm em relação à quantidade total de partículas utilizadas na amostra e a baridade máxima seca indicando a linha de tendência e o coeficiente de correlação: à esquerda, com o valor do estudo de caso CZ; à direita, sem o estudo de caso CZ	114
Figura 4.24. Relação entre a percentagem de material inferior a 0,06 mm em relação à quantidade total de partículas utilizadas na amostra e o teor em água ótimo em percentagem, dos vários estudos de caso, indicando a linha de tendência e o coeficiente de correlação	115

Figura 4.25. Relação entre o teor em água ótimo e a baridade máxima seca, indicando a linha de tendência e coeficiente de determinação: à esquerda, com o valor do estudo de caso CZ; à direita, sem o estudo de caso CZ.....	115
Figura 4.26. Relação entre a retração linear e a granulometria da amostra: à esquerda, com a percentagem de argila, indicando a linha de tendência e o coeficiente de correlação; à direita, com a percentagem das partículas inferiores a 6 mm.....	117
Figura 4.27. Resultado do ensaio para a determinação do teor de matéria orgânica. À esquerda, de trás para a frente: cápsula de porcelana com material calcinado; petri com o material que passou no peneiro com abertura de 9,52 mm; petri com matéria orgânica com dimensões superiores a 10 mm; petri com material que ficou retido no peneiro com abertura de 9,52 mm. À direita, matéria orgânica superior a 10 mm de comprimento.....	118
Figura 4.28. Teste expedito para a verificação da presença de sulfatos através da precipitação de uma solução de cloreto de bário ($BaCl_2$).....	120
Figura 5.1. Preparação do material para realização dos blocos de taipa: à esquerda, desagregação dos torrões com o auxílio do martelo de borracha; ao centro, seleção da terra através de peneiração; à direita, matéria-prima final.....	127
Figura 5.2. Preparação do material terra: à esquerda, após sujeito a decantação; ao centro, secagem do material em estufa ventilada; à direita produto final (MPD_A) após ter sido sujeito ao moído de maxilas.....	128
Figura 5.3. Difratoograma de difração de raios X do material terra-padrão. Os picos nos difratogramas correspondem a uma fase cristalina identificada: Q - quartzo; F - feldspatos; M - mica/ilite; K - caulinite; G - goetite; A- anatase.....	129
Figura 5.4. Distribuição granulométrica dos materiais utilizados para a realização das argamassas: MAV_A, MPD_A, MVC_A e MTP_A.....	130
Figura 5.5. Distribuição granulométrica da areia.....	133
Figura 5.6. Homogeneização da areia com o auxílio de um repartidor.....	134
Figura 5.7. Fibras vegetais de cânhamo.....	134
Figura 5.8. Execução dos blocos de taipa: à esquerda, molde e maço; ao centro, execução do provete através de compactação com o auxílio do maço; à direita, preenchimento do molde com a última camada de terra.....	136
Figura 5.9. Sequência dos trabalhos para a realização do defeito-padrão superficial no bloco de Avis.....	138
Figura 5.10. Sequência dos trabalhos para a realização do defeito-padrão profundo no bloco de Avis.....	138
Figura 5.11. Disposição dos blocos de taipa na sala condicionada.....	139
Figura 6.1. Organigrama das etapas da campanha experimental para a escolha das argamassas mais promissoras para aplicação nos blocos de taipa.....	142
Figura 6.2. Relação mássica água/material seco das argamassas AAv, APD, AVC e ATP realizadas com teores de água crescentes.....	144
Figura 6.3. Relação entre a percentagem de materiais finos e a relação mássica água/material seco, referente às amassaduras AAv, APD, AVC e ATP realizadas com teores de água crescentes.....	145

Figura 6.4. Relação entre a massa volúmica e a relação mássica água/material seco das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP.....	145
Figura 6.5. Consistência das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP: à esquerda, por espalhamento; à direita, por penetrómetro	146
Figura 6.6. Correlação entre a consistência por espalhamento e por penetrómetro das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP	146
Figura 6.7. Escoamento das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP obtido pelo ensaio de cone de Marsh	148
Figura 6.8. Classificação da aplicabilidade das argamassas AAv, pelo operador 1	150
Figura 6.9. Classificação da aplicabilidade das argamassas APD: à esquerda, operador 1; à direita, operador 2	150
Figura 6.10. Classificação da aplicabilidade das argamassas AVC: à esquerda, operador 1; à direita, operador 2.....	150
Figura 6.11. Classificação da aplicabilidade das argamassas ATP: à esquerda, operador 1; à direita, operador 2	151
Figura 6.12. Relação da trabalhabilidade da argamassa calculada através do modelo de análise conjunta (equação 6.1) com a opinião geral sobre a trabalhabilidade de cada operador.....	153
Figura 6.13. Relação entre a classificação da opinião geral sobre a aplicabilidade das argamassas de terra, obtida pelos dois operadores, com os resultados de espalhamento e de penetrómetro	154
Figura 6.14. Retração linear e volumétrica para as argamassas AAv, APD, AVC e ATP	154
Figura 6.15. Retração linear e volumétrica e percentagem de material argiloso para as seis amassaduras, relativas às argamassas APD, AVC e ATP	156
Figura 6.16. Retração linear e intervalo de valores para o espalhamento, para as argamassas AAv, APD e AVC (função do traço volumétrico terra:areia)	157
Figura 6.17. Retração linear e intervalo de valores para o espalhamento, para as argamassas ATP (função do traço volumétrico terra:areia)	158
Figura 6.18. Curva granulométrica das argamassas AAv, APD, AVC e ATP	159
Figura 6.19. Sequência de trabalhos para a realização dos provetes cúbicos e prismáticos	163
Figura 6.20. Fungos nos provetes ATP_CH5_Fib: à esquerda, ao fim de 90 dias de cura; ao centro e à direita, após a realização do ensaio de secagem, 120 dias.....	165
Figura 6.21. Fungos nos provetes ATP_CN5_Fib, aos 90 dias de cura	165
Figura 6.22. Retração linear e volumétrica para as argamassas AAv, APD, AVC e família ATP	166
Figura 6.23. Curvas de capilaridade das argamassas AAv, APD, AVC e ATP com pormenor dos primeiros minutos, ensaio aos 90 dias.....	167
Figura 6.24. Curvas de capilaridade das argamassas ATP, ensaio aos 90 dias: em cima à esquerda, com cal aérea; em cima à direita, com cal hidráulica; em baixo à esquerda, com cimento Portland; em baixo à direita, com cimento natural	167
Figura 6.25. Coeficiente de capilaridade nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias	168

Figura 6.26. Quantidade de água adsorvida por capilaridade nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias	169
Figura 6.27. Curvas de evaporação das argamassas AAv, APD, AVC e ATP ATP, aos 90 dias	171
Figura 6.28. Curvas de evaporação das argamassas ATP aos 90 dias: em cima à esquerda, com cal aérea; em cima à direita, com cal hidráulica; em baixo à esquerda, com cimento Portland; em baixo à direita, com cimento natural	172
Figura 6.29. Índice de secagem e taxa de secagem (às 24 h) nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias	173
Figura 6.30. Módulo de elasticidade dinâmico nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias	174
Figura 6.31. Massa volúmica aparente das argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias	176
Figura 6.32. Resistência à tração por flexão nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias	177
Figura 6.33. Resistência à compressão nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias	178
Figura 6.34. Correlação entre a resistência à compressão e a resistência à tração por flexão	178
Figura 6.35. Correlação entre as resistências à compressão (R_c) e a resistência à tração por flexão (R_f) com o módulo de elasticidade dinâmico	178
Figura 7.1. Preparação da superfície do defeito-padrão superficial antes de receber a argamassa de reparação: à esquerda, limpeza com pincel; à direita, humedecimento da superfície	188
Figura 7.2. Aplicação da argamassa AAv no defeito-padrão superficial do bloco BAv	188
Figura 7.3. Aplicação da argamassa APD no defeito-padrão profundo com a utilização de encasque no bloco BPD	189
Figura 7.4. Cascalho grosso utilizado para o encasque: à esquerda, curva granulométrica; à direita cascalho com forma irregular	190
Figura 7.5. Fissuração e fendilhação verificada cerca de 3 horas após aplicação da argamassa ATP_CN15 no defeito-padrão superficial, nos blocos BAv, BPD e BVC, da esquerda para a direita	190
Figura 7.6. Fissuração e fendilhação verificada cerca de 3 horas após aplicação da argamassa ATP_CH15 no defeito-padrão profundo nos blocos BAv, BPD e BVC, da esquerda para a direita	190
Figura 7.7. Refechamento de fendas no bloco BAv com a aplicação da argamassa ATP_CN15: à esquerda, aspersão com água; ao centro, aperto da argamassa na zona a intervir; à direita, argamassa após intervenção	192
Figura 7.8. Densidade do padrão de fissuração na superfície da argamassa: em cima, nível 1, fraca intensidade, ATP_CA15_Fib no BVC; ao centro, média intensidade, ATP_CH15 no BPD; em baixo, alta intensidade, ATP_CH15 no BVC	193
Figura 7.9. Argamassa ATP_CA15 aplicada no bloco BAv com o pormenor de uma fenda média, aos 10 dias de idade	197
Figura 7.10. Fendas médias no defeito-padrão superficial: à esquerda, na argamassa ATP_CA15 aplicada no bloco BPD; à direita, na argamassa ATP_CH15 aplicada no bloco BVC	197

Figura 7.11. Argamassa ATP_CA15 aplicada no bloco BVC: à esquerda, sem fibras; à direita, com fibras.....	197
Figura 7.12. Argamassa ATP_CN15 aplicada no bloco BAv: à esquerda, pormenor do destacamento da argamassa; ao centro, argamassa aplicada no defeito-padrão superficial; à direita, pormenor de fendas grandes	198
Figura 7.13. Anomalias nos blocos BPD: à esquerda, argamassa ATP_CA15 com fendas médias; ao centro, argamassa ATP_CH15 com fendas médias na zona de interface entre a argamassa e o bloco; à direita, argamassa ATP_CN15 com fendas médias na zona de interface entre a argamassa e o bloco	198
Figura 7.14. Anomalias: à esquerda, fendas médias na argamassa ATP_CA15 aplicada no bloco BVC; ao centro, fendas médias na argamassa ATP_CH15 na zona de interface entre a argamassa e o bloco BAv; à direita, fendas médias na argamassa ATP_CN15 na zona de interface entre a argamassa e o bloco BAv	198
Figura 7.15. Valores da dureza superficial nas argamassas de reparação com o durómetro Shore A	200
Figura 7.16. Correlação entre a dureza superficial nas argamassas de reparação: em cima à esquerda, resistência à compressão; em cima à direita, resistência à tração por flexão; em baixo, módulo de elasticidade dinâmico	201
Figura 7.17. Determinação da velocidade de propagação por ultrassons, por transmissão indireta pela correlação entre a distância entre transdutores e o tempo de propagação da onda: como exemplos à esquerda, para a argamassa ATP; à direita, para a argamassa ATP_CA15_Fib nos três blocos	203
Figura 7.18. Velocidade de propagação por ultrassons, por transmissão indireta	203
Figura 7.19. Módulo de elasticidade nas argamassas: pelo método dos ultrassons por transmissão indireta quando aplicadas nos blocos (E_{dus}) e pela medição da frequência de ressonância fundamental (E_{dl})	204
Figura 7.20. Correlação entre a resistência à compressão e à tração por flexão com o módulo de elasticidade dinâmico, pelo método de transmissão indireto nas argamassas aplicadas no bloco BPD	205
Figura 7.21. Correlação entre a resistência à compressão e à tração por flexão com o módulo de elasticidade dinâmico, pelo método de transmissão indireto nas argamassas aplicadas no bloco BPD	205
Figura 7.22. Correlação entre a resistência à compressão e à tração por flexão com o módulo de elasticidade dinâmico, pelo método de transmissão indireto nas argamassas aplicadas no bloco BVC	206
Figura 7.23. Impermeabilização da zona superior dos blocos	207
Figura 7.24. Método de absorção de água por ascensão capilar: à esquerda, construção dos reservatórios com as membranas betuminosas; ao centro, blocos em absorção nos reservatórios; à direita, altura da lâmina de água.....	208
Figura 7.25. À esquerda, degradação na base do bloco, devido à agressividade do método de absorção de água por ascensão capilar, e à direita, blocos cobertos com um plástico para criar um ambiente de elevada humidade relativa	208
Figura 7.26. Colocação de um cilindro de vidro no topo do bloco, para a realização do método de absorção de água a partir do topo dos blocos	209
Figura 7.27. Calendarização do ensaio de envelhecimento artificial acelerado	210
Figura 7.28. Finalização do ciclo de molhagem após o aparecimento de água pela base pelo método de absorção de água a partir do topo	210

Figura 7.29. Método de absorção de água por ascensão capilar, ao fim de 12 h em absorção capilar: à esquerda, BAv com argamassa ATP_CN; ao centro, BPD com a argamassa ATP_CP; à direita, BVC com a argamassa ATP_CH.....	211
Figura 7.30. Método de absorção de água por ascensão capilar, ao fim de 12h em absorção capilar: à esquerda, BAv com argamassa AAv; ao centro, BPD com a argamassa APD; à direita, BVC com a argamassa AVC	212
Figura 7.31. Bloco BPD ao fim de 120h em absorção capilar com a reparação da argamassa ATP_CA15_fib: à esquerda e ao centro, o pormenor de fissuras horizontais na zona da taipa e na zona da argamassa superficial e fissuras na delimitação entre a argamassa e o bloco; à direita, fissuras horizontais na taipa e na argamassa, com possível destacamento na zona inferior.....	213
Figura 7.32. Bloco BVC com a argamassa ATP_CH15 após terminado o método de absorção de água por ascensão capilar; fissuras nas argamassas e na taipa	213
Figura 7.33. Bloco BPD após terminada a fase de absorção de água por ascensão capilar: à esquerda, destacamento da argamassa APD; ao centro, fissuras horizontais na taipa na interface entre as camadas de compactação que se propagam pela interface com a argamassa de reparação ATP; à direita, fissuras horizontais na interface entre as camadas de compactação da taipa que se propagam pela zona da reparação da anomalia superficial com a argamassa APD	214
Figura 7.34. Bloco BAv com a aplicação da argamassa ATP_CN15: à esquerda, 12 h após o início da fase de absorção por ascensão capilar; à direita, 24 h após o início desta fase	214
Figura 7.35. Bloco BPD com a aplicação da argamassa ATP_CN15 após terminada a fase de absorção de água por ascensão capilar, verificando-se fissuração acentuada e destacamento da argamassa	215
Figura 7.36. Bloco BVC com a reparação da argamassa ATP_CA15_Fib após terminada a fase de absorção de água por ascensão capilar, verificando-se destacamento da argamassa na zona inferior	215
Figura 7.37. Bloco BAv com a aplicação da argamassa ATP_CA15_Fib pelo método de absorção de água a partir do topo: à esquerda, antes de iniciar o 1º ciclo com algum aparecimento de sais; ao centro, após a finalização do 8º ciclo com extensa visualização de bolores e fungos; à direita, pormenor da superfície do bloco	216
Figura 7.38. Fungos/bolores na argamassa ATP_CA_Fib, 60 dias após ter terminada a fase de absorção de água a partir do topo: à esquerda, BAv; ao centro, BPD; à direita, BVC.....	217
Figura 7.39. Bloco BAv com a aplicação da argamassa ATP_CP15 pelo método de absorção de água a partir do topo: à esquerda, antes de iniciar o 1º ciclo com algum aparecimento de eflorescências; à direita, após a finalização do 8º ciclo, com extensa visualização de eflorescências	217
Figura 7.40. Bloco BPD com a aplicação da argamassa ATP, fase de absorção de água a partir do topo: à esquerda, antes de iniciar o 1º ciclo, já com algum aparecimento de eflorescências; à direita, 60 dias após ter terminada a fase, com maior incidência de eflorescências em especial na taipa	218
Figura 7.41. Bloco BVC com a aplicação da argamassa ATP_CH15, fase de absorção de água a partir do topo: à esquerda, antes de iniciar o 1º ciclo com fraco aparecimento de eflorescências; à direita, 60 dias após terminada a fase, com maior incidência de eflorescências em especial na taipa e na zona superior ...	218

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Países com normas e documentos normativos para construção com terra	13
Tabela 2.2. Documentos pesquisados e propriedades da terra para construção	22
Tabela 2.3. Disposições sobre o tamanho máximo das partículas na técnica construtiva da taipa.....	28
Tabela 2.4. Valores máximos e mínimos para os limites de liquidez e plasticidade e índice de plasticidade, para a técnica construtiva da taipa com solos não estabilizados	31
Tabela 2.5. Grau de atividade da argila (A_c) (Doat <i>et al.</i> 1979)	31
Tabela 2.6. Requisitos para a baridade máxima seca para a técnica construtiva da taipa	32
Tabela 2.7. Requisitos para o teor de água de construção para a técnica construtiva da taipa.....	33
Tabela 2.8. Recomendações e requisitos para o ensaio de retração linear, para o método construtivo da taipa	34
Tabela 2.9. Requisitos para o teor de matéria orgânica, para a técnica da taipa	36
Tabela 2.10. Requisitos para o teor em sais, para a técnica da taipa	38
Tabela 3.1. Ensaio realizados na campanha experimental.....	63
Tabela 4.1. Composição mineralógica por DRX da fração fina do material dos seis edifícios	107
Tabela 4.2. Frações granulométricas, máxima dimensão das partículas, densidade das partículas e classificação dos solos para os edifícios em estudo	110
Tabela 4.3. Limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade e atividade da argila para os seis casos em estudo	112
Tabela 4.4. Valores do ensaio Proctor para os edifícios em estudo	114
Tabela 4.5. Valores da retração linear para os edifícios em estudo	117
Tabela 4.6. Matéria orgânica no solo nos edifícios em estudo	118
Tabela 4.7. Teor em humidade higroscópica ($T=20^{\circ}\text{C}$ e 96% HR) e teor de sal estimado dos materiais	119
Tabela 5.1. Designações atribuídas aos materiais, blocos de taipa e argamassas.....	126
Tabela 5.2. Composição mineralógica da terra-padrão obtida por DRX.....	129
Tabela 5.3. Baridade seca “in situ” das paredes de taipa.....	135
Tabela 5.4. Quantidade de material utilizado em cada camada, para realização dos blocos de taipa.....	136
Tabela 6.1. Ensaio de cone de Marsh das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP	147
Tabela 6.2. Aplicações efetuadas por cada um dos operadores nos blocos de taipa	148
Tabela 6.3. Aplicação das argamassas no suporte: quantidade de água pulverizada no suporte e método de aplicação	149
Tabela 6.4. Coeficientes das varáveis independentes e constante resultante do modelo de análise conjunta ...	152
Tabela 6.5. Argamassas e respetivos traços volumétricos e mássicos	157
Tabela 6.6. Argamassas selecionadas para o trabalho subsequente	158
Tabela 6.7. Designações das argamassas, respetivos traços e adições.....	160
Tabela 6.8. Relação água/material seco (em massa) e resultados dos ensaios de espalhamento e massa volúmica das argamassas.....	162

Tabela 7.1. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão superficiais nos blocos Bav e a sua intensidade	194
Tabela 7.2. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão superficiais nos blocos BPD e a sua intensidade	194
Tabela 7.3. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão superficiais nos blocos BVC e a sua intensidade	194
Tabela 7.4. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão profundos nos blocos BAv e a sua intensidade	195
Tabela 7.5. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão profundos nos blocos BPD e a sua intensidade	195
Tabela 7.6. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão profundos nos blocos BVC e a sua intensidade	195

1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo referem-se a importância e o interesse do tema da tese e apresentam-se os principais objetivos do trabalho.

1.1. ENQUADRAMENTO

A escolha do tema de investigação resulta da procura de resposta à questão da adequabilidade de argamassas de reparação a utilizar em construções de taipa. A escassa informação nessa área e a necessidade de proceder a reparações a esse nível justificou a necessidade de procurar identificar as características mais adequadas para essas argamassas e de definir regras adequadas para a intervenção nessas construções. Outra razão subjacente à escolha do tema está relacionada com a importância da técnica da taipa, que foi em tempos usada com muita frequência em Portugal, e sobre a qual recai hoje um interesse crescente por parte de proprietários e promotores, o que têm aumentado o seu investimento nesse tipo de construções. Se a durabilidade da terra como material de construção for bem assegurada nestes casos, acredita-se que será aceite e aplicada de forma regular e correta em construções contemporâneas. A conservação e reabilitação do material terra representam, atualmente, áreas da construção que atraem grandes dúvidas e preocupação, incluindo em relação ao domínio dos materiais, das técnicas, e a sua correta aplicação. Tal como Heathcote (1995) referia quase há 20 anos, continuam a não existir ainda evidências conclusivas, com base no desempenho em campo, que permitam contrariar essas preocupações.

A terra como material de construção é utilizada desde tempos imemoriais. As construções com terra, desde simples formas até complexas estruturas, constituem um importante património da Humanidade, que urge conservar. De facto, 10% dos sítios que constam da lista do Património Mundial da UNESCO correspondem a construções de terra (Balderrama 2001). Eram também de terra 16% e 57% dos sítios que figuram na *World Monuments Watch 2000 List of 100 Most Endangered Sites* e na *World Heritage List in Danger*, respetivamente (Balderrama 2001).

Uma percentagem significativa do património histórico Português é constituído por construções com terra. Na construção nova há também um reconhecimento crescente da validade das técnicas construtivas de terra crua, que tinham caído em desuso e que ressurgiram com a consciencialização face à ecoeficiência baseada no uso de recursos locais reutilizáveis. Este facto deve-se às características particulares do material terra: natural, não tóxico, ecológico, reciclável, de baixo custo, acessível, incombustível e contribuindo para que os edifícios apresentem também bom desempenho ao nível térmico e acústico.

As técnicas atualmente utilizadas, na construção e na reabilitação de construções com terra, surgem de forma geral como uma evolução dos processos ancestrais. Mantêm, no entanto, um carácter essencialmente empírico e não estão ainda totalmente adaptadas às novas realidades e exigências. De facto, a perda do saber relativo às artes tradicionais, bem como a falta de conhecimentos sobre os processos de degradação dos materiais de terra e da sua compatibilidade com os materiais modernos de construção, nem sempre permitem uma correta especificação das técnicas a utilizar, quer em construção nova, quer na conservação e reabilitação de construções existentes.

Dos vários métodos tradicionais de construção com terra crua, existem dois que se destacam: a taipa e o adobe, os quais predominam no edificado antigo português. No entanto, não existe informação sistematizada que defina completamente estas técnicas. Isto porque se tratam de processos de execução de base artesanal; o modo de trabalhar e preparar o material terra está nas mãos de cada taapeiro ou adobeiro, que atende às características

da terra local que usa, conduzindo por conseguinte a uma arquitetura própria em cada região. Cada técnica apresenta características próprias relativamente à quantidade e qualidade da terra a utilizar, à sua preparação, aos outros materiais adicionados, à velocidade e facilidade de execução e aos resultados finais. Daqui decorre uma questão relevante: tem o material utilizado nas paredes de taipa existentes características que se enquadram dentro dos limites estabelecidos pelos documentos internacionais? Não se sabe, de facto, até que ponto as atuais especificações existentes para as características da taipa a nível internacional terão aplicação neste edificado, nomeadamente no edificado nacional da região do Alentejo, onde se concentram os estudos de caso desta tesa. Esta questão é abordada e analisada neste trabalho.

Em Portugal os recursos naturais necessários à construção com terra existem de forma abundante. Contudo, na maior parte das construções a construir, reabilitar, reparar ou manter, não são em geral tomadas em consideração as características específicas da matéria-prima original nem do próprio sistema construtivo. Isto conduz ao aparecimento prematuro de anomalias nos edifícios (muitas vezes após um curto intervalo de tempo após a intervenção). A um nível nacional, as técnicas inadequadas adotadas frequentemente para este tipo de construção, a falta de documentos de referência, a falta de formação específica dos técnicos nesta área, nomeadamente a escassez de cursos de formação para aquisição e atualização de conhecimentos, não permitem responder adequadamente às exigências emergentes, levando a soluções menos duráveis e ao aparecimento de anomalias expressivas nos edifícios.

Verificou-se que a desagregação superficial das paredes de terra, refletida na sua erosão com formação pontual de cavidades mais profundas, são as anomalias mais recorrentes nas paredes de taipa. Verificou-se ainda que, em muitos casos, as reparações deste tipo de paredes utiliza argamassas de reparação que acabam por se revelar inadequadas. Frequentemente são utilizadas argamassas de base cimentícia que são mais rígidas e impermeáveis ao vapor do que o suporte, por desconhecimento da falta de compatibilidade entre os materiais utilizados.

A reparação das construções de taipa é exigente, sendo necessário conhecimento específico nesta área, sobre os materiais, as técnicas construtivas, e as ações a que este tipo de construções está sujeita. Segundo Le Tiec e Paccoud (2006), uma das técnicas para a reparação destas paredes, que são monolíticas, é a utilização de argamassas de terra, especialmente nas zonas de fendas, fissuras, lacunas, ou mesmo quando as superfícies se encontram degradadas de uma forma mais generalizada. Todavia, os materiais de reparação a usar, as técnicas e metodologias de execução, não estão ainda suficientemente desenvolvidas e avaliadas, gerando os insucessos referidos. É, por isso, necessário dar melhor resposta às necessidades da conservação e reparação das paredes de taipa, com recurso à utilização de argamassas compatíveis.

Considera-se, assim, que é fundamental encontrar argamassas compatíveis com este tipo de paredes, admitindo-se à partida que uma composição com terra - argamassa de terra - será mais adequada, uma vez que a argamassa apresentará uma natureza similar à do suporte de taipa.

O saber relativo à correta utilização de argamassas de reparação em estruturas de terra é fundamental dada a existência de um vasto património arquitetónico de terra, inclusive património classificado pela UNESCO (UNESCO 2012). Por outro lado, as construções com terra mais recentes necessitarão igualmente, a prazo, de ações de manutenção e reparação nas suas paredes.

A trabalhabilidade é a característica que traduz a facilidade com que uma argamassa é amassada e aplicada no suporte, sendo a característica mais importante da argamassa no seu estado fresco. A quantidade de água utilizada na amassadura tem grande influência na trabalhabilidade. Segundo a RILEM (1982) “o único meio evidente que um pedreiro tem à sua disposição para corrigir a trabalhabilidade de uma argamassa é alterando o seu teor em água”. Porém, os estudos sobre a influência do teor de água na trabalhabilidade são escassos, apesar de este ser um aspeto fundamental e provavelmente o primeiro que deve ser abordado no âmbito da formulação de argamassas; e nomeadamente das argamassas de terra onde a percentagem de argila é tipicamente significativa e onde a água é maioritariamente libertada na secagem, não sendo consumida por reações químicas como no caso dos ligantes hidráulicos.

É importante caracterizar as argamassas de terra no estado fresco mas também no estado endurecido. Frequentemente é referido na literatura que, para aumentar a resistência e durabilidade dos materiais de terra, são normalmente utilizadas adições de ligantes como estabilizantes químicos (Heathcote 1995, Jayasinghe e Kamaladasa 2007, Jaquin *et al.* 2008, Hall e Allinson 2009a, Hossain e Mol 2011, McGregor *et al.* 2012). O cimento e a cal são os estabilizantes mais comuns dos materiais de terra. Contudo, outros autores referem que a estabilização com cimento é prejudicial neste tipo de estruturas (McHenry 1984, Ashurst e Ashurst 1995, Norton 1997, Warren 1999, Walker e Australia 2001, Guelberth e Chiras 2003, Boussalh *et al.* 2004, Walker *et al.* 2005, Jiménez Delgado e Guerrero 2006), dificultando a ligação química das argamassas com o suporte a reparar, sendo elevada a probabilidade de falta de aderência, e afetando também a sua permeabilidade ao vapor de água. Para além disso, o cimento altera significativamente a reciclabilidade do material durante a obra e no final da vida útil. Importa assim perceber quais as consequências particulares da adição de estabilizantes químicos às argamassas de terra. A adição de fibras é outro aspeto relevante, uma vez que é frequentemente referida na literatura especializada como podendo ser um bom contributo para a diminuição da retração nas argamassas (Warren 1999, Copsy *et al.* 2010). De facto, os materiais tradicionais de terra incluíam frequentemente fibras naturais, não existindo no entanto, tanto quanto é do conhecimento da autora, dados concretos sobre as vantagens e inconvenientes desta utilização.

Como referido, o conhecimento sobre as argamassas de reparação para estruturas de terra ainda não se encontra devidamente desenvolvido. O comportamento destas argamassas na sua relação com o suporte é um fator primordial: é importante analisar a influência que o suporte apresenta neste tipo de argamassas e verificar a compatibilidade entre ambos.

As argamassas de reparação são normalmente revestidas por um acabamento final, estando geralmente protegidas das ações climáticas diretas, como o vento, a chuva ou a radiação solar. Assim, as ações potencialmente mais gravosas a que estas argamassas podem estar sujeitas são as relacionadas com a ação da água no estado líquido ou de fatores ambientais, nomeadamente a humidade relativa e a temperatura. A presença de humidade reduz a coesão interna e a resistência mecânica dos materiais potencia a ação dos sais solúveis e favorece o desenvolvimento biológico. Sendo esta uma das principais causas de degradação dos materiais de terra, considera-se pertinente analisar o comportamento das argamassas de reparação quando

aplicadas na parede de taipa e sujeitas a prolongados períodos de exposição à água, e sob a ação de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem.

1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA

O objetivo desta tese é contribuir para uma melhoria das metodologias de reparação de paredes de taipa não estabilizada através da aplicação de argamassas com base em terra. Considera-se que progressos ao nível dessa metodologia de intervenção são necessários ao nível da conservação e reabilitação de construções antigas, mas também no que se refere à manutenção de novas construções, devido ao elevado número de edifícios com paredes com necessidade de serem reparadas e ao facto de correntemente essas reparações serem efetuadas de forma ineficiente.

Essa contribuição será efetuada através das seguintes etapas:

- (i) caracterizar as paredes de taipa de edifícios existentes selecionados como estudos de casos, discutindo os resultados experimentais obtidos à luz das recomendações de documentos normativos e outros documentos de referência atuais sobre construção com terra;
- (ii) selecionar as argamassas base e avaliar a influência do teor em água na trabalhabilidade das várias formulações possíveis para argamassas de reparação;
- (iii) caracterizar o comportamento de argamassas de reparação selecionadas no estado fresco e endurecido, obtidas a partir de:
 - material recolhido em paredes de taipa de edifícios existentes;
 - uma terra comercial, com ou sem a adição de fibra vegetal (cânhamo) e estabilizantes (cal aérea hidratada, cal hidráulica natural, cimento Portland e cimento natural);
- (iv) analisar o comportamento das argamassas aplicadas em blocos de taipa e estabelecer requisitos para argamassas de terra, adequadas à reparação de paredes de taipa;
- (v) analisar o comportamento das argamassas quando sujeitas a prolongados períodos em contacto com a água, para o que os blocos e as argamassas de reparação neles aplicados foram sujeitos a envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem;
- (vi) estabelecer recomendações para as técnicas de aplicação adequadas para as argamassas de reparação analisadas.

A fim de verificar quais as principais formas de degradação que ocorrem em paredes de taipa realizou-se um levantamento em cerca de trinta edifícios na região do Alentejo, que foi sintetizado em fichas de inspeção. A caracterização das formas de degradação permitiu identificar e tipificar os dois padrões de degradação mais recorrentes: a erosão superficial e as cavidades pontuais.

O levantamento serviu ainda de base para a seleção dos seis estudos de caso da tese.

A campanha experimental iniciou-se com a recolha de materiais nas paredes de taipa, desses seis edifícios, sendo que:

- (i) em três dos estudos de caso a recolha de material teve de ser efetuada em quantidade adequada apenas para caracterizar as paredes de taipa;

- (ii) nos restantes três estudos de caso o material pode ser recolhido em quantidade adequada para:
- caracterizar as paredes de taipa;
 - construir blocos de taipa em laboratório, procurando reproduzir a taipa tradicional das paredes originais; nesses blocos foram reproduzidos os dois padrões de degradação (defeitos-padrão superficiais e profundos), para posterior aplicação das argamassas de reparação;
 - execução de argamassas de reparação, incluindo provetes para ensaios de caracterização e aplicações nos blocos.

Para a realização das argamassas, além das terras recolhidas nos três edifícios, foi ainda utilizada uma terra argilosa comercial, que ao longo da tese vai ser denominada por terra-padrão, tendo como objetivo o eventual desenvolvimento de uma argamassa de utilização geral que, portanto, utiliza material diferente do dos edifícios. Para o controlo da retração, foi em quase todos os casos, adicionado um determinado traço de areia grossa siliciosa lavada.

Com vista a avaliar a influência do teor de água nas propriedades da argamassa fresca foram primeiramente escolhidos os ensaios que melhor traduzem a trabalhabilidade, o que foi feito cruzando os dados experimentais com informação sobre a aplicação das argamassas prestada por dois operadores. Esta análise foi feita sobre as argamassas que utilizam a terra padrão.

As argamassas com as terras recolhidas nos três edifícios e as argamassas de terra padrão - com e sem a adição de ligantes minerais como estabilizantes e fibras - foram caracterizadas no estado fresco e endurecido. A avaliação das argamassas no estado fresco consistiu na determinação da consistência pelo ensaio de espalhamento e da massa volúmica. No estado endurecido, realizaram-se os ensaios de retração linear e volumétrica (apesar da preparação do ensaio ser realizado com as argamassas no estado fresco, a avaliação do resultado apenas é efetuada no estado endurecido), e os restantes ensaios, executados aos 90 dias de idade, que foram:

- (i) ensaios hídricos - absorção de água por capilaridade e secagem;
- (ii) ensaios mecânicos - módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e à compressão.

Para além de caracterizadas individualmente, as argamassas foram aplicadas para reparação dos defeitos-padrão dos blocos e foi avaliado o seu comportamento a curto e médio prazo. A metodologia de avaliação consistiu numa análise visual do comportamento da argamassa e do suporte aos 10, 30 e 90 dias, tendo sido ainda efetuados ensaios de determinação da dureza superficial e velocidade de propagação de ultrassons aos 90 dias de idade.

A aplicação das argamassas, de forma a estabelecer recomendações para as técnicas de aplicação, também constitui um fator importante. Assim, os requisitos e as técnicas de aplicação foram deixadas ao critério dos operadores, sendo estes comparados de forma a estabelecer quais as condições indispensáveis e necessárias, e quais as técnicas ideais para aplicação no defeito-padrão superficial e no defeito-padrão profundo.

Foram construídas três zonas independentes, para cada uma das três famílias de blocos (com material recolhido de cada edifício distinto), onde se criaram reservatórios de água, e onde os blocos e respetivas argamassas

foram submetidos aos ensaios de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem, em condições de ambiente interior mas fortemente ventilado.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O presente trabalho está estruturado em nove capítulos e cinco anexos. Apresenta-se de seguida o resumo de cada um dos capítulos.

Capítulo 1. Introdução

Apresenta uma breve introdução referindo a importância e o interesse do tema desta tese. São expostos os principais objetivos e metodologia do trabalho.

Capítulo 2. A construção de taipa e a sua conservação

No capítulo 2 pretende-se avaliar e sintetizar os conhecimentos atuais existentes que sejam relevantes para a execução e compreensão do trabalho. Esta tarefa exigiu uma pesquisa intensiva de estudos anteriores, os quais permitiram identificar as lacunas do conhecimento que justificam os objetivos a que este trabalho se propôs. Procedeu-se também à revisão de documentos normativos e outros documentos de referência sobre construção de terra, identificando as principais propriedades dos solos utilizados na construção de taipa, bem como os respetivos procedimentos de ensaio e valores-limite. É ainda abordado o estado da prática no que diz respeito à degradação das paredes de taipa, reparação e conservação e, ainda, as características relacionadas com as argamassas.

Capítulo 3. Procedimentos de ensaio adotados

No capítulo 3 descrevem-se os procedimentos de ensaio seguidos ao longo do estudo, nomeadamente os ensaios sobre o material recolhido em obra e sobre as argamassas no estado fresco e endurecido.

Capítulo 4. Estudos de caso

No capítulo 4 caracterizam-se os processos construtivos, estado geral de conservação e principais formas de degradação das paredes de taipa do universo alargado dos edifícios visitados, dentre os quais seis serviram como estudos de caso.

A matéria-prima recolhida das paredes de taipa para os seis estudos de caso selecionados foi caracterizada, e os resultados foram comparados com as recomendações disponíveis a nível internacional e com os seus valores-limite. Discute-se ainda a aplicabilidade dos métodos de ensaio indicados nas recomendações internacionais ao material recolhido para os estudos de caso.

Capítulo 5. Materiais utilizados e blocos de taipa

No capítulo 5 são identificados e caracterizados todos os materiais utilizados na execução dos blocos de taipa e nas argamassas de reparação, bem como os procedimentos seguidos na preparação destes materiais. É também focada a execução dos blocos de taipa, assim como dos defeitos-padrão neles introduzidos.

Capítulo 6. Estudo das argamassas

O capítulo 6 foca uma campanha de ensaios sobre argamassas de terra, nos estados fresco e endurecido, realizada com vista à escolha dos traços mais aconselhados para argamassas de reparação da taipa. Numa primeira fase houve a necessidade de avaliar a influência do teor de água nas propriedades da argamassa fresca (trabalhabilidade e retração), com base na qual se efetuou a escolha do traço das argamassas para aplicação nos blocos. Para possibilitar essa avaliação, foram primeiramente escolhidos os ensaios que melhor traduzem a trabalhabilidade, cruzando os dados experimentais dos ensaios de consistência por espalhamento e penetrómetro, e escoamento, com informação sobre a aplicação das argamassas. A partir do traço escolhido, em algumas argamassas, foi necessário adicionar areia e fibras. Essas composições foram então amplamente caracterizadas no estado fresco e endurecido - com e sem a adição de estabilizantes: cal aérea hidratada, cal hidráulica natural, cimento Portland e cimento natural e, ainda, a adição de fibras - com vista à escolha das argamassas mais adequadas para aplicação nos blocos de taipa.

Capítulo 7. Avaliação das argamassas de reparação após aplicação no suporte

O capítulo 7 centra-se na aplicação das argamassas nos blocos de taipa, sobre os dois tipos de defeitos-padrão - superficial e profundo - a fim de verificar a compatibilidade entre o suporte e a argamassa e a eficácia da intervenção. Após a aplicação foi efetuada uma análise visual do comportamento da argamassa e do suporte, a curto e médio prazo (aos 10, 30 e 90 dias). Aos 90 dias de idade, foram ainda efetuados ensaios de determinação da dureza superficial e da velocidade de propagação de ultrassons. Neste capítulo são também apresentados os procedimentos e resultados do ensaio de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem realizados sobre os conjuntos argamassa-suporte.

Capítulo 8. Conclusões

O capítulo 8 sintetiza as conclusões e ilações decorrentes dos resultados obtidos no estudo experimental efetuado sobre as argamassas de reparação para paredes de taipa. Apresentam-se depois algumas perspetivas de investigação futura no campo das construções de taipa e, em particular, das argamassas de terra.

No capítulo seguinte são apresentadas as referências bibliográficas. Seguem-se os anexos, estruturados de A a F, em que:

- A** - inclui as fichas técnicas de inspeção dos edifícios observados;
- B** - são apresentadas as tabelas de correspondência entre os blocos de taipa e as argamassas aplicadas, incluindo as datas da execução de cada bloco e quando este foi colocado em sala condicionada e, ainda, a data da aplicação de cada argamassa no respetivo bloco;
- C** - é referente aos registos da temperatura e humidade relativa, enquanto os blocos com as respetivas argamassas aplicadas, se mantiveram na nave do Sector de Materiais Cerâmicos do LNEC;
- D** - inclui os resultados obtidos para a velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta para todos os blocos;
- E** - apresenta a calendarização do ensaio de envelhecimento artificial acelerado;
- F** - inclui as fichas técnicas dos ligantes minerais fornecidos pelos fabricantes e utilizados nesta tese.

2

A CONSTRUÇÃO DE TAIPA E A SUA CONSERVAÇÃO

A legislação nacional - Lei n.º 107/2001 de 8 de Setembro - estabelece as bases da política e do regime de proteção e valorização do património cultural, onde se enquadra inequivocamente o edificado antigo construído com terra. A política do património cultural aí legislada obedece a princípios gerais, de onde se destaca a responsabilidade das intervenções. Assim, é da obrigação dos agentes ligados à conservação das construções com terra, as ações que visem ao aumento da sua longevidade. Neste capítulo analisam-se as lacunas no estado do conhecimento e no estado da prática nesta área ainda tão pouco desenvolvida e estudada. Verificou-se que a maior parte das intervenções efetuadas ao nível das paredes de taipa com a utilização de argamassas de reparação são realizadas de forma imprópria.

2.1. INTRODUÇÃO

A terra é o material de construção mais antigo que se conhece, tendo sido utilizada pelo menos desde que se ergueram os edifícios das primitivas aglomerações humanas, as primeiras aldeias (Dethier 1983). O primeiro registo do uso de tijolos de terra remonta à Mesopotâmia por volta de 10.000 a.C. (Heathcote 1995). Em Portugal também existem vestígios da utilização da terra como material de construção na pré-História, em estruturas habitacionais e de uso doméstico de diversos sítios de habitat no Sul de Portugal. Foram estudados por Bruno (2007) desde o período do Neolítico Antigo até ao final do Calcolítico, ou seja, de cerca de 5500 a 2000 a.C.

A terra é ainda hoje um dos materiais mais utilizados na construção das habitações, pela sua abundância, custo acessível, tradição e facilidade de execução que proporciona. Devido a todas estas características a terra é amplamente utilizada em inúmeras zonas do mundo, estando em geral, mas nem sempre, diretamente relacionada com a escassez de recursos financeiros das populações. No entanto na década de 80, os problemas energéticos, ambientais, ecológicos e económicos sentidos a nível mundial, conduziram a uma mudança de mentalidades nos escalões privilegiados das sociedades desenvolvidas e a terra crua como material de construção deixou de ser sinónimo de desconforto e pobreza, para começar a ser vista como um material alternativo e valorizado. Nas últimas décadas começou assim a haver interesse, quer a nível internacional como nacional, pela arquitetura de terra. Hoje, existe um reconhecimento pelas técnicas construtivas que tinham caído em desuso e que ressurgiram com a consciencialização face à sustentabilidade e no sentido de explorar recursos locais reutilizáveis, permitindo sistemas mais compatíveis com o equilíbrio dos ecossistemas. Reconhece-se que a utilização de uma forma sistemática dos recursos materiais locais minimiza o impacto ambiental (Morel *et al.* 2001). O interesse pela construção com terra também se deve ao seu carácter próprio natural e tradicional na arquitetura e às características particulares do material, que é ecológico, reciclável, de baixo custo, acessível, incombustível. A utilização da terra em paredes apresenta um bom contributo para a melhoria do comportamento térmico e acústico, para além de vantagens ambientais associadas à economia de energia no fabrico.

Embora as construções de terra não sejam predominantes na maioria dos países industrializados, Dethier (1983) e Minke (2000) referem que cerca de um terço da população mundial habita em casas construídas com terra. Em bibliografia mais recente (Guillaud 2008 e Anger *et al.* 2011) os números serão ainda mais expressivos, referindo-se que cerca de metade da população mundial vive em casas construídas com terra (Figura 2.1), incluindo taipa, adobe, BTC, entre outros.

Apesar de alguns dos métodos construtivos em terra serem dos métodos tradicionais mais antigos, a maior parte das suas características e propriedades continuam pouco conhecidas e investigadas. A escassez de cursos de formação e a falta de formação específica dos técnicos nesta área (não permitindo a atualização de conhecimentos) faz com que não exista um domínio neste campo, uma vez que a maior parte do “saber-fazer” (em termos de práticas de construção ou mesmo de manutenção), tem tido tendência, em algumas regiões, a desaparecer. No entanto, é necessário compreender estes métodos construtivos bem como, as características dos materiais utilizados e as suas causas de degradação, de forma a poder dar resposta adequada às

intervenções de reabilitação/conservação. De facto, na maior parte da construção nova e mesmo em reabilitação, não são frequentemente tomadas em consideração as características específicas da matéria-prima nem do próprio sistema construtivo, o que por vezes leva a erros e ao aparecimento prematuro de anomalias nos edifícios.



Figura 2.1. Construção com terra a nível mundial (Grandeau e Delboy, citado por Anger *et al.* 2011)

Atualmente a utilização de argamassas estabilizadas com cimento na construção com terra é ainda prática comum; inclusive verificou-se a indicação por parte de duas normas a utilização de revestimentos à base de cimento em estruturas de terra (SAZS 724 2001, New Mexico Code 2006). McHenry (1984) referia que nos Estados Unidos a reparação de paredes de terra com este tipo de argamassas era o mais comum. Também Morton (2008) refere que na Escócia durante muitos anos a reparação de construções com terra foi realizada com argamassas cimentícias, verificando-se hoje em dia que este tipo de reparação progressivamente degradou ainda mais as estruturas. Em Portugal, muitos foram os casos de intervenções em estruturas com terra, na década de 70-80, com argamassas de cimento (Fernandes 2012). Hoje verifica-se que estas intervenções causaram uma aceleração na degradação e destruição irreversível da taipa. Segundo Warren (1999) e Faria (2005) estas argamassas são mais resistentes à erosão, porém são mais rígidas do que o material da parede e muito menos permeáveis ao vapor de água. Frequentemente encontra-se bibliografia a contraindicar o uso de argamassas cimentícias em estruturas de terra (McHenry 1984, Ashurst e Ashurst 1995, Norton 1997, Warren 1999, Walker e Australia 2001, Guelberth e Chiras 2003, Boussalh *et al.* 2004, Walker *et al.* 2005, Jiménez Delgado e Guerrero 2007, Fernandes 2012).

Existem também alguns casos de sucesso na utilização de argamassa (revestimentos) em edifícios de taipa, verificando-se que se trata geralmente de argamassas de terra. Pode referir-se um edifício de terra em Pueblo de Taos, no Novo México, o edifício mais antigo atualmente, com 900 anos. O revestimento de terra é renovado todos os anos, tendo como objetivo a boa conservação deste valioso edifício (Heathcote 1995). Em Inglaterra,

França e Portugal existem também alguns edifícios com paredes de terra não estabilizadas com mais de 100 anos; porém também estes edifícios apresentam uma manutenção cuidada (Heathcote 1995).

Pretende-se com esta tese contribuir para uma melhoria das metodologias de reparação de paredes de taipa não estabilizada através da aplicação de argamassas com base em terra, com e sem a adição de estabilizantes, com vista a estabelecer requisitos adequados que permitam evitar a ocorrência de problemas na conservação/reparação deste tipo de edifícios.

2.2. A TERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Desde sempre, o Homem foi conseguindo vencer as barreiras criadas pela Natureza, encontrando soluções e desenvolvendo técnicas para construir abrigos de proteção. Os materiais utilizados, as técnicas escolhidas, e os conhecimentos envolvidos são também consequência natural da sociedade de cada época. São muitas as tradições de construção com terra diferindo não só de acordo com a qualidade da própria terra e com o clima, mas também com a identidade das culturas e lugares, das experiências transmitidas. Contudo, as técnicas de construção utilizando como matéria-prima o material terra, desde sempre foram das técnicas construtivas mais utilizadas.

Nos dias de hoje a terra não é ainda vista por muitos como um material de construção de qualidade, capaz de competir com outras técnicas construtivas, como referem Houben e Guillaud (1996). Estes autores reportam que “60% das habitações no Peru são de tijolo de terra moldado ou taipa, 83% das habitações em Kigali, a capital do Ruanda, são feitas de terra e que mais de 70% das habitações na Índia são construídas de tijolos de terra moldados, garantindo o abrigo para cerca de 600 milhões de pessoas”. Porém, este tipo de construção não está confinado a países pobres ou em desenvolvimento. A título de exemplo, os autores referem o caso de muitas habitações rurais em França, que são construídas a partir de terra crua, por exemplo na região de Dauphine, onde algumas das aldeias apresentam até 90% dos seus edifícios em taipa. Um outro exemplo é a Califórnia, onde foram estimadas quase 200 000 casas de adobe no ano de 1980 e onde o uso desta técnica foi crescendo à taxa de 30% ao ano.

Confrontados com a crise energética das décadas de 70/80, os países industrializados dependentes do petróleo foram forçados a repensar a viabilidade das soluções técnicas que se tinham revelado gananciosas em termos energéticos. O setor da construção não escapou a esta reavaliação e começaram a ser desenvolvidas formas de reduzir o consumo de energia, tanto ao nível dos materiais utilizados, como nas técnicas de construção. A União Europeia comprometeu-se a cumprir metas a médio prazo com menos de: 50% de consumos energéticos, 40% de resíduos produzidos e 30% das matérias-primas consumidas (WCED 1987). Assim, não só mas também a terra voltou a ser um foco de interesse, dado a sua mais-valia no baixo consumo energético aliado à sua produção.

2.2.1. Normalização

A técnica da construção com terra tem sido uma realidade desde há séculos no território português, baseada no conhecimento empírico dos construtores. Este conhecimento era transmitido de geração em geração e permaneceu até aos dias de hoje. De facto a construção com terra em Portugal é desprovida de qualquer regulamentação ou código; apenas existe um documento com carácter de recomendação técnica elaborado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil pelos Engenheiros Ruy Gomes e José Folque (Gomes e Folque 1953). Contudo, noutros países onde renasceu mais cedo o interesse por este tipo de construção, estas técnicas estão regulamentadas, embora de forma pouco significativa quando comparada com outras áreas da engenharia civil.

Analisando a regulamentação existente para a construção com terra a nível internacional verifica-se que existem pelo menos 33 documentos, entre normas e documentos normativos, referentes a 19 países e regiões (Schroeder *et al.* 2012), Tabela 2.1. Já Cid *et al.* (2011) localizou 55 documentos normativos ou normas para a construção com terra em 16 países ou regiões, porém não identifica o tipo de documento mas indica o número de documentos vigentes, Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Países com normas e documentos normativos para construção com terra

País (número de documentos vigentes) Cid <i>et al.</i> (2011)	País Schroeder <i>et al.</i> (2012)
Africa (normas regionais, 14), Brasil (13), Colômbia (1), França (1), Espanha (1), Estados Unidos América (2), Índia (3), Itália (2), Quênia (1), Nova Zelândia (3), Nigéria (1), Peru (4), Sri Lanka (3), Tunísia (3), Turquia (2), Zimbabué (1)	Normas: Africa (normas regionais), Brasil, Chile, Colômbia, França, Espanha, Estados Unidos América (New México, Califórnia), Índia, Quênia, Nova Zelândia, Nigéria, Peru, Quirguistão, Sri Lanka, Tunísia, Turquia, Zimbabué Documentos normativos: Alemanha, Austrália e Suíça Recomendações técnicas: vários autores

É importante referir que a Organização Internacional para a Normalização (*International Organization for Standardization - ISO*) faz a distinção entre normas e documentos normativos. Uma norma é um documento criado por consenso por especialistas e publicada pela organização de normalização, sendo esta confirmada por uma identidade nacional. Um documento normativo diferencia-se das normas por não possuir os mesmos requisitos formais e definitivos e não ser emitido pela organização de normalização; estes documentos são normalmente publicados por associações e/ou organizações especializadas no tema.

Alemanha

A Alemanha foi um dos primeiros países a elaborar normas para a construção com terra (Houben e Guillaud 2006). Após a 2ª Guerra Mundial a construção com terra ressurgiu na Alemanha após um declínio. Este renascimento deveu-se à destruição da indústria dos materiais de construção e à limitação no seu transporte, o que dinamizou e aumentou a utilização dos materiais locais. Em 1944 surgiram os primeiros regulamentos técnicos para a construção com terra, publicados pelo Instituto Alemão para Normalização “DIN - *Deutsches Institut für Normung*”. Estes documentos foram retirados em 1971, sendo considerados obsoletos e sem importância económica (Schroeder *et al.* 2012). Contudo, após quase trinta anos, em 1999, foi publicado o documento normativo para a construção com terra “LR - *Lehmbau Regeln*”. Não sendo uma norma, apresenta-se

como um documento nacional de referência para a regulamentação nesta área de construção, sendo seguido por alguns governos regionais. Após a publicação da 3ª edição do documento normativo em 2008, foi reunido um comité para compilação de textos para um futuro desenvolvimento de normas DIN. Em Setembro de 2011, surgem as pré-normas DIN com as seguintes designações aproximadas (Schroeder *et al.* 2012): DIN 18945 - Blocos de terra: termos, definições, requerimentos e procedimentos de ensaio; DIN 18946 - Argamassas de terra: termos, definições, requerimentos e procedimentos de ensaio; DIN 18947 - Rebocos de terra: termos, definições, requerimentos e procedimentos de ensaio. À data da escrita desta tese, estas normas não estão ainda disponíveis ao público em geral.

O único documento alemão estudado para este trabalho foi o documento normativo *Lehmbau Regeln* (2009), estando este dividido em sete capítulos. O primeiro capítulo estabelece os requisitos gerais da construção de terra. O segundo capítulo especifica os solos mais adequados para esta construção e quais as propriedades dos solos e os testes preliminares, e também os ensaios em laboratório que devem ser considerados para a sua seleção. O capítulo três descreve as várias técnicas construtivas, incluindo a taipa; especifica ainda as características dos materiais a utilizar em cada técnica. O quarto capítulo detalha os procedimentos de projeto de cada um dos métodos construtivos. O quinto capítulo apresenta algumas propriedades como por exemplo a massa volúmica, o isolamento térmico e acústico, resistências à compressão. Os capítulos seis e sete abordam questões contratuais. O último capítulo apresenta um glossário de termos usados no documento e/ou usados na área da construção com terra.

Espanha

Também Espanha, assim como Portugal, não dispõe de um regulamento específico para a construção com terra. No entanto, em 1992, o Ministério dos Transportes e Obras Públicas publicou um documento de referência para a conceção e construção de estruturas com terra, "*Bases Para el Diseño y Construcción con Tapia*" (MOPT 1992). O documento apresenta informações sobre os ensaios dos materiais, adições, reforço, cofragem e tolerâncias na construção com terra em geral. Está dividido em cinco secções principais, sendo o principal foco a técnica da taipa, embora também seja referida a técnica do adobe. Na primeira secção é efetuado uma abordagem histórica sobre a taipa e o adobe. Na segunda secção são abordados os detalhes dos princípios de desenho das paredes de terra, tendo em conta os efeitos das tensões e deformação, com indicações de valores de referência a adotar para as características mecânicas. A terceira secção examina a metodologia da técnica da taipa, nomeadamente a cofragem, os métodos de compactação e a sequência de construção. A construção das fundações e a tipificação dos cunhais são descritas na quarta secção. A quinta secção fornece orientações sobre as medidas de controlo de qualidade, a fim de assegurar o cumprimento das especificações do projeto.

Nesta tese foi também consultado o documento do Instituto Eduardo Torroja, "*Prescripciones del Instituto - Obras de Fábrica*" (IETCC 1971) que apresenta as definições e terminologia de vários materiais de construção, assim como as suas técnicas construtivas e respetivos ensaios. Este documento apresenta um subcapítulo para a técnica da taipa, onde aborda a granulometria dos solos para taipa não estabilizada e estabilizada, assim como as suas adições (por exemplo fibras).

Novo México, EUA

O Estado do Novo México nos EUA usufrui do seu próprio código de construção com terra, “*New Mexico Earthen Building Materials Code*” (New Mexico Code 2006), que aborda as técnicas da taipa, alvenarias de adobe e BTC. Este código só se aplica a edifícios até dois pisos, estabelecendo requisitos mínimos para a construção com terra.

Para a técnica da taipa, apresenta orientações sobre a adequação do solo e seu teor de humidade e estabelece os requisitos para cofragem. Em relação ao dimensionamento e métodos de construção, este documento aborda um conjunto de regras, nomeadamente: as dimensões das paredes, assim como a sua espessura para paredes interiores e exteriores; as características mecânicas dos materiais para solo estabilizado ou não; utilização das vigas de bordadura e de fundação, bem como a questão da ligação entre os vários elementos. Estabelece ainda requisitos para os revestimentos exteriores.

Nova Zelândia

Na Nova Zelândia a construção com terra - taipa, alvenaria de adobe e blocos de terra comprimida - com ou sem estabilização, é regulamentada por três códigos distintos, publicados em 1998, correspondendo a normas nacionais, respetivamente: SNZ 4297 - *Engineering Design of Earth Buildings* (SNZ 4297 1998); SNZ 4298 - *Materials and Workmanship for Earth Buildings* (SNZ 4298 1998); SNZ 4299 - *Earth Buildings Not Requiring Specific Design* (SNZ 4299 1998).

A norma SNZ 4297:1998 estabelece métodos de projeto até uma altura máxima de 6,5 m, definindo os critérios de desempenho para resistência, durabilidade, retração, isolamento térmico e isolamento ao fogo. São fornecidos detalhes para o projeto da fundação, assim como para o reforço da estrutura e para ancoragens.

A norma SNZ 4298 (1998) define os requisitos para os materiais e mão-de-obra a utilizar na construção de elementos de terra com misturas de solo/cimento (inferior a 15% em massa). A norma estabelece os requisitos gerais no que diz respeito à seleção de materiais e ensaios, reforço e detalhes de cunhais e ligações, juntas, lintéis, acabamento superficial e controle de qualidade.

A norma SNZ 4299 (1998) está limitada a paredes com uma altura máxima de 3,3 m. Esta norma não exige dimensionamento específico: desde que sejam cumpridas as regras e não se excedam os limites enunciados é possível construir um edifício dispensando um dimensionamento tradicional. A norma fornece soluções para o projeto de paredes estruturais, fundações, vigas de bordaduras, vergas, juntas, aberturas e elementos de fixação, entre outros.

Austrália

Também a Austrália foi um dos primeiros países a desenvolver um documento de referência para a construção de taipa, alvenaria de adobe e blocos de terra comprimidos (Maniatidis e Walker 2003), estabelecendo os requisitos para estas técnicas. Trata-se do Bulletin 5 (1987) que foi publicado pela primeira vez em 1952, tendo sido a quarta e última edição publicada em 1987 pela CSIRO - “*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*”. Apresenta como inovação, à data, o teste de erosão acelerada (efetuado com o auxílio de um pulverizador).

Dado o avanço nas técnicas de construção com terra, e como o Boletim 5 publicado em 1987 já não conseguia responder a algumas questões, as duas associações “*Earth Building Association of Australia*” e “*Earth Building Association of New Zealand*” em 1994, tentaram desenvolver normas conjuntas para a construção de terra. Contudo, em 1996 essa parceria chegou ao fim por falta de acordo (Maniatidis e Walker 2003). A Nova Zelândia publicou os seus três regulamentos em 1998 (já referidos). A Austrália publicou um manual, uma vez que não existiu também consenso interno para a elaboração de normas. Este tipo de manual não apresenta o mesmo estatuto que uma norma, mas neste caso foi analisado por uma comissão técnica (Maniatidis e Walker 2003).

O manual “*Australian Earth Building Handbook*” foi então publicado pela organização australiana de normalização em 2001 com base no livro de Peter Walker (Walker e Australia 2001). Este documento estabelece os princípios de boa prática e define linhas de orientação para a construção de uma edificação com um ou dois pisos, com terra.

O manual é composto por seis capítulos. O primeiro capítulo descreve os principais tipos de construção com terra, suas vantagens e limitações. O capítulo dois pormenoriza o material terra. O terceiro capítulo aborda técnicas construtivas, tais como os lintéis, fixações, revestimentos, entre outros, e aborda ainda a questão da manutenção neste tipo de estruturas. O capítulo quatro estabelece os requisitos no que diz respeito à integridade estrutural e sua durabilidade, fornecendo diretrizes para o projeto com paredes reforçadas e não reforçadas. O quinto capítulo aborda o projeto das fundações, e o último capítulo aborda o futuro da construção com terra, em termos de educação, formação e investigação. Em anexo estão detalhados vários procedimentos de ensaio do material terra.

Em 2001, a associação “*Earth Building Association of Australia*” publicou um documento provisório que define novas diretrizes de conceção para a construção em alvenaria de adobe e em taipa (EBAA 2001). Este mantém-se ainda como provisório.

Zimbabué

O regulamento do Zimbabué, “*Zimbabwe Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures*”, foi publicado em 2001 (SAZS 724 2001). O documento baseia muito o seu conteúdo no livro publicado por Julian Keable, “*Rammed earth structures: a code of practice*” (Keable 1996), no documento de referência australiano Bulletin 5 (1987) e na norma da Nova Zelândia 4298 (SNZ 4298 1998).

O regulamento do Zimbabué é específico para a construção com a técnica da taipa e divide-se em seis secções. A primeira secção aborda os materiais, incluindo a estabilização. A segunda secção aborda as regras para a cofragem da taipa. A terceira secção aborda as disposições relativas à conceção das fundações e proteção das paredes contra a ascensão capilar. A quarta secção foca as paredes de taipa como elemento estrutural, abordando a resistência à compressão, absorção de água e erosão. A quinta secção detalha quais os elementos a serem utilizados para reforço a nível estrutural. A sexta secção aborda os acabamentos, nomeadamente argamassas de reboco (indicando possíveis adições como o cimento, cal, pozolanas e betume). Por fim, os apêndices incluem informações detalhadas sobre ensaios.

2.2.2. O material terra

A terra, que nesta tese por vezes também se designa por solo, é constituída maioritariamente por materiais que resultam do intemperismo (ou meteorização) das rochas por desintegração física, química ou de origem biológica. Estas, quando expostas na superfície da Terra, estão sujeitas à ação de processos naturais de aquecimento e arrefecimento (dia/noite), à ação do vento e da água que se infiltra através das fissuras. A estes processos que desintegram e/ou decompõem a rocha, dá-se o nome de intemperismo, sendo nomeadamente processos de ordem:

- (i) física, quando a rocha se fragmenta mecanicamente;
- (ii) química, quando os minerais são alterados ou dissolvidos por reações químicas;
- (iii) biológica, quando a rocha se adultera pela ação direta de organismos vivos.

Após o intemperismo da rocha, o solo começa a sofrer transformações e começa a organizar-se em horizontes paralelos à superfície do terreno, com aspeto e características distintas, nomeadamente características físicas, químicas, mineralógicas, morfológicas, biológicas e microestruturais, levando à formação de um perfil.

Na construção, chama-se solo a tudo aquilo que não é rocha consolidada, ou seja, solo é o conjunto natural de partículas minerais que podem ser separadas por agitação na água e cujo os vazios contêm água e ar, separada ou conjuntamente (LNEC 1962).

Na engenharia e na arquitetura que emprega o solo como a principal matéria-prima - solo mais apropriado para construção - este recebe várias denominações, tais como: terra crua, terra para construir, terra sem cozer ou simplesmente terra. Neste trabalho e o termo mais usual, será a designação **terra**; o termo solo será apenas usado quando se está em presença de classificações e caracterizações, como por exemplo solo estabilizado.

A maior parte dos autores da especialidade referem que nem todos os solos servem para construir; os solos das camadas superficiais devem ser rejeitados, uma vez que apresentam uma grande quantidade de matéria orgânica, absorvendo muita água, sendo altamente compressíveis. O solo geralmente mais aconselhado para a construção designa-se subsolo ou horizonte B. Contém grande percentagem de matéria mineral e é pobre em matéria orgânica (BS 1377-3 1990, Walker e Australia 2001, Hall e Djerbib 2004a, Lehmbau Regeln 2009).

O solo é constituído por matéria mineral e matéria orgânica, contendo ainda espaços vazios (poros) que são preenchidos por água ou ar. A matéria orgânica é proveniente de organismos animais ou vegetais, vivos ou em processo de decomposição, e denominam-se húmus. A matéria mineral é proveniente da desagregação da rocha mãe, variando em composição consoante a proporção e natureza dos diferentes constituintes minerais. Os constituintes minerais presentes na terra de construção apresentam características bastante distintas entre si, e dividem-se em:

- (i) cascalhos e areias - elementos estáveis quando secos, porém a areia apresenta alguma coesão quando húmida; estes elementos não podem ser utilizados como matéria-prima na construção com terra sem que se adicione qualquer tipo de ligante;

- (ii) siltes - elementos que apresentam alguma instabilidade sob diferentes graus de humidade e relativamente boa coesão quando húmidos;
- (iii) argilas - quando em presença da água apresentam como propriedades a plasticidade e a coesão, caracterizam-se ainda por serem instáveis, referindo-se como estabilidade a capacidade dos materiais manterem as suas características em diferentes condições de humidade.

Apesar da componente argila ser um elemento instável quando em presença de diferentes teores de humidade, as suas excelentes propriedades como ligante permitem a utilização de apenas uma pequena quantidade para garantir a coesão da terra. Por este motivo as construções com terra, desde que bem doseadas e compactadas, podem atingir uma estabilidade satisfatória. Houben e Guillaud (2006) mencionam que uma terra com cerca de 10% de argila é suficiente para garantir as propriedades de coesão e plasticidade necessárias para a construção com terra. Já com uma percentagem de 40% a 50% de argila, a terra obtém as propriedades de uma argila, tornando-se muito instável, devido à grande capacidade de absorção de água, consequentemente alteração volumétrica, sendo por isso a sua utilização imprópria para a construção com terra.

A água também desempenha um papel essencial para que seja possível construir com a matéria-prima terra. Em grandes quantidades ela é prejudicial mas a presença de uma certa quantidade é essencial para garantir uma coesão inicial adequada numa construção com terra. Esta reforça a coesão através do aumento da interação entre as partículas de argila. A coesão deve-se às forças que desenvolvem um forte vínculo entre os filmes de água adsorvida e as placas de argila (Walker e Australia 2001).

2.2.3. Modos de utilização da terra

De acordo com o diagrama estabelecido pelo CRATerre em 1986 (Houben e Guillaud 2006), existem três tipos fundamentais de sistemas, enquadrando dezoito sistemas construtivos, a maior parte de génese tradicional, Figura 2.2:

- (i) sistemas monolíticos, como a taipa;
- (ii) sistemas de alvenaria, de adobe e blocos de terra comprimida, por exemplo;
- (iii) sistemas de enchimento ou revestimento, em que a terra não tem função estrutural como o tabique.

Julga-se pertinente, a estas três famílias de sistemas acrescentar uma quarta família, que se considera também muito relevante, constituída pelos sistemas de ligação. Estes tipos de sistemas referem-se à utilização da terra em argamassas de assentamento de blocos de alvenaria, como o adobe, ou as argamassas de reparação.

Dos vários métodos tradicionais de construção com terra crua, existem dois que se destacam em Portugal: a taipa e o adobe - termo de origem árabe (*"thobe"*) que significa pequenos tijolos de terra não cozida, secos ao ar sem compactação. O bloco de terra comprimida (BTC) é uma técnica mais recente, que impulsionou a mecanização e industrialização dos processos de fabrico, para a construção com terra, e que também tem alguma relevância em Portugal.

A taipa apresenta-se a nível mundial como uma das mais antigas e difundidas técnicas de construção. A taipa foi a técnica construtiva mais utilizada no sul de Portugal (Alentejo e Algarve) até, pelo menos, aos anos 50 do

século XX. Hoje, muitas das construções de taipa portuguesas estão ao abandono, especialmente em zonas rurais. Felizmente a técnica da taipa, desde alguns anos e tal como em vários outros países reúne grande atenção devido aos atuais requisitos de sustentabilidade, ecologia e conforto, que têm originado novas construções, à necessidade de reabilitação de edifícios antigos e à existência de um vasto e valioso património arquitetónico que precisa ser preservado. A taipa é um sistema monolítico, sendo a terra compactada entre cofragens que se designam taipais. Estes podem ser tradicionais, com base em painéis e outras peças de madeira, ou recorrerem a painéis e outros elementos metálicos, mais resistentes e duráveis. A compactação da terra pode ser feita manualmente, com um maço de madeira ou, mais recentemente, com equipamentos pneumáticos. As paredes de taipa vão sendo construídas em cada nível por troços, que depois se sobrepõem em altura, constituindo anéis ou blocos sucessivos. A partir do primeiro nível, os taipais vão sendo fixos ao nível antecedente, através de peças que se denominam “agulhas”.

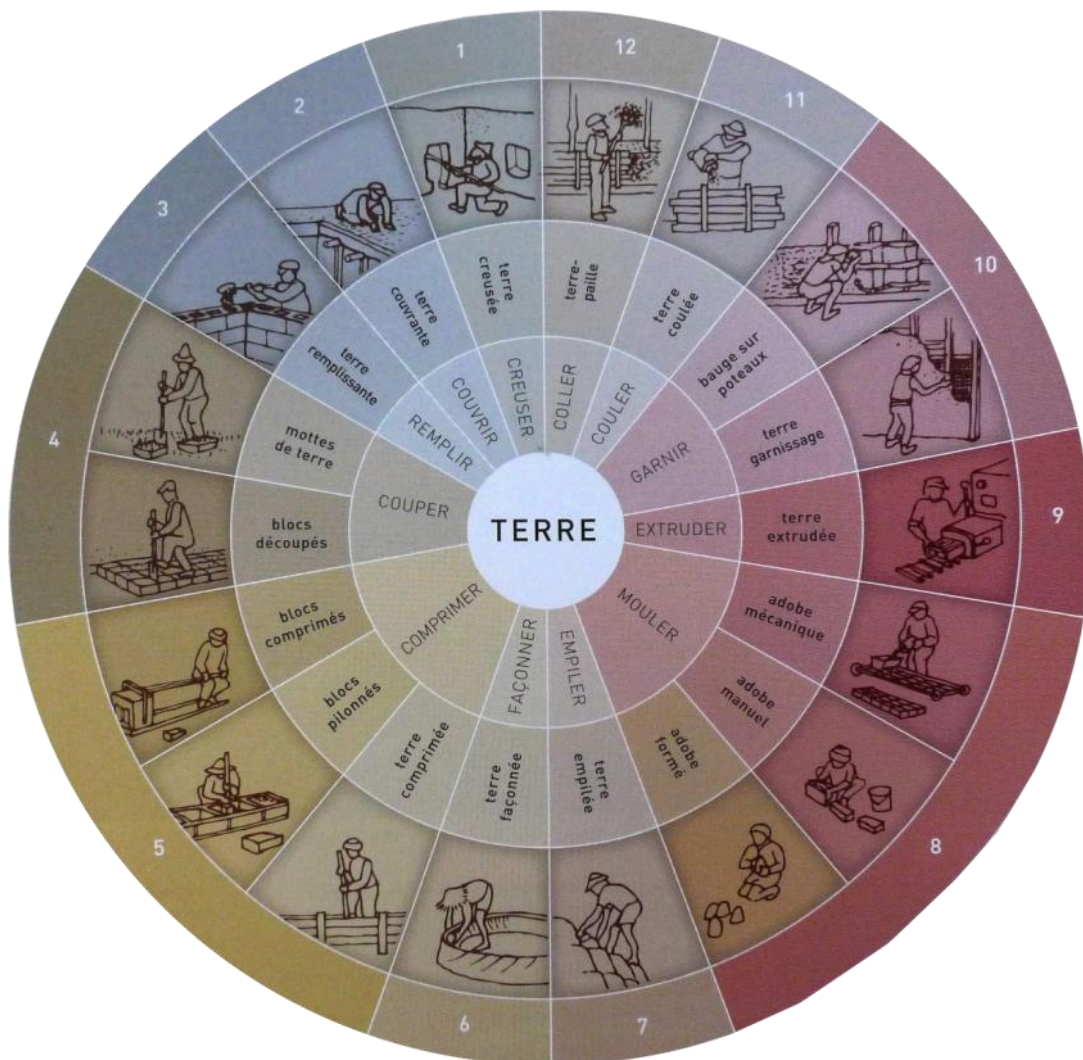


Figura 2.2. Diagrama estabelecido pelo CRATerre das técnicas construtivas com terra, Fontaine e Anger (2009) adaptado de Houben e Guillaud (2006)

As técnicas construtivas com o material terra, de uma forma geral, não estão sistematizadas nem industrializadas. Isto significa que, em Portugal, ainda estamos na presença de técnicas construtivas que

assentam em processos artesanais: o modo de trabalhar a terra está nas mãos de cada taieiro ou adobeiro, que atendem às características da terra. Cada técnica construtiva apresenta características próprias relativamente às propriedades da terra a utilizar, à velocidade de execução e aos correspondentes utensílios, entre outras, que condicionam os resultados finais. A seleção da terra e o conhecimento da sua composição deverão conduzir à opção mais adequada da técnica de construção a utilizar (ou vice-versa). Deve ter-se em conta que nem todas as terras são adequadas para determinada técnica construtiva, necessitando por vezes de correção ou estabilização.

Tradicionalmente, as técnicas construtivas surgiam em geral associadas às regiões. A taipa é predominante em zonas mais áridas e com solos de granulometria onde são predominantes as partículas mais grossas, e as construções em adobe são geralmente encontradas em zonas aluvionares, perto dos rios, uma vez que é necessário uma maior quantidade de água para a manufatura dos adobes e um maior teor em argila.

A escolha correta da matéria-prima (terra) é fator fundamental para garantir o sucesso da sua aplicação no processo construtivo adotado ou de qualquer intervenção nestas construções. A matéria-prima utilizada nas construções de terra, como qualquer outro material de construção, deve ser analisada de modo a que o seu comportamento e desempenho possam ser previstos. Contudo, a caracterização dos procedimentos para a maioria dos materiais industrializados na construção (por exemplo, tijolo, betão, aço, entre outros) está bem estabelecida e padronizada, o que não acontece com a terra. Apesar dos métodos construtivos em terra serem dos métodos tradicionais mais antigos, a maior parte das suas características e propriedades continuam pouco conhecidas e investigadas. Alguns dos países que já possuem regulamentos e normas técnicas, também apresentam gamas de valores para algumas características-chave. Em muitos documentos da especialidade são encontrados os limites ideais para adequar os solos para algumas das técnicas mais conhecidas nomeadamente no que diz respeito à técnica da taipa. Houben e Guillaud (2006) apresentam vários valores-limite, mas apenas a título indicativo. De facto, estes autores assumem que não há nenhuma resposta direta à pergunta: "qual o solo mais adequado para a construção com terra?". Geralmente é impossível responder diretamente à questão, devendo ser-se prudente na sua resposta. Todavia, os limites naturais e ótimos, no que diz respeito à utilização da terra como material de construção para as principais técnicas construtivas são identificados em regulamentos, normas e por muitos autores da especialidade.

Não existindo dados específicos para Portugal, considerou-se importante responder às questões: o material utilizado nas paredes de taipa na região do Alentejo apresentam características que se enquadram dentro dos limites estabelecidos pelos documentos internacionais? Será que as atuais especificações para as características da taipa a nível internacional se enquadram numa panorâmica a nível nacional, nomeadamente na zona do Alentejo?

Para tal, efetuou-se uma caracterização dos materiais utilizados nos seis estudos de caso selecionados, que envolve avaliar as propriedades desses materiais que influenciam o seu comportamento e o desempenho das construções. Estas características são amplamente discutidas na próxima secção 2.3.

2.3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA TERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Na literatura especializada é muito díspar a opinião de vários autores quanto às propriedades mais importantes para caracterizar o desempenho da matéria-prima para as construções com terra, assim como quais os ensaios mais adequados para examinar essas propriedades.

É claro que é necessário ter em consideração que as condições e os contextos a nível mundial são bastante distintos, acrescentando ainda o facto da heterogeneidade do material terra, dificultando uma homogeneização neste campo.

De modo a identificar quais as propriedades mais citadas foi efetuada uma pesquisa e respetiva análise de documentos normativos disponíveis a nível internacional. Os documentos estudados estão indicados na Tabela 2.2 e são classificados de acordo com a ISO Guide (ISO/IEC Guide 2 2004): Grupo 1 - normas e códigos internacionais; Grupo 2 - outros documentos de referência internacionais; Grupo 3 - artigos e livros.

Para os Grupos 1 e 2 todos os documentos identificados na pesquisa foram considerados para o presente estudo. Relativamente ao Grupo 3, foi necessário fazer uma seleção que procurou incluir (Gomes *et al.* 2014):

- (i) documentos recentes;
- (ii) as referências mais citadas;
- (iii) artigos com informações consideradas especialmente relevantes para uma ou várias das propriedades de interesse;
- (iv) os dois únicos documentos referentes ao panorama Português (Segurado 1908, Gomes e Folque 1953), que foram considerados relevantes uma vez que a matéria-prima utilizada provém de edifícios portugueses.

Verificou-se que nem todos os documentos incluíam recomendações para todas as propriedades descritas. Existem também documentos que citam propriedades relevantes, mas não foram considerados nesta análise, por se apresentarem redundantes (como exemplo, por citarem fontes originais já documentadas).

Relativamente à origem dos limites quantitativos referidos nos documentos que foram analisados, é de mencionar que nunca são fundamentados. Esta informação seria, contudo, bastante relevante na análise, discussão e conseqüente progresso nesta área de investigação, pelo que se considera uma lacuna importante.

Existe um consenso apreciável na literatura de que a granulometria (propriedade mais citada em todo o tipo de documentos), plasticidade, compactabilidade, retração linear, teor de matéria orgânica e teor em sais são de especial importância na caracterização de materiais para a construção com terra (Tabela 2.2); porém há muito pouca pesquisa para determinar a relevância ou prioridade destas propriedades. São também referidos com alguma frequência na literatura a importância do tamanho dos agregados (que também consta na Tabela 2.2) e a caracterização das partículas a nível mineralógico.

Shekede (2000) menciona que a análise das principais propriedades das paredes de terra são uma ferramenta bastante poderosa quando se pretende conservar e reparar este tipo de paredes.

Tabela 2.2. Documentos pesquisados e propriedades da terra para construção

Referência (data)	Tipo de documento	Granulometria	Tamanho máx. das partículas	Plasticidade	Compactabilidade	Retração linear	Teor matéria orgânica	Teor em sais
Standards New Zealand (1998)		x	x		x	x	x	x
SAZS 724 (2001)	Grupo 1	x			x		x	x
New Mexico Code (2006)			x				x	x
IETCC (1971)		x	x					
MOPT (1992)	Grupo 2	x						
Walker e Australia (2001)		x		x	x	x	x	x
Lehmbau Regeln (2009)		x				x	x	
Segurado (1908)		x						
Gomes e Folque (1953)		x	x					
Doat <i>et al.</i> (1979)		x		x	x			
McHenry (1984)		x						
Demehati (1990)				x	x	x		
Dassler (1990)				x	x			
Neumann (1993)		x			x			
Ashurst e Ashurst (1995)					x			
Keable (1996)		x		x	x	x	x	
King (1996)							x	
Smith e Austin (1996)	Grupo 3	x						
Norton (1997)		x		x	x	x	x	
Warren (1999)					x		x	x
Harries <i>et al.</i> (2000)		x		x	x	x		
Shekede (2000)						x		
Adam e Agib (2001)						x		
EBAA (2001)						x	x	x
Maniatidis e Walker (2003)		x		x			x	x
Keefe (2005)		x	x	x	x	x		x
Walker <i>et al.</i> (2005)		x	x	x	x		x	x
Houben e Guillaud (2006)		x		x	x	x	x	x
Minke (2006)		x		x	x	x	x	
Jiménez Delgado e Guerrero (2007)				x				
Guillaud (2008)						x		

2.3.1. Caracterização mineralógica - conceito

O estudo da mineralogia dos solos constitui uma ferramenta importante para o conhecimento e a avaliação do seu comportamento físico e químico. É importante, em particular, estudar a mineralogia da fração fina dos solos (silte e argilas), a fim de identificar a presença de argilas expansivas. A estabilidade volumétrica é, de facto, uma característica de elevada importância em qualquer técnica construtiva com terra. As argilas expansivas são desaconselhadas pois podem incorporar uma grande quantidade de moléculas de água na sua estrutura, o que resulta numa significativa expansão do material.

As propriedades mineralógicas dos solos são difíceis de avaliar no terreno, requerendo equipamento e formação especializada. Contudo, alguns autores (Dassler 1990 e Silver 1990) atribuem uma grande importância ao exame da cor do solo, remetendo para a tabela de cores Munsell. Esta tabela permite, de forma muito aproximada, identificar os componentes predominantes no solo, que são responsáveis pela sua coloração. Contudo, embora o exame da cor possa fornecer, de forma expedita, algumas informações mineralógicas, as análises laboratoriais fornecem informações mais precisas. Na literatura especializada indica-se, na maioria das vezes, para a análise mineralógica da fração fina (siltes e argilas), a utilização da difratometria de raios X (DRX) ou a análise térmica diferencial (ATD). Šramek e Losos (1990) remetem a medição da quantidade e tipos de argilo-minerais para a análise térmica diferencial (ATD) e para a análise por termogravimetria (ATG), técnicas que geralmente aparecem associadas.

Reis (1994) explica que a difração de raios X é um método que permite obter informação sobre os materiais sólidos e cristalinos, que no entanto só será possível de obter se existirem padrões da composição dos materiais constituintes da amostra que permitam uma comparação. A identificação das fases minerais presentes no material é feita a partir das suas propriedades de difração. As condições necessárias para que se produza difração são expressas numa lei geométrica - conhecida como a lei de Bragg [2.1]. Significa, assim, que só existirá difração dos raios X se for satisfeita esta lei (Bleicher e Sasaki 2000).

$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad [2.1]$$

em que:

- n, número de ordem do espaçamento interatómico, número inteiro;
- λ , comprimento de onda da radiação incidente;
- d, espaçamento interplanar dos planos difratantes;
- θ , ângulo de difração ou ângulo de Bragg.

Relativamente à técnica de análise por difração de raios X, Dassler (1990) especifica que as amostras devem ser analisadas no estado seco mas também no estado saturado (com álcool de etileno). O facto de a análise ser efetuada no estado saturado faz com que as argilas se expandam, tornando-as mais visíveis.

Dos vários métodos experimentais de difração de raios X, o mais utilizado para a identificação dos materiais cristalinos é o “métodos dos pós” em que se transforma o material num pó fino formado por diminutos cristais (cristalitos), que apresentam orientação aleatória (Veiga *et al.* 2004). Assim, existirá sempre um cristalito numa posição adequada para refletir os raios X quando estes incidirem na amostra, verificando a lei de Bragg.

A lei de Bragg [2.1] refere dois graus de liberdade, o comprimento de onda (λ) e o ângulo de difração (θ). Ao fixar o comprimento de onda (λ), estamos em presença da radiação X monocromática. Dispõe-se assim apenas do ângulo de difração (θ) como variável, obrigando na DRX a modificar apenas a posição do cristal relativamente ao feixe de raios X por: modificação da orientação do cristal, por rotação ou por oscilação em torno de um eixo, ou utilizar uma amostra de material cristalino formada por cristalitos com orientação aleatória (Veiga *et al.* 2004).

O feixe difratado é expresso por picos que se destacam da linha de base de um difratograma. No difratograma são registados a intensidade em ordenadas e, em abcissas, o ângulo de difração (2θ) ou o espaçamento interplanar (d). A identificação de um composto é possível através do seu ângulo de difração e da intensidade, traduzida pela altura dos picos registados, dado que cada substância cristalina apresenta um padrão difratométrico característico.

É através dos difratogramas que é possível a identificação dos componentes cristalinos que estão presentes na amostra. Esta identificação é realizada comparando os registos de compostos puros existentes na base de dados do aparelho, uma vez que a *“relação das distâncias interplanares e das intensidades de difração não se repetem para as centenas de milhares de estruturas cristalinas”* (Laboratório de Ensaio dos Materiais 2010).

2.3.2. Granulometria - conceito e valores limite

Os diferentes métodos de construção em terra exigem diferentes composições granulométricas (Doat *et al.* 1979, McHenry 1984, Norton 1997, Keefe 2005, Houben e Guillaud 2006, Minke 2006). Contudo, os limites ótimos para os materiais utilizados nestas construções não são conhecidos com precisão. É geralmente aceite que o método construtivo da taipa deverá conter elementos de várias dimensões, nomeadamente argila, silte, areia e cascalho, pois cada fração vai conferir características relevantes para o comportamento do material de construção (Walker e Australia 2001, Keable 1996, Houben e Guillaud 2006). As partículas grossas (areia e cascalho) formam o esqueleto, sendo elementos estáveis e insensíveis à água; as partículas finas (argila e silte) conferem a coesão à taipa, estabelecendo a ligação às partículas grossas.

Os diferentes constituintes minerais apresentam características bastante distintas entre si, e dividem-se em:

- (i) cascalhos - resultam de fragmentos da rocha mãe ou de pedras que variam em tamanho e dureza; são os constituintes mais estáveis e constituem o esqueleto do solo; quando em contacto com a água as suas propriedades mecânicas não sofrem alterações perceptíveis;
- (ii) areias - são constituídas por grãos minerais estáveis no solo, caracterizadas por apresentarem uma estrutura porosa aberta, tornando-se bastante permeáveis e pouco plásticas; são muitas vezes constituídas por partículas de sílica ou quartzo; no estado seco, desagregam-se com facilidade, ou seja, não apresentam coesão, mas apresentam um elevado grau de resistência interna, devido à fricção das partículas constituintes; quando se encontram humedecidas, aparentam ter uma ligeira coesão, devido à tensão superficial das partículas de água que ocupam o espaço entre partículas;
- (iii) siltes - praticamente não apresentam coesão, têm pouca resistência quando secos e a sua força de fricção é normalmente inferior à das areias; quando humedecidos, apresentam boa coesão e alguma alteração de volume sob diferentes graus de humidade;
- (iv) argilas - diferem dos outros constituintes minerais, pelo tamanho microscópico e forma plana (achatada), as suas partículas apresentam uma massa insignificante quando comparada com a sua superfície; as propriedades de superfície das argilas são primordiais refletindo-se, em presença da água, em propriedades macroscópicas como a plasticidade e a coesão; as partículas de argila podem ser revestidas com um filme de água (água adsorvida); a argila atua como aglutinante entre os restantes constituintes

minerais do solo, uma vez que a película de água mantém a coesão entre as suas micropartículas, conferindo-lhe coesão e resistência mecânica; contudo, contrariamente às restantes frações granulométricas, a argila é instável, ou seja, quando exposta a diferentes graus de humidade apresenta grandes variações de volume; quando o teor em humidade aumenta, a película de argila pode aumentar de espessura e, conseqüentemente aumenta a dimensão das partículas e, inversamente, durante o processo de secagem, o volume diminui dando origem a retração; o facto de a argila ter uma capacidade elevada para aumentar ou diminuir de volume, pode provocar grandes desordens na estrutura dos materiais de terra.

Cada um destes tipos de elementos é definido por determinados limites de dimensão de partículas, não existindo, contudo, total acordo entre diferentes referências. Na Figura 2.3 apresentam-se os limites indicados nas oito referências estudadas. A classificação mais utilizada em Portugal é a da Especificação E219 (LNEC 1968) que é idêntica à da norma europeia EN ISO 14688-1 (2002). Conforme se pode verificar pela Figura 2.3, quatro escalas diferenciam-se da classificação utilizada na Especificação E219 (LNEC 1968) pela não uniformidade, nomeadamente: ISSS; USPRA; AASHTO e ASTM.

DESIGNAÇÃO	DIMENSÕES (mm)									
	10 ⁻³		10 ⁻²		10 ⁻¹		1		10	
ISSS (1913)	Argila		Silte		Fina		Areia Grossa		Cascalho	
	0,002		0,02		0,2		2			
MIT (1932)	Argila		Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Cascalho	
	0,002		0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2		
USPRA(1938)	Argila		Silte		Areia		Cascalho			
	0,005		0,05		2					
LNEC E 219 (1968)	Argila		Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio
	0,002		0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	
AASHTO (1973)	Argila		Silte		Fina	Grossa	Cascalho			
	0,005		0,075		0,42	2				
ASTM D2487 - 06 (1966)	Argila		Silte		Fina	Média	Grossa	Cascalho		
	0,002 #200		0,075 #40		0,42	2	4,75 #10	6 #4	Peneiros	
ABNT- NBR 6502 (1995)	Argila		Silte		Areia		Cascalho			
	0,002		0,06		2		6			
EN ISO 14688-1:2004	Argila		Silte		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	
	0,002		0,06		0,2	0,6	2	6		

Legenda:

-  Argila
-  Silte
-  Areia
-  Cascalho

ISSS - *International Society Soil Science, Encyclopedia of soil Science*

MIT - *Massachusetts Institute of Technology, Encyclopedia of soil Science*

USPRA - *United States Public Road Administration, Tsutsumi (2009)*

LNEC - *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

AASHTO - *American Association for State Highway and Transportation Officials, Encyclopedia of soil Science (2008)*

ASTM - *American Society for Testing Materials*

ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas, Caputo (1988)*

EN ISO - *European Standard - International Organization for Standardization*

Figura 2.3. Escalas para as frações granulométricas

Atualmente, as escalas utilizadas baseiam-se apenas no diâmetro do grão. Contudo, alguns autores têm chamado a atenção para o facto de as partículas serem materiais cujo diâmetro raramente é regular. Neves (2009), citando Wadell (1932), refere que a granulometria de uma partícula de forma irregular expressa-se melhor pelo seu volume, já que o volume é independente da forma. O termo “diâmetro” tem pois um significado definido somente em relação às esferas perfeitas. Quanto se trata de partículas irregulares o diâmetro deve ser entendido como um diâmetro equivalente. Para os materiais de fração grossa, o diâmetro equivalente será igual ao diâmetro da menor esfera que circunscreve a partícula. Para os materiais de fração fina este diâmetro é normalmente calculado através da lei de Stokes (LNEC 1962), ou seja através do processo de sedimentação. Assim, o diâmetro da fração fina corresponde ao diâmetro de uma esfera do mesmo material que a partícula e que sedimenta com a mesma velocidade desta.

Um solo aumenta a sua resistência mecânica e, em consequência, a sua resistência à erosão, quando são minimizados os vazios entre os grãos, aumentando o contacto entre as partículas do solo. Segundo Maniatidis e Walker (2003), em teoria podem ser alcançados solos sem vazios se as partículas do solo forem totalmente esféricas e a sua distribuição seguir a fórmula de Fuller [2.2].

$$p = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n \quad [\%] \quad [2.2]$$

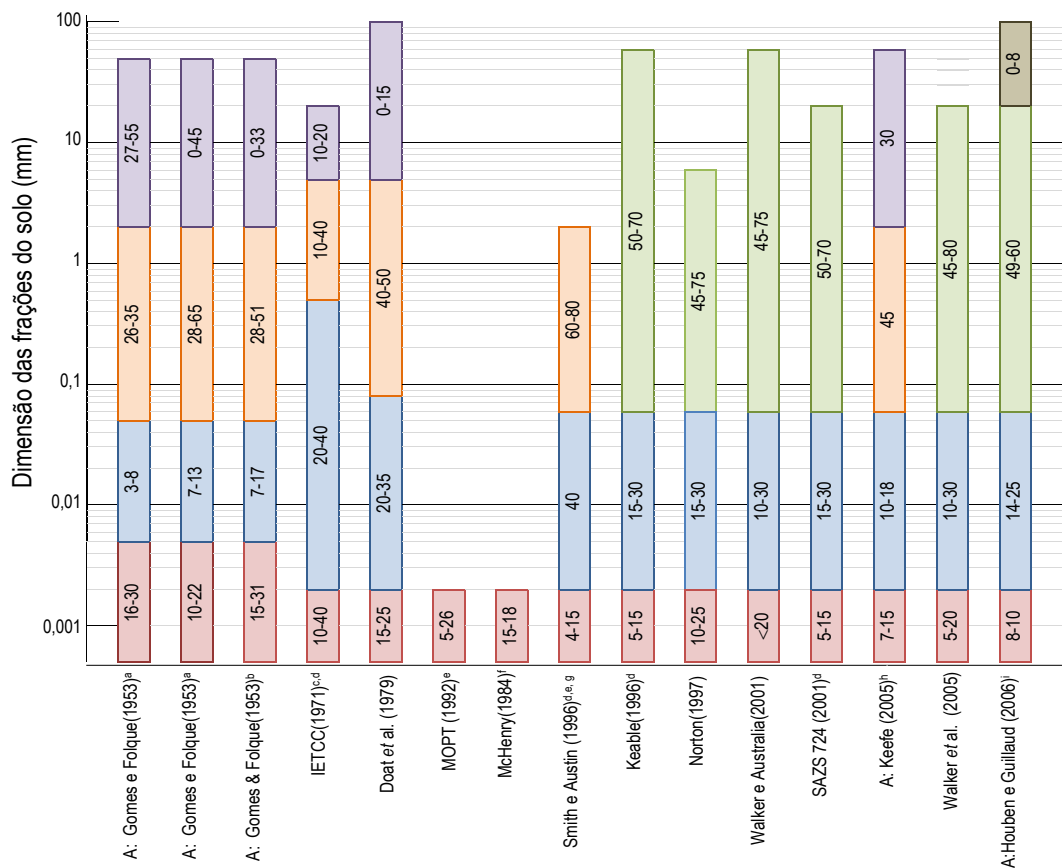
em que:

- p - quantidade de grãos com diâmetro menor do que d [%];
- d - diâmetro dos grãos [mm];
- D - diâmetro do maior grão [mm];
- n - coeficiente de classificação.

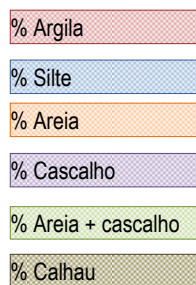
Quando os grãos são perfeitamente esféricos, então “n” é igual a 0,5. No entanto, na construção com terra, um valor de “n” entre 0,20 e 0,25 é considerado o mais apropriado, dependendo da forma do grão (Houben e Guillaud 2006). Na realidade, é impossível encontrar solos naturais que correspondam a uma distribuição ideal. Houben e Guillaud (2006) verificam que a curva granulométrica por eles idealizada se encontra dentro dos limites de uma distribuição granulométrica com base na fórmula de Fuller, para valores de D=20 mm e n=0,25. Schroeder (2011) considera a curva de Fuller um bom indicador para a determinação da curva granulométrica no caso da taipa, após ter realizado ensaios com um solo modificado segundo a fórmula de Fuller. O investigador utilizou um valor de “n” igual a 0,5; o que corresponde a grãos perfeitamente esféricos. Contudo, uma vez que adicionou ainda 10% de argila, a fim de garantir suficiente plasticidade, não é totalmente claro se as boas propriedades seriam obtidas seguindo apenas o critério da fórmula de Fuller.

A nível mundial, vários autores referem valores limites inferiores e superiores para as percentagens das principais frações do solo a utilizar na construção de taipa, Figura 2.4, e para o tamanho máximo das partículas, Tabela 2.3. Pode verificar-se que apenas cinco dos treze documentos (Gomes e Folque 1953, IETCC 1971, Norton 1997, Keefe 2005, Walker *et al.* 2005) apresentam recomendações para as duas grandezas, a

distribuição granulométrica e o tamanho máximo das partículas. O código do Novo México (2006) por exemplo apenas apresenta o valor máximo para o tamanho das partículas. A norma da Nova Zelândia (SNZ 4298 1998) é baseada no desempenho e, portanto, não estabelece quaisquer restrições quantitativas no que respeita à composição do material. Esta norma refere que a distribuição granulométrica depende da natureza dos minerais utilizados e do meio onde o edifício está implantado. Quanto ao tamanho máximo das partículas a usar, refere apenas que não devem ser usados agregados que possam comprometer a solidez ou desempenho estrutural da parede.



Legenda:



Todos os valores apresentados são em percentagem por massa, à exceção do autor McHenry (1984), que não especifica se estes são percentuais "em volume" ou "em massa".

A: Valores deduzidos a partir das recomendações das curvas granulométricas.

^a Valores segundo a circular série D.N.º 12 do documento "Annales L'Institut Technique Batiment et des Travaux Publics-I.T.B.T.P.". Curvas aceitáveis para a estabilização de paredes.

^b Valores segundo Florentin para uma taipa sem cimento.

^c Apenas para taipa consolidada - taipa apiloada, com uma escolha cuidada na composição granulométrica e um teor de humidade baixo, mas ideal para uma boa compactação (IETCC, 1971). Máximo valor de argila e silte 45%..

^d Cascalho fino.

^e Valores Jiménez Delgado e Guerrero (2007) não tendo sido possível obter mais informações.

^f Tamanho da fração de argila não mencionada.

^g Valores Maniatidis e Walker (2003) não tendo sido possível obter mais informações.

^h Valor máximo de argila e silte 25%.

ⁱ Valor máximo da dimensão do calhau 20-200 mm.

Figura 2.4. Recomendações sobre os limites para as diferentes frações do solo a utilizar na técnica construtiva da taipa

Os limites quantitativos recomendados para a distribuição granulométrica e o tamanho máximo das partículas também não apresentam consenso entre as várias referências. Acresce que os valores indicados para a distribuição granulométrica nem sempre são comparáveis uma vez que:

- (i) em seis dos treze casos (considerando apenas as referências que mencionam todas as frações granulométricas), as percentagens de areia e cascalho são dadas em conjunto;
- (ii) frequentemente são referidos diferentes procedimentos de ensaio, cujas aberturas de peneiro não são necessariamente equivalentes; Houben e Guillaud (2006) utilizam a norma ASTM D422-63 (2007); Walker et al. (2005) e Keefe (2005) utilizam a norma BS 1377-2 (1990); Walker e Australia (2001) utilizam a norma Australian Standard 1289; Doat et al. (1979), Norton (1997) e Keable (1996) não fazem referência a qualquer norma, reportando para uma breve descrição dos métodos de ensaio; o documento do IETCC (1971) inclui apenas uma breve descrição do procedimento para determinar a percentagem de partículas finas (argila e silte); Gomes e Folque (1953), McHenry (1984) e SAZS 724 (2001) não fazem qualquer referência ao método de ensaio.

Outro documento português, considerado importante pela sua antiguidade de publicação (Segurado 1908), também não estabelece quaisquer restrições quantitativas, sugerindo apenas que a terra ideal para a taipa deve ser argilosa, mas refere que se poderá empregar qualquer outra, mesmo terra arenosa à qual poderá ser adicionado leite de cal. É também mencionado neste documento que a “mistura de argila e areia com um terço do seu volume de terra franca (conserva vestígios nos dedos após ser apertada com a mão) dá uma boa taipa”. Por seu lado Minke (2006) refere apenas que os solos com maiores quantidades de cascalho são os mais adequados para construção em taipa do que solos mais siltosos, uma vez que um solo siltoso provoca baixas resistências à água e à compressão, devendo também existir uma percentagem suficiente de argila para atuar como ligante.

Tabela 2.3. Disposições sobre o tamanho máximo das partículas na técnica construtiva da taipa

Documentos	Tamanho máximo das partículas (mm)
Gomes e Folque (1953)	20-25. A taipa pode apresentar um tamanho de partículas até 50 mm; contudo a sua percentagem tem de ser inferior a 20-25%
IETCC (1971)	20
Norton (1997)	2-6
SNZ 4298 (1998)	Não devem ser utilizados solos que contenham agregados de grandes dimensões, que comprometam o desempenho estrutural da parede. Os componentes estáveis que podem ser utilizados são: pequenos seixos, areias e partículas grandes de silte
Walker et al. (2005)	10-20. Contudo partículas de 50-100 mm foram utilizadas com sucesso em alguns casos
Keefe (2005)	20
New Mexico Code (2006)	38,1

Houben e Guillaud (2006) referem que o estado do conhecimento atual não permite aplicar limites precisos, mencionando que alguns solos utilizados na prática com bons resultados não se encontram dentro dos limites recomendados. Não obstante, fornecem valores limite para as frações granulométricas que, na sua opinião, conduzem a taipas viáveis na prática. Estes limites são apresentados como valores aproximados, não pretendendo funcionar como especificações rígidas.

Ciancio *et al.* (2013) referem também que os solos utilizados na construção com terra não devem ser generalizados com uma regra universal, para nenhum tipo de solo. Mencionam ainda que as recomendações disponíveis na literatura muitas vezes apresentam-se contraditórias.

Neumann (1993) efetuou 87 testes de compressão diagonal e de tração a modelos de paredes de taipa com diferentes composições de terra, à escala real. Estes demonstraram que quanto maior for a percentagem em argila, maior a resistência da parede após a sua secagem. Contudo, o investigador refere que é necessário ter também em atenção que uma grande percentagem de argila aumenta a possibilidade de fendilhação durante o processo de secagem, sendo proposto neste estudo a utilização de adições naturais (cascalho, palha) para controlar a excessiva retração durante o processo de secagem de taipas com elevados teores de argila. No âmbito do mesmo estudo, ensaios de compressão realizados a cubos com 10 cm de aresta e a pequenas paredes de terra mostraram que, à medida que se aumentava a percentagem de areia, diminuía de forma significativa a resistência da parede.

Maniatidis e Walker (2003) mencionam o trabalho de Patty e Minium que verificaram que o aumento do tamanho do cascalho reduzia a resistência à compressão na taipa, num trabalho experimental efetuado em cilindros de taipa, não referindo no entanto qual a escala de dimensão das partículas na qual basearam o seu estudo.

Para que a resistência das construções de terra seja satisfatória, a mistura inicial para a execução da taipa deverá ter uma adequada distribuição granulométrica, uma correta percentagem em argila e uma quantidade adequada de água (Harries *et al.* 2000). Uma curva granulométrica uniforme (declive pouco acentuado) permite uma compactação mais eficiente, dado que os grãos podem encontrar um arranjo que minimiza os espaços vazios entre eles (Keable 1996 e Walker *et al.* 2005). É comumente aceite que materiais mais compactos resultam, em princípio, numa menor porosidade e maior resistência mecânica, portanto numa taipa com maior durabilidade (Keable 1996, Walker e Australia 2001, Morton 2004, Walker *et al.* 2005).

Nesta tese a curva granulométrica dos solos dos seis estudos de caso foi determinada pelos métodos indicados nas Especificações E196 (LNEC 1966a) e E239 (LNEC 1970), respetivamente análise granulométrica por peneiração húmida da fração grossa (pedras, cascalho e areias) e sedimentação da fração fina (silte e argila) (ver secção 3.2.2).

A granulometria é a propriedade mais importante no que concerne à caracterização dos solos para construção com terra. Contudo, verifica-se que os limites encontrados na bibliografia são bastante abrangentes e díspares. Apenas a norma da Nova Zelândia (SNZ 1998) não estabelece quaisquer limites ou restrições quantitativas.

É ainda de realçar que, tal como anteriormente referido, os valores-limite encontrados não são fundamentados, admitindo-se que decorrem em grande parte da intuição, baseado na experiência prática, dos respetivos investigadores.

2.3.3. Plasticidade - conceito e valores limite

A plasticidade é a propriedade de um solo que traduz a capacidade que este tem para se moldar e suportar deformações permanentes sem sofrer rotura, fissuração ou variação de volume. Esta capacidade pode, evidentemente, variar com o teor de água do solo. Um solo, após ter atingido o limite plástico, pode deformar-se sem quebrar, sendo a plasticidade o resultado do efeito de lubrificação pelos filmes de água presentes entre os grãos da fração fina do solo.

A plasticidade é geralmente caracterizada por parâmetros experimentais: os limites de Atterberg (ou de consistência) definem os estados em que o solo se apresenta em função do seu teor de humidade. Os limites correspondem ao teor de água que o solo contém nas transições entre estados e designam-se limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP). LP e LL são os teores de água acima do qual o solo muda o seu comportamento de semi-sólido para plástico e de plástico para líquido, respetivamente, conforme visualizado na Figura 2.5. Através destes limites pode ser ainda calculado o índice de plasticidade ($IP = LL - LP$). IP expressa a gama do teor de humidade dentro do qual o solo permanece plástico e fornece informações sobre a natureza provável do solo: as argilas têm geralmente um maior IP do que os solos siltsosos; um IP muito baixo ou próximo de zero corresponde, geralmente, a solos arenosos; quanto maior o valor de IP, tanto mais plástico será o solo. Isto pode decorrer de um maior teor de argila ou de uma maior atividade desta argila, pelo que quanto maior o IP, maiores dilatações terá o solo quando é molhado e maiores retrações sofrerá quando seca. Os solos onde o LP é indeterminável ou apresenta valores iguais ao LL são considerados não-plásticos, apresentando pouca coesão e tendência para desagregar quando secos. Para a areia o IP é nulo, ou seja, é um solo não plástico.

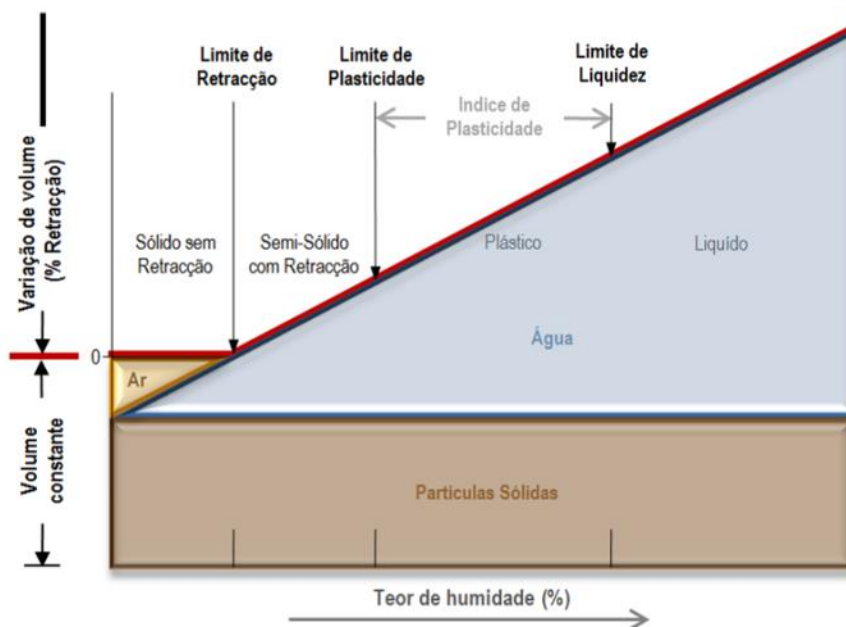


Figura 2.5. Variação de volume e de consistência em função do teor em água dos solos (adaptado de Keefe 2005)

Os valores de LL e IP recomendados nos diferentes documentos pesquisados, para solos a utilizar na construção da taipa, são apresentados na Tabela 2.4. Como se vê, não obstante não haver total coincidência, é possível encontrar uma gama de valores comuns, tanto para o LL (35-45%), como para o IP (15-29%).

Tabela 2.4. Valores máximos e mínimos para os limites de liquidez e plasticidade e índice de plasticidade, para a técnica construtiva da taipa com solos não estabilizados

Documentos	Limite líquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de Plasticidade (%)	Comentários
Doat <i>et al.</i> (1979)	25 - 50	10 - 25	7-29	Valores limites
	30 - 35	12 - 22	7-18	Valores recomendados
Walker <i>et al.</i> (2005)	< 45	-	2-30	
Houben e Guillaud (2006)	25 - 46	-	2-30	Valores limites
	30 - 35	-	12 - 22	Valores recomendados
Walker e Australia (2001)	35 - 45	-	15-30	

Os valores para os limites de liquidez e plasticidade e respetivo índice de plasticidade estão associados a procedimentos de ensaio que, apesar de não corresponderem às mesmas normas, são bastante semelhantes: o LL é determinado por meio da concha de Casagrande e o LP fazendo rolar um filamento (na forma de cordão) de solo sobre uma placa de vidro. Walker e Australia (2001) mencionam a norma australiana AS1289 e Walker *et al.* (2005) remetem para a norma britânica BS1377-2 (1990). Doat *et al.* (1979) e Houben e Guillaud (2006) não citam qualquer norma; no entanto descrevem um método de ensaio semelhante ao da Norma Portuguesa NP 143 (1969), sendo esta a que foi seguida na presente tese (ver secção 3.2.3).

Muitos outros autores, entre os quais Dassler (1990), Demehati (1990), Keable (1996), Keefe (2005) e Minke (2006), referem apenas que a plasticidade é uma das propriedades mais importantes e que a sua análise pelos limites de Atterberg é fundamental para caracterização dos materiais utilizados na construção com terra; porém não indicam qualquer requisito. Os autores Harries *et al.* (2000), por seu lado, referem que não obtiveram valores úteis que pudessem ser vantajosos como indicadores de desempenho, ao realizarem ensaios de limite de liquidez e plasticidade.

A relação entre o índice de plasticidade e a importância da fração argilosa do solo ($\phi < 0,002$ mm) dá uma ideia da atividade da argila [2.3] que pode ser aproximadamente traduzida por:

$$A_c = \frac{I_p}{\text{Argilas } (\phi < 2\mu\text{m}) \%} \quad [2.3]$$

Doat *et al.* (1979) apresentam uma tabela que classifica as argilas em função do grau de atividade (Tabela 2.5). A superfície específica é um bom indicador da atividade da argila, uma vez que afeta a adequabilidade da fração argilosa em função do seu grau de actividade. Quanto maior a atividade maior será a expansibilidade e, consequentemente, a deformabilidade.

Tabela 2.5. Grau de atividade da argila (A_c) (Doat *et al.* 1979)

Tipo de argila	$A_c < 0,75$	$0,75 < A_c < 1,25$	$1,25 < A_c < 2,00$	$A_c > 2,00$
Grau de atividade	Pouco ativa (PA)	Normalmente ativa (NA)	Ativa (A)	Muito ativa (MA)

2.3.4. Compactabilidade - conceito e valores limite

O ensaio de compactação Proctor é amplamente utilizado para a caracterização de solos de construção, fornecendo os valores para a baridade máxima seca (γ_d^{\max}) e o teor de humidade ótimo (TAO) do solo. O TAO é o teor de humidade que o solo deve ter para poder atingir a baridade máxima seca. Quando o teor de humidade é inferior ao TAO, o solo é mais difícil de compactar, devido à maior fricção entre as partículas do solo. Quando é superior, o solo é apenas compressível até um certo ponto, uma vez que os espaços vazios estão ocupados por água.

O valor da baridade máxima seca que um solo de taipa deve possuir é raramente referenciado em documentos normativos. Entre a totalidade dos trinta e um documentos pesquisados (Tabela 2.2), apenas seis mencionam valores para esta propriedade (Tabela 2.6).

Tabela 2.6. Requisitos para a baridade máxima seca para a técnica construtiva da taipa

Documentos	Baridade máxima seca (kg/m ³)			
	1650 - 1760 Mediocre	1760 - 2100 Muito satisfatório	2100 - 2200 Excelente	2200 - 2400 Exceccional
Doat <i>et al.</i> (1979)				
Keable (1996)		1800 - 2000 ⁽¹⁾		
Warren (1999)		≥ 2000		
Walker e Australia (2001)		1700 - 2200		
Houben e Guillaud (2006)		1750 - 2300 ⁽²⁾		
Minke (2006)		1700 - 2200 ⁽³⁾		

⁽¹⁾Valor recomendado, 2000 kg/m³.

⁽²⁾A eliminação de ar na compactação nunca pode ser totalmente alcançada não podendo a baridade teórica máxima seca ser atingida (normalmente fixada em 2650 kg/m³).

⁽³⁾ Poderá atingir valores mais elevados, se o solo contiver percentagens significativas de agregados grossos.

É atualmente aceite por alguns investigadores que, para se obter uma taipa compacta, com bom desempenho e elevada durabilidade, o teor de humidade do solo aquando da compactação, deve ser próximo do seu TAO (Keable 1996, SNZ 4298 1998, Walker e Australia 2001, Walker *et al.* 2005). A norma neozelandesa (SNZ 4298 1998) e os autores Walker *et al.* (2005) apresentam inclusive um intervalo de acordo com o TAO (Tabela 2.7). Assim, o TAO tem uma relação com a resistência da parede. Outros autores (Neumann 1993, Ashurst e Ashurst 1995, Harries *et al.* 2000, Keefe 2005, Houben e Guillaud 2006) apresentam valores fixos para o teor de água de construção independentemente do tipo de solo a utilizar (Tabela 2.7).

Verifica-se alguma incoerência nesta área. Muitos dos requisitos avançados pelos investigadores para o valor do teor de água de construção na taipa apresentam-se dispersos; alguns autores apresentam valores rígidos e quatro dos autores valores flexíveis, de acordo com o TAO. Aquando da realização dos blocos de taipa vai procurar-se esclarecer esta questão.

Neumann (1993) realizou ensaios em pequenas paredes de taipa e refere que o TAO não corresponde ao máximo valor da resistência das paredes de taipa. Afirma que o teor em água necessário para se atingir o valor máximo da resistência é cerca de 20% superior ao TAO. Schroeder (2011) também recomenda que na compactação de uma parede de taipa seja utilizado um teor de água 10% superior ao TAO. Porém, apenas refere que melhora os efeitos no processo de secagem. Esta afirmação é feita após terem sido monitorizadas

paredes de taipa - 1,50 m × 1,00 m × 0,50 m (comprimento × altura × espessura) - em ambiente controlado com 12°C de temperatura e 68% de humidade relativa (HR). O investigador refere que a secagem numa parede de taipa é mais intensa na primeira semana, sendo que o teor de água de compactação influencia o teor de água existente na parede mesmo após 90 dias de secagem. Refere ainda que durante os primeiros dois meses, a secagem é mais rápida à superfície e na parte inferior da parede. Considera ainda que, após seis meses de secagem, a distribuição de humidade dentro da parede torna-se homogénea. O mesmo investigador sugere que se devem deixar secar os provetes de taipa num período mínimo de 90 dias antes de estes serem ensaiados.

Tabela 2.7. Requisitos para o teor de água de construção para a técnica construtiva da taipa

Documentos	Teor de água de construção
Neumann (1993)	10%
Ashurst e Ashurst (1995)	10% solos arenosos; 20% solos argilosos
Keable 1996	Teor de água óptimo
SNZ 4298 (1998)	± 3% do teor de água óptimo
Harries et al. (2000)	10 - 16%
Walker e Australia 2001	Teor de água óptimo
Keefe (2005)	8 - 14%
Walker et al. (2005)	± 1-2% do teor de água óptimo
Houben e Guillaud (2006)	3,5 - 14%

O ensaio Proctor, que determina o par de valores TAO e baridade máxima seca, é utilizado por diversos investigadores da especialidade, nomeadamente: Houben e Guillaud (2006) referem a norma AASHO; Keefe (2005) menciona a norma britânica BS 1377; Minke (2006) menciona a norma alemã DIN 18127. Embora os investigadores refiram normas distintas, estas são em tudo semelhantes e também idênticas à especificação utilizada nesta tese: Ensaio de Compactação, E197 (LNEC 1966c), descrito na secção 3.2.4.

2.3.5. Retração linear - conceito e valores limite

Retração é a redução de volume que um solo húmido apresenta quando passa para o estado seco. A retração deve-se principalmente à presença de materiais argilosos no solo, pelo que depende fortemente da quantidade e do tipo de argila. Esta característica é bastante importante nas construções de terra, uma vez que as alterações de volume provocam fissuras de retração, que no próximo ciclo de humedificação facilitam o acesso da água ao interior da parede de terra, criando anomalias superficiais e internas, contribuindo para a perda de resistência do material e para a sua degradação. As zonas onde estão localizadas as fissuras são críticas; normalmente são zonas onde a degradação se inicia e progride aceleradamente. Os solos que depois de secos apresentam uma superfície com muitas fissuras não são, assim, adequados para as construções de terra (SNZ 4298 1998, EBAA 2001), ou só passarão a ser após correção por adição de outros materiais (por estabilização).

Nas construções onde é utilizado o material terra, a retração é comumente avaliada pelo teste de Alcock, também designado ensaio de retração linear ou ensaio da caixa de retração (Maniatidis e Walker 2003, Houben e Guillaud 2006, Jiménez Delgado e Guerrero 2007, Guillaud 2008). Este ensaio consiste em encher um molde

retangular de dimensões normalizadas com um solo com determinado teor de humidade, deixando-o a secar em condições ambientais específicas e medindo em seguida a redução do comprimento do solo no molde.

Os requisitos para a máxima retração admissível nas construções em taipa foram identificados na literatura pesquisada e são apresentados na Tabela 2.8. Embora todos estes requisitos sejam baseados no teste de Alcock, os procedimentos experimentais apresentam variações muito significativas: nas dimensões do molde, no teor em água, no tamanho das partículas do solo a submeter a ensaio, na duração do período de secagem e nas condições ambientais. Os próprios requisitos variam também, às vezes de forma significativa, de documento para documento. Com efeito, como pode ser observado na Tabela 2.8, mesmo quando os procedimentos de ensaio são relativamente semelhantes, os valores limite podem ser bastante divergentes, como acontece com o valor da norma neozelandesa (SNZ 4298 1998), 40 vezes inferior ao do documento alemão (Lehmbau Regeln 2009).

Tabela 2.8. Recomendações e requisitos para o ensaio de retração linear, para o método construtivo da taipa

Documentos	Dimensões (internas) do molde	Teor em água	Material	Duração	Valor limite de retração linear (%)
Keable (1996)	60 cm × 4 cm × 4 cm	Teor em água ótimo	Mesmo material da parede	3 dias ao sol	2 ^a
Norton (1997)	60 cm × 4 cm × 4 cm	Teor em água ótimo	Mesmo material da parede	3 dias ao sol ou 7 dias à sombra	-
SNZ 4298 (1998)	60 cm × 5 cm × 5 cm	Teor em água da construção da parede	Mesmo material da parede	7 dias coberto com plástico mais 21 dias a secar (sem sol direto)	0,05
Adam e Agib (2001)	60 cm × 4 cm × 4 cm	Teor em água ótimo	Mesmo material da parede	3 dias ao sol ou 7 dias à sombra	-
Walker e Australia (2001)	60 cm × 4 cm × 4 cm	Teor em água ótimo	Fração granulométrica < 6 mm. Amostra com 2,0 - 2,5 kg	3 a 7 dias ao sol	2,50 ^b
Keefe (2005)	60 cm × 5 cm × 5 cm	Teor em água ótimo	Mesmo material da parede	Até secagem completa	0,25
Houben e Guillaud (2006)	60 cm × 4 cm × 4 cm	Teor em água ótimo	Mesmo material da parede	3 dias ao sol ou 7 dias à sombra	-
Lehmbau Regeln (2009)	60 cm × 5 cm × 5 cm	Não mencionado	Retirar a fração grosseira (valores quantitativos não são especificados)	Até secagem completa	2

^a Para valores de retração superior, a referência recomenda a adição de uma certa percentagem de cimento ou solo com baixo teor de argila (areia + cascalho).

^b Valor para taipa estabilizada com 4 a 6% de cimento; o documento apresenta limites para teores de cimento entre 4-6% até 10%. Os valores limites aumentam com o teor de cimento.

Shekede (2000) indica o ensaio normalizado da retração linear da norma britânica BS 1377-2 (1990) para medir a retração linear do material utilizado nas paredes de edifícios de terra. O ensaio consiste na determinação da retração linear de um provete de solo, utilizando para a realização do provete a fração que passou pelo peneiro 0,42 mm (n.º 40 ASTM).

A Associação de Construção em Terra da Austrália (EBAA 2001) também menciona a importância da propriedade da retração nos solos e adota um ensaio diferente dos anteriormente descritos. O ensaio consiste em realizar cubos de 10 cm de aresta que são levados a secar até massa constante. Após secagem, os cubos não devem apresentar mais de três fissuras devido à retração, e o comprimento e largura das fissuras deve ser inferior respetivamente, a 51 mm e aproximadamente 3 mm (EBAA 2001).

Minke (2006) indica para a técnica construtiva da taipa uma retração linear aceitável entre 0,4% e 2%. Refere ainda que, para a determinação da retração linear, todas as amostras devem ser comparáveis, nomeadamente quanto à sua plasticidade, recorrendo ao método da norma alemã DIN 18952 (1956). O ensaio da retração linear

desta norma utiliza três amostras com dimensões de 2 cm × 2 cm × 20 cm. Estas amostras são secas durante três dias ao ar e posteriormente a uma temperatura de 60°C até massa constante. A retração linear é calculada como percentagem do comprimento inicial, a partir da média da retração das três amostras.

Existem ainda investigadores que apenas referem valores para os limites da retração linear, não indicando qual o ensaio correspondente, nem sequer quanto à composição granulométrica do material a ensaiar (peneiração prévia do solo) e seu teor de humidade. É o caso de Harries *et al.* (2000), que refere apenas que para a técnica construtiva da taipa, um solo deve apresentar uma retração linear inferior a 3%.

Existe alguma unanimidade na comunidade científica quanto à importância da retração. Catorze dos trinta e um documentos analisados indicam esta propriedade como fundamental (Tabela 2.2). Destes, oito referem o ensaio de retração linear (tipo Alcock); os restantes divergem no tipo de ensaios a realizar. Nesta tese, para a determinação da retração linear, nas taipas dos estudos de caso selecionados, utilizou-se o procedimento de ensaio conforme Walker e Australia (2001), com algumas alterações (ver secção 3.2.5).

2.3.6. Teor de matéria orgânica - conceito e valores limite

Além de matéria mineral, água e ar, o solo é composto por matéria orgânica, que inclui matéria vegetal e animal em vários estágios de decomposição (animais, plantas, bactérias). É geralmente aceite que o solo mais adequado para a construção de terra é proveniente do subsolo (também chamado de horizonte B), que é a camada imediatamente abaixo da camada à superfície do solo. O subsolo contém maior percentagem de minerais e menor teor de matéria orgânica que a camada superficial (BS 1377-3 1990, Walker e Australia 2001, Hall e Djerbib 2004a, Lehmbau Regeln 2009).

A Tabela 2.9 apresenta os requisitos indicados em diferentes documentos para o teor de matéria orgânica dos solos para construção de taipa. É perceptível que existe um consenso entre os diversos investigadores: não devem ser utilizados solos com grandes quantidades de matéria orgânica (microscópica ou macroscópica). De facto, edifícios construídos com terra onde a percentagem de matéria orgânica seja significativa são mais suscetíveis de apresentar anomalias causadas pela presença de humidade ou biodeterioração (nidificação de insetos, apodrecimento da matéria vegetal e animal), podendo estes fatores afetar gravemente a estabilidade das paredes. No entanto, raramente são indicados limites máximos quantitativos.

Duas das quatro referências (Tabela 2.9) que apresentam limites quantitativos (Walker *et al.* 2005, Houben e Guillaud 2006) são as únicas que indicam detalhadamente os procedimentos experimentais para medir o teor de matéria orgânica do solo. Mas não existe consenso quanto ao tipo de procedimento. Walker *et al.* (2005) recomendam o método da norma britânica, BS1377-3 (1990), que utiliza a oxidação de dicromato, método normalmente conhecido como o método de Walkley-Black. Houben e Guillaud (2006) referem um ensaio expedito, que consiste em misturar o solo com uma solução de hidróxido de sódio e, em seguida, comparar a cor da mistura com a de uma solução padrão de ácido tânico. Embora o teste seja limitado é reconhecido pela ASTM e BSI; este ensaio não permite de facto conhecer com exatidão qual o tipo de matéria orgânica em causa.

Quanto às restantes duas referências que apresentam limites quantitativos: Warren (1999) refere que os ensaios de matéria orgânica consistem em identificar materiais de natureza ácida que afetam a distribuição de iões metálicos no solo, não descrevendo contudo o ensaio nem indicando qualquer referência para o mesmo; King (1996) refere que é inaceitável a presença de matéria orgânica em solos estabilizados uma vez que estes se tornam propensos à biodegradação, mas não indica qualquer método de ensaio para quantificar o teor de matéria orgânica.

Quatro referências - Keable (1996), Walker e Australia (2001), Lehmbau Regeln (2009), Minke (2006) - recomendam aceitar ou rejeitar um solo com base no resultado do teste expedito do cheiro, que consiste em cheirar um solo imediatamente após a sua extração; um forte cheiro a húmus identifica o solo como sendo orgânico e que deve ser rejeitado.

As recomendações dos restantes seis documentos (SNZ 4298 1998, Norton 1997, EBAA 2001, SAZS 724 2001, Maniatidis e Walker 2003, New Mexico Code 2006) são muito generalistas, aconselhando a rejeição dos solos que contêm matéria orgânica propensa a apodrecer ou a danificar o interior da parede de terra, bem como a aumentar a suscetibilidade ao ataque de insetos, não sendo contudo mencionado qualquer procedimento experimental para avaliar a sua presença.

Tabela 2.9. Requisitos para o teor de matéria orgânica, para a técnica da taipa

Documentos	Requisitos para o teor de matéria orgânica (% em massa)
Keable (1996)	O solo não deve conter matéria orgânica; caso cheire a húmus o solo deverá ser rejeitado
King (1996)	1 a 2%, para construção com terra estabilizada
Norton (1997)	O solo não deve conter matéria orgânica
SNZ 4298 (1998)	O solo não deve ser utilizado se contiver matéria orgânica propensa à podridão ou desagregação da parede
Warren (1999)	< 5%
SAZS 724 (2001)	O solo não deve conter matéria orgânica
EBAA (2001)	O solo não deve conter matéria orgânica
Walker e Australia (2001)	Um aroma a mofo indica uma quantidade inaceitável de matéria orgânica no solo, devendo este ser rejeitado
Maniatidis e Walker (2003)	Deve evitar-se o solo que contenha matéria orgânica
Walker <i>et al.</i> (2005)	< 2%
Houben e Guillaud (2006)	< 2 a 4%
New Mexico Code (2006)	O solo deve estar livre de toda a matéria orgânica
Minke (2006)	O solo deve ser livre de matéria vegetal e cheiro a húmus. Sob certas condições, matéria vegetal como palha pode ser adicionada, desde que seja seca, para não existir o perigo de deteriorações futuras
Lehmbau Regeln (2009)	Um solo orgânico é identificável pelo seu forte cheiro a húmus (teste do cheiro), indicando que deve ser rejeitado

Na presente tese, a determinação do teor de matéria orgânica dos solos dos seis estudos de caso foi efetuada por calcinação segundo a norma ASTM D2974-07 (2007) - *Test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils*, com algumas alterações, podendo o procedimento de ensaio ser consultado na secção 3.2.6.

2.3.7. Teor em sais - conceito e valores limite

Os sais solúveis são um dos agentes de degradação mais prejudiciais para os materiais de construção porosos (Steiger e Siegesmund 2007). Os sais solúveis têm origem nos iões (cloreto, nitrato, sulfato ou outros) que migram, dissolvidos em água na fase líquida, na rede de poros dos materiais. A cristalização de sais ocorre como resultado da supersaturação destas soluções devido a processos de evaporação ou variações de temperatura. A deterioração por sais deve-se à cristalização cíclica de cristais de sal na superfície do material poroso (eflorescência) ou no seu interior (subflorescência ou criptoflorescência). As subflorescências podem introduzir tensões internas que podem superar a resistência mecânica do material poroso e, portanto, introduzir danos físicos. As eflorescências não constituem ou causam danos materiais, embora possam representar problemas estéticos e de salubridade. No entanto, os sais presentes nas eflorescências podem ser novamente dissolvidos e reabsorvidos pelo material, podendo eventualmente recristalizar como subflorescências.

A deterioração por sais de construções de terra é ainda uma matéria muito pouco estudada. A maioria dos trabalhos de investigação, estudos de caso incluídos, são dedicados aos materiais de construção clássicos, tais como pedra, cerâmica, argamassas de cal ou cimento. No entanto, é reconhecido que os solos são uma importante fonte de sais. O cloreto de sódio, por exemplo, surge frequentemente em solos a partir da contaminação com água do mar, ou devido ao consumo de cloreto de sódio associado à alimentação (comércio, utilização, resíduos domésticos) (Hall e Djerbib 2004a). Os solos podem também conter nitratos produzidos pela decomposição de matéria orgânica de fertilizantes orgânicos, dejetos de animais, tecidos orgânicos ou microrganismos. Podem ainda conter também sulfatos, por exemplo, de sódio (Zehnder e Arnold 1989).

No caso de edifícios em terra, os sais solúveis podem ser transportados pelos próprios materiais, terra ou outros, ser provenientes do terreno ou depositados pelo nevoeiro salino, por exemplo. Os sais depositados à superfície podem também ser arrastados para o interior e eventualmente causar danos em elementos adjacentes, tais como rebocos e argamassas (Schaffer 1932). Além disso, alguns sais - nitratos e cloretos, por exemplo - são significativamente higroscópicos. Por conseguinte, têm uma elevada capacidade de absorver água a partir da humidade presente no ar, dissolvendo-se e aumentando os níveis de humidade na parede. Esta condição sucede quando a humidade relativa de equilíbrio (HR_{eq}) de um sal ou solução salina é inferior à humidade relativa (HR) do ar.

A maior parte das referências bibliográficas referem que solos que contêm sais solúveis não são adequados para as construções de terra. Assim, algumas referências propõem requisitos relativos ao teor de sal para a taipa (Tabela 2.10). No entanto, apenas três dos dez documentos (Warren 1999, Walker *et al.* 2005, New Mexico Code 2006) que abordam esta propriedade recomendam limites quantitativos, estabelecendo todos um teor máximo de sal de 2% (em massa). Outros SNZ 4298 (1998), EBAA (2001), Walker e Australia (2001), Maniatidis e Walker (2003) estabelecem apenas em termos qualitativos uma obrigação geral de rejeitar o uso de solos com sais prejudiciais. Já Houben e Guillaud (2006) referenciam a nocividade potencial de apenas três tipos de sais de sulfato (magnésio, sódio e cálcio). Também Keefe (2005) limita, de forma generalista, a presença de sais tais como nitratos, cloretos e sulfatos. Por último, o regulamento SAZS 724 (2001) aconselha, de uma forma muito geral, a rejeição de solos que contenham sais, tais como sulfatos.

Tabela 2.10. Requisitos para o teor em sais, para a técnica da taipa

Documentos	Requisitos para o teor em sais (% em massa)
SNZ 4298 (1998)	Não devem ser utilizados solos que contenham sais solúveis em água, podendo estes prejudicar a resistência ou a durabilidade da parede
Warren (1999)	< 2%
SAZS 724 (2001)	O solo não deve conter sais, como por exemplo sulfatos, uma vez que interfere com a utilização de ligantes
EBAA (2001)	A utilização de solos para construção que contenham sais solúveis em água deve ser evitada, de modo a não comprometer a resistência ou durabilidade da parede
Walker e Australia (2001)	Solos com sais devem ser evitados; contudo a ser usados devem ser estabilizados. São necessários cuidados especiais durante a construção da edificação
Maniatidis e Walker (2003)	São de evitar solos que contenham sais solúveis, a fim de não prejudicar a resistência da parede ou durabilidade
Walker <i>et al.</i> (2005)	< 2%
Keefe (2005)	Limitar os principais sais presentes numa parede de terra, nomeadamente os nitratos, cloretos e, sulfatos
Houben e Guillaud (2006)	Sulfatos de sódio (NaSO ₄), magnésio (MgSO ₄) e cálcio (CaSO ₄) são prejudiciais aos solos utilizados nas construções de terra, uma vez que estes cristalizam, aumentando a possibilidade de desintegração do material
New Mexico Code (2006)	< 2%

A análise efetuada mostra assim que os requisitos são demasiado genéricos (SNZ 4298 1998, EBAA 2001, Walker e Australia 2001, Maniatidis e Walker 2003), carecem de justificação quanto ao tipo de sais abrangidos (SAZS 724 2001, Keefe 2005, Houben e Guillaud 2006) ou apresentam valores limite para o teor total de sais não mencionando qualquer justificação (Warren 1999, Walker *et al.* 2005, New Mexico Code 2006). Com efeito, a deterioração devida ao sal deriva de processos complexos que ainda não foram completamente entendidos e dependem de uma variedade de fatores interrelacionados, tais como o tipo e o teor de sal, as condições ambientais (temperatura, humidade relativa e velocidade do ar), as características físicas e o teor de humidade de todos os materiais envolvidos (porosidade e distribuição do tamanho de poros, bem como as propriedades de transporte de vapor e de líquido), e a presença e as características dos revestimentos (rebocos, argamassas, tintas).

Entre os documentos analisados são poucos os que mencionam o método para a determinação do teor em sais em solos para construção. Walker *et al.* (2005) mencionam o método da BS 1377-3 (1990), que incide sobre os teores de cloreto, sulfato e carbonato presentes no solo. Houben e Guillaud (2006) sugerem um teste expedito para deteção de sulfatos e cloretos, por observação de precipitações baseadas em soluções de cloreto de bário (BaCl₂), para sulfatos, e de nitrato de prata (AgNO₃), para cloretos. Keefe (2005) cita o ensaio descrito no *Building Research Establishment Digest 245*, "Rising damp in walls; diagnosis and treatment (1985)", que se baseia na determinação do teor em humidade higroscópica (*hygroscopic moisture content*, HMC). Este método, como se verá, permite estimar a presença de sais solúveis (apesar da determinação do teor de sal não ser o objetivo deste método do BRE). Nesta tese, a determinação do teor de sais dos materiais foi efetuada por meio da determinação do teor de humidade higroscópica (HMC) seguindo o método descrito em Gonçalves e Rodrigues (2006), Gonçalves *et al.* (2006) e Gonçalves (2007).

2.4. ESTADO DA PRÁTICA

Embora a terra seja um dos materiais mais amplamente utilizados como material de construção a nível mundial, é também um dos mais vulneráveis. A conservação das construções com terra visa, não apenas a proteção de construções antigas, mas também preservar e viabilizar a conceção de novas construções. Segundo Avrami e Guillaud (2008), existe pouco apoio à investigação científica que se relaciona especificamente com a tecnologia e os aspetos culturais das construções com terra, e com a sua conservação. Muita da investigação realizada até à data consiste em ensaios e trabalhos relacionados diretamente com a matéria-prima mas o estudo da conservação em arquiteturas de terra permanece insuficiente. Guillaud (2008) menciona ainda que poucos estudos têm sido realizados para determinar a correlação das propriedades mais importantes dos solos com o seu desempenho em intervenções de conservação, e que não houve significativa investigação de outras propriedades que possam também influenciar este comportamento.

Para construir com terra, é necessário compreender os principais métodos de construção, as características dos materiais utilizados e os mecanismos de degradação. Esse conhecimento é também indispensável quando se pensa em reabilitação e/ou intervenções de conservação. Quando estes fatores não são tomados em consideração, será mais provável a ocorrência de erros e de anomalias prematuras nos edifícios. O estudo da patologia inerente é assim muito importante, pela necessidade de desenvolver métodos de reparação adequados. De facto, muitos dos edifícios antigos apresentam-se deteriorados devido à falta de manutenção mas isto acontece também muito devido à qualidade das obras de reabilitação ou conservação.

Sabe-se também que a preservação e conservação destes edifícios, realizada pelos proprietários, é atualmente muitas vezes fraca ou inexistente, o que conduz posteriormente à necessidade de intervenções mais profundas.

O conhecimento pouco aprofundado das técnicas de reabilitação da taipa condiciona muitos erros. Este facto relaciona-se com o desuso da técnica construtiva da taipa durante muitos anos, e a não existência de investigação nesta área.

Guettala *et al.* (2006), Atzeni *et al.* (2007) e Hall e Allinson (2009a) referem que é importante não só conhecer os materiais e técnicas de construção, mas também o seu comportamento quando exposto a agentes naturais, a fim de dar uma resposta positiva às intervenções efetuadas.

Segundo Le Tiec e Paccoud (2006), uma das técnicas para a reparação em paredes monolíticas de taipa é a utilização de argamassas de terra, especialmente nas zonas de fendas, fissuras, orifícios ou mesmo quando a superfície da parede se encontra degradada, com perda de espessura. Todavia, os materiais, as suas técnicas e a sua aplicação não foram ainda suficientemente desenvolvidas e avaliadas. É necessário utilizar uma argamassa compatível com a parede. Esta argamassa terá de cumprir requisitos distintos dos de uma argamassa para rebocos podendo servir de base à aplicação destes mesmos rebocos.

2.4.1. Análise da degradação nas paredes de taipa

É necessário compreender os principais fatores subjacentes à degradação das construções de terra crua, para se poder contribuir para a definição de medidas de conservação adequadas. A relação da forma arquitetónica, a escolha da metodologia construtiva e a envolvente da edificação, por vezes fornecem informação sobre as principais causas de anomalias neste tipo de edifícios.

É difícil atribuir apenas uma causa às anomalias das construções com terra, sendo estas muitas vezes provocadas por um conjunto de fatores (Gomes *et al.* 2009a). É provável que a degradação física ao longo do tempo seja uma das principais causas das anomalias, principalmente devido à ação da água - a presença de humidade reduz a coesão interna e a resistência mecânica nestas construções, potencia a ação dos sais solúveis e favorece o desenvolvimento biológico. A água pode penetrar nas construções: por capilaridade a partir do solo; por condensação de vapor de água produzido no interior da edificação, nomeadamente em pontes térmicas (como exemplo, a introdução de estruturas de betão armado), ou por higroscopicidade própria do material - capacidade em absorver humidade do ar; por progressão pela zona superficial das paredes, através da chuva direta, escorrências da cobertura ou por salpicos provocados por veículos a circular em época de chuva; por infiltração pelo topo das paredes, por deficiências na cobertura, ou através de fendas existentes; por rotura de canalizações. Todos estes efeitos potenciam a degradação das paredes de taipa. Também a fraca resistência à tração e por outro lado a falta de manutenção nestas construções, acelera o processo de degradação (Gomes *et al.* 2009a). O resultado é muitas vezes a degradação da superfície das paredes.

As principais anomalias encontradas na superfície exterior das paredes de taipa são (Keable 1996, Walker *et al.* 2005, Faria 2005, Houben e Guillaud 2006, Gomes e Faria 2011): deterioração de superfície - perda de coesão, fendilhação, destacamentos e eflorescências. As principais causas são: incapacidade de resistir à tensão estrutural instalada, falta de deformabilidade, acesso de água, contaminação por sais, reduzida capacidade de secagem, deficiente aderência ao substrato por parte do revestimento e falta de proteção, nomeadamente por um revestimento. Estas podem ser devidas a: conceção deficiente, técnica de construção imperfeita ou inadequada, utilização de materiais inadequados, reparações mal efetuadas, ao envelhecimento natural dos materiais e à falta de manutenção. Em alguns casos, a superfície exterior da parede nunca foi revestida e nem protegida; dessa forma ela nunca foi sujeita a alterações de exposição. Mais grave é quando a parede foi revestida e o revestimento deixou de existir; a alteração de exposição pode colocar em perigo - ao longo de vários anos - a integridade da parede.

Fendilhação

As anomalias estruturais manifestam-se normalmente pela fendilhação das paredes. As fendas estruturais encontradas nos edifícios normalmente têm origem: em alterações de cargas; na ação dos sismos; em assentamentos diferenciais de apoio; em erros de execução; em causas acidentais. A baixa resistência mecânica a forças de tração, flexão e corte nas construções de terra, leva ao aparecimento destas fendas (Gomes *et al.* 2011). Este tipo de anomalia permite a entrada de água que, por sua vez, promove o avanço da

abertura da fenda. Neumann (1993) refere que as fendas verticais poderão também ser consequência do excesso de água no ato da compactação.

O esmagamento nas paredes de taipa decorre em muitos edifícios do facto de a estrutura de cobertura assentar diretamente na parede, resultando num excesso de carga concentrada - sendo este um dos principais erros de execução. Devido a este efeito é frequente dar-se o esmagamento da zona em causa, que muitas vezes resulta na fendilhação e desagregação em profundidade da taipa (Figura 2.6). Este tipo de anomalia deve-se à inexistência de um lintel de bordadura que permita uma eficiente repartição das cargas localizadas da cobertura (Gomes *et al.* 2009a). Note-se que as paredes de taipa apresentam em geral um bom comportamento a cargas de compressão. Contudo, estas não devem ser excessivas nem pontuais.

As anomalias não estruturais manifestam-se, normalmente, através de fendas de retração, provocadas pela negligência no controlo da matéria-prima ou na execução da técnica construtiva, podendo ainda ter como causa variações higrométricas, como ciclos repetidos de humedificação/secagem. Uma outra causa poderá relacionar-se com o crescimento de vegetação nas paredes de taipa, verificando-se tensões criadas pelas raízes e consequentemente a fissuração do paramento.



Figura 2.6. Esmagamento com fissuração vertical devido à estrutura da cobertura apoiar diretamente na parede de taipa: à esquerda, edificação nas Taliscas, Odemira; à direita, esmagamento com fissuração a partir da zona de apoio da cumeeira, na localidade de Sobral da Adiça

Destacamento de revestimentos

O facto de o reboco não estar aderente à parede fará com que a ação da água possa penetrar entre estes dois elementos, criando um ponto suscetível a anomalias. A água a percorrer livremente entre o reboco e a parede poderá criar infiltrações para o interior da parede ou mesmo enfraquecimento do material, diminuindo a sua resistência. Esta situação pode levar à queda de parte do reboco e de parte da parede que esteja aderente a este. Tal facto pode tornar a taipa bastante fragilizada, e levar à degradação da zona em causa.

É usual observar o destacamento de rebocos, com diferentes níveis de profundidade, causando a degradação da parede. Este tipo de patologia deve-se a diferentes tipos de anomalias que podem ou não estar relacionadas.

Se os revestimentos forem muito frágeis, com baixa coesão, facilmente se começam a desintegrar (Figura 2.7), o que leva ao aparecimento de cavidades e à degradação, com diferentes profundidades do revestimento, que pode alcançar o suporte. Isto é causado principalmente pela perda do ligante da argamassa de reboco, por lavagem com a água. Houben e Guillaud (2006) referem que este tipo de anomalia ocorre principalmente nas áreas mais expostas da superfície da parede, como por exemplo em esquinas.

Se as argamassas forem muito rígidas e não conseguirem acompanhar os movimentos da parede, o que configura uma incompatibilidade entre materiais - das argamassas e das paredes - a aderência entre eles pode ser muito fraca, e o revestimento poderá fissurar e conseqüentemente destacar-se. A fissura ocorre por vezes já na espessura da parede, o que dá origem a destacamentos com maior espessura, com prejuízos que podem ser importantes para a integridade estrutural da própria parede.



Figura 2.7. Edificação de taipa em S. Domingos, com um revestimento muito frágil, apresentando baixa coesão, e denotando elevada percentagem em areia e baixa percentagem em ligante

Argamassas

As argamassas de reparação devem possuir propriedades físicas, mecânicas e químicas semelhantes às das paredes onde irão ser aplicadas, o que muitas vezes não acontece (Gomes *et al.* 2012a). O grande problema é assegurar a integridade a longo prazo da ligação entre a argamassa e o paramento de terra. Esta característica é muito importante assegurar e surge uma das grandes dificuldades em obras de reabilitação. Qual é a melhor e mais compatível argamassa de reparação para utilizar em paredes de taipa? Verifica-se muitas vezes que, em virtude da escolha de uma argamassa incompatível, a reparação é inadequada. A utilização de argamassas à base de ligantes hidráulicos, como o cimento (Figura 2.8 e Figura 2.9, à direita), costuma resultar em maus exemplos de intervenção, não obstante ela ter sido levada a cabo na tentativa de superar a degradação. Este tipo de argamassas é muito rígida e não consegue acompanhar os movimentos da parede. Também as resistências mecânicas destas argamassas são bastante superiores às da parede, gerando tensões que resultam na separação entre materiais.



Figura 2.8. Utilização de argamassas cimentícias numa edificação em Avis, para colmatar a degradação superficial no paramento de taipa

Muitos estudos referem que a adição de cimento não é recomendada para reparações em construções de terra (Ashurst e Ashurst 1995, Warren 1999), representando um erro colossal que poderá trazer grandes problemas a longo prazo (McHenry 1984, Walker e Australia 2001, Guelberth e Chiras 2003). Também Jiménez Delgado e Guerrero (2006) e Walker *et al.* (2005) desaconselham a aplicação de revestimentos ricos em cimento para aplicação em paredes de terra não estabilizada. McHenry (1984), Boussalh *et al.* (2004), e Walker *et al.* (2005) mencionam que as soluções modernas e mais correntes de argamassas, nomeadamente argamassas de revestimento de cimento, são inapropriadas para edifícios de terra, uma vez que são bastante rígidas e não favorecem a troca de vapor de água, não permitindo a evaporação da água presente nas paredes de terra. Se existir água no interior da parede, e a continuidade hídrica entre o revestimento e o suporte forem deficientes, os sais solúveis transportados por essa água podem depositar-se na interface da parede com a argamassa. Ao cristalizarem ciclicamente, os sais introduzem tensões internas que podem conduzir ao destacamento do revestimento (Faria 2005). Dessa forma, a zona de maior concentração de sais tem tendência a ficar friável e sem coesão; a argamassa ao ser percutida, soa a oco, e quando acaba por se destacar, deixa visível uma zona subjacente bastante degradada.

Para Warren (1999) o erro mais comum de ignorância é a aplicação de argamassas cimentícias em estruturas de terra; estes materiais não conseguem fazer a ligação com a estrutura da terra, uma vez que apresentam diferentes propriedades. Sofrem da desvantagem da dureza e rigidez, e como consequência, verifica-se o destacamento entre materiais (Norton 1997) e a reparação torna-se ineficaz.

Argamassas cimentícias fornecem apenas proteção temporária para estruturas com terra, mas a longo prazo apresentam-se potencialmente destrutivas. As propriedades físicas e químicas não lhes permitem aderir aos materiais de terra; além disso, agravam os problemas com a humidade (Boussalh *et al.* 2004).

As argamassas cimentícias e as paredes de terra apresentam também diferentes coeficientes de dilatação térmica (McHenry 1984), outro fator que leva à separação dos dois materiais. Esta situação ainda se torna mais desvantajosa quando a taipa não é estabilizada (existindo soluções onde a taipa é estabilizada com cimento) - maior incompatibilidade entre materiais.

Presença de sais

A ascensão de água por capilaridade é um fenómeno também comum nas paredes de terra crua (Figura 2.9, à esquerda), se não tiver havido cuidados aquando da construção, em termos de corte capilar. Este fenómeno é bastante prejudicial, originando inúmeras anomalias, ainda mais gravosas quando acompanhado pelo transporte de sais. Tal situação pode contribuir para a criação de cavidades nas paredes de terra, originando deficiências que se estendem até ao limite superior da zona de ascensão capilar.



Figura 2.9. Ermida de S. Sebastião em Ferreira do Alentejo: à esquerda, fenómenos visíveis de ascensão de água por capilaridade; à direita, utilização de argamassas cimentícias para reparação do paramento de taipa

A erosão nas paredes de taipa pode também ser devida à ação destrutiva de sais solúveis. Esta ação requer a presença de humidade (Gonçalves *et al.* 2007) e introduz tensões internas quando os sais cristalizam. De acordo com Faria (2005) e muitos outros estudos, o movimento de sais é devido ao fluxo de humidade no interior da parede, que tende a levá-los no estado dissolvido para a superfície, onde se acumulam. Ocorre frequentemente em paralelo com problemas de penetração de água - como no caso da ascensão capilar. Os ciclos sucessivos de molhagem/secagem a que os sais estão sujeitos levam à perda de coesão do material (Gonçalves *et al.* 2007). Segundo Faria (2005), enquanto estes sais não estiverem em contacto com ar com elevada humidade relativa ou água líquida, permanecem na forma cristalina, em equilíbrio com o meio poroso envolvente.

O processo de cristalização pode acontecer à superfície de um material poroso - na forma de eflorescências - ou no seu interior - como subflorescências. A cristalização de sais nomeadamente quando ocorre próximo da interface entre o suporte e a argamassa - revestimentos hidrófugos, por exemplo -, implica geralmente um comportamento destrutivo, podendo acelerar a deterioração dos próprios revestimentos e conseqüentemente o seu destacamento. Revestimentos mais absorventes, normalmente deixam atravessar os sais solúveis transportados pela água, originando eflorescências com a deposição dos sais à superfície. Esta cristalização geralmente produz depósitos cristalinos de sais alcalinos ou alcalino-terrosos: carbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos. Também a taxa de evaporação influencia o aparecimento de criptoflorescências ou de eflorescências; quanto mais baixa a taxa de evaporação, maior será a tendência para a ocorrência de eflorescências em vez de criptoflorescências. O tipo de sal presente nos materiais é também importante, na medida em que certos sais são mais propensos a eflorescências e outros apresentam maior tendência a cristalizar no interior (Rodríguez-Navarro e Doehne 1999).

A presença de sais solúveis em edifícios antigos é muito frequente, visto estes edifícios estarem sujeitos, ao longo da sua vida útil, a contaminação com sulfatos (ambientes com elevados níveis de poluição), cloretos (ambientes perto da costa marítima) ou nitratos (materiais de construção contaminados por dejetos, ou zonas de construção localizadas anteriormente como acomodação de animais).

A ação dos sais facilita o processo de erosão. Outras causas de erosão são o impacto da chuva e do vento. A ação do vento provoca erosão também na medida em que, ao transportar areias e poeiras, atua fisicamente nas paredes de taipa com um efeito abrasivo. De acordo com Kerali (2001), esta ação torna-se obviamente mais gravosa em conjunto com a ação da água.

Presença de humidade e desenvolvimento biológico

Uma humidade relativa do ar interior elevada, mais de 70%, é identificada como uma das principais causas do crescimento de fungos e da proliferação de ácaros (McGregor *et al.* 2012).

A tendência atual dos materiais de construção é serem substituídos por alternativas mais sustentáveis. McGregor *et al.* (2012) refere Rode *et al.* (2005) e Padfield (1998) que consideram que uma das vias de conseguir este objetivo pode ser de forma passiva, controlando os níveis de humidade no interior das habitações com o recurso à utilização de materiais de construção porosos e higroscópicos. O material terra apresenta essa vantagem, não só pela sua baixa energia incorporada mas também pela alta capacidade de adsorção de humidade (Minke 2006). Porém, esta característica também facilita o desenvolvimento biológico, por exemplo o aparecimento de fungos (Röhlen 2012), conforme se pode visualizar na Figura 2.10. Além da temperatura e humidade, muitas vezes associadas à exposição do edifício e das suas paredes, o teor elevado de nutrientes no substrato estimula o crescimento de fungos e outras forma biológicas, o que muitas vezes poderá acontecer caso a seleção da terra não tenha sido eficiente.



Figura 2.10. Herdade de Afonseanes no Sobral da Adiça, onde se pode visualizar o crescimento de fungos na superfície da parede de taipa

De forma a identificar as principais formas de degradação e tipos de anomalias mais recorrentes em paredes de taipa foram efetuadas observações a cerca de trinta edifícios. Para esse efeito, foi elaborada uma ficha técnica

de inspeção (Figura 4.2) que permitiu recolher e registar de forma sistemática as informações mais relevantes sobre a edificação e sua envolvente. Este trabalho apresenta-se nas secções 4.2 e 4.3, e no Anexo A.

2.4.2. Reparação/conservação de paredes de taipa: legislação e princípios éticos

A legislação nacional - Lei n.º 107/2001 de 8 de Setembro - estabelece as bases da política e do regime de proteção e valorização do património cultural, onde se enquadra inequivocamente o edificado antigo construído com terra. Refere-se nessa disposição que “O interesse cultural relevante, designadamente (...) arquitetónico, (...), artístico, etnográfico, (...) ou técnico, dos bens que integram o património cultural refletirá valores de memória, antiguidade, originalidade, raridade, singularidade ou exemplaridade”. A política do património cultural aí legislada obedece a princípios gerais, de onde se destaca a “Inventariação, assegurando-se o levantamento sistemático, atualizado e tendencialmente exaustivo dos bens culturais existentes com vista à respetiva identificação” e a “Responsabilidade, garantindo prévia e sistemática ponderação das intervenções e dos atos suscetíveis de afetar a integridade ou circulação lícita de elementos integrantes do património cultural”. Refere ainda, no seu Artigo 11º, que “Todos têm o dever de preservar o património cultural, não atentando contra a integridade dos bens culturais (...)” e que “Todos têm o dever de defender e conservar o património cultural (...)”. Implica, por isso, o envolvimento e responsabilização dos agentes ligados à sistematização do estado de conservação das construções com terra, entendidas como património cultural a defender, assim como das ações que visem a sua conservação e o acréscimo da sua longevidade.

Antes de qualquer intervenção será necessário determinar que tipo de processo de degradação e que tipo de circunstâncias levaram à deterioração da edificação. Na maioria dos casos poderá ocorrer o "efeito de dominó": um problema cria outro problema, o qual, por sua vez gera outro e assim por diante. O diagnóstico deve ser realizado para detetar quais as causas e estancar a origem das anomalias. Sempre que possível, nenhuma intervenção deve ser realizada enquanto as causas e origens dessas anomalias não se encontrarem devidamente tratadas e resolvidas (Gomes e Faria 2011).

De acordo com Guillaud (2008), existem algumas "regras de ouro", que devem ser aplicadas sempre que são necessárias intervenções de conservação e reabilitação, estas regras consistem em:

- (i) observar e documentar o estado inicial do edifício;
- (ii) minimizar a intervenção, e utilizar materiais e técnicas compatíveis;
- (iii) assegurar a reversibilidade das intervenções;
- (iv) documentar as intervenções;
- (v) inspecionar e realizar uma manutenção regular.

Também Boussalh *et al.* (2004) referem prioridades e princípios éticos para a conservação dos edifícios de terra:

- (i) o respeito pela arquitetura: os valores estéticos da arquitetura tradicional devem permanecer, pois as arquiteturas de terra são o património da região; a preservação do seu valor arquitetónico implica o respeito por formas, cores, texturas, materiais e técnicas tradicionais; qualquer ação ou mudança deve ocorrer da forma mais discreta possível;

- (ii) a reversibilidade: qualquer intervenção deve ser reversível; assim sendo, é requisito fundamental o uso de materiais e técnicas que possam ser removidos sem danos, podendo sempre voltar à situação original sem problemas significativos.

A BS 7913 (1998) refere que uma abordagem conservadora de intervenção mínima é fundamental para a boa conservação. Menciona ainda que é filosoficamente mais defensável uma abordagem mais tradicional da reparação/conservação, com a utilização de materiais idênticos implicando uma abordagem mais antropológica. Correia e Walliman (2012) realizaram entrevistas a vários especialistas da área da construção com terra, tendo verificado que vários dos especialistas realizam as suas intervenções com base na sua experiência empírica. Contudo, os mesmos autores referem que a combinação da abordagem antropológica com a científica é necessária para promover uma mudança, favorecendo a conservação do património com terra. Justificam ainda que para evitar o fracasso, a metodologia de conservação e os critérios de intervenção têm de ser claramente discutidos e desenvolvidos.

Os investigadores Correia e Walliman (2012) referem que é fundamental incluir os critérios de intervenção no contexto metodológico, a fim de proporcionar o suporte para um julgamento coerente quando se está perante uma tomada de decisão no que se refere à conservação (do património com terra).

As regras de ouro que são necessárias nas intervenções de conservação e reabilitação, as prioridades e princípios éticos a observar e os processos de seleção da composição de uma argamassa de reparação, enquadram-se em princípios básicos e idênticos em qualquer tipo de edificação e para qualquer tipo de argamassa. Contudo, nas arquiteturas de terra quase todos os casos são diferentes (distintos solos de local para local e de região para região). Considerando a falta de conhecimento e fraca investigação na área, e a ausência de regulamentação, torna-se necessário avaliar os requisitos nas paredes dos edifícios de taipa não estabilizada e tentar obter a melhor solução para uma argamassa de reparação; deve encontrar-se um compromisso aceitável para conciliar a reparação e conservação com estes mesmos princípios de intervenção já mencionados.

É ainda importante perceber que sendo a taipa um material compactado e monolítico, procurou-se atribuir melhores características às argamassas de reparação, uma vez que estas não sendo compactadas não apresentam as mesmas características que o suporte. Assim, como solução adicionaram-se estabilizantes minerais às argamassas, tentando aumentar as suas resistências.

2.5. ARGAMASSAS

As reparações na taipa podem ser necessárias como resultado de defeitos aquando a construção, assim como problemas que ocorrem durante a vida útil de um edifício, após uma contínua exposição ambiental, que resultem na perda de material original e na criação de vazios e lacunas. Estas anomalias precisam de ser preenchidas com uma argamassa de reparação adequada e compatível com o suporte para garantir a durabilidade a longo prazo. Assim, as argamassas de reparação a serem utilizadas nos suportes de taipa devem ter as seguintes

características: trabalhabilidade adequada, aderência ao suporte, sustentabilidade ecológica, eficácia como sistema de reparação e de proteção.

Na Alemanha as argamassas de terra são as mais aplicadas nos edifícios de terra. Ainda assim, o conhecimento e a informação sobre estas argamassas são relativamente escassos, sendo este assunto tratado de uma forma muito generalista no documento de referência, *Lehmbau Regeln* (Schroeder e Ziegert 2008). Röhlen e Ziegert (2011) referem que, na realidade, não é conhecido o comportamento das argamassas após aplicadas diretamente na taipa. Guettala *et al.* (2006), Atzeni *et al.* (2007) e Hall e Allinson (2009b) defendem que é importante não só compreender os materiais a utilizar nas construções com terra mas também avaliar o comportamento das argamassas quando expostas a agentes naturais.

A presente tese segue estas preocupações, utilizando argamassas de terra e efetuando a sua caracterização, avaliando o seu comportamento após serem aplicadas nos suportes de taipa e sujeitando-as a ensaios de envelhecimento artificial acelerado.

2.5.1. Trabalhabilidade

Uma argamassa é muito influenciada pela sua trabalhabilidade que, no entanto, é uma característica de difícil avaliação/quantificação. Uma das razões é o facto de a trabalhabilidade ser influenciada por diversas variáveis internas e externas. No caso das variáveis internas tem-se: a distribuição granulométrica (forma e a granulometria dos grãos); a proporção entre ligantes e agregados; a relação água/ligante; a natureza e teor do ligante. Como fatores externos com bastante relevância contam-se as características do suporte (rugosidade, absorção, ...), questões relacionadas com o clima e aspetos inerentes ao próprio aplicador.

Em argamassas cimentícias ou de cal é comum a avaliação da trabalhabilidade através dos valores obtidos no ensaio pela mesa de espalhamento (CEN 1999a). Menos comum é pelo método do penetrómetro (CEN 1998a).

Argamassas para utilização em alvenaria com blocos de terra foram utilizadas num estudo realizado por Venkatarama Reddy e Gupta (2005), apresentando valores de espalhamento de 100 mm, referindo que este é o valor que normalmente se utiliza no terreno neste tipo de argamassas. As mesmas investigadoras num outro estudo utilizaram valores de espalhamento entre 120-140 mm para caracterização de argamassas de assentamento com terra estabilizada com cimento (Venkatarama Reddy e Gupta 2008).

Toumbakari *et al.* (2010) definiram a percentagem de água em argamassas de terra estabilizadas com cimento para reparação, através de valores de espalhamento definidos entre 160-170 mm.

Bouabid *et al.* (1999) não especificam como avaliaram a trabalhabilidade para as argamassas de assentamento de terra estabilizadas por eles estudadas. Zinn (2005) no seu estudo sobre argamassas de reparação com terra estabilizada avaliou a trabalhabilidade através da observação da aderência da própria argamassa a uma colher de pedreiro. Como se verifica, a variabilidade no intervalo de valores para avaliar a trabalhabilidade de uma argamassa de terra é elevada.

A trabalhabilidade traduz a facilidade com que uma argamassa é aplicada no suporte pelo operador, devendo esta permanecer aderente e poder eventualmente ser regularizada. É um conceito um pouco ambíguo e de difícil

tradução quantitativa, pois depende da sensibilidade e habilidade do operador, podendo ainda variar com o tipo de suporte. Não obstante, segundo a RILEM (1982) e a ASTM C270-08a (2008), a trabalhabilidade é a propriedade mais importante de uma argamassa no seu estado fresco. À falta de trabalhabilidade corresponde uma argamassa de difícil manuseamento, podendo apresentar-se áspera, muito seca ou demasiado fluida, com segregação e exsudação excessiva ou falta de aderência (Gomes et al. 2012b). Este comportamento no estado fresco irá influenciar também as suas propriedades após endurecimento.

A trabalhabilidade resulta da combinação de várias propriedades. Segundo a RILEM (1982), a consistência e a plasticidade são as variáveis principais da trabalhabilidade de uma argamassa. Já a ASTM C270-08a (2008) refere, além destas, a coesão e a aderência. Estas propriedades nem sempre têm, contudo, correspondência clara e inequívoca em termos de métodos de ensaio de argamassas:

- (i) A **consistência**, tal como definido nas normas europeias de ensaio de argamassas (CEN 1999a), é uma medida da fluidez ou do teor de humidade da argamassa, permitindo avaliar a deformabilidade da argamassa fresca quando sujeita a determinado tipo de tensão.
 - Esta característica é, de facto, muito condicionada pelo teor em água (Pkla et al. 2003, Hendrickx 2009).
 - O Comité Europeu de Normalização (CEN) indica dois métodos de ensaio para medir a consistência das argamassas frescas: o ensaio de espalhamento, EN 1015-3 (CEN 1999a), e o ensaio do penetrómetro, EN 1015-4 (CEN 1998a). Segundo Cascudo e Carasek (2007) as recomendações da RILEM MR 1-21 "Testing methods of mortars and rendering" também referem estes dois ensaios para determinar a consistência de uma argamassa: o ensaio onde é imposta à argamassa uma deformação através de uma vibração que lhe é induzida corresponde ao ensaio da mesa de espalhamento e o ensaio que emprega uma penetração de um corpo no interior desta corresponde ao ensaio do penetrómetro. Em termos do âmbito do ensaio, estas normas (CEN 1999a, CEN 1998a) apresentam uma diferença (cuja justificação no entanto, não é totalmente clara): enquanto o campo de aplicação do ensaio de espalhamento abrange argamassas contendo agregados normais e leves, o ensaio de penetrómetro inclui argamassas contendo agregados densos.
 - Para Rago e Cincotto (1999) existe uma relação direta entre a consistência e a viscosidade; o ensaio de escoamento (pelo cone de Marsh) permite determinar o tempo que uma argamassa leva a escoar através da abertura inferior de um cone, sendo considerado um bom indicador da viscosidade (Vieira 2008). Também Le Roy e Roussel (2005) referem que o tempo de escoamento está diretamente relacionado com a viscosidade: quanto maior é o tempo de fluxo, menor a fluidez, ou seja, maior a viscosidade.
- (ii) A **plasticidade** é a propriedade devido à qual a argamassa tende a manter a sua deformação após a redução da tensão de deformação para o valor da tensão de cedência (RILEM 1982), sendo a tensão de cedência a tensão mínima para iniciar a deformação. Os métodos de ensaio que conferem às argamassas uma deformação através de vibração medem, simultaneamente, a consistência e a plasticidade (Cascudo e Carasek 2007); este é o caso do ensaio de consistência por espalhamento, EN 1015-3 (CEN 1999a) (Cascudo e Carasek 2007, Hendrickx 2009).

- (iii) A **coesão** é a “força que atrai, que une entre si as partículas (...) de um corpo” (Dic. da Academia das Ciências 2001). As propriedades coesivas de uma argamassa no estado fresco são bastante importantes, uma vez que é esta propriedade que mantém aglomerados unidos (agregados e ligantes), evitando a ocorrência de segregação, efeito que depois se reflete no estado endurecido. Segundo Bombed, citado por Rago e Cincotto (1999), a coesão pode ser alterada variando a superfície específica dos sólidos e a sua quantidade na mistura; a coesão no estado endurecido designa-se por tensão de resistência e poderá ser medida pelo ensaio de tração (RILEM 1982, Rago e Cincotto 1999).
- (iv) Quanto à **aderência** ao substrato, uma argamassa trabalhável permite uma fácil aplicação pelo operador, devendo portanto permanecer aderente ao paramento sem ocorrência de descolamento ou escorregamento. A RILEM (1982) propõe um método qualitativo para avaliar se a aderência inicial entre a argamassa no estado fresco e uma alvenaria de tijolo, bloco ou ladrilho, é ou não adequada; contudo, é no estado endurecido que esta propriedade é mais correntemente avaliada, através do ensaio de tração (CEN 2000).

A avaliação da trabalhabilidade das argamassas faz uso de procedimentos empíricos baseados em aspetos de natureza visual e tátil, tendo em conta o conhecimento e experiência dos profissionais envolvidos que efetuam a avaliação. De facto, a trabalhabilidade é comumente aferida com base na avaliação do trabalhador e não com base no comportamento físico do material. Esta situação leva muitas vezes a diferentes classificações, uma vez que diferentes profissionais podem divergir na classificação das propriedades para a mesma argamassa, com base na sua técnica de aplicação e sensibilidade. A RILEM (1982) efetuou um trabalho experimental, com 5 pedreiros de diferentes países, que consistia em avaliar a consistência de uma argamassa, sendo-lhes entregue o material no seu estado seco. Verificou-se que a avaliação em termos de consistência das argamassas divergia; contudo, a agilidade para trabalhar a argamassa era praticamente a mesma.

Em resumo, uma argamassa trabalhável apresenta: (i) uma consistência que permite uma fácil aplicação pelo operador no substrato; (ii) uma plasticidade tal que a argamassa, ao ser aplicada, permanece em contacto com o substrato sem que exista destacamento ou escorregamento devido à ação do seu peso próprio e mantém-se aderente; (iii) e uma coesão no estado fresco, mantendo agregados e ligantes unidos e no estado endurecido uma tensão de resistência adequada.

A caracterização de argamassas no estado fresco é bastante mais difícil e complexa de avaliar do que no estado endurecido; entrando no campo da reologia do material. O termo reologia foi introduzido pelo Professor da Universidade de Leigh, Eugene *Bingham* em 1920 (Vieira 2008). Reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento da matéria, descrevendo as relações entre força, deformação e tempo. O estudo da reologia das argamassas cimentícias já se encontra num estado de desenvolvimento avançado; porém, a nível das argamassas de terra existem ainda muito pouco estudos (Azeredo *et al.* 2008, Silva *et al.* 2013).

As argamassas incluem, em proporções adequadas, diferentes materiais, nomeadamente: ligantes, agregados e água. No estado fresco, podem ser vistas como suspensões concentradas de partículas sólidas (agregados)

num líquido viscoso (no caso a pasta ligante mais água). Assumem o comportamento de um fluido pelo que se pode aplicar assim a teoria clássica do escoamento de fluidos.

Quando estamos em presença de um fluido Newtoniano, o escoamento só existe se houver uma tensão aplicada, no caso de a tensão ser igual a zero a velocidade é praticamente nula. O fluido Newtoniano exhibe uma relação linear entre a velocidade e a tensão de corte, ou seja, apresenta uma viscosidade constante para uma dada temperatura e pressão. No entanto existem fluidos que apresentam comportamentos diferentes do Newtoniano.

Os fluidos não-Newtonianos podem apresentar-se como independentes no tempo, ou seja, as suas propriedades reológicas são autónomas ao tempo de aplicação da tensão de corte. Neste caso podemos ter os fluidos onde é necessário estabelecer uma tensão mínima para iniciar a deformação, sendo esta designada por tensão de cedência, fator importante na reologia das argamassas.

Quando estamos em presença de tensões baixas, o fluido comporta-se como um sólido. Quando o fluido consegue vencer a tensão de cedência, e apresenta uma relação linear entre a tensão e a viscosidade, é denominado de Fluido *Bingham*. Regra geral, este modelo de comportamento é o mais utilizado para descrever o comportamento reológico de argamassas (Santos *et al.* 2005).

O ensaio de escoamento (cone de Marsh) permite determinar o tempo necessário para um determinado volume de material escoar através da abertura inferior de um cone, sendo considerado um bom indicador da viscosidade. Roussel e Le Roy (2005) referem que o tempo de escoamento depende do próprio fluido (quanto maior é o tempo de fluxo, menor a fluidez, ou seja, maior a viscosidade) mas também da geometria do cone. A utilização do cone de Marsh é um dos procedimentos mais comuns para caracterizar o escoamento de pastas, mais concretamente nas caldas de injeção. É uma forma simples para aferir o comportamento reológico muito utilizada, nomeadamente em pastas de cimento (Roussel e Le Roy 2005).

Roussel e Le Roy (2005) referem que o ensaio do cone de Marsh apresenta duas limitações. Se a viscosidade for demasiado baixa, não existe uma correlação linear entre a viscosidade e a fluidez; a fluidez deixa de ser uma medida significativa do ponto de vista reológico (atendendo a uma geometria do cone segundo a norma EN 440, com uma fluidez inferior a 12 segundos). Outra limitação é quando o fluido a testar apresenta elevada tensão de cedência - o gradiente de pressão gerado pelo peso do fluido acima do tubo de saída pode não ser suficiente para a tensão de corte superar a tensão de escoamento no bocal - e o fluxo poderá não ocorrer, tornando-se inútil o ensaio no cone de Marsh.

Ferraris *et al.* (2001) realizaram ensaios reológicos em pastas de cimento de forma a validar os resultados entre um reómetro versus o ensaio do cone de Marsh, e constataram que em alguns casos para um tempo de fluxo menor não houve correspondência com uma menor viscosidade. Estes mesmos investigadores referem que é arriscado confiar no ensaio do cone de Marsh para selecionar um material tendo como exigência a sua viscosidade ou mesmo para a sua classificação, tendo em conta a total falta de correlação nos ensaios realizados. Le Roy e Roussel (2005) contestam a afirmação dos últimos investigadores referindo que o estudo efetuado não teve em conta a tensão de escoamento, que é outro parâmetro que influencia o tempo de escoamento.

No campo da trabalhabilidade das argamassas poderá ainda utilizar-se o método do *Squeeze-Flow* (Roussel *et al.* 2006, Cascudo e Carasek 2007, Hendrickx 2009). Este método baseia-se na medida do esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica do material entre duas placas paralelas, sendo tal esforço aplicado normalmente por um equipamento do tipo máquina universal de ensaios (Cascudo e Carasek 2007). Segundo os mesmos investigadores este ensaio permite a variação da tensão de corte e da intensidade das deformações, sendo, portanto, capaz de detetar pequenas alterações nas características reológicas dos materiais, de acordo com as solicitações impostas. Contudo, o único documento de referência para a caracterização reológica pelo método *Squeeze-Flow*, é a norma da Associação Brasileira das Normas Técnicas (ABNT/CB-18 2009).

Sabe-se à partida que a quantidade de água - teor em água - utilizada na amassadura de uma argamassa apresenta grande influência na trabalhabilidade. “O único meio evidente que um pedreiro tem à sua disposição para corrigir a trabalhabilidade de uma argamassa é alterando o seu teor em água” (RILEM 1982). É claro que a facilidade do operário trabalhar com a argamassa, é entendida como dependendo de um conjunto de fatores interrelacionados que conferem boa qualidade e produtividade na sua aplicação.

Estudos sobre a avaliação da influência do teor em água na trabalhabilidade em argamassas de terra são escassos, sendo este aspeto fundamental o primeiro a abordar no âmbito da formulação das argamassas. Sendo os estudos escassos e uma vez que é referido pela RILEM (1982) que o operador define o valor de espalhamento, consoante a sua habilidade e técnica, decidiu-se nesta tese efetuar a avaliação direta da trabalhabilidade pela aplicação das argamassas em paredes de taipa, com base em respostas obtidas por dois operadores. Foi depois avaliado em que medida os ensaios laboratoriais existentes para caracterização da argamassa fresca, podem ser utilizados para traduzir a trabalhabilidade das argamassas em estudo. O estudo focou os ensaios laboratoriais de consistência (por espalhamento e por penetrómetro) e escoamento (através do cone de Marsh).

2.5.2. Constituição

Sabe-se à partida que as paredes de taipa apresentam uma superfície relativamente fraca, não conseguindo suportar argamassas muito rígidas. Todas as argamassas à base de terra apresentam um aglutinante, sendo este a argila, podendo também ser adicionado um ligante mineral, como estabilizante químico. Algumas referências indicam que este poderá ser utilizado para a conservação de construções com terra, a fim de melhorar algumas das suas propriedades no que diz respeito à resistência e durabilidade.

Na literatura especializada observam-se algumas recomendações no que se refere à composição das argamassas, para paredes e taipa: Jiménez Delgado e Guerrero (2007) recomendam o uso de argamassas de terra e cal; Ashurst e Ashurst (1995) recomendam uma composição de cal e areia com um traço em volume de 1:2,5/3, usando cal em pasta; Minke (2006) refere que uma argamassa de terra deverá conter entre 5-12% de argila pura. Outros documentos da área mencionam a adição de cimento Portland para argamassas de reboco (SAZS 724 2001, New Mexico Code 2006).

Copsey *et al.* (2010) também referem que as especificações modernas para construções de terra prescrevem baixas percentagens de argila nas argamassas de terra. Contudo, segundo os mesmos investigadores, que realizaram um estudo em argamassas de terra em Inglaterra, foram encontradas argamassas com 50-60% de material fino, dos quais 20% eram argilas, em bom estado de conservação, e que desempenharam a sua funcionalidade com sucesso, garantindo longevidade. Referiram ainda que os métodos tradicionais locais provaram que estas argamassas são notavelmente duráveis e de longa duração, revelando serem estes materiais aptos para o efeito - apresentando boa permeabilidade ao vapor e boa deformabilidade para com a estrutura. A adição de areia é recorrentemente utilizada para corrigir a dosagem de argila de uma terra.

Observa-se, assim, uma abordagem incoerente no que diz respeito à melhor composição para as argamassas a utilizar em construções com terra. Contudo, grande parte dos investigadores refere que é imprópria a utilização de argamassas muito rígidas, nomeadamente cimentícias, sendo estas incompatíveis com suportes muito deformáveis, como é o caso das paredes de taipa. Porém, verifica-se que é prática corrente e até recomendando por alguns documentos - inclusive normas - a utilização de argamassas com a adição de cimento. Assim sendo, por um lado é importante contextualizar (por exemplo em termos cronológicos) estes documentos; por outro lado é importante dissecar o comportamento deste tipo de argamassas de reparação para construções de taipa não estabilizada, sem e com adição de diferentes estabilizantes. Optou-se nesta tese por utilizar como estabilizantes químicos os ligantes minerais mais correntemente utilizados em Portugal e que são nomeadamente: a cal aérea hidratada, a cal hidráulica natural e o cimento Portland; utilizou-se também o cimento natural, que não é correntemente utilizado em Portugal mas que começa agora a ser reintroduzido no campo da conservação a nível internacional (Dariusz *et al.* 2010, Gosselin *et al.* 2010). Será ainda relevante analisar argamassas com diferentes percentagens e tipos de argila.

2.5.3. Características no estado endurecido

Os requisitos básicos para argamassas de reparação de fachadas em edifícios antigos traduzem-se na opinião de Costa e Coelho (2005) nas seguintes características:

- (i) razão resistência à flexão/resistência à compressão elevada, ou seja uma ductilidade elevada;
- (ii) elevada permeabilidade ao vapor de água de modo a permitir a eliminação da água presente na parede;
- (iii) baixo coeficiente de capilaridade de modo a minimizar a infiltração de água nas zonas não fendilhadas;
- (iv) boa aderência ao suporte e preferencialmente com rotura pela argamassa;
- (v) baixo módulo de elasticidade de modo a minimizar a fendilhação por deformações do suporte ou da estrutura resistente;
- (vi) elevada capacidade de retenção de água inicial de modo a minimizar a fendilhação inicial devida a fenómenos de secagem prematura;
- (vii) razão espalhamento/água de amassadura elevada (trabalhabilidade) de modo a garantir a trabalhabilidade em fresco da argamassa sem ser necessário recorrer a quantidades excessivas de água;
- (viii) resistências mecânicas adequadas ao fim a que se destinam.

Segundo Guillaud (2008) a pouca literatura existente sugere, as seguintes propriedades mais relevantes para as argamassas, não especificando qual o tipo, no que diz respeito às aplicações na conservação dos edifícios de terra:

- (i) resistência à compressão, à flexão e ao corte;
- (ii) dureza;
- (iii) aderência (especialmente para revestimentos);
- (iv) coeficientes de expansão e contração (congelamento e descongelamento, térmica).

Regra geral as argamassas devem ser caracterizadas pela baixa absorção capilar, elevada permeabilidade ao vapor de água, para que a água permaneça pouco tempo na argamassa e seja evaporada facilmente (Groot e Hughes 2010), assim como alta flexibilidade, boa aderência e compatibilidade com o suporte (Maurenbrecher 2004, Rossi-Doria 2006).

A campanha experimental que se apresenta nesta tese visa contribuir para um melhor conhecimento das argamassas de reparação com terra. Estas argamassas serão caracterizadas no estado fresco para avaliar a sua trabalhabilidade e no estado endurecido para avaliar as seguintes características: retração, absorção de água por capilaridade, secagem, módulo de elasticidade, resistências à tração por flexão e à compressão, dureza superficial, aderência ao suporte.

É importante conhecer os fenómenos da absorção capilar e secagem nas argamassas, uma vez que estas características se apresentam com extrema relevância nesta área de investigação. Assim sendo, abordam-se estes dois fenómenos nos subcapítulos seguintes.

A velocidade de propagação por ultrassons é também abordada no último subcapítulo face à divergência de perspetivas sobre as metodologias e fiabilidade dos ensaios e resultados.

2.5.3.1 Absorção capilar

A capilaridade de um material traduz-se na capacidade de este saturar quando em contacto com água em fase líquida por forças de sucção. A progressão da água será tanto mais significativa quanto mais finos forem os capilares do material (Faria 2004), ou seja atinge-se uma maior altura mas a velocidade da água no capilar é mais baixa. A sucção capilar é uma função decrescente do teor de humidade; diminuindo rapidamente com o aumento do teor de humidade, anulando-se quando o teor de humidade do material for igual ao seu teor de humidade máximo e tendo um valor máximo quando o teor de humidade é nulo (Castro 1998).

Rato (2006) refere que o comportamento de uma argamassa à ação da capilaridade depende essencialmente das características da sua estrutura porosa ou seja, da quantidade, dimensão e conectividade dos poros.

As argamassas de terra apresentam estrutura porosa e conseqüentemente o transporte de água líquida ocorre essencialmente por capilaridade. Este fenómeno resulta da formação de interfaces curvas entre o ar contido no interior dos poros e o fluido (água). Na interface estabelece-se um gradiente de pressões designado pressão capilar (P_c), expressa na equação 2.4 e que é função da tensão superficial entre o fluido e o ar (σ), do raio capilar (r) e do ângulo de molhagem do fluido com o material (θ) - o qual resulta do equilíbrio de tensões nas interfaces sólido-líquido, sólido-ar e líquido-ar (Figura 2.11).

$$P_c = P_{ar} - P_{\text{água}} = \frac{2\sigma \cos\theta}{r} \quad [2.4]$$

A análise da capilaridade nas argamassas é avaliada a nível macroscópico determinando o coeficiente de capilaridade (A , $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$), também designado por coeficiente de absorção capilar com base no ensaio de capilaridade.

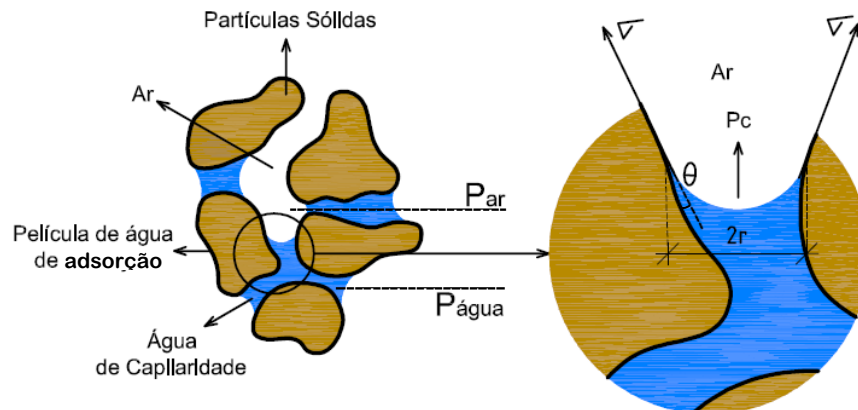


Figura 2.11. Fenómeno da capilaridade com pormenor da pressão capilar dentro de um poro capilar

As curvas de capilaridade representam graficamente a quantidade de água absorvida por unidade de superfície (kg/m^2), em ordenadas, em função da raiz quadrada do tempo decorrido ($\text{s}^{1/2}$), em abcissas. Para os materiais que possuem poros de dimensão homogénea e bem interligados, este gráfico é normalmente constituído por dois segmentos, conforme Figura 2.12. A inclinação do primeiro segmento de reta, corresponde ao coeficiente de absorção capilar ou coeficiente de capilaridade (A), que expressa a velocidade a que a grande maioria dos poros foi preenchido com água. O segundo troço, com uma tendência assintótica, correspondente ao preenchimento adicional dos restantes poros por difusão do ar através da água. O ponto de inflexão entre os dois segmentos traduz o momento em que a franja capilar atinge a superfície superior do provete (Gonçalves 2007).

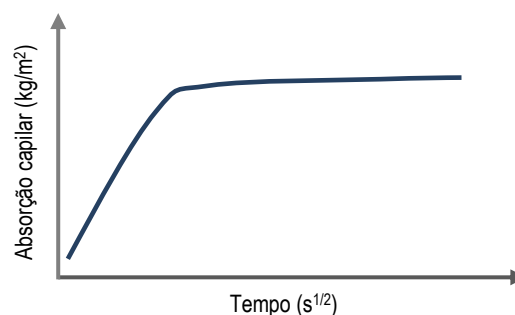


Figura 2.12. Curva típica de absorção de água por capilaridade de materiais porosos

2.5.3.2 Secagem

A secagem é a extração de um líquido (água) de um qualquer material, de forma a obter-se um material seco, por meio da transformação da água contida no material, em vapor de água seguida da libertação do vapor de água para o ambiente (Krischer citado por Castro 1998).

A secagem é um processo complexo, dependendo de: (i) fatores externos: velocidade do ar, temperatura e humidade relativa; (ii) fatores internos: teor e distribuição inicial de água, propriedades de transporte de água na fase líquida e de vapor e teor de água crítico do material.

A secagem dos materiais porosos que apresentam um comportamento higroscópico faz-se até ser atingido o teor de humidade de equilíbrio, que é função da humidade relativa do meio onde decorre a secagem.

Quando um material de construção, saturado, é colocado numa ambiência com temperatura e humidade relativa constantes, podem distinguir-se a um nível macroscópico, três fases distintas no processo de secagem (Figura 2.13). Este processo envolve o transporte de líquido até à frente húmida, a evaporação do líquido, a possível migração do vapor através do material caso a frente húmida não esteja localizada à superfície e, finalmente, a propagação do vapor no ambiente (Brito 2009).

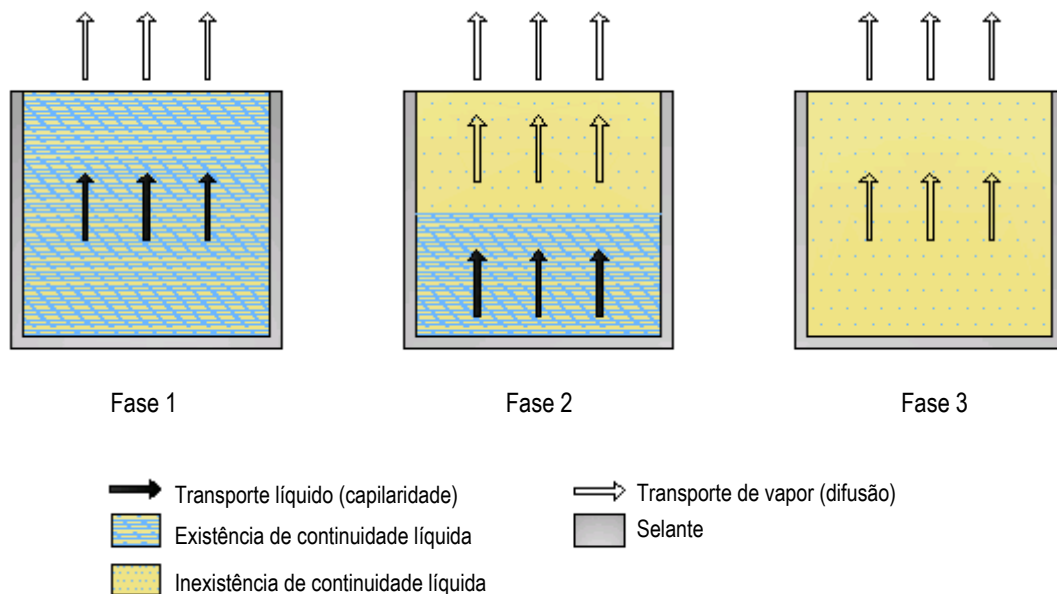


Figura 2.13. Fases do processo de secagem (Brito 2009)

De maneira a compreender as três fases no processo de secagem (Figura 2.13) considere-se um material poroso saturado. Numa primeira fase o fluxo de secagem é constante (domínio capilar). Nesta fase o transporte da água líquida, que está contida no material, faz-se do interior para a superfície do material, por intermédio das forças capilares. A quantidade de água transportada para a superfície do material é equivalente à quantidade de água na forma de vapor que o material liberta por evaporação a taxa constante, fazendo com que o teor de humidade diminua linearmente no tempo no interior do material. No interior do material a distribuição de água apresenta-se uniforme ao longo de toda a sua espessura. A evaporação ocorre à superfície, onde está

localizada a frente de secagem. A taxa de secagem nos materiais só é controlada pelas condições externas, que exercem grande influência na secagem.

A partir do instante em que a água líquida já não consegue atingir a superfície do material a uma taxa suficiente para compensar a evaporação, inicia-se a segunda fase do processo de secagem. Durante esta fase a taxa de transporte de água líquida do interior para a superfície do material vai-se reduzindo progressivamente; a frente de secagem recua para dentro do material. A evaporação passa a produzir-se não à superfície do material mas no seu interior, diminuindo progressivamente o fluxo de secagem. A posição da frente húmida depende da quantidade de água líquida transportada por capilaridade que é conduzida até à superfície do material, por difusão de vapor no espaço poroso. À medida que a frente húmida recua progressivamente, aumenta o percurso da difusão de vapor, resultando na diminuição da taxa de secagem do material. Durante esta fase no processo de secagem, uma parte do material encontra-se em domínio capilar, enquanto outra parte se encontra em domínio higroscópico. A terceira fase do processo de secagem é a fase do domínio higroscópico. Nesta fase o fluxo de secagem tende assintoticamente para zero. Esta etapa é caracterizada por uma taxa de secagem que diminui lentamente até atingir o teor de água de equilíbrio higroscópico, sendo apenas controlada pela difusão do vapor.

Durante o processo de secagem a água contida nos materiais desloca-se progressivamente dos poros maiores para os capilares mais finos, por sucção capilar.

A secagem de um material poroso pode ser avaliada através da determinação da curva de secagem (Figura 2.14), que traduz as três fases de secagem. A transição entre as duas primeiras fases corresponde ao teor de água crítico, mas o início da terceira fase é indistinto. O primeiro troço reto, que corresponde à primeira fase de secagem poderá variar entre diferentes materiais. O declive deste troço inicial da curva de secagem corresponde à taxa de secagem (TS). Gonçalves (2007) refere que diferentes rugosidades superficiais e diferentes porosidades no material conduzem a superfícies efetivas de evaporação distintas, podendo originar uma taxa de secagem diferente na primeira fase.

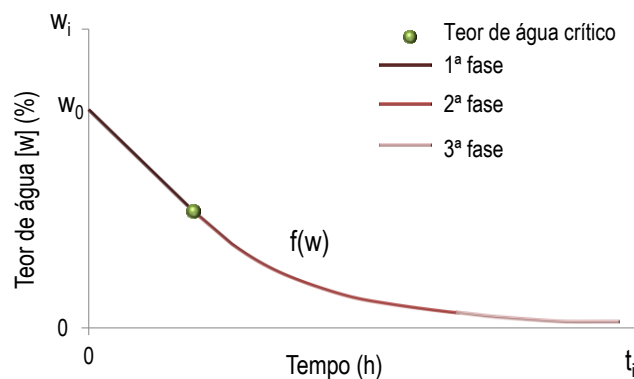


Figura 2.14. Curva típica de secagem de um material poroso

A curva de evaporação expressa a variação no tempo do teor de água. O teor de água (w_i) é dado em percentagem ponderal de massa seca (m_{seca}) do provete no instante t_i e é obtido pela equação indicada em [3.16]. O índice de secagem (IS) é uma forma quantitativa de expressar os resultados do ensaio de secagem e pode obter-se a partir da equação [3.17] (Normal 1991): sendo $f(W)$ a função que traduz o teor de água do provete, em

percentagem, em função do tempo; W_0 o teor de água inicial (%); t_i o tempo total do ensaio (h). O último parâmetro corresponde ao tempo necessário para o surgimento da assíntota horizontal no gráfico de evaporação, podendo a sua determinação não ser totalmente rigorosa.

2.5.3.3 Velocidade de propagação por ultrassons

O ensaio de determinação da velocidade de propagação por ultrassons consiste na velocidade de propagação de um impulso ultrassónico, entre dois transdutores (atravessando o material). Através deste ensaio é possível avaliar as características mecânicas, homogeneidade, presença de fissuração e outros defeitos no material (Hernández *et al.* 2002, Santos *et al.* 2003, Magalhães *et al.* 2003, ACI Committee 2007).

A velocidade de propagação por ultrassons depende não só das características do material que atravessa, mas é também influenciada por diversos fatores que podem dificultar a interpretação dos resultados. Segundo Flores-Colen *et al.* (2006) os resultados obtidos nem sempre são fáceis de compreender isoladamente, sendo normalmente necessários outros ensaios para melhor interpretação. Brito (1987) citado por Galvão (2009) refere que no ensaio de ultrassons deverão ser realizadas diversas leituras para que a avaliação se torne fiável, uma vez que os valores são muito dependentes, tanto da calibração do aparelho, como dos fatores externos que influenciam os resultados.

Assim, os fatores que influenciam a velocidade de propagação ultrassónica são:

- (i) razão água/ligante e compacidade: a relação água/ligante faz aumentar ou diminuir a porosidade do material, afetando a sua compacidade, sendo que argamassas mais porosas apresentam-se menos compactas (Hernández *et al.* 2002); um estudo realizado por Faria *et al.* (2007) refere que a velocidade de propagação da onda por ultrassons é regra geral superior nas argamassas de cimento quando comparadas com as de cal, mais porosas; materiais mais degradados, menos densos ou que apresentem uma coesão mais fraca, apresentam também valores de velocidade de propagação inferiores aos materiais compactos ou menos degradados, sendo possível detetar alterações significativas nas características dos materiais, através da variação das velocidades;
- (ii) descontinuidades no material a medir (como fissuras) fazem diminuir a velocidade de propagação das ondas, uma vez que perturbam a propagação das ondas; assim a velocidade pode refletir indiretamente o estado de conservação;
- (iii) as condições superficiais, tais como: a rugosidade, parâmetro que não deve comprometer o contacto entre os transdutores e a própria superfície; a humidade (presença de água nos espaços vazios) que altera as características do meio, ampliando o valor da velocidade de propagação dos ultrassons (Flores-Colen 2009) - caso se verifiquem variações no teor de humidade este efeito deve ser considerado, realizando medições sucessivas (Magalhães *et al.* 2003); a temperatura da superfície, sendo que a velocidade de propagação dos ultrassons tem tendência a aumentar para temperaturas inferiores a 5°C devido ao congelamento da água contida nos poros, enquanto para temperaturas superiores se dá a situação contrária (Galvão 2009); o mesmo autor cita Gomes (1995) que verificou que, para argamassas de revestimento com temperaturas de 50 °C, se dá o aumento da velocidade de propagação das ondas, em relação a uma temperatura inicial de 20 °C.

Em relação à distância entre transdutores há alguma contradição. No caso dos betões, a norma EN 12504-4 (CEN 2004) recomenda uma distância mínima entre transdutores de 100 mm para que a velocidade de propagação da onda não seja influenciada pela natureza heterogénea do material. Contudo, no caso de argamassas são utilizadas distâncias inferiores, sendo exigido pela ficha de ensaio LNEC FE Pa 43.1 (2010) a marcação de 10 intervalos de igual dimensão no caso da transmissão indireta, variáveis entre 10 mm e 20 mm, dependendo da dimensão do provete.

O ensaio de ultrassons é um método não destrutivo que auxilia à deteção da localização e avaliação da extensão de destacamentos, bem como presença de fissuras, descontinuidades, destacamentos na argamassa e vazios em elementos de construção (Hernández *et al.* 2002, Santos *et al.* 2003, Magalhães *et al.* 2003). Não obstante, há vários fatores que podem dificultar a sua utilização (Santos *et al.* 2003). Flores-Colen (2009), num estudo realizado com argamassas cimentícias confirmou a utilidade do ensaio de ultrassons para melhor caracterizar a degradação em revestimentos de fachadas. Contudo, estudos realizados por Santos *et al.* (2003) e por Gomes (1995) citado por Galvão (2009) não foram conclusivos quanto a uma possível relação entre a diminuição da velocidade de propagação das ondas e a existência de destacamentos. Os autores atribuíram os fracos resultados ao facto de ter sido utilizado o método de transmissão indireto. Neste caso a medição pode eventualmente não ser afetada por anomalias locais em profundidade nas argamassas, dependendo do número de camadas e da espessura do revestimento.

O ensaio de ultrassons pode ainda avaliar a capacidade de deformação do material, pois permite medir o módulo de elasticidade dinâmico uma vez que a propagação das ondas ultrassónicas depende das propriedades elásticas do meio. A velocidade de propagação das ondas será maior quanto maior for o módulo de elasticidade dinâmico.

2.6. SÚMULA

É importante reparar as anomalias nas paredes de taipa que ocorrem durante a vida útil do edifício, a fim de evitar a deterioração contínua da parede e restabelecer a sua proteção. Para uma intervenção apropriada é necessário que exista compatibilidade entre a argamassa de reparação e o substrato. Para tal é fundamental, antes de qualquer intervenção, compreender as causas de degradação, assim como o método construtivo e as características dos materiais utilizados.

Um dos primeiros problemas surge na escolha da terra para executar a taipa. Os limites naturais e ótimos para as propriedades da terra são identificados em regulamentos, normas e por muitos autores da especialidade. Porém não existe unanimidade sobre quais as propriedades e características mais relevantes para a terra a utilizar na taipa, de maneira a planear e conceber corretamente atos de construção e intervenções de reparação. É imprescindível enquadrar esta técnica no panorama a nível nacional com a implementação de legislação, de forma a criar regulamentação adequada às necessidades características de Portugal.

Os procedimentos para a utilização da terra ainda não foram suficientemente adaptados para os fins da conservação, preservação e reparação das construções com terra. Surgem dúvidas quando se interpretam os

documentos da especialidade, verificando-se uma abordagem incoerente no que diz respeito ao material e respetivas adições que devem ser utilizadas nas argamassas de reparação. Julgou-se assim importante avaliar vários tipos de argamassas de reparação, com vários tipos de adições, analisando o seu comportamento após aplicação em suportes de taipa. Considerou-se necessário ainda sujeitá-las a ensaios de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de secagem/molhagem - pois a ação da água é uma das mais gravosas neste tipo de construção. Estes aspetos foram desenvolvidos na campanha experimental desta tese.

3

PROCEDIMENTOS DE ENSAIO ADOTADOS

Neste capítulo descrevem-se os procedimentos de ensaio seguidos ao longo do estudo, nomeadamente os ensaios sobre o material recolhido em obra e as argamassas no estado fresco e endurecido.

3.1. INTRODUÇÃO

Na campanha experimental desta tese procedeu-se à recolha do material - terra não estabilizada - constituinte das paredes de taipa de edifícios existentes (seis estudos de caso). Essas terras foram depois caracterizadas, a fim de se avaliar as respetivas propriedades. Três delas foram posteriormente utilizadas para a execução de blocos de taipa. Nestes blocos foram simulados dois tipos de degradação, superficial e mais profunda. Os blocos ficaram em cura durante um período de vinte meses. Com as mesmas três terras foram realizadas argamassas, designadas pelo nome do respetivo estudo de caso a partir de onde foram obtidas. Para a realização das argamassas utilizou-se também uma terra argilosa comercial (designada por terra-padrão). Sempre que foi considerado necessário, para redução da retração, as argamassas foram estabilizadas com uma areia grossa. As argamassas de terra comercial foram utilizadas para avaliação da influência da água na trabalhabilidade, bem como da incorporação de baixas percentagens de ligantes minerais e de uma fibra vegetal. Para além de caracterizadas individualmente, as argamassas foram aplicadas e avaliadas na reparação das simulações de degradação dos blocos de taipa. Por fim o conjunto bloco-argamassa foi sujeito a envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem.

Os ensaios realizados sobre a terra colhida em obra, sobre a argila comercial, a areia, os ligantes, a fibra vegetal, e sobre as argamassas no estado fresco e endurecido foram de cariz laboratorial, tirando partido de equipamentos específicos de ensaio e recorrendo, sempre que possível, a procedimentos normativos, de forma a conferir aos resultados os níveis viáveis de credibilidade, comparabilidade e rigor pretendidos. Porém, nem sempre foi possível seguir totalmente os procedimentos de ensaio definidos na literatura, que não são em geral direcionados para materiais de terra, não sendo em muitos casos facilmente aplicáveis a este tipo de material, devido à baixa resistência mecânica e sensibilidade à ação da água. Nos casos em que foi necessário adaptar o procedimento de ensaio original, as alterações foram definidas com base em ensaios preliminares e à adaptação dos protocolos de ensaio, estando estes devidamente registados nas secções que se seguem.

Para a realização da campanha de ensaios sobre o material colhido em obra (secção 3.2), foram utilizadas amostras colhidas "in situ", em paredes de taipa de cada um dos seis estudos de caso, sendo os procedimentos descritos na secção 4.4.1. Os ensaios sobre as argamassas no estado fresco e no estado endurecido foram realizados com material preparado em laboratório e apresentam-se descritos nas secções 3.3 e 3.4, respetivamente. Assim, com base no já exposto é de referir que alguns ensaios foram adaptados aos procedimentos de ensaio, sendo nomeadamente os ensaios de retração linear e volumétrica, absorção de água por capilaridade, secagem, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e compressão.

Os procedimentos do ensaio relacionados com a análise visual e o envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem, procedimentos de ensaio estabelecidos no âmbito desta tese, foram efetuados sobre os blocos de taipa com as aplicações das argamassas de reparação, serão abordados mais tarde, nas secções 7.3 e 7.5, respetivamente.

Todos os ensaios realizados na campanha experimental, e respetivas normas, podem ser visualizados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Ensaio realizados na campanha experimental

Ensaio de caracterização	Material/condições	Ensaio	Norma
Materiais	Terra recolhida nos estudos de caso	Caracterização mineralógica por difratometria de raios X	Veiga <i>et al.</i> (2004)
		Análise granulométrica	E196 (LNEC 1966a) e E239 (LNEC 1970)
		Limites de consistência	NP 143 (LNEC 1969)
		Ensaio de compactação	E197 (LNEC 1966c)
		Retração linear (60 cm × 4 cm × 4 cm)	Walker e Australia (2001)
		Teor de matéria orgânica	D2974-07 (ASTM 2007)
		Teor de sais	Humidade higroscópica (HMC) (Gonçalves 2007)
		Baridade seca "in situ"	E205 (LNEC 1967)
	Terra utilizada nas argamassas	Baridade	NP EN 1097-3 (IPQ 2002)
Argamassas frescas	Argamassa	Massa volúmica	EN 1015-6 (CEN 1998b)
	Argamassa	Consistência por espalhamento	EN 1015-3 (CEN 1999a)
	Argamassa	Consistência por penetrómetro	EN 1015-4 (CEN 1998a)
	Argamassa	Escoamento	NP EN 445 (IPQ 2000)
	Suporte/argamassa	Avaliação direta da trabalhabilidade	Procedimento estabelecido no âmbito desta tese, descrito na secção 6.2.4
Argamassas endurecidas	Molde 30 cm × 3 cm × 3 cm	Retração linear e volumétrica	Keable (1996)
	Cubos 5 cm × 5 cm × 5 cm	Absorção de água por capilaridade	N.º II.6 da RILEM (RILEM 1980a)
		Secagem	N.º II.5 da RILEM (RILEM 1980b)
	Prismas 16 cm × 4 cm × 4 cm	Módulo de elasticidade dinâmico	NP EN 14146 (IPQ 2006a)
		Resistência à tração por flexão e compressão	EN 1015-11 (CEN 1999b)
	No suporte	Dureza superficial	D2240-05 (ASTM 2010)
Velocidade de propagação por ultrassons		Pa 43-1 (LNEC 2010)	
Suporte/argamassa de reparação	Suporte/argamassa	Análise visual	Procedimento estabelecido no âmbito desta tese, descrito na secção 7.3
	Suporte/argamassa	Ensaio de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem	Procedimento estabelecido no âmbito desta tese, descrito na secção 7.5

3.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais de terra colhidos em seis estudos de caso de edifícios com paredes de taipa foi efetuada de acordo com os ensaios e procedimentos mais relevantes, em conformidade com a análise apresentada na secção 2.3.

3.2.1. Caracterização mineralógica

A caracterização mineralógica dos materiais de terra colhidos nos seis estudos de caso foi efetuada por difratometria de raios X (DRX), com base no procedimento descrito em Veiga *et al.* (2004).

As amostras de terra são previamente secas a 40°C até massa constante (quando a diferença entre pesagens realizadas com um intervalo de 24 horas é inferior a 0,1% da massa seca). Os torrões são depois fragmentados com um martelo de borracha e a seguir peneirados através do peneiro com abertura de 106 µm (peneiro n.º 140 da escala ASTM), conforme se visualiza na Figura 3.1, à esquerda. Do material que passa no peneiro, recolhe-se uma amostra aleatória com 2 g de material, a qual é colocada no porta-amostras do equipamento (Figura 3.1, ao centro) e compactada. Seguidamente o porta-amostras é inserido dentro do difractor (Figura 3.1, à direita). O correto posicionamento do porta-amostras e a compactação da amostra (para que não existam espaços vazios) são fatores importantes, para evitar erros na leitura do difractor.

Foi utilizada a radiação $K\alpha$ do cobalto produzida por uma unidade de difração de raios X, nas seguintes condições de ensaio: varrimento entre 3° e 74° (2θ); velocidade de varrimento de 0,05 °/s (2 θ /s); tensão e corrente de filamento, respetivamente, de 35 kV e 45 mA.

Com base nos registos difratométricos de raios X obtidos (difratogramas) são identificados os componentes cristalinos presentes na amostra, por comparação com difratogramas-padrão.

As análises por DRX e a interpretação dos difratogramas foram realizadas no Núcleo de Materiais Metálicos do Departamento de Materiais do LNEC após utilização do equipamento *X Philips X'PERT*.



Figura 3.1. Sequência de trabalhos para a caracterização mineralógica efetuada por difratometria de raios X: à esquerda, peneiração da amostra; ao centro, introdução da amostra no porta amostras; à direita, equipamento utilizado *X Philips X'PERT*

3.2.2. Análise granulométrica

Os ensaios laboratoriais utilizados para determinação da curva granulométrica foram a peneiração por via húmida, peneiração por via seca e sedimentação. A peneiração por via húmida, apresenta resultados mais rigorosos do que a peneiração por via seca em termos das percentagens dos diferentes tamanhos das partículas de um solo. Assim, a distribuição granulométrica dos materiais grossos foi obtida através do processo de peneiração por via húmida, e para materiais finos utilizou-se o processo de sedimentação dos sólidos no meio líquido. Seguiram-se os métodos indicados nas Especificações LNEC E196 (LNEC 1966a) e E239 (LNEC 1970),

respetivamente análise granulométrica por peneiração húmida da fração grossa (pedras, cascalho e areias) e sedimentação da fração fina (silte e argila).

O material foi previamente preparado de acordo com a Especificação E195 (LNEC 1966b). Esta especificação define o tamanho da amostra a utilizar em função do tamanho máximo das partículas. Como exemplo, para um material em que a máxima dimensão da partícula é de 50,8 mm, são necessários 4000 g de material retido no peneiro de 2 mm (n.º 10 ASTM).

O processo de peneiração da fração grossa (E196 LNEC 1966a) divide-se em peneiração grossa - partículas superiores a 2 mm (n.º 10 ASTM) - e peneiração fina - partículas inferiores a 2 mm mas superiores a 0,075 mm (n.º 200 ASTM). Em qualquer dos casos, o método da peneiração assenta na determinação da massa do material retido em cada peneiro.

O material retido no peneiro de 2 mm é lavado, seco na estufa e pesado. Posteriormente é passado por uma série de peneiros normalizados, começando pelo peneiro de malha mais larga.

O material que passa no peneiro de 2 mm é colocado num copo de precipitação, adicionando uma solução de hexametáfosfato de sódio, com o objetivo de proceder à dispersão da fração argilosa. Após uma hora, coloca-se o material no peneiro de 0,075 mm (n.º 200 ASTM), onde é lavado por um jato de água, desprezando-se o material fino passado neste peneiro (argilas e siltes). O material que ficou retido no peneiro de 0,075 mm, após seco e pesado, faz-se passar por uma série de peneiros normalizados de malha com dimensões decrescentes, começando no peneiro de 2 mm (n.º 10 ASTM) até ao de 0,075 mm (n.º 200 ASTM).

O processo de sedimentação (E 239 LNEC 1970) incidiu apenas sobre as partículas menores que 0,075 mm (passadas no peneiro n.º 200 ASTM). O cálculo do diâmetro equivalente é efetuado a partir dos resultados obtidos durante a sedimentação dos sólidos em meio líquido. As partículas em suspensão na água tendem a cair a diferentes velocidades, de acordo com a sua densidade e dimensão. Durante o processo são efetuadas medições em intervalos de tempo definidos pela especificação, utilizando um densímetro. Para a determinação de um dos parâmetros na lei de Stokes é necessário determinar a densidade das partículas (G), sendo este valor medido através da NP 83 (1965).

Os resultados obtidos da análise granulométrica são registados num gráfico, que se designa por curva granulométrica. Esta curva traduz a distribuição da dimensão das partículas: em cada ponto, a abcissa corresponde à dimensão das partículas (em mm), em escala logarítmica, e a ordenada corresponde à percentagem (em massa) acumulada de material passado no peneiro com essa dimensão, ou seja, à percentagem de material com dimensão igual ou inferior a essa.

Para a classificação de um solo, nesta tese, utiliza-se o triângulo de Feret (LNEC E219 1968), tendo em conta a curva granulométrica obtida em laboratório e a percentagem de cada fração. A fração predominante dará o nome ao solo, que será adjetivado pela fração imediatamente inferior em termos percentuais. Esta designação do solo deve ser tomada com algum cuidado, uma vez que as frações preponderantes nem sempre ditam o comportamento de um solo.

3.2.3. Limites de consistência

O limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP) foram determinados em conformidade com a NP 143 (LNEC 1969). Os ensaios são realizados com a fração de solo que passa no peneiro de 0,42 mm (n.º 40 ASTM). O LL corresponde ao teor de humidade acima do qual o solo altera o seu comportamento de plástico para líquido. Uma pasta de solo com determinado teor de humidade é colocada na concha de Casagrande e é executado um sulco com um riscador normalizado, que separa a amostra de solo em duas metades iguais. Através do mecanismo do equipamento, faz-se subir a concha a uma altura de 1 cm, da qual é deixada cair livremente. O limite de liquidez é o teor de humidade para o qual o sulco padrão é fechado numa extensão de 1 cm, após vinte e cinco pancadas.

O LP representa o teor em água abaixo do qual não é possível moldar o solo. Para a sua determinação é necessário transformar uma pasta de solo num filamento cilíndrico com cerca de 3 mm de diâmetro, por rolagem entre a palma da mão e uma placa de vidro. O LP corresponde ao teor de água que o solo deve ter para que a rotura do filamento se verifique ao atingir o diâmetro especificado, determinando-se a média dos teores de água em quatro porções de solo. Quando não é possível determinar o limite de plasticidade, ou seja, não se consegue moldar o solo num filamento cilíndrico, por este conter um baixo teor de argila, o solo é “não plástico (NP)”.

3.2.4. Ensaio de compactação Proctor

O ensaio de compactação foi efetuado segundo a Especificação E197 (LNEC 1966c), servindo para determinar a relação entre o teor de água na compactação e a baridade seca dos solos. O ensaio passa pela aplicação de uma carga pré-definida sobre o solo com determinado teor de humidade, tendo como objetivo diminuir o volume e conseqüentemente o índice de vazios, para se atingir a máxima baridade. A compactação da amostra de solo é efetuada num molde cilíndrico, sendo o processo repetido pelo menos quatro vezes (de preferência cinco) para diferentes teores de água. Calcula-se a baridade seca do solo no fim do processo de compactação, com base na determinação do teor de água de três porções de solo retiradas do provete com cada um dos quatro ou cinco teores de água definidos. Sendo a baridade seca do solo o quociente entre a baridade húmida (quociente entre a massa do provete (g) pela capacidade do molde utilizado (cm³)) e o teor em água do solo.

Os pares de valores obtidos (teor de água, baridade seca) permitem desenhar a curva de compactação, a partir da qual é possível determinar a baridade seca máxima (γ_d^{\max}). O teor de água que corresponde à baridade seca máxima é o teor de água ótimo (TAO).

No ensaio utilizou-se um molde de aço cilíndrico com 101,6 mm de diâmetro interior e 116,4 mm de altura. A compactação foi realizada com um peso de 2,447 kg (compactação leve ou Proctor normal) que cai a partir de uma altura normalizada de 304,8 mm. A amostra tem um total de 3 camadas. Cada camada tem aproximadamente 2,3 kg de material que passou no peneiro de 4,75 mm (n.º 4 ASTM), sendo compactada 25 vezes, segundo a especificação.

3.2.5. Retração linear

Para a determinação da retração linear seguiu-se o chamado método de Alcock. O procedimento de ensaio foi conforme Walker e Australia (2001) com algumas alterações. Foram construídos moldes em contraplacado marítimo, com dimensões internas de 60 cm × 4 cm × 4 cm. Antes de cada utilização, as superfícies internas do molde foram ligeiramente lubrificadas com óleo descofrante, a fim de impedir a aderência do solo, o que poderia limitar a sua retração, tal como observado numa série de ensaios preliminares que tinham sido efetuados.

Segundo o procedimento de ensaio referido por Walker e Australia (2001) a fracção granulométrica deveria apresentar uma dimensão inferior a 6 mm (ver secção 2.3.5), assim o ensaio foi realizado sobre a fracção que passou no peneiro 6,30 mm (n.º 1/4" ASTM). Em cada molde foi colocada uma amostra de solo com 2,0-2,5 kg, enchendo-se sempre cinco moldes (provetes) para cada tipo de material. Os moldes foram preenchidos em três camadas com um teor de água ótimo (valores determinados no ensaio de compactação, secção 3.2.4). Cada camada era compactada ligeiramente em toda a sua superfície com um maço de plástico, para libertar o ar existente, sendo a última camada nivelada à altura máxima do molde com a ajuda de uma espátula, removendo o excesso de solo.

No procedimento de Walker e Australia (2001), o molde preenchido deve ser exposto à luz solar direta durante 3 a 7 dias, para secagem. Considerando-se contudo que este procedimento poderia conduzir a resultados pouco repetíveis devido às variações da radiação solar e também porque, sendo pleno inverno, seria de difícil aplicação prática, sendo necessário introduzir algumas modificações. Assim, a secagem foi realizada em estufa ventilada a 30°C até massa constante, isto é, até que a perda de massa durante um intervalo de 24 horas fosse inferior a 0,1% da massa seca, tendo como vantagem a realização do ensaio de uma forma controlada.

A retração linear, L_L , é calculada utilizando a expressão [3.1]:

$$L_L = \frac{L_{molde} - L_{solo\ seco}}{L_{molde}} \times 100 \quad [\%] \quad [3.1]$$

onde L_{molde} é o comprimento interno do molde, que corresponde ao comprimento inicial do provete de solo, e $L_{solo\ seco}$ é o comprimento final do provete de solo seco, ou seja, após a retração ocorrida durante a secagem. Se o provete de solo seco se apresentar quebrado, é necessário juntar e alinhar os fragmentos, de forma a poder medir corretamente o seu comprimento total. O valor final da retração linear (L_L) é o resultado da média aritmética dos cinco ensaios realizados com o mesmo material.

3.2.6. Teor de matéria orgânica

A determinação do teor de matéria orgânica dos solos foi efetuada pela técnica da calcinação, segundo a norma ASTM D2974-07 (2007). Tiveram de ser introduzidas algumas alterações ao procedimento original devido aos grandes agregados presentes em algumas amostras, a fim de permitir o ensaio de amostras relativamente pequenas, compatíveis com a dimensão da mufla. O protocolo foi também adaptado para diferenciar a matéria

orgânica de maior tamanho (pequenos paus e raízes), que foi encontrada nos solos da edificação de dois estudos de caso (Pá Danado e Colos).

O procedimento experimental foi o seguinte:

- (i) para cada um dos estudos de caso, foi recolhida aleatoriamente uma porção de solo com 2-3 kg;
- (ii) o material foi seco em estufa a $100 \pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante e a sua massa total (M_T) foi registada;
- (iii) o ensaio foi efetuado numa sala com ambiente controlado ($T=20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $HR=50 \pm 5\%$), para evitar ganho de humidade pela matéria orgânica;
- (iv) toda a matéria orgânica visível maior do que 10 mm (pequenos paus e raízes, na maior parte) foi removida e a sua massa total ($M_{\text{visível}}$) registada; a percentagem de matéria orgânica visível ($MO_{\text{visível}}$) em relação à massa total do provete é dada por [3.2]:

$$MO_{\text{visível}} = 100 \times \frac{M_{\text{visível}}}{M_T} \quad [\%] \quad [3.2]$$

- (v) o solo foi desagregado com um martelo de borracha e posteriormente peneirado utilizando um peneiro com abertura de 9,52 mm (n.º 3/8" ASTM), determinando-se a massa do material passado (M_{passado});
- (vi) o material passado no peneiro foi então sucessivamente dividido através de um repartidor de aberturas múltiplas de 13 mm, até produzir porções com aproximadamente 200 g (massa de cada provete, M_{200g});
- (vii) o teor de matéria orgânica de cada uma destas amostras foi então determinado por calcinação, de acordo com o procedimento da norma ASTM D2974-07 (2007); foram utilizados cinco provetes para cada um dos estudos de caso; os provetes foram colocados em cápsulas individuais de porcelana, previamente taradas e depois colocadas na mufla; a temperatura da mufla foi elevada gradualmente ao longo de um período de 2 horas, até atingir os $440 \pm 22^\circ\text{C}$, sendo assim mantida até a totalidade da matéria orgânica estar completamente incinerada, isto é, até não ocorrer nenhuma variação da massa num intervalo de pelo menos 1 hora, à temperatura máxima; posteriormente o material arrefeceu em exsiccador e a sua massa calcinada (M_{200gC}) foi determinada;
- (viii) a percentagem total de matéria orgânica de pequena dimensão presente em cada uma das amostras individuais ($MO_{\text{pequeno-ind}}$) é dada por [3.3]:

$$MO_{\text{pequeno-ind}} = 100 \times \frac{(M_{200g} - M_{200gC})}{M_{200g}} \quad [\%] \quad [3.3]$$

- (ix) a percentagem total de matéria orgânica de pequena dimensão (MO_{pequeno}) no material passado no peneiro 9,52 mm (n.º 3/8" ASTM), corresponde à média aritmética dos valores individuais ($MO_{\text{pequeno-ind}}$) obtidos para os cinco provetes;
- (x) a percentagem de matéria orgânica de pequena dimensão presente na amostra inicial (de massa total - M_T) [3.4] é dada por:

$$MO_{peq-MT} = MO_{pequeno} \times \frac{M_{passado}}{MT} \quad [\%] \quad [3.4]$$

(xi) o teor total de matéria orgânica (MO) em cada solo é calculado pela soma dos valores obtidos para a matéria orgânica de pequena dimensão presente na amostra inicial e da matéria orgânica visível, de acordo com [3.5]:

$$MO = MO_{peq-MT} + MO_{visível} \quad [\%] \quad [3.5]$$

3.2.7. Teor de sais

O teor de sais dos materiais foi avaliado por meio da determinação do teor de humidade higroscópica (HMC) (Gonçalves e Rodrigues 2006, Gonçalves *et al.* 2006, Gonçalves 2007). Note-se que em amostras, como as atuais, em que o tipo de sal que possa estar presente é desconhecido, o método do HMC apenas permite uma avaliação em termos aproximados. Contudo, face à facilidade e baixo custo que o método apresenta considerou-se uma alternativa apropriada aos objetivos deste trabalho.

Os materiais para este ensaio foram previamente passados através do peneiro de 2 mm (n.º 10 ASTM). De seguida, cinco amostras com cerca de 2 g foram extraídas aleatoriamente do material de cada um dos seis estudos de caso. Os provetes foram colocados em recipientes individuais, caixas de *petri* de vidro sem tampa com cerca de 10 cm de diâmetro. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa, até massa constante, sendo então determinada a massa seca (M_{seca}). Posteriormente as amostras foram colocados numa câmara climática à temperatura (T) de 20°C e humidade relativa (HR) de 96%.

As amostras foram periodicamente pesadas até que o equilíbrio higroscópico fosse alcançado, ou seja, quando a massa fosse constante ao longo do tempo ($M_{húmida}$). A duração total do ensaio é variável, dependendo do tipo e quantidade de sal existente. O teor de humidade higroscópica é dado pela expressão [3.6], onde M_{seca} é a massa seca da amostra e $M_{húmida}$ é a massa quando o equilíbrio higroscópico é atingido.

$$HMC = 100 \times \frac{M_{húmida} - M_{seca}}{M_{seca}} \quad [\%] \quad [3.6]$$

Duas amostras de cloreto de sódio (NaCl), com cerca de 0,5 g cada, serviram de referência, sendo ensaiadas em simultâneo com as dos materiais em análise. O HMC destas amostras de referência (HMC_{NaCl}) permite a determinação da humidade relativa que efetivamente existe na câmara climática durante o ensaio (admitindo uma temperatura de 20°C), atendendo a que a higroscopicidade se deve na sua totalidade à presença de sais:

(i) a molalidade, m (mol/kg), da solução que se forma no equilíbrio higroscópico é calculada pela expressão [3.7], onde M_{sal} é a massa molar do sal (sendo a massa molar do NaCl igual a 0,05844 kg/mol);

$$m = \frac{100}{HMC_{NaCl} \times M_{sal}} \quad [mol / kg] \quad [3.7]$$

- (ii) a atividade da água, a_w , de uma solução de NaCl com molalidade, m , é obtida a partir de uma tabela de parâmetros termodinâmicos para soluções eletrolíticas a 20°C (Robinson e Stokes 2002), que fornece os valores de a_w para diferentes molalidades;
- (iii) a HR efetiva na câmara climática corresponde ao valor percentual de a_w , ou seja, $HR \equiv 100 \times a_w$.

A avaliação do teor de sal das amostras foi efetuada a partir do HMC das próprias amostras, utilizando como referência o teor de sal que as amostras conteriam se estivessem contaminadas com um único sal. Esta estimativa foi realizada para dois sais distintos - NaCl e Na₂SO₄ - que são, respetivamente, um dos mais e um dos menos higroscópicos sais solúveis normalmente encontrados em paredes. Por conseguinte, existe uma probabilidade razoável de que os valores obtidos para estes teores hipotéticos de NaCl e Na₂SO₄ correspondam ao limite inferior e superior, respetivamente, da possível gama de teores de sal dos materiais.

A estimativa do teor de NaCl e Na₂SO₄ foi realizada de maneira diferente uma vez que, para o NaCl, o HMC das amostras de referência pode ser utilizado como uma medida direta.

O HMC de materiais contaminados com sal varia linearmente com o seu teor de sal (Gonçalves e Rodrigues 2006). Assim o teor hipotético de NaCl pode ser diretamente calculado por uma regra de proporção simples, considerando:

- (i) o HMC de uma amostra com 100% de sal (a média dos valores de HMC obtidos para as amostras de referência);
- (ii) o HMC de uma amostra com 0% de sal, que, como simplificação, é assumido como sendo zero.

Para o Na₂SO₄, a estimativa do teor de sal foi efetuada com base em valores tabelados de parâmetros termodinâmicos. Uma vez que não estavam disponíveis valores da atividade da água (a_w) de soluções aquosas de Na₂SO₄, teve de ser usada outra grandeza termodinâmica, o coeficiente osmótico (Robinson e Stokes 2002). O coeficiente osmótico, Φ , está relacionado com a_w pela equação [3.8]:

$$\ln(a_w) = -M \times v \times m \times \Phi \quad [3.8]$$

onde v é o coeficiente estequiométrico, um parâmetro que expressa o número de moles de iões produzidos quando uma mole de moléculas de soluto é dissociado ($v=3$ para o Na₂SO₄).

Os valores de Φ fornecidos na tabela para cada molalidade, m , são convertidos em valores de a_w , através da equação [3.8]. Em seguida, o valor de a_w que corresponde à HR real na câmara é usado para obter, por interpolação linear, o respetivo valor de m . Com o valor de m e da massa molar M do Na₂SO₄ (que é 0,14205 kg/mol), o HMC de uma amostra com um teor em 100% de Na₂SO₄ é calculada por meio da equação [3.9].

$$HMC = \frac{100}{m.M} [\%] \quad [3.9]$$

Finalmente, o teor de Na₂SO₄ de cada amostra de solo é obtido através de uma regra de proporção, assumindo que o HMC de uma amostra com um teor em 0% de Na₂SO₄ é zero.

3.2.8. Baridade das taipas locais

Para a determinação da baridade seca da taipa dos estudos de caso adaptou-se a técnica experimental da Especificação E205 (LNEC 1967), sujeita a algumas alterações.

Foi possível colher algumas amostras de taipa coesas, mas estas apresentavam-se bastante irregulares. Dado que os materiais a utilizar nos blocos de taipa apresentam dimensões inferiores a 12,5 mm (secção 5.3) e as amostras poderiam apresentar material superior a esta dimensão, era importante caracterizar corretamente a baridade, ou seja, incluindo só o material com fração inferior a esta dimensão. Optou-se assim, por realizar o ensaio com provetes de diferentes massas, para cada estudo de caso:

- (i) provetes pequenos: com uma massa entre 150 - 200g;
- (ii) provetes grandes: com uma massa entre 350 - 400g.

Foram efetuados três ensaios, quer para os provetes pequenos, quer para os grandes. Cada ensaio é composto pelo conjunto de três provetes, Figura 3.2.



Figura 3.2. Metodologia de ensaio para determinação da baridade seca: à esquerda, provete mergulhado em parafina derretida; ao centro, caixas de petri de vidro, cada uma contendo material para um ensaio; à direita, provetes numa proveta graduada com água

O procedimento experimental foi o seguinte:

- (i) os provetes de terras retirados das paredes de taipa na forma de blocos (e não em terra solta) foram limpos, removendo todo o material solto existente;
- (ii) foram secos em estufa a uma temperatura de 100 ± 5 °C, até massa constante, e deixados a arrefecer durante pelo menos duas horas em exsiccador, anotando-se a sua massa (m_1);
- (iii) seguidamente os provetes foram repetidamente mergulhados em parafina derretida ($\gamma_m = 0,88$ g/cm³) até completo envolvimento; após secos, foi registada a sua massa (m_2);
- (iv) os provetes foram, um de cada vez - no total de três -, introduzidos numa proveta graduada com água, anotando-se a conseqüente variação de volume (V_1).

A baridade seca (γ_d) é dada pela equação [3.10] e corresponde à média aritmética dos três ensaios, quer para os provetes pequenos, quer para os grandes.

$$\gamma_d = \frac{m_1}{V_1 - \frac{m_2 - m_1}{\gamma_m}} \quad [kg / m^3] \quad [3.10]$$

3.2.9. Baridade dos materiais granulares

A baridade dos materiais granulares (ρ_b) define-se pelo quociente entre a massa do material seco, preenchendo sem compactação um dado recipiente, pelo volume por este ocupado nesse recipiente.

A baridade dos materiais granulares foi determinada em conformidade com a NP EN 1097-3 (IPQ 2002). Este ensaio foi realizado para três das terras colhidas em obra (Avis, Pá Danado e Val Chaim), a terra-padrão, os ligantes minerais, a areia grossa e ainda para as fibras vegetais (fibras de cânhamo).

Para os materiais que apresentam como máxima dimensão 4 mm, como é o caso dos materiais utilizados na presente tese, o recipiente cilíndrico normalizado estanque e em metal inoxidável tem de apresentar uma capacidade de 1 litro (V). Para materiais com dimensão superior a 4 mm a capacidade do recipiente é também superior.

O recipiente é pesado (m_1) e seguidamente cheio até transbordar com o material que tinha sido previamente seco em estufa à temperatura de 110 ± 5 °C, até massa constante. A sua superfície é nivelada com uma espátula metálica, removendo o excedente e é realizada nova pesagem (m_2) do conjunto recipiente e material.

A baridade dos materiais granulares, ρ_b , [3.11] corresponde à média aritmética dos valores individuais obtidos para cada um dos três ensaios realizados com o mesmo material.

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [Kg / m^3] \quad [3.11]$$

3.3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS FRESCAS

3.3.1. Massa volúmica

A massa volúmica aparente (ρ_m) de um material é dada pelo quociente entre a sua massa e o volume que ela ocupa. Esta propriedade das argamassas foi determinada pelo procedimento descrito na norma EN 1015-6 (CEN 1998b).

Utilizou-se um recipiente de aço inox com volume e massa conhecidos ($V = 1$ litro; $m_1 = 599$ g). O recipiente é preenchido até cerca de metade do seu volume. O conjunto do recipiente e argamassa são deixados cair 10 vezes sobre uma superfície rígida, em lados alternados. Seguidamente o recipiente é cheio na sua totalidade e é repetido o processo de compactação. O topo do recipiente é rasado com a ajuda de uma espátula, para remover o excesso de argamassa. Determina-se a massa do recipiente preenchido, m_2 (g), e é calculada a massa

volúmica aparente, ρ_m , pela equação [3.12]. São realizadas duas determinações da massa volúmica aparente por amassadura. O resultado final é dado pela média aritmética dos dois ensaios.

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [Kg / m^3] \quad [3.12]$$

3.3.2. Consistência por espalhamento

O ensaio da consistência por espalhamento é um dos ensaios mais utilizados para avaliar as características das argamassas no seu estado fresco e foi realizado através do procedimento descrito na norma EN 1015-3 (CEN 1999a) e respetivos aditamentos.

O ensaio consiste em colocar um molde tronco-cónico centrado na mesa de espalhamento, que se enche com a argamassa fresca até cerca de metade da sua capacidade; compacta-se a argamassa com 10 pancadas com um pilão de plástico, para eliminação de vazios. Seguidamente é preenchido o resto do molde com argamassa em excesso e esta é novamente compactada com mais 10 pancadas. O material em excesso é rasado ao nível do topo do molde. Retira-se o molde e a amostra é submetida à ação de 15 pancadas, obtidas por quedas sucessivas da mesa de espalhamento, durante 15 segundos (1 pancada/s). Em resultado das pancadas, a argamassa tende a espalhar-se na mesa. Com o auxílio de uma craveira, são medidos dois diâmetros ortogonais e o espalhamento corresponde à média dos diâmetros. São efetuados dois ensaios de espalhamento por amassadura e o resultado final é dado pela média aritmética dos dois ensaios.

3.3.3. Consistência por penetrómetro

O ensaio de consistência por penetrómetro foi efetuado com base no procedimento descrito na norma EN 1015-4 (CEN 1998a).

O ensaio consiste em preencher um recipiente normalizado com a argamassa fresca, em 2 camadas, cada uma compactada com 10 pancadas com um pilão de plástico, para eliminação de vazios. Seguidamente a argamassa em excesso é removida e é colocado o recipiente na base do penetrómetro. Este equipamento é constituído por uma haste vertical, na base da qual está fixo um êmbolo com determinada massa. A haste é deixada cair sobre a argamassa, medindo-se a profundidade de penetração. São efetuados dois ensaios por penetrómetro por amassadura e o resultado final consiste na média aritmética dos dois ensaios.

3.3.4. Escoamento por cone de Marsh

O ensaio de escoamento foi efetuado com base no procedimento descrito na norma NP EN 445 (IPQ 2000). O diâmetro interno do tubo de saída do cone, que se designa cone de Marsh, indicado na norma é de 10 mm. Porém verificou-se que este valor é demasiado reduzido para argamassas de terra (a norma é específica para caldas de injeção, que são bastante mais fluidas). Assim utilizou-se um funil de vidro com capacidade de

aproximadamente 6 litros, com diâmetro interno do tubo de saída de 25 mm e com diâmetro do bocal de 292 mm, conforme se visualiza na Figura 3.3.

Com a saída do funil fechada, este é preenchido com uma determinada quantidade de argamassa, mexendo com uma vareta de vidro, para não deixar ar aprisionado no seu interior, mas sem fazer qualquer vibração ou compactação. A norma indica uma quantidade de 1 litro. Contudo, neste procedimento não houve um valor fixo, sendo a quantidade de argamassa sempre superior a 1,5 kg. A saída do funil é destapada e a argamassa deixada cair para dentro de um recipiente colocado sobre uma balança, previamente tarado. É registada a quantidade de material escoado a cada 5 segundos. Considerou-se que o ensaio estava finalizado quando o tubo de saída do funil ficava desobstruído.

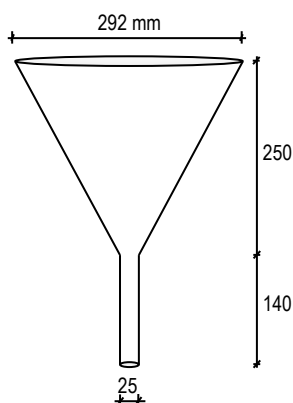


Figura 3.3. Esquema do funil de vidro utilizado no ensaio de escoamento

A norma NP EN 445 é específica para caldas de injeção para armaduras de pré-esforço e, indica que se devem efetuar três ensaios com 30 minutos de intervalo, desprezando os valores do primeiro ensaio no tempo zero. Contudo, nesta tese apenas foi efetuado um único ensaio, uma vez que foram ensaiadas apenas argamassas sem qualquer ligante hidráulico, não havendo portanto o problema do tempo de presa (para além da evaporação da água para o ambiente, influenciando na secagem da argamassa).

O resultado do ensaio é dado pelo tempo de escoamento da argamassa através do cone. A fluidez da argamassa, que aqui se designa por escoamento da argamassa, é expressa pelo quociente entre a massa escoada e o período de tempo em que o escoamento decorreu (g/s). A quantidade de argamassa que ficava agarrada às paredes do funil foi também quantificada.

3.3.5. Avaliação direta da trabalhabilidade

Com a finalidade de verificar como a trabalhabilidade das argamassas em estudo era influenciada pelo teor em água, foram efetuadas aplicações sobre um suporte de taipa.

Não foram aplicadas todas as argamassas em todos os blocos de taipa; as três argamassas que correspondem a terras locais só foram aplicadas nos blocos da taipa correspondente (efetuados com o mesmo material), enquanto a argamassa de terra-padrão (ATP) foi aplicada em todos os tipos de blocos de taipa, uma vez que se pretende avaliar a sua adequabilidade para reparar qualquer taipa.

Análise da opinião do operador na trabalhabilidade da argamassa através do modelo de análise conjunta

Para avaliar a opinião do operador na trabalhabilidade da argamassa (Trab.Argamassa), foi definida uma função através do modelo de análise conjunta (*conjoint analysis*).

O método da análise conjunta é a abordagem mais popular quando se pretende saber as preferências do consumidor numa pesquisa de marketing. É uma das técnicas onde a decisão do interveniente tem de lidar com opções que simultaneamente podem variar com dois ou mais atributos (Green *et al.* 2001). A metodologia utilizada tem por base a separação dos vários elementos, em que os intervenientes apenas atribuem um valor para diferentes alternativas ou perfis, a partir das suas preferências (Hurtado e Manuel 2010). Assim sendo, o modelo de análise conjunta é baseado nas escolhas, sendo na realidade um problema de regressão múltipla que permite determinar a importância das ponderações. Este método indica como diferentes atributos são utilizados pela mesma pessoa em diferentes situações.

A metodologia neste trabalho foi baseada nas respostas dadas pelos dois operadores sobre a avaliação por eles efetuada em relação aos seguintes parâmetros respeitantes à argamassa: o manuseamento da própria argamassa, a facilidade de aderência ao suporte, de aperto e de regularização. Os operadores classificaram ainda a trabalhabilidade geral da argamassa no seu conjunto. A avaliação para estes cinco parâmetros foi quantificada em: má; suficiente, boa, excelente.

3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ENDURECIDAS

3.4.1. Retração linear e retração volumétrica

Para avaliar a retração das argamassas e devido ao tamanho das partículas utilizadas na mistura (< 2 mm) pode-se optar pela utilização de uma caixa em contraplacado marítimo com dimensões internas planas de 30 × 3 (cm²) e altura interna de 3 cm (270 cm³ de volume) - medidas indicadas por Keable (1996). As superfícies internas da caixa foram lubrificadas com óleo descofrante. A argamassa foi colocada dentro das caixas e foi compactada com um pilão de plástico. A superfície foi nivelada à altura do molde, rasando com uma espátula para remover o excesso de argamassa. O molde preenchido foi colocado numa estufa ventilada, a uma temperatura de 30°C até completa secagem da argamassa, ou seja, até se atingir massa constante.

Verificou-se que a retração dos provetes era significativa, não só segundo o seu comprimento (L) mas também nas outras duas dimensões. Assim, foram efetuadas quatro medições, ao longo do provete, em altura (h) e largura (l), conforme a Figura 3.4. A altura final do provete é a resultante da média das quatro medições em altura, assim como a largura final do provete é a resultante da média das quatro medições em largura.

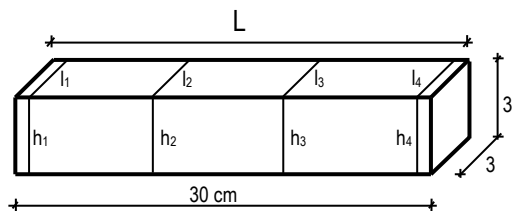


Figura 3.4. Esquema das medições efetuadas no provete da argamassa no ensaio de retração

O resultado final do comprimento do solo, $\text{Comprimento}_{\text{solo seco}}$ (cm) é dado pela média do comprimento dos três provetes avaliados e o volume médio do solo seco, $\text{Volume}_{\text{médio solo seco}}$ (cm) é a respetiva média do volume também dos três provetes avaliados. A retração linear (L_L) e a retração volumétrica (L_V) são obtidas, em percentagem, pelas equações [3.13] e [3.14], respetivamente.

$$L_L = \frac{\text{Comprimento}_{\text{molde}} - \text{Comprimento}_{\text{solo seco}}}{\text{Comprimento}_{\text{molde}}} \times 100 \quad [\%] \quad [3.13]$$

$$L_V = \frac{\text{Volume}_{\text{molde}} - \text{Volume}_{\text{solo seco}}}{\text{Volume}_{\text{molde}}} \times 100 \quad [\%] \quad [3.14]$$

3.4.2. Absorção de água por capilaridade

Para a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu-se o procedimento N.º II.6 da RILEM (RILEM 1980a). Uma vez que este ensaio não se adequa a argamassas de terra, foi necessário adaptar o procedimento para evitar perdas de massa decorrentes da desagregação do material. Assim, previamente à realização deste ensaio foram realizados vários ensaios preliminares em provetes de terra, de modo a estabelecer corretamente o procedimento de ensaio, nomeadamente no que se refere à periodicidade das pesagens e ao tipo de impermeabilização a efetuar por forma a diminuir a desagregação dos provetes.

No ensaio, seis provetes cúbicos (aresta de 50 mm) por cada argamassa, foram secos em estufa a 40°C até massa constante, registando a sua massa seca (m_{seca}). Depois, foram impermeabilizadas as quatro faces laterais utilizando uma mistura com proporção em massa de 50% de pez de louro e 50% de cera de abelha. A face inferior dos provetes foi coberta com um tecido de algodão, para evitar perda de material durante a fase de absorção ou mesmo durante o manuseamento, como se pode observar na Figura 3.5.

Os provetes foram colocados em absorção parcial dentro de uma caixa, ficando a altura da lâmina líquida cerca de 2-4 mm acima da base dos provetes, sendo adicionada água destilada se necessário. A sala onde o ensaio foi efetuado apresentava uma temperatura de 20°C e humidade relativa de 50%.

Para evitar a evaporação da água no decorrer do ensaio, os provetes foram mantidos dentro de caixas plásticas fechadas. No momento da pesagem dos provetes, estes foram ligeiramente limpos com um pano de camurça humedecido, seguidamente pesados para medir a quantidade de água absorvida por unidade de superfície (W , kg/m^2), e colocados novamente em absorção parcial.

Todos os provetes foram pesados com a mesma periodicidade durante os primeiros 10 min, sendo esta realizada a cada 2 min. Verificou-se durante o procedimento de ensaio que bastariam menos de 6 horas (para algumas argamassas este tempo foi bastante inferior) para determinar o troço linear (da curva de absorção) cuja inclinação corresponde ao coeficiente de capilaridade, como ilustrado na Figura 2.12. Contudo, o ensaio foi monitorizado durante 48 horas com o objetivo de saturar os provetes a fim de realizar o ensaio de secagem.

O resultado do ensaio de capilaridade é representado graficamente através da chamada curva de absorção capilar que expressa a quantidade de água absorvida por unidade de superfície (W , kg/m²) em ordenadas, em função da raiz quadrada do tempo decorrido (s^{1/2}) em abcissas. A quantidade de água absorvida por unidade de superfície no instante i (W_i , kg/m²) [3.15] é obtida pelo quociente da diferença de massa do provete no instante i (m_i , kg) e no estado seco (m_{seco} , kg) pela superfície do provete em contacto com a água (S , m²).

$$W_i = \frac{m_i - m_{\text{seco}}}{S} \quad [\text{kg} / \text{m}^2] \quad [3.15]$$

Em alguns casos não foi possível obter os resultados para os seis provetes por argamassa, devido a diversos problemas ocorridos durante os ensaios, maioritariamente devidos à fraca resistência mecânica dos provetes quando molhados.



Figura 3.5. Sequência dos trabalhos no ensaio de absorção de água por capilaridade: à esquerda, provete impermeabilizado com pez de louro e cera de abelha, com a face inferior coberta com tecido de algodão; ao centro, pesagem do provete; à direita, provetes sujeitos à absorção de água por capilaridade, com a franja capilar já a chegar ao topo

3.4.3. Secagem

O ensaio de secagem seguiu o procedimento N.º II.5 da RILEM (RILEM 1980b). Teve início imediatamente após a finalização do ensaio de absorção de água por capilaridade, utilizando os mesmos provetes e após estes terem atingido a saturação capilar.

A face inferior (face que não se encontrava impermeabilizada) dos provetes ainda saturados é selada com folha de polietileno (Figura 3.6). Depois os provetes são colocados com a face sem impermeabilização voltada para cima para, garantir que a secagem seja unidirecional e que apenas ocorra através da face superior.

A secagem decorreu numa sala condicionada com uma temperatura de 20±2°C e 50±5% de humidade relativa, com baixa velocidade do ar. É de referir que o procedimento da RILEM refere que não se deve utilizar ventilação artificial de maneira a minimizar a velocidade do ar. Contudo, o ensaio foi efetuado numa sala com ventilação

artificial, por ser a única sala onde os provetes se podiam manter com condições de temperatura e humidade constantes. Existiu cuidado no posicionamento dos provetes, afastando-os das paredes, assim como de outros obstáculos que influenciem a circulação de ar e, assim, o processo de secagem.



Figura 3.6. Sequência dos trabalhos no ensaio de secagem: à esquerda, provete saturado; ao centro, selagem do provete com folha de polietileno; à direita, provetes sujeitos ao ensaio de secagem

A quantidade de água evaporada foi avaliada através de pesagens periódicas da massa do provete, m_i (g), utilizando uma balança com resolução de 0,001 g.

As pesagens devem ser efetuadas de maneira a que a curva de secagem se apresente bem definida. Neste caso apenas foi necessário realizar duas pesagens por dia passando posteriormente a uma pesagem por dia.

A curva de evaporação ou curva de secagem expressa a variação no tempo do teor de água. O teor de água (w_i) [3.16] num determinado instante é dado em percentagem ponderal da massa seca, m_{seca} (g).

$$w_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \quad [\%] \quad [3.16]$$

O cálculo do índice de secagem [3.17] foi realizado através do integral da curva de evaporação ou de secagem, utilizando-se nesta tese o método de integração numérica (regra do trapézio). Foi também calculada a taxa de secagem (TS) nas primeiras 24h, que corresponde ao declive do troço inicial da curva de secagem (em kg/m^2) em função do tempo.

$$IS = \frac{\int_{t_0}^{t_i} f(W) \times dt}{W_0 \times t_i} \quad [3.17]$$

3.4.4. Módulo de elasticidade dinâmico

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico recorreu-se ao método da ressonância forçada, com base na norma NP EN 14146 (IPQ 2006a). Esta norma aplica-se a pedra natural e padroniza os procedimentos necessários para a determinação da frequência fundamental de ressonância (1ª frequência natural) para uma vibração induzida na direção longitudinal. Este ensaio foi realizado sobre 6 provetes prismáticos (dimensões de 40 mm × 40 mm × 160 mm) para cada família de argamassas e foi precedente aos ensaios de resistência à tração por flexão e à compressão, ensaios estes que são destrutivos.

Os provetes foram secos em estufa, uma vez que as condições de humidade influenciam os resultados. Posteriormente foram pesados, medidos e devidamente instalados no equipamento “*Sonometer - Resonance Frequency test apparatus*”, Figura 3.7.

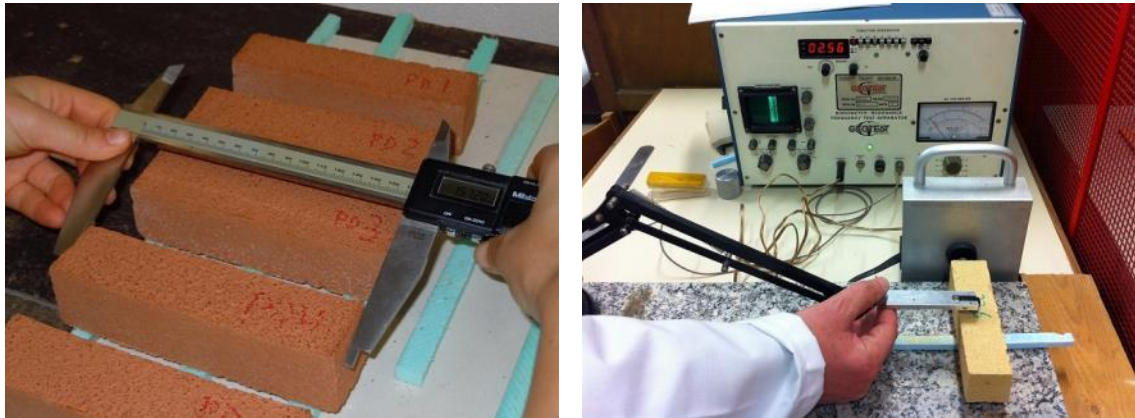


Figura 3.7. Sequência dos trabalhos para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico: à esquerda, medição dos provetes; à direita, medição da frequência fundamental de ressonância por vibração induzida longitudinalmente através do equipamento “*Sonometer*”

Foram aplicadas aos provetes vibrações longitudinais (a partir da fonte emissora) até se conseguir encontrar a frequência fundamental de ressonância. O valor da frequência é transmitido através de uma agulha designada “*pickup*” até à unidade de receção. Contudo, como não existia rigidez suficiente no provete, e para evitar a desagregação do material na zona de contacto entre o provete e o local da emissão da vibração e respetivo efeito de punçoamento entre a agulha (“*pickup*”) e o provete, foi pontualmente colocada cola líquida, criando assim uma zona rígida. A cola foi colocada nas três zonas de leitura; em cada uma das extremidades e no centro. Foram efetuadas as três leituras registando o valor médio da frequência fundamental de ressonância longitudinal do provete.

O módulo de elasticidade dinâmico na direção longitudinal, E_{dL} (MPa) [3.18] foi calculado através da frequência fundamental de ressonância por vibração induzida longitudinalmente, F_L (Hz); do comprimento da amostra, l (mm); e da sua massa volúmica aparente, ρ (g/mm³). O módulo de elasticidade dinâmico é obtido a partir da média dos valores individuais dos seis provetes.

$$E_{dL} = 4 \times 10^{-6} \times l^2 \times F_L^2 \times \rho \quad [MPa] \quad [3.18]$$

3.4.5. Resistências à tração por flexão e à compressão

Os ensaios de resistência à tração por flexão e à compressão procuraram seguir o procedimento da norma EN 1015-11 (CEN 1999b). Contudo, devido à baixa resistência dos provetes, foi necessário fazer algumas adaptações. Os ensaios foram realizados sobre 6 provetes prismáticos (dimensões de 40 mm × 40 mm × 160 mm) para cada família de argamassas, sendo que o ensaio de resistência à tração por flexão (Figura 3.8) antecede o ensaio de resistência à compressão (Figura 3.9).

Os provetes foram previamente medidos: b, largura (mm); d, altura (mm), por forma a determinar o valor da resistência à tração por flexão, R_f .

O provete foi colocado sobre os rolos de suporte do equipamento e foi necessário ajustar manualmente o equipamento (não sendo previsto na norma), de maneira a que este entrasse em contacto com o provete sem choque. A carga é aplicada a velocidade constante de 10 e 50 kN/s. Segundo a norma, a rotura do provete deve ocorrer entre os 30 e os 90 segundos. Contudo, mesmo utilizando a velocidade mais baixa, 10 kN/s, não foi possível respeitar os 30 segundos exigidos pela norma. A força de rotura de flexão (FL) corresponde à máxima força registada durante o ensaio. A resistência à flexão por tração (R_f) é a média dos seis ensaios por cada tipo de argamassa, obtida pela equação [3.19].

$$R_f = 1,5 \times \frac{FL}{bd^2} \quad [MPa] \quad [3.19]$$



Figura 3.8. Sequência dos trabalhos no ensaio de resistência à tração por flexão: à esquerda, colocação do provete no equipamento; ao centro, provete sujeito ao ensaio; à direita, resultado final sobre os provetes

No ensaio de resistência à compressão, Figura 3.9, são utilizadas as metades dos provetes resultantes do ensaio de resistência à tração por flexão.



Figura 3.9. Provede sujeito ao ensaio de resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão consiste em submeter os provetes à compressão simples até à rotura completa. Foi também feito o ajustamento manual da máquina e a carga foi aplicada sem choque a

velocidade constante. Contudo, também neste ensaio não foi possível obter a rotura do provete no tempo exigido pela norma, entre 30 a 90 segundos, apesar de ter sido utilizada novamente a velocidade mínima que, neste caso, é de 50 N/s. Foram realizados doze ensaios por cada argamassa (resultantes das duas metades obtidas do ensaio à flexão por tração). A resistência à compressão (R_c) é a média dos valores individuais e é calculada pelo quociente entre a força de rotura à compressão e a área do provete à qual é transmitida a força.

3.4.6. Dureza superficial

Para caracterizar a dureza superficial das argamassas de reparação aplicadas sobre os blocos de taipa seguiu-se o procedimento da norma ASTM D2240-05 (2010), utilizando como equipamento um durómetro Shore A, que é específico para materiais macios (Figura 3.10 e Figura 3.11, à esquerda). É de referir que esta norma foca a medição da dureza de polímeros, elastómeros e borrachas, não referindo o caso das argamassas. Contudo, este ensaio é vulgarmente utilizado para caracterizar a dureza de revestimentos (Tavares e Veiga 2007, Malanho e Veiga 2010, Borsoi *et al.* 2012) e avaliar a perda de coesão nas camadas superficiais (Tavares 2009).

O ensaio consiste em medir a profundidade até à qual uma argamassa se deixa penetrar através da aplicação de uma carga padronizada. O durómetro Shore A possui na sua extremidade um pino que, quando pressionado contra o material e pela ação de uma mola intrínseca, dá a indicação da resistência à penetração (tomada como medida de dureza); este valor é indicado pelo ponteiro que se move através de uma escala analógica. A dureza é assim traduzida através de uma escala com um intervalo de 0 a 100. Este intervalo é dividido de acordo com a dureza do material, classificação da resistência ou tipificação da anomalia (perda da coesão), como descrito por Tavares (2009):

- (i) inferiores a 30 Shore A, materiais muito macios, resistência muito fraca, perda de coesão em profundidade (>15 mm);
- (ii) entre 30-50 Shore A, materiais macios, resistência fraca, perda de coesão intermédia (<15 mm);
- (iii) entre 50-70 Shore A, materiais médios, resistência moderada, perda de coesão superficial (\approx até 2 mm);
- (iv) entre 70-87 Shore A, materiais duros, resistência normal, bom estado de conservação;
- (v) superiores a 88 Shore A, materiais muito duros, resistência dura, bom estado de conservação.

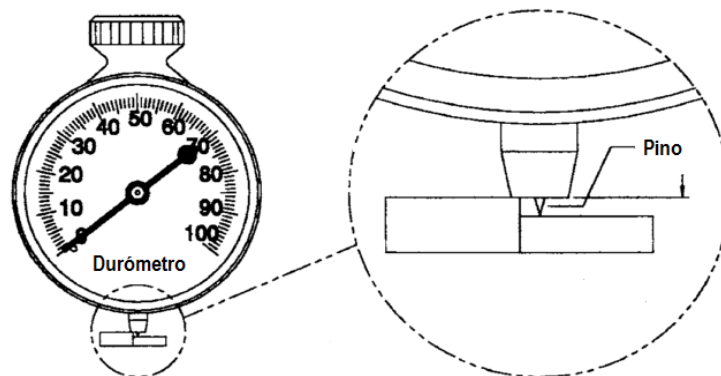


Figura 3.10. Durómetro com pormenor do pino que, quando pressionado contra o material, indica a dureza superficial desse material (Adaptado de ASTM D2240-05 2010)

A norma ASTM D2240-05 (2010) refere que valores inferiores a 20 Shore A e superiores a 90 Shore A são irreais, sendo aconselhado outro tipo de durómetro para realizar a medição, consequentemente mais apropriado para materiais ainda mais macios (<20 Shore A) ou mais duros (>90 Shore A).

A escala utilizada corresponde a energias entre 550 a 8065 N.m (Malanho e Veiga 2010).

Ao realizar o ensaio verificou-se que os valores obtidos para a dureza superficial eram bastante influenciados pela rugosidade e/ou acabamento da superfície do material a medir. Verificou-se que uma mesma argamassa pode originar resultados distintos, sendo este tipo de ensaio mais fiável em acabamentos lisos. Esta discrepância deve-se ao facto de o procedimento de ensaio e, em particular, o próprio equipamento (Figura 3.10), não ser específico para argamassas mas, como já referido, para materiais poliméricos que são mais lisos. O facto de as presentes argamassas serem friáveis também se revelou problemático. Por exemplo, se entre o pino e o aparelho se alojarem partículas de material sólido (como grãos de areia) não é possível pressionar o pino e assim medir a dureza, não se verificando movimento na escala; consequentemente, o valor registado é próximo de zero, o que não corresponde à verdadeira dureza do material. A fim de contornar esta limitação do ensaio de medição da dureza superficial em argamassas, a zona a medir foi limpa com um pincel macio (removendo as partículas de areia à superfície e que pudessem prejudicar a realização do ensaio).

Uma vez que as argamassas apresentavam elevada rugosidade à superfície, foram efetuadas medições em 12 pontos distribuídos ao longo da anomalia superficial - de forma a obter um elevado número de resultados -, numa área total de 28 x 26 (cm²), como se pode visualizar na Figura 3.11, à direita. O resultado final corresponde à média aritmética dos doze pontos ensaiados em cada argamassa de reparação, sendo o valor de cada um destes pontos, a média aritmética de três medições.

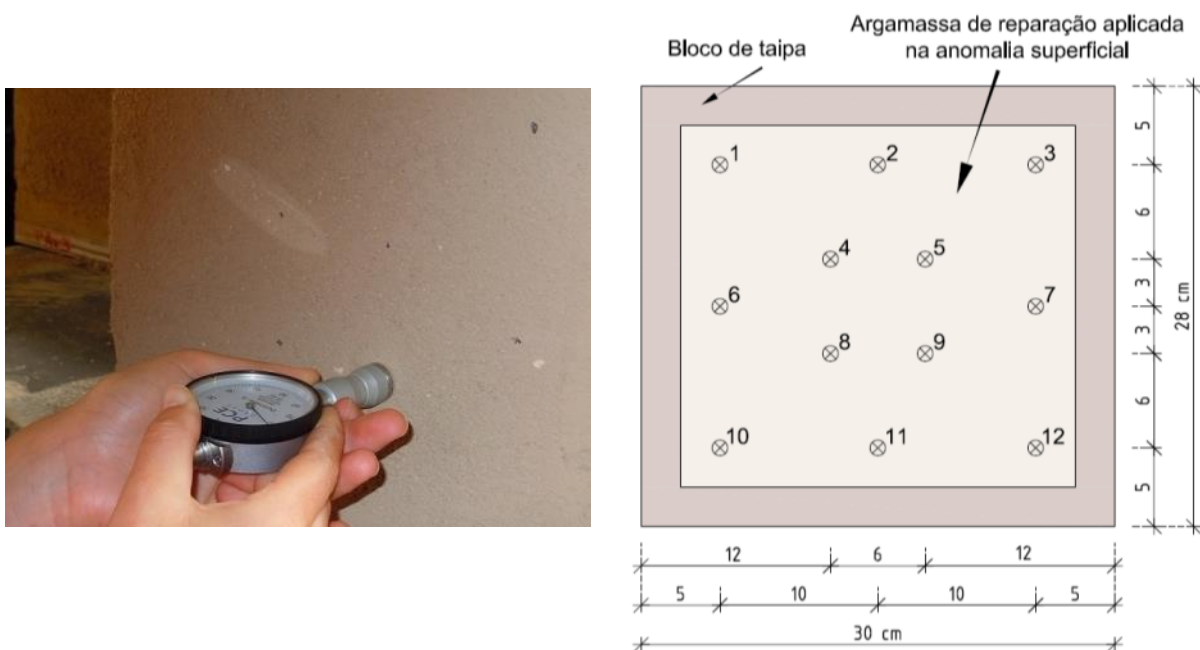


Figura 3.11. Ensaio com o durómetro - Shore A: à esquerda, argamassa sujeita ao ensaio; à direita, esquema com os 12 pontos para medição

A Associação Brasileira de Normas Técnicas faz uma advertência quanto a este ensaio que confirma as observações efetuadas na presente tese: a avaliação da dureza superficial por meio de um durómetro não apresenta resultados satisfatórios quando o ensaio é realizado em zonas rugosas ou irregulares (Bezerra 2007).

À data, a sala onde o ensaio foi realizado apresentava uma temperatura de 26°C e 55% de humidade relativa.

3.4.7. Velocidade de propagação por ultrassons

A velocidade de propagação por ultrassons nas argamassas de reparação aplicadas sobre os blocos de taipa foi determinada utilizando um aparelho constituído por um módulo central, equipamento *Steinkamp Ultrasonic tester* BP-7 (Figura 3.12, à esquerda), que emite as ondas e regista os tempos de transmissão, em microssegundos, e dois transdutores (emissor e recetor) que são posicionados em diferentes pontos do bloco.

Para a determinação da velocidade de propagação por ultrassons foram utilizados o método de transmissão indireta (em que os transdutores estão colocados na mesma face) e o método de transmissão direta (com os transdutores colocados em faces opostas, em geral só possível em laboratório). O procedimento de ensaio foi baseado na ficha de ensaio Pa 43-1 (LNEC 2010).

O procedimento de ensaio para o método de transmissão indireta (Figura 3.12, ao centro) é o seguinte:

- (i) marcam-se 10 intervalos de igual dimensão (Figura 3.13, à esquerda), cada intervalo apresenta uma distância de 1 cm;
- (ii) coloca-se o transdutor-recetor no zero e o transdutor-emissor é colocado sucessivamente em cada um dos limites dos dez intervalos;
- (iii) em cada ponto é medido o tempo de transmissão (microssegundos), processo repetido três vezes; o resultado final consiste na média aritmética das três medições efetuadas;
- (iv) os transdutores devem ser colocados de modo a fazer um ângulo de 45° com a superfície do bloco.

No método de transmissão direto (Figura 3.12, à direita) o transdutor-emissor e o transdutor-recetor são colocados na mesma posição mas em lados opostos do bloco. Foram realizadas medições em 11 pontos (Figura 3.13, à direita). As restantes etapas, referidas em (iii) e (iv), são idênticas.



Figura 3.12. Ensaio de ultrassons: à esquerda, aparelho de ultrassons modelo *Steinkamp ultrasonic tester* BP-7 version 4.11; ao centro, método de transmissão indireta; à direita, método de transmissão direta

A velocidade de propagação (V_{us}) das ondas é determinada:

- (i) no método de transmissão indireta: pelo traçado de um gráfico que expressa a distância entre transdutores (mm) em abcissas, em função do tempo de propagação das ondas (microsegundos) em ordenadas, determinando a linha de tendência; o inverso do declive dessa reta é uma aproximação da velocidade de propagação das ondas;
- (ii) no método de transmissão direta: para cada leitura, pelo quociente entre a distância entre transdutores (m) e o tempo de propagação da onda (segundos).

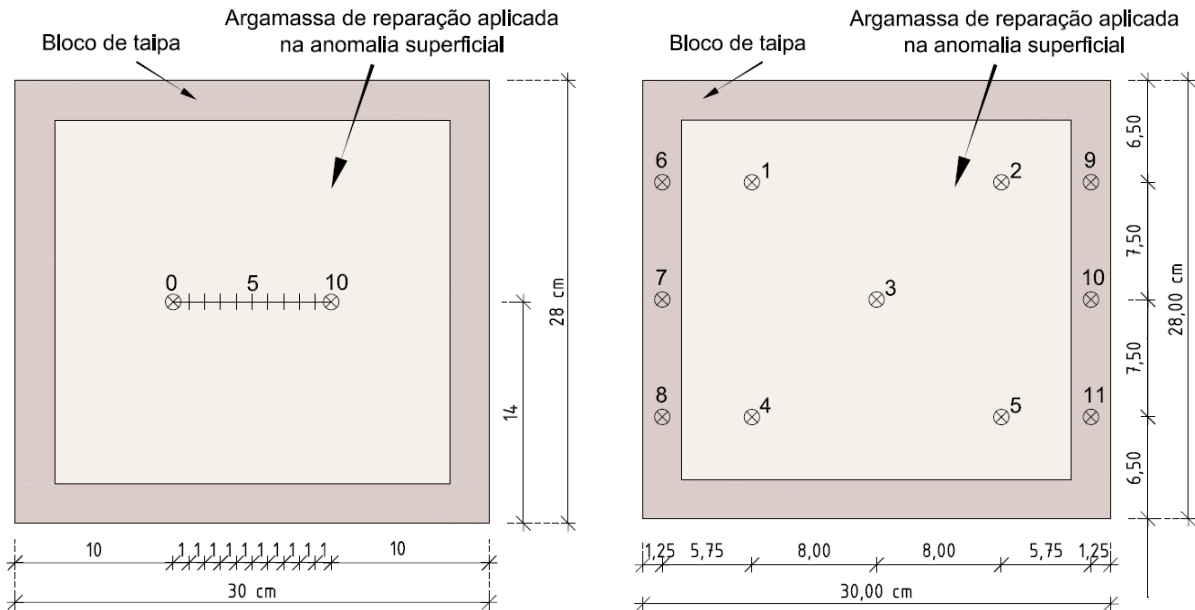


Figura 3.13. Ensaio de ultrassons: à esquerda, esquema com os 10 pontos para utilização no método de transmissão indireta; à direita, esquema com os 11 pontos para utilização no método de transmissão direta

Através do resultado obtido pelo método indireto é ainda possível determinar o módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons (E_{dus}), avaliando a compacidade e a rigidez da argamassa de reparação aplicada, sendo este parâmetro calculado através equação [3.20], onde: v_{us} é a velocidade de propagação (km/s), ρ é a massa volúmica aparente (kg/m^3) e k é uma constante que depende do coeficiente de Poisson [3.21].

$$E_{dus} = v_{us}^2 \times \rho \times k \quad [MPa] \quad [3.20]$$

Nas argamassas cujo coeficiente de Poisson (φ) seja desconhecido, recomenda-se a atribuição de um valor aproximado de 0,2 (LNEC FE Pa 43.1 2010), não se mencionado qual o tipo de material utilizado na argamassa. Neste trabalho foi atribuído um coeficiente de Poisson de 0,2.

$$k = \frac{(1 + \varphi)(1 - 2\varphi)}{(1 - \varphi)} \quad [MPa] \quad [3.21]$$

O ensaio foi realizado em três dias consecutivos, nos blocos BAv, BPD e BVC; a sala onde o ensaio foi realizado apresentava uma temperatura média de 25°C com uma humidade relativa entre os 43-68%.

4

ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo analisam-se as características do material utilizado na taipa de seis construções existentes, comparando os valores experimentais obtidos para diversas propriedades-chave dos solos com os valores-limite indicados na bibliografia. Discute-se também a aplicabilidade dos métodos de ensaio indicados nessa bibliografia ao material colhido nos seis estudos de caso. Conclui-se que a generalização de um tipo de terra ideal para a técnica construtiva da taipa parece um objetivo difícil de atingir, correndo-se o risco de estabelecer regras redutoras. Contudo, a validação de requisitos a nível regional, ajustando-os com as especificidades dos materiais locais, afigura-se um caminho mais razoável.

Foram ainda analisadas as anomalias patentes nas paredes de taipa, verificando-se que a mais corrente é a desagregação superficial que, pontualmente, pode chegar a níveis profundos.

4.1. INTRODUÇÃO

Entre as técnicas de construção de terra, a taipa é uma das mais importantes, tanto na construção vernacular como na arquitetura com terra contemporânea. Apesar da aparente sensibilidade do material terra, a taipa permite obter construções que, se sujeitas a uma adequada manutenção, apresentam excelente durabilidade. Existem na literatura muitas referências (Heathcote 1995, Hall e Djerbib 2004b, Jaquin *et al.* 2008, Hall e Allinson 2009a, Bui *et al.* 2009) a antigos edifícios em taipa com bom desempenho, que ainda se encontram habitados e em bom estado de conservação. Também em Portugal se regista a existência de um vasto património arquitetónico vernacular e também monumental em taipa (Correia 2007, Fonseca 2007, Mestre 2007, Bruno 2011, Fernandes 2013).

Mas a utilização desta técnica requer a existência de solos adequados, sendo necessário por vezes a sua correção. A seleção e a preparação do material apropriado na taipa é uma etapa crítica para o bom desempenho desta técnica (Walker *et al.* 2005).

Tradicionalmente, a taipa era utilizada em zonas onde os solos tinham um teor de argila demasiado baixo para ser adequado à produção de adobes e/ou não havia abundância de água para a produção destes. Na verdade, a escolha de uma ou outra técnica de construção com terra sempre foi baseada num conhecimento empírico relativamente aos materiais locais e às suas potencialidades. É comumente aceite que o solo a ser usado em taipa deve apresentar uma elevada percentagem em areia, com quantidade suficiente em argila para esta agir como ligante; argila em excesso pode dar origem a problemas de fissuração devido à expansão volumétrica, característica deste material.

Não se sabe, contudo, até que ponto as atuais especificações existentes a nível internacional para construção de taipa poderão contribuir para a obtenção de edifícios com boa durabilidade em condições regionais específicas, nomeadamente nas do Alentejo, zona dos estudos de caso abordados nesta tese. Esta foi uma das questões a que se procurou dar resposta neste capítulo, com base na análise de seis edifícios reais. Os seis casos foram selecionados a partir de um levantamento de cerca de trinta edifícios, levado a cabo com base numa ficha técnica de inspeção de obra realizada para este efeito. O trabalho permitiu caracterizar o estado de conservação dos edifícios visitados, bem como observar e analisar as principais características de degradação dos edifícios de taipa no Sul de Portugal, na região do Alentejo.

Foram alvo de estudo mais detalhado seis edifícios localizados em (Figura 4.1): Monte das Covas, Valongo - Avis (**Av**); Monte do Pá Danado, Taliscas - Odemira (**PD**); Monte Val Chaim, Taliscas - Odemira (**VC**), Monte Se Deus Quiser, Corte Zorrinha - Almodôvar (**CZ**); Herdade da Afincerna, Colos - Ourique (**CI**) e Arraiolos (**Ar**). As designações que irão ser atribuídas aos seis edifícios selecionados a partir deste momento referem-se ao nome da localidade ou herdade para mais fácil compreensão das siglas.

Procedeu-se à caracterização da terra utilizada na taipa dos seis estudos de caso através de ensaios em laboratório, sendo os resultados obtidos comparados com as recomendações disponíveis a nível internacional.

A escolha dos ensaios a utilizar teve em conta as recomendações dos documentos internacionais analisados. Esta caracterização é também uma oportunidade para dar a conhecer a realidade da construção de taipa em Portugal, numa amostragem pequena mas real, diversa e, de algum modo, representativa.



Figura 4.1. Localização geográfica dos seis edifícios em taipa não estabilizada no Alentejo, Portugal, onde foi efetuada a recolha de material para caracterização da matéria-prima

Esta foi, assim, também uma oportunidade para analisar a bibliografia existente, que é surpreendentemente escassa, no que se refere à discussão das principais características que um solo deverá apresentar para garantir o sucesso da técnica da taipa, bem como à definição de valores-limite adequados. Como se verá, diferentes documentos apresentam diferentes propriedades fundamentais e diferentes valores limites para essas propriedades. Ciancio *et al.* (2013) também chegaram à conclusão que alguns valores limite apresentados em documentos e normas devem ser tomados como prescritivos e não como regras rígidas, não estabelecendo padrões. O trabalho efetuado incorporou a análise de dois levantamentos bibliográficos prévios sobre documentos normativos internacionais: Jiménez Delgado e Guerrero (2007) que realizaram pesquisas de documentos relativos à caracterização das principais propriedades do solo para a construção de terra; e Cid *et al.* (2011) que elaboraram uma análise ainda mais completa do panorama normativo sobre construção de terra.

O trabalho que se apresenta neste capítulo teve como objetivos principais e metodologia:

- (i) caracterizar os processos construtivos, estado geral de conservação, e principais formas de degradação das paredes de taipa dos mais de trinta edifícios inspecionados; selecionar alguns destes edifícios para servirem como estudos de caso da tese;
- (ii) identificar na revisão de documentos normativos, documentos de referência internacionais, artigos e livros sobre construção de terra (efetuada na secção 2.3), onde se enquadra a caracterização experimental,

efetuada neste capítulo, da matéria-prima recolhida nas paredes de taipa dos estudos de caso selecionados, bem como os respetivos procedimentos de ensaio e eventuais valores-limite;

- (iii) discutir os resultados experimentais obtidos à luz das recomendações encontradas nos documentos normativos estudados; referindo-se os resultados experimentais a construções reais que se pode considerar terem tido desempenho positivo durante a sua vida útil, será assim possível fazer também uma avaliação crítica das recomendações normativas, tanto em termos dos valores-limite propostos, como em termos dos métodos de ensaio indicados.

4.2. ANÁLISE DOS EDIFÍCIOS NO ALENTEJO: MÉTODOS

A taipa foi, até aproximadamente aos anos 50 do século XX, a técnica construtiva mais utilizada no Ribatejo, Alentejo e Algarve (Correia 2007). É também no Alentejo que se situa a zona do País - a Costa Vicentina - com grande percentagem de nova construção com terra, sendo a taipa a técnica utilizada na generalidade dos casos. Estas razões justificam que tenha sido o Alentejo a região escolhida para efetuar o levantamento de edifícios de taipa, que permitiu identificar as principais anomalias presentes nas suas paredes e escolher os edifícios que serviram como estudos de caso deste trabalho. Na escolha dos edifícios a inspecionar houve algumas preocupações, nomeadamente:

- (i) procurar edifícios dispersos em termos de localização geográfica;
- (ii) incluir construções localizadas em meio urbano e em meio rural;
- (iii) não serem apenas edifícios devolutos ou abandonados, procurando também novas construções, reabilitações ou ampliações;
- (iv) procurar diversificar nas funcionalidades, incluindo edifícios para habitação (que são a maioria), mas também armazéns, comércio, escolas, entre outras.

O número de edifícios inspecionados foi tão alargado quanto possível, tendo sido analisados cerca de trinta edifícios. A maioria dos edifícios encontrava-se ao abandono, mas foi também possível analisar obras de reabilitação, ampliação/adaptação, e ainda observar e acompanhar uma obra desde o início de construção até à sua finalização.

Dos cerca de trinta edifícios inspecionados foram selecionados seis estudos de caso, escolhidos por, designadamente:

- (i) permitirem a recolha de material; foi esta a razão de terem sido escolhidos edifícios que não estivessem em utilização, muitos dos quais estavam maioritariamente ao abandono;
- (ii) apresentarem pelo menos uma das paredes sem anomalias visíveis; por exemplo sem a presença de nidificação de insetos ou matéria biológica, a fim de não influenciar os resultados da caracterização da matéria-prima;
- (iii) apresentarem características visualmente distintas em termos de materiais utilizados na taipa (cor e granulometria);
- (iv) apresentarem-se tão dispersos quanto possível, em termos de localização geográfica;
- (v) incluírem casos em meio rural e em meio urbano.

Foi elaborada uma ficha técnica de inspeção (Figura 4.2 e Anexo A), a fim de recolher e registar de forma sistemática as informações mais relevantes, no que respeita à edificação e sua envolvente.

INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício:			Nome do proprietário:			
Morada / localidade:						
Data e hora da visita: ___/___/___ às ___:___min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações:						
DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO						
Ano de Construção:		Altura do edifício:		Número de pisos:		
Uso anterior:		Uso atual:		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Descrição genérica:						
Materiais:						
<input type="checkbox"/> Terra						
<input type="checkbox"/> Madeira Localização: _____						
<input type="checkbox"/> Pedra Localização: _____						
<input type="checkbox"/> Tirante Localização: _____						
<input type="checkbox"/> Betão Localização: _____						
<input type="checkbox"/> Argamassa (juntas): _____						
Descrição genérica:						
Tipologia construtiva:						
Fundações:						
Embasamento:						
Paredes exteriores		<input type="checkbox"/> Taipa	<input type="checkbox"/> Adobe	<input type="checkbox"/> Outro	Observações: _____	
Paredes interiores		<input type="checkbox"/> Taipa	<input type="checkbox"/> Adobe	<input type="checkbox"/> Outro	Observações: _____	
Linteis:						
Viga bordadura:						
Transição entre pisos:						
Cobertura:						
Descrição genérica:						
ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO						
Cobertura:						
Estrutura:						
Paredes:						
Descrição genérica:						

Figura 4.2. Ficha técnica de inspeção

A ficha técnica de inspeção está dividida em três grupos:

- (i) **informação geral** - designação do edifício, morada, data e hora da inspeção, referência à zona envolvente e podem ser referenciadas algumas informações que se observem pertinentes;
- (ii) **descrição do edifício** - idade da construção, uso atual, volumetria e orientação, materiais e tipologia construtiva utilizada, e ainda todas as observações que se considerem pertinentes;
- (iii) **estado geral de conservação** - análise das anomalias da envolvente exterior, no que diz respeito à cobertura, estrutura e paredes.

Nem sempre foi possível o preenchimento da ficha técnica na sua totalidade, devido a vários motivos, nomeadamente:

- (i) à degradação da taipa, incapacitando o reconhecimento das dimensões originais exatas das paredes ou das dimensões dos módulos de taipa, como sucedeu no primeiro e no segundo estudo de caso, sendo respetivamente, Monte das Covas, Valongo, Avis e Monte Val Chaim, Taliscas, Odemira, e ainda pelo facto de as paredes ainda se encontram revestidas na sua grande parte, como por exemplo no sexto estudo de caso, Arraiolos;
- (ii) à impossibilidade de contactar o proprietário de forma a recolher informação relevante sobre a conservação/manutenção que foi sendo implementada no edifício ao longo da sua vida útil.

4.3. CARACTERÍSTICAS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO

4.3.1. Estudo de caso 1: Monte das Covas, Valongo - Avis

A edificação construída no Monte das Covas (Figura 4.3) situa-se a norte do concelho de Avis, Valongo e faz fronteira com o concelho de Ponte de Sor. Na década de 50 houve um acentuado crescimento populacional, chegando a um aumento de 50% numa das freguesias do concelho (Fonseca 2007). Este aumento populacional foi motivado pela necessidade de mão-de-obra para a construção da barragem do Maranhão e para a agricultura (Fonseca 2007). Na região de Avis verificou-se a transição da técnica da taipa para o adobe devendo-se possivelmente à necessidade de se construir de forma mais rápida e à facilidade no ato de construção. É económica porque não necessita de grandes cofragens - apenas os moldes para os adobes, e é mais célere uma vez que, desde que os adobes estejam prontos a colocar em obra, são aplicados como se de uma alvenaria corrente se tratasse. No entanto, implica a prefabricação do adobe, que nesta época deve ter sido efetuada de forma intensiva.

A edificação foi utilizada para habitação e apresenta duas frações contíguas em piso térreo, com planta de secção retangular de distribuição longitudinal, um compartimento anexo para animais e forno separado. A construção da primeira habitação data de 1933. A edificação apresenta duas técnicas construtivas distintas: taipa e adobe. A técnica da taipa foi a primeira a ser utilizada e a técnica do adobe surge devido a ampliações e remodelações efetuadas. As duas técnicas são utilizadas tanto em paredes exteriores como interiores.



Figura 4.3. Edificação do Monte das Covas, Avis: à esquerda, fachada sudeste e nordeste; à direita, fachada noroeste com um contraforte de pedra e fachada sudoeste

Na técnica da taipa pode distinguir-se a utilização de dois materiais:

- (i) uma taipa mais arenosa com pouca percentagem em cascalho, com espessura de 0,50 m; a largura dos módulos não é perceptível devido à erosão e a altura é variável; as juntas horizontais são preenchidas por uma argamassa de cal com uma espessura de 2-3 cm, no seio da qual foram colocados cascalhos e calhaus rolados (aparentemente calcário, como habitual na região), o que usualmente é feito a fim de criar maior atrito entre módulos (Figura 4.3, à esquerda);
- (ii) uma taipa também arenosa mas com pedaços de cerâmica e cascalho angulares de grandes dimensões (Figura 4.3, à direita), sendo apenas identificável a espessura do módulo, com 0,50 m, uma vez que o destacamento do reboco ocorreu numa área diminuta.

Na técnica construtiva do adobe, verifica-se a existência de dois tipos de adobe: um adobe de terra (Figura 4.4, à direita) que exhibe uma terra escura e alguma matéria orgânica visível, com dimensões de 0,40 m × 0,12 m × 0,20 m (comprimento × altura × espessura), e um adobe com cal e areia, com dimensões de 0,30 m × 0,10 m × 0,15 m.

O embasamento é em pedra de xisto com aproximadamente 1 m de altura. É utilizado tijolo cozido para reforço das ombreiras e das vergas em forma de arco. Existe ainda um contraforte, em pedra, como reforço da fachada noroeste. Foi efetuado um coroamento no topo das paredes com adobes, para receber a estrutura da cobertura. A cobertura é de duas águas simétricas, de telha canudo, com sub-beirado e um balanço de 0,40 m.

A edificação está revestida com uma argamassa de cal com espessura aproximada de 1,5 cm, que se encontra caiada. A base é rematada com a tradicional faixa, azul numa das habitações e avermelhada na outra. A edificação encontra-se ao abandono e grande parte está em estado de ruína (ver ficha técnica de inspeção n.º 24 do Anexo A).



Figura 4.4. Edificação do Monte das Covas, Avis: à esquerda, paramento com a técnica da taipa arenosa, com juntas horizontais de cascalho rolado; à direita, parede com a técnica do adobe (à esquerda) e taipa arenosa incluindo cascalho angular (à direita)

4.3.2. Estudo de caso 2: Monte do Pá Danado, Talíscas - Odemira

A edificação do Monte do Pá Danado (Figura 4.5) fica situada na serra do Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina, em zona rural, na localidade de Talíscas, em Odemira. Data de finais do século XIX, não sendo contudo possível saber a data precisa da sua construção. A edificação é de piso térreo, de secção retangular, e desenvolve-se longitudinalmente. Servia de habitação e ao mesmo tempo oferecia uma pequena taberna. A taipa é a técnica construtiva utilizada na maioria das paredes. Contudo existem algumas zonas onde é possível verificar a utilização de alvenaria de pedra (xisto). A fachada principal vira-se para sul. O forno e um pequeno espaço que servia de armazém, em alvenaria de xisto e taipa, surgem acoplados à fachada posterior, a norte. Atualmente só são visíveis 3 vãos (1 porta e 2 janelas), uma vez que a edificação se encontra ao abandono e em estado avançado de ruína (ver ficha técnica de inspeção n.º 28 do Anexo A).



Figura 4.5. Edificação do Monte do Pá Danado, Odemira: à esquerda, fachada este e sul (principal) em taipa; à direita, paredes do edifício anexo, de taipa e alvenaria de xisto, acoplado à fachada a norte da edificação

A terra que dá corpo à taipa possui uma cor forte avermelhada, semelhante à do terreno circundante, de onde provavelmente foi recolhida. É visível na matéria-prima utilizada na taipa, uma grande quantidade de cascalho - aparentemente calcário. Não é possível identificar as dimensões dos módulos de taipa dada a acentuada erosão

da taipa. Não existe embasamento nas paredes mas é possível identificar uma fundação em alvenaria de xisto onde assentam as paredes de taipa.

A nível de reforço estrutural, esta edificação apresenta lintéis em madeira nos vãos e, pontualmente, também são perceptíveis pequenos barrote de madeira inseridos na taipa, de maneira a criar mais atrito entre os módulos. Também é visível a utilização de tirantes em ferro forjado (Figura 4.6, à esquerda) funcionando como uma armadura passiva. Existe ainda um contraforte em alvenaria de pedra na fachada oeste.

A edificação encontra-se destelhada; todavia identifica-se, pela geometria da parede de empena, uma cobertura de duas águas simétricas com estrutura principal em madeira que recebia as telhas canudo. Não é visível qualquer tipo de reforço na zona da parede de taipa onde o barrote da cumeeira assenta. Contudo, foram distribuídas pedras de xisto no topo das paredes de taipa para redistribuir as cargas de cobertura.

Do revestimento ainda existem alguns vestígios. Pode observar-se a existência de duas camadas de reboco com argamassas de cal (Figura 4.6, à direita), embora existam zonas totalmente despidas devido à queda do revestimento original.

A seleção da matéria-prima utilizada na taipa não parece ter sido cuidadosa, incorporando esta uma grande quantidade de restos vegetais (pequenos pedaços de madeira).



Figura 4.6. Edificação do Monte do Pá Danado, Odemira: à esquerda, utilização de tirantes em ferro forjado; à direita, duas camadas de reboco sobre a taipa

4.3.3. Estudo de caso 3: Monte Val Chaim, Taliscas - Odemira

A construção do Monte Val Chaim está situada na serra do Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina, estando também localizada em zona rural nas Taliscas, Odemira. Apesar da vizinhança em relação à edificação do Monte do Pá Danado (distam 4 km) são perceptíveis por simples observação visual grandes diferenças no material utilizado para a taipa, o que justificou a seleção de dois estudos de caso tão próximos. A edificação foi construída em 1940 (ver ficha técnica de inspeção n.º 29 do Anexo A).

A edificação é de piso térreo e secção retangular, sendo geminada com uma edificação em xisto. A edificação destinava-se a albergar animais e proteger a sua alimentação debaixo de um telheiro (Figura 4.7).

A matéria-prima utilizada nesta edificação é bastante diferente da utilizada no Monte do Pá Danado. A taipa é de cor castanho-acinzentada, com grande percentagem de agregados de xisto de grandes dimensões. Esta terra é semelhante à do terreno circundante, o que sugere que se utilizou material local para a taipa, o que foi confirmado pelo proprietário. Os módulos constituintes dos panos de parede de taipa apresentam dimensões de 1,50 m × 0,45 m × 0,50 m (comprimento × altura × espessura), com junta vertical desencontrada. Ao nível de reforço, apenas se identifica um contraforte em alvenaria de xisto.

O edifício de taipa já não apresenta cobertura. Contudo identifica-se, pela parede de empena, uma cobertura de duas águas simétricas. Só a zona do telheiro apresenta ainda cobertura, vendo-se bem a estrutura principal em barrotes de madeira e um forro em canas para suporte das telhas canudo, ainda existentes. Verifica-se que, no paramento de taipa, algumas zonas de entrega da estrutura principal da cobertura estão envoltas em pedras de xisto (Figura 4.7, à direita), tendo como função a dissipação de cargas provenientes da cobertura.

O embasamento é em xisto e não se apresenta uniforme, com valores de distância ao solo entre 0,15 e 0,95 m. A taipa apresenta fendas verticais na ligação entre módulos.

As paredes nunca foram revestidas. Não obstante, todas as paredes encontram-se ainda em razoável estado de conservação, à exceção da parede na fachada principal (sudoeste), que ruiu.



Figura 4.7. Edificação do Monte Val Chaim, Odemira: à esquerda, zona do telheiro, fachada sudoeste; à direita, estrutura da cobertura envolta com elementos de xisto na zona de entrega

4.3.4. Estudo de caso 4: Monte Se Deus Quiser, Corte Zorrinho - Almodôvar

O edifício encontra-se localizado no Monte Se Deus Quiser (Figura 4.8), tendo funcionado como armazém rural. Nesta zona, de Almodôvar, existe abundância de pedra, sendo a maioria dos edifícios construídas com este tipo de material, com a técnica do adobe utilizada em paredes interiores. Assim, o edifício em análise é um dos poucos exemplares com a técnica construtiva da taipa nesta região.

É um edifício térreo, com planta de secção retangular e não compartimentada. A sua construção teve início em 1930 e encontra-se abandonado desde 1995. A atual proprietária referiu que a edificação levou várias décadas a construir, nunca chegando a ser totalmente concluída, daí o nome Monte Se Deus Quiser.

A taipa utilizada apresenta alguns agregados de xisto de grandes dimensões. Pelas semelhanças de aspeto, a terra utilizada é provavelmente a mesma que é encontrada na zona em que a edificação se ergue. Os módulos

constituintes da taipa apresentam as dimensões de 1,40 m × 0,45 m × 0,50 m (comprimento × altura × espessura), com junta vertical desencontrada (ver ficha técnica de inspeção n.º 27 do Anexo A).

É utilizada pedra de xisto no embasamento, que tem uma altura de aproximadamente 1,00 m (Figura 4.8). Não existe qualquer reforço nos cunhais. Contudo, em determinadas juntas horizontais, são visíveis alguns elementos de xisto (Figura 4.8, à direita), técnica que tinha o objetivo de aumentar o atrito entre módulos de taipa.

Existe apenas um único vão a assinalar, a porta principal, com 1,00 m de largura e 1,90 m de altura, que se encontra na fachada sueste. A zona da verga da porta é reforçada por um lintel em madeira (Figura 4.8, à direita), sobre o qual foram assentes elementos de xisto envoltos com uma argamassa de terra.

A construção nunca chegou a receber cobertura, mas estava projetada uma cobertura inclinada apenas com uma vertente. A base em xisto para receber a estrutura de madeira ainda é visível no topo nas paredes do alçado principal e posterior.

Nas paredes são visíveis algumas fendas verticais e ninhos de insetos. Nunca foi efetuado qualquer revestimento.



Figura 4.8. Edificação do Monte Se Deus Quiser, Almodôvar: à esquerda, fachada principal (sueste) e fachada lateral (nordeste); à direita, pormenor do embasamento, verga da porta em madeira e junta horizontal entre blocos de taipa com elementos de xisto

4.3.5. Estudo de caso 5: Escola do Barranco do Cai Logo, Herdade da Afincerna, Colos - Ourique

O edifício da Escola do Barranco do Cai Logo, Figura 4.9, está localizado na Herdade da Afincerna, na localidade de Colos, concelho de Ourique, tendo sido construído em 1947/48. Esta construção é particular mas servia de escola primária para as crianças da zona, uma vez que a escola pública da área se encontrava bastante afastada. Também garantia habitação para os professores. O edifício está ao abandono desde 1988 (Correia 2007). Contudo, de todos os edifícios estudados, este é o que apresenta maiores cuidados ao nível do reforço estrutural, embora a qualidade da construção não seja homogénea em todo o edifício. A preocupação estrutural está patente no tipo de elementos adotados, que na altura da construção eram pouco utilizados em Portugal, nomeadamente o betão armado.

Este edifício localiza-se numa zona rural, no alto de um morro, perto da pequena capela de Nossa Senhora do Carmo ou Afincerna, datada do século XV. É constituído por dois pisos e tem planta de secção retangular, devidamente compartimentada. A divisão entre os dois pisos é efetuada por uma estrutura de madeira; nas zonas de empena mais elevada os barrotes encaixam diretamente na parede de taipa, grande parte da qual já se encontra destruída (Figura 4.9, em baixo à esquerda). Todos os compartimentos apresentam um vão para o exterior, perfazendo um total de 16 vãos (4 portas e 12 janelas). O embasamento, constituído por elementos de xisto, apresenta uma altura aproximada de 0,80 m (ver ficha técnica de inspeção n.º 26 do Anexo A).

Os módulos de taipa que constituem as paredes exteriores da construção têm dimensões de 1,65 m × 0,45 m × 0,50 m (comprimento × altura × espessura), com junta vertical desencontrada, surgindo também algumas juntas em declive. As paredes de taipa apresentam elementos de xisto entre camadas, de maneira a criar mais atrito. As paredes interiores são de tijolo cerâmico furado.



Figura 4.9. Escola do Barranco do Cai Logo, Ourique: em cima, fachada principal (noroeste); em baixo à esquerda, paredes interiores mostrando a zona de entrega da estrutura do soalho entre pisos; e em baixo à direita, pormenor do lintel de betão armado, da verga da janela e dos elementos em tijolo cozido furado na zona da entrega da estrutura da cobertura

Não foi efetuado qualquer reforço dos cunhais mas em algumas paredes foram utilizados tirantes em ferro forjado. Estes foram colocados a cerca de 0,30 - 0,20 cm do topo das paredes e ao centro da espessura desta. Os varões são ancorados nas extremidades com peças especiais e com forma de cruzeta, funcionando como uma armadura passiva (Gomes *et al.* 2009b). As paredes são coroadas com uma fiada de elementos de xisto com uma argamassa de cal, sobre a qual assenta um lintel em betão armado com espessura de 0,12 m; seguidamente estão colocados tijolos cerâmicos furados espaçados entre si e, entre os tijolos, recebia-se a estrutura de cobertura e, finalmente, uma outra camada com elementos de xisto com uma argamassa de cal (Figura 4.9, em baixo à direita). Identificaram-se, no entanto, zonas de parede sem lintel de betão armado.

As juntas verticais de ligação entre os blocos de taipa foram preenchidas por uma de argamassa de cal e areia com espessura de 2,5 cm. Na fachada principal, as juntas horizontais da taipa apresentam elementos de xisto de grandes dimensões.

Nas vergas de janelas e portas foi colocado um lintel em betão armado com uma espessura de 0,10 m e com uma entrega de 0,30 m na parede de taipa (Figura 4.9, em baixo à direita).

A cobertura consistia numa estrutura principal de madeira, com ripas também em madeira e telha de aba e canudo. A estrutura principal descarrega no lintel de betão armado, estando confinada por tijolos cozidos furados nos pontos de entrega (Figura 4.9, em baixo à direita). Nas zonas em que não há lintel de betão, descarrega em elementos de xisto. A cumeeira chega a atingir uma altura aproximada de 5,40 m. Pelo modo como se desenha a estrutura da cobertura, esta parece ter sido de quatro águas, com beirado sinuoso (Figura 4.9, em cima). No interior e no exterior, ainda existem vestígios de um reboco com espessura de 1 a 1,5 cm, constituído por argamassa de cal e areia.

4.3.6. Estudo de caso 6: Arraiolos

O edifício está localizado na Rua Melo Mexia, no centro de Arraiolos, tendo sido construído com a técnica da taipa (Figura 4.10). Apesar de desabitado, ainda tem condições de habitabilidade. São contudo necessárias algumas obras de reabilitação, nomeadamente na fachada este da edificação, parte da qual se encontra em ruína (Figura 4.10, à direita). A edificação apresenta dois pátios, um junto ao alçado principal e outro junto ao alçado posterior. Não foi possível determinar a data de construção do edifício. Foi referido pela arquiteta da Câmara Municipal de Arraiolos (CMA) que, tendo em conta a localização da edificação no tecido urbano, as hipóteses de modelos de expansão da vila e a tipologia construtiva (estudado pela CMA), é possível que esta construção tenha cerca de 200 anos.

A edificação é térrea em cerca de metade da sua extensão como consequência do desnível do terreno. As informações que foram possíveis recolher, nomeadamente no que se refere ao tipo de reforço, fundações, tipo de junta entre blocos de taipa e dimensões destes, são escassas uma vez que as paredes ainda se encontram revestidas na sua grande parte e não se encontrou qualquer projeto da construção.

Numa zona degradada do alçado principal (fachada norte), onde o revestimento se encontra destacado (Figura 4.10), foi contudo possível observar que o solo utilizado para a construção da taipa é bastante escuro, indiciando elevado teor de matéria orgânica. Em zonas urbanas era, de facto, normalmente difícil encontrar um bom solo para se construir com esta técnica. Mas, mesmo assim, os solos eram geralmente retirados das imediações, segundo informação oral fornecida, para não existir um custo elevado para o transporte do solo.

Esta zona degradada permite também observar no alçado principal (fachada norte) um embasamento em pedra e o reforço da ombreira da porta com tijolo maciço cozido (Figura 4.10, à esquerda). A cobertura apresenta uma estrutura principal em madeira, onde assentam ripas também de madeira para suporte das telhas de canudo (Figura 4.10, à direita). A edificação está caiada por dentro e por fora, com a zona do soco pintada com a tradicional cor azul (ver ficha técnica de inspeção n.º 23 do Anexo A).



Figura 4.10. Edificação em Arraiolos: à esquerda, fachada principal (norte); à direita, empena do alçado este degradado

4.3.7. Edifícios inspecionados

De uma forma geral, verificou-se a existência maioritária de construções com planta de formato retangular e pisos térreos. Excetuam-se dois dos seis edifícios escolhidos como estudos de caso, os localizados em Colos e Arraiolos, que apresentam dois pisos. Verificou-se também a existência de três edifícios com uma altura de cumeeira particularmente elevada, chegando quase aos cinco metros de altura, como pode ser visualizado na Figura 4.11.

No que diz respeito aos aspetos construtivos da taipa, as dimensões dos módulos (com base nos taipais utilizados) diferem muito, variando o comprimento entre 1,40 m e 1,70 m, e a altura entre 0,45 m e 0,55 m. A espessura das paredes apresenta valores em média de 0,50 m. A matéria-prima utilizada também é muito distinta de edificação para edificação, principalmente no que respeita à granulometria utilizada. Em alguns casos a taipa incorpora grandes quantidades de bolotas ou ramos de arbustos, o que sugere não ter existido muito cuidado na seleção do material.



Figura 4.11. Três edifícios de taipa com pé direito particularmente elevado: à esquerda, Monte Fernando Baixo, em Safara; ao centro, Herdade Afonseanes, no Sobral da Adiça; à direita, Mercado de São Luís, em Odemira

Alguns dos edifícios apresentam fiadas de pedra (muitas vezes pedra xistosa) entre os módulos de cada taipal (Figura 4.12) ou no topo das juntas verticais de continuidade entre módulos de taipa, de modo a controlar/condicionar o desenvolvimento de eventuais fissuras verticais. É ainda comum o uso de fiadas de pedra ou tijolo no topo das paredes, que servem para apoiar a estrutura de cobertura e descarregar de forma uniforme o peso desta (Figura 4.11, ao centro), simulando um lintel superior. A existência de argamassas de terra ou de terra e cal entre os módulos de taipa é frequente. Em alguns casos as juntas de continuidade entre módulos surgem em declive em vez de na vertical para melhor a conexão horizontal entre os diferentes módulos de taipa.

Salienta-se ainda a preocupação ao nível de reforço sísmico, visível em elementos construtivos específicos colocados para resistir a este tipo de ação. Poucos foram os edifícios onde não foram observados quaisquer tipos de reforço. O reforço nestas construções faz sentido, uma vez que as construções de terra apresentam uma resposta muito deficiente face aos deslocamentos horizontais provocadas pelos sismos (Gomes *et al.* 2011), quando estas não são reforçadas corretamente, e ainda pelo facto da região do Alentejo estar inserida numa zona de elevada intensidade sísmica. Os deslocamentos provocados pela ação sísmica induzem a construção a forças de inércia laterais que são devidas à resistência que a construção oferece em pôr-se em movimento em conjunto com a vibração muito irregular do solo. Quanto maior for a aceleração da base e mais pesados forem os elementos constituintes da construção, maiores serão as forças induzidas. A elevada vulnerabilidade deste tipo de construções face a um sismo deve-se à sua fraca resistência à tração, ao seu comportamento frágil e é essencialmente devida à ausência de ligações adequadas entre as várias partes da estrutura. Uma construção deverá comportar-se com um todo, ou seja, como um conjunto de elementos interligados entre si.

Foram identificados:

- (i) reforço nos cunhais, com o recurso à utilização da pedra, do tijolo cozido (Gomes *et al.* 2009b) ou, menos frequentemente, à colocação de elementos lineares horizontais em madeira encastrados um no outro (em forma de L), conforme Figura 4.13;

- (ii) reforço nas ombreiras e vergas de portas e janelas, utilizando a pedra, tijolo cozido ou madeira em lintéis (Figura 4.12);
- (iii) o uso de contrafortes (Figura 4.3, à direita), elementos constituídos por alvenaria de pedra, que melhoram o comportamento face às ações horizontais, aumentando a resistência da estrutura não apenas a abalos sísmicos mas também aos impulsos laterais derivados da existência de telhados inclinados (Gomes *et al.* 2009b);
- (iv) a utilização de tirantes metálicos (Figura 4.6, à esquerda), que atravessam a construção, interligando uma parede e a parede oposta, funcionando como uma armadura passiva, sendo estes mobilizados apenas quando ocorrem modificações dos estados de equilíbrio precedentes (Gomes *et al.* 2011);
- (v) a utilização de vigas de bordadura, em betão armado (Figura 4.9); este tipo de reforço não só confere estabilidade à estrutura, tornando-a consistente segundo uma estrutura reticulada horizontal, impedindo os deslocamentos laterais, mas também evita fissuras verticais na zona superior das paredes de taipa e na perda de união entre as esquinhas.



Figura 4.12. Edificação com a técnica construtiva da taipa construída no século XIX, Malhada do Monte Sal, Sobral da Adiça; introdução de fiadas de pedra no meio das camadas de taipa e reforço nos vãos de portas

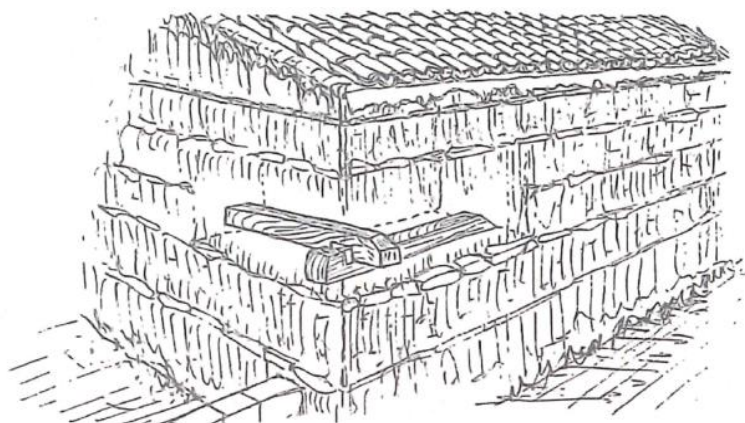


Figura 4.13. Elementos lineares horizontais em madeira encastrados (em forma de L) (Correia 2007)

Verificou-se que o reforço nos cunhais, ombreiras e vergas de portas e janelas, zonas críticas onde ocorrem grandes concentrações de esforços, é o mais recorrente. O reforço nos cunhais é efetuado muitas vezes com o recurso à pedra, ao tijolo cozido ou à madeira. Contudo, quando este não existe, constata-se a preocupação de cruzar os módulos de taipa.

A maior parte dos edifícios apresenta um embasamento, na sua maioria de alvenaria de pedra, sendo de betão armado nos edifícios mais recentes. Esta técnica visa reduzir a humidade ascensional proveniente do solo. Porém, existem edifícios que não apresentam embasamento, podendo esta circunstância ser justificada nas construções mais precárias, com técnicas construtivas menos cuidadas, ausência de materiais locais apropriados e deficiências financeiras.

4.3.8. Anomalias em paredes de taipa

O enquadramento deste trabalho e a definição dos seus objetivos - desenvolver e avaliar argamassas adequadas para reparar anomalias em paredes de taipa - nasceu das constatações que resultaram da observação efetuada e do levantamento das anomalias mais frequentes nas paredes de taipa dos cerca de trinta edifícios inspecionados.

As construções de taipa observadas, na sua grande maioria, foram construídas há mais de 30 anos. Assim, importa referir que a ocorrência de anomalias nestes edifícios pode resultar do envelhecimento natural dos próprios materiais constituintes da taipa ou dos seus revestimentos, associado à falta de manutenção ou de intervenções incorretas. Muitos dos edifícios observados encontravam-se num estado avançado de degradação, causado pelo abandono. Contudo, é importante registar que foi devido à degradação dos edifícios que se conseguiu identificar grande parte das construções de taipa, reconhecendo a técnica construtiva. Certamente existe um número bastante significativo de edifícios com paredes executadas com a técnica da taipa que, muitas vezes devido a uma cuidada manutenção e ao facto de as paredes se apresentarem rebocadas, não são facilmente identificadas como tal.

As formas de degradação observadas nas paredes de taipa devem-se a: fatores intrínsecos ao próprio material; à própria técnica construtiva; e a fatores extrínsecos, como por exemplo, a ação humana ou a ação dos agentes atmosféricos. As formas de degradação são facilmente observáveis nas construções devolutas, onde nenhum esforço foi efetuado para contrariar a degradação.

Após terem sido visitados mais de trinta edifícios na região do Alentejo é de salientar, tal como já tinha sido referido na secção 2.4.1, que a anomalia mais recorrente nas paredes de taipa foi a degradação superficial ou erosão, que poderá ser apenas ao nível do revestimento (Figura 4.14, à esquerda) ou poderá mesmo provocar o desgaste do bloco de taipa (Figura 4.14, à direita).

A propensão para a erosão dependerá dos materiais utilizados na parede de taipa, da resistência mecânica e coesão interna da taipa, do contacto com água, bem como da eventual presença de sais e da sua natureza. Dependerá também da técnica de construção - uma taipa mais compacta terá menos tendência para a erosão -, assim como das condições ambientes de cada região, da exposição das fachadas, da eventual existência e tipo de revestimento e da manutenção dos edifícios.



Figura 4.14. À esquerda, degradação superficial no revestimento de um paramento de taipa, na localidade de Barrancos; à direita, erosão da taipa associada à ascensão de água do terreno na localidade da Bemposta, Odemira

Foram ainda identificadas situações onde a falta de embasamento, a existência de embasamento deficiente ou a pouca altura deste permite o aparecimento, na taipa, da água pelo efeito da capilaridade. Este processo pode ser bastante lento, mas as suas consequências são desastrosas (Figura 4.14, à direita).

Como referido, a degradação por sais provoca nas paredes a perda de coesão e consequentemente erosão da zona exposta, provocando o destacamento do revestimento e de parte das paredes.

As paredes do mercado em S. Luís - Odemira são um exemplo de degradação aparentemente típica da presença de sais. Estes podem ter subido por capilaridade, transportados por água utilizada na limpeza do espaço - o mercado municipal é habitualmente lavado com mangueira. Os sais podem ter origem nos produtos alimentares salgados que ali são manuseados. Outra possibilidade é os sais derivarem do cimento utilizado na construção das fundações, que são de betão. Este é um problema recorrente (Gonçalves *et al.* 2006) e a hipótese faz sentido uma vez que a erosão da taipa tem lugar nas zonas junto ao embasamento (Figura 4.15).



Figura 4.15. Erosão no paramento de taipa devido à existência de sais associado à ascensão capilar, Mercado de S. Luís, Odemira

Em muitas das construções observadas foi possível identificar anomalias que se relacionam com intervenções inábeis que revelam desconhecimento da forma como se comportam as construções de terra. Esta situação relaciona-se muitas vezes com a colocação de materiais incompatíveis, nomeadamente argamassas de reparação (Figura 4.16). A recorrência deste tipo de problema foi uma das motivações da presente tese, onde se procuram formulações de argamassas de reparação que não originem anomalias.



Figura 4.16. Utilização de argamassas de base cimentícia para colmatar a erosão no paramento de taipa, verificando o destacamento das mesmas e a nidificação de pequenos insetos no seu interior, Mercado de São Luís, Odemira

O destacamento de revestimentos foi observado em vários edifícios (Figura 4.17); estes são aparentemente de base cimentícia, pelo que o seu descolamento estará provavelmente relacionado com questões de compatibilidade mecânica ou devido à ação da água, tema abordado na secção 2.4.1.



Figura 4.17. Utilização de argamassas de revestimento de base cimentícia, verificando-se o destacamento, no estudo de caso localizado em S. Domingos, Santiago do Cacém

Verifica-se também em muitos casos a ação de agentes biológicos correspondentes a um estado avançado de abandono da edificação. Estes agentes, vegetais ou animais, podem originar a deterioração química e/ou mecânica destas construções (p.e. através de excrementos de animais ou de raízes). A presença de insetos e ninhos inseridos na taipa, por exemplo, foi verificada em muitos casos (Figura 4.18). Este tipo de anomalias

promove a entrada de água, com os resultados nefastos já descritos (secção 2.4.1). O progressivo alargamento destas cavidades pode também originar a desagregação do material.



Figura 4.18. Nidificação de pequenos insetos nas paredes de taipa, na edificação localizada em Bicos, Cercal do Alentejo

4.3.9. Súmula

Em geral, é difícil atribuir as anomalias deste tipo de construções a apenas uma causa, sendo estas provocadas por vários fatores, que não são independentes uns dos outros. Não obstante, pode afirmar-se que a presença de humidade é uma das principais fontes de anomalias, uma vez que reduz a coesão interna e a resistência mecânica da taipa e potencia a ação dos sais solúveis e dos agentes biológicos.

A escassez de recursos financeiros e humanos está muitas vezes subjacente ao aparecimento de anomalias, sendo a razão de uma escassa manutenção ou mesmo abandono da edificação. Também a utilização por desconhecimento de materiais incompatíveis, em atos de construção ou reabilitação, o desaparecimento de mão-de-obra com o domínio da tecnologia tradicional, são fatores subjacentes à ocorrência das anomalias.

Verificou-se que o tipo de anomalia mais recorrente nas paredes de taipa é a desagregação e consequente falta de espessura superficial da taipa. A degradação pode atingir apenas o nível mais superficial ou, em certos casos, originar a formação pontual de cavidades mais profundas. Estes dois padrões de degradação (erosão superficial e cavidades pontuais) foram tipificados no trabalho experimental desta tese, dando origem a defeitos-padrão que permitiram testar as argamassas de reparação, tal como descrito nos próximos capítulos.

4.4. PROPRIEDADES DO MATERIAL DAS PAREDES

Uma vez que a perda de espessura das paredes é uma das anomalias mais recorrentes, em termos superficiais mas também por vezes mais em profundidade, surge a necessidade de desenvolver e avaliar argamassas que possam ser efetivas e compatíveis para utilizar na reparação. Um material que poderá ser compatível poderá ser o solo com a qual a taipa foi originalmente realizada. Contudo, a resistência e a compacidade entre a taipa e a argamassa podem ser distintas, uma vez que, a taipa é compactada e a argamassa não.

Foi necessário caracterizar os solos dos estudos de caso pois eles foram utilizados para a realização de blocos de taipa, que posteriormente serviram como suporte para aplicação e avaliação das argamassas a desenvolver. Por outro lado, havia a necessidade de caracterizar esses mesmos solos porque eles foram também utilizados nas argamassas de reparação.

A caracterização das principais propriedades da matéria-prima (solo) utilizada nas paredes de taipa dos seis edifícios em estudo foi também necessária para poder compará-las com as recomendações nacionais e internacionais existentes para a construção de terra, e em taipa em particular. Para tal, efetuaram-se vários ensaios em laboratório. Foi também necessário efetuar uma pesquisa e ulterior análise de documentos normativos disponíveis a nível internacional. Esta pesquisa bibliográfica de normas e de documentos complementares para identificar as propriedades, os procedimentos e os correspondentes limites encontram-se publicados no artigo Gomes *et al.* (2014). Os documentos estudados estão também indicados na Tabela 2.2.

4.4.1. Recolha de amostras

Foram recolhidas amostras do material constituinte da taipa das seis construções selecionadas como estudos de caso da tese. Esta recolha visou a obtenção de material para submeter aos ensaios de caracterização da matéria-prima que foram descritos no capítulo anterior, bem como para a posterior execução em laboratório de blocos de taipa com características que se pretendem “próximas” (tanto quanto possível idênticas) às das próprias paredes.

Os edifícios selecionados não apresentavam qualquer tipo de utilização, estando maioritariamente ao abandono. Não obstante, foi solicitada junto dos proprietários a devida autorização para a recolha, na medida em que esta provoca alguns danos na taipa. Na edificação de Arraiolos, como ainda se encontrava em boas condições de habitabilidade, com a taipa em bom estado, o material foi extraído de uma das poucas zonas danificadas, não tendo sido possível recolher tão grande quantidade como nos restantes casos. Devido a estas circunstâncias, os ensaios de compactação e retração linear não puderam ser realizados para este caso.

A recolha de material nos edifícios de Corte Zorrinho - Almodôvar (CZ), Colos - Ourique (CI) e Arraiolos (Ar) foi suficiente para caracterizar a taipa. Já no edifício de Avis (Av) e nos dois edifícios da localidade de Talíscas (PD e VC), foi recolhida maior quantidade de material que permitiu a caracterização das taipas, bem como a realização dos trabalhos descritos nos Capítulos 6 e 7: reprodução em laboratório de blocos de taipa que

serviram de suporte para aplicar e avaliar as argamassas de reparação, e realização das argamassas, incluindo provetes para os ensaios de caracterização destas.

Em todos os edifícios, optou-se por recolher as amostras em zonas da taipa que se encontrassem limpas, e sem anomalias visíveis, preferencialmente com o revestimento original (servindo de proteção ao paramento), que só então era removido. Tentou-se assim garantir que as amostras recolhidas eram, tanto quanto possível, representativas da construção original.

Uma outra dificuldade inerente ao material taipa decorre da sua heterogeneidade que torna difícil a tarefa de garantir a devida representatividade da amostra. A extração de amostras com dimensões regulares revelou-se uma tarefa quase impossível, devido às suas fracas resistência mecânica e coesão e às elevadas dimensões dos agregados. Assim sendo, sempre que possível foram recolhidas amostras em grandes blocos - apresentando dimensões irregulares -, de forma a respeitar a representatividade do material no que diz respeito às proporções dos diferentes tamanhos de agregados.

Tendo em conta as condicionantes referidas, o material dos seis edifícios foi recolhido com o seguinte procedimento (Figura 4.19):

- (i) seleção das áreas de recolha, preferencialmente zonas com revestimento ainda em estado razoável de conservação;
- (ii) a zona seleccionada era superficialmente limpa, retirando todo o revestimento e outros materiais que não fizessem parte da taipa, nomeadamente materiais dos lintéis, juntas entre blocos, entre outros;
- (iii) eram removidos e desprezados os primeiros 2 cm de espessura da taipa de ambos os lados da parede;
- (iv) a área era limpa com uma escova de aço e depois a amostra de taipa recolhida, cortando a zona envolvente, utilizando como utensílios escopro e maço.



Figura 4.19. Sequência dos trabalhos para a recolha de amostras: remoção do reboco e corte da taipa em blocos

O material recolhido foi identificado quanto ao local e dia da extração, acondicionado em baldes plásticos com capacidade para 50 litros e posteriormente conduzido para o laboratório. Foi necessário ter um cuidado especial aquando do transporte, sendo os baldes tapados por mantas plásticas de maneira a evitar perdas, em particular da matéria fina, ou contaminação do material.

4.4.2. Caracterização mineralógica - resultados e discussão

Os conceitos inerentes à composição mineralógica da fração fina de solos para construção estão descritos em 2.3.1. O procedimento de ensaio utilizado está descrito na secção 3.2.1. A composição mineralógica das seis amostras da fração fina de cada um dos edifícios resume-se na Tabela 4.1, com os respetivos difratogramas na Figura 4.20.

Tabela 4.1. Composição mineralógica por DRX da fração fina do material dos seis edifícios

Compostos cristalinos	Valongo, Avis (Av)	Pá Danado, Odemira (PD)	Val Chaim, Odemira (VC)	Corte Zorrinho, Almodôvar (CZ)	Colos, Ourique (CI)	Arraiolos (Ar)
Quartzo	+++	+++	+++	+++	+++	+ / ++
Feldspatos	+ / ++	Vtg	Vtg / +	++	Vtg	+ / ++
Mica	+	+ / ++	++	+	+ / ++	+ / ++
Clorite	Vtg	?	+	++	++	?
Caulinite	Vtg	+ / ++	+	+ / ++	++	Vtg
Gesso	-	-	-	-	-	Vtg / +
Anfibola	Vtg	-	-	-	-	++
Hematite	?	+	?	?	?	-

Notação: +++ proporção elevada; ++ proporção média; + proporção fraca; Vtg vestígios; ? dúbidas na presença; - não identificado

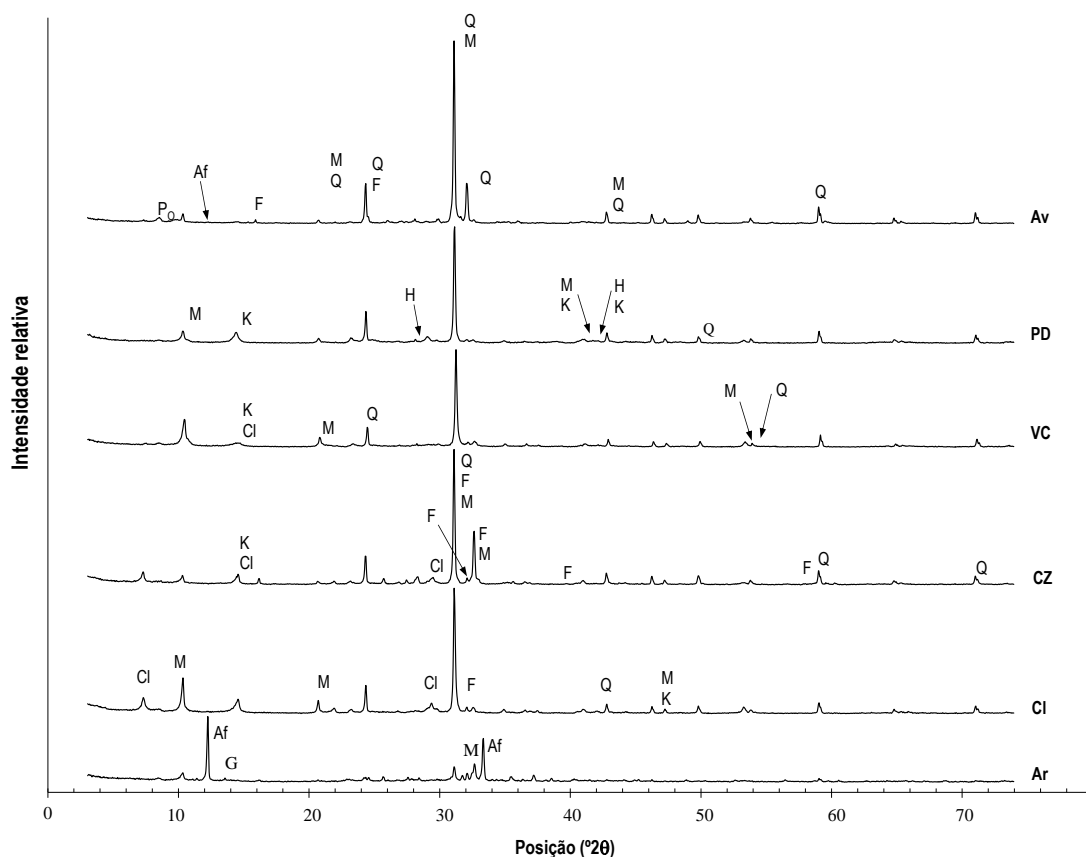


Figura 4.20. Difratogramas de raio X dos seis edifícios. Os picos nos difratogramas correspondem a uma fase cristalina identificada: Q - quartzo; F - feldspatos; M - mica/ilite; Cl - clorite; K - caulinite; Af - anfibola; H - hematite; G - gesso e Po - pico porta amostra

Em várias amostras foram detetados minerais com características de reflexão na zona de varrimento de 7° (2θ). Estes podem corresponder à família das clorites, argilas que apresentam uma baixa superfície específica, com baixa expansividade, ou podem corresponder à família das esmectites que são consideradas argilas expansivas. Procedeu-se ao despiste da presença de esmectites após tratamento com etilenoglicol. De facto, estes materiais expansivos são mais facilmente identificados quando as amostras estão saturadas e, ao contrário da clorite, as esmectites expandem com um varrimento de cerca de 6° (2θ), após o tratamento com etilenoglicol. Verificou-se por este método que não existiam materiais da família das esmectites em nenhuma das amostras. Não foram também identificados na composição das amostras estudadas minerais dos grupos da montmorilonite e da vermiculite. Estes minerais correspondem a família de argilas altamente expansivas.

Os minerais argilosos presentes nas amostras estudadas são de tipos que apresentam, de facto, de uma forma geral, fracas variações volumétricas.

A clorite apresenta uma baixa superfície específica e, conseqüentemente, pouca adsorção de água, tendo sido detetada em percentagens mais elevadas nos edifícios de CZ e CI.

A caulinite, silicato hidratado de alumínio, é um dos minerais argilosos cristalinos menos ativos e com um comportamento muito estável. Por vezes é mesmo considerado um material quase inerte, quando comparado com outros minerais argilosos. Apresenta uma fraca adsorção superficial, pelo que oferece pouco poder de retenção da água. De todos os grupos minerais argilosos é o que apresenta uma menor superfície específica. Este mineral está presente em todas as amostras, com maior incidência nos edifícios de PD, CZ e CI.

Os minerais de quartzo, feldspatos e micas são os que apresentam uma maior representatividade em todas as amostras.

A presença de óxido de ferro (hematite, Fe_2O_3), mineral metálico, foi detetada na edificação PD. Uma característica deste elemento é a sua cor avermelhada.

Por sua vez o mineral anfíbola, que cristaliza a partir do magma, apresenta-se com uma proporção média na edificação de Ar e surgem alguns vestígios na edificação de Av. O grupo das anfíbolas é constituído por silicatos complexos de dupla cadeia de SiO_4 e, em geral, contêm iões de ferro e magnésio embebidos na sua estrutura, o que contribui para as suas cores escuras (que é o caso do material presente na edificação de Ar). Na amostra de Ar foi também detetada a presença de sulfato de cálcio (gesso - CaSO_4).

4.4.3. Granulometria - resultados e discussão

Os conceitos e valores limites inerentes à distribuição granulométrica de solos para a realização de taipa estão descritos em 2.3.2. O procedimento de ensaio utilizado para determinar a curva granulométrica está descrito na secção 3.2.2. A distribuição granulométrica das terras recolhidas dos seis estudos de caso está representada na Figura 4.21.

Pode verificar-se que as seis terras apresentam uma distribuição granulométrica contínua, com duas possíveis exceções no caso de Av e CZ, cujas curvas apresentam uma maior inclinação na área central. No solo Av esta inclinação é mais nítida para as partículas com dimensões entre 0,1-2,0 mm, o que sugere a presença de

elevada percentagem de areia. O solo CZ mostra uma nítida inclinação para as partículas com as dimensões entre 0,04-0,4 mm, o que sugere a presença de uma elevada percentagem de silte grosso e areia fina a média. Tal como mencionado na secção 2.3.2, é expectável que a utilização de um solo com uma curva granulométrica contínua resulte numa taipa com maior densidade e, portanto, maior resistência mecânica e durabilidade. No entanto, não é possível prever as consequências exatas das heterogeneidades encontradas nos solos Av e CZ.

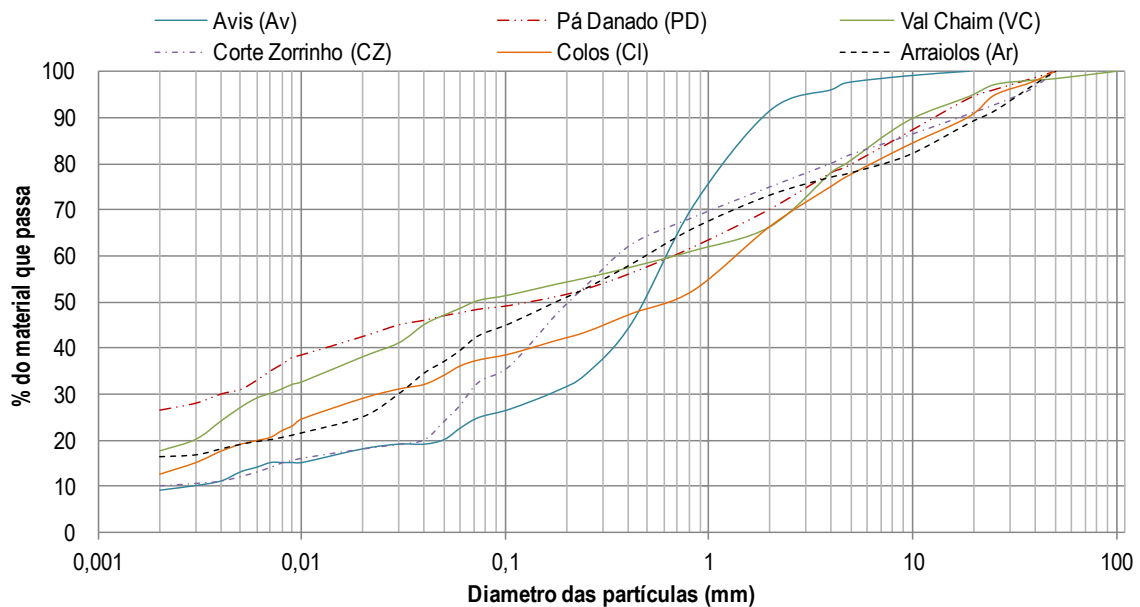


Figura 4.21. Curvas granulométricas dos seis edifícios em estudo

As análises granulométricas efetuadas permitiram constatar, Tabela 4.2, que a maioria dos estudos de caso apresenta uma significativa percentagem na fração grossa (areias e cascalhos). Os solos Av e CZ são os que apresentam as percentagens mais elevadas, nomeadamente 77,5% e 72,5%. Os dois edifícios de Odemira (PD e VC) apresentam um equilíbrio entre a fração grossa e a fração fina. Contudo, são também os que apresentam as maiores percentagens da componente argilosa. O solo da edificação Ar também apresenta um teor de argila relativamente elevado. O solo da edificação Av distancia-se largamente dos restantes pela baixa percentagem e máxima dimensão do cascalho verificada, notando-se uma elevada percentagem de areia. No extremo oposto, o solo da edificação VC apresenta uma elevada percentagem de cascalho, contendo inclusive 1% de calhaus.

A classificação dos solos revelou um enquadramento preferencial na categoria dos solos arenoso-siltosos, à exceção do solo da edificação PD, que se enquadra na categoria dos solos arenoso-argilosos, Tabela 4.2.

A Figura 4.22 apresenta as curvas granulométricas dos seis estudos de caso juntamente com os limites superiores e inferiores de alguns dos documentos normativos indicados na Tabela 2.2. Para esta comparação dos documentos referidos na Tabela 2.2, foi escolhido um documento do Grupo 1 (normas e códigos internacionais), dois documentos do Grupo 2 (outros documentos de referência internacionais) e um documento do Grupo 3 (artigos e livros). Foram escolhidos todos os documentos que apresentam valores quantitativos para taipa não estabilizada, quer no grupo 1, quer no grupo 2. Para a seleção no grupo 3, foi tido em conta o documento cujos autores são os mais reconhecidos na área. Pode constatar-se que:

- (i) os limites de MOPT (1992) são os mais abrangentes; como consequência, a gama de valores abrange praticamente todos os estudos de caso, à exceção da zona de partículas superiores a 60 mm, caso do calhau no material VC (embora seja apenas 1% de material);
- (ii) os limites de Walker e Australia (2001) são os mais restritivos na fração das partículas grossas (areias e cascalho) e, devido a esta razão, o material de Av não pode ser considerado conforme; também o material PD é excluído, devido à sua percentagem elevada de finos, já que os limites de Walker e Australia (2001), são um pouco mais restritivos do que os do MOPT (1992) também nesta zona;
- (iii) os limites da norma SAZS 724 (2001) e do documento Houben e Guillaud (2006) são muito similares e, de uma forma geral, os mais restritivos em relação às partículas mais finas; os materiais de PD e VC estão acima dos seus limites superiores, na zona da argila e do silte; convém, no entanto, referir que Houben e Guillaud (2006) mencionam que os seus intervalos para as curvas granulométricas são meramente indicativos.

Tabela 4.2. Frações granulométricas, máxima dimensão das partículas, densidade das partículas e classificação dos solos para os edifícios em estudo

Estudos de caso	Avis (Av)	Pá Danado (PD)	Val Chaim (VC)	Corte Zorrinho (CZ)	Colos (CI)	Arraiolos (Ar)
Argila (%) < 0,002 mm	9,0	26,5	17,5	10,0	12,5	16,3
Silte (%) 0,002-0,06 mm	13,5	21,1	31,0	17,5	23,5	23,1
Areia (%) 0,06 - 2 mm	68,7	22,5	17,7	47,4	30,3	33,7
Cascalho (%) 2 - 60 mm	8,8	29,9	32,8	25,1	33,7	26,9
Calhau (%) 60 - 150 mm	-	-	1,0	-	-	-
Máx. dimensão das partículas (mm)	19,05 (Peneiro 3/4")	50,80 (Peneiro 2")	101,60 (Peneiro 4")	50,80 (Peneiro 2")	50,80 (Peneiro 2")	50,80 (Peneiro 2")
Densidade das partículas (G)	2,66	2,80	2,80	2,75	2,80	2,83
Classificação dos solos (LNEC E219 1968)	Areia siltosa	Areia argilosa	Areia siltosa	Areia siltosa	Areia siltosa	Areia siltosa

Apesar das não-conformidades mencionadas, é interessante verificar que os materiais utilizados nos seis edifícios apresentam-se, em geral, dentro (ou pelo menos muito próximos) dos limites especificados para a distribuição granulométrica nas quatro referências (Figura 4.22). Tal coincidência parece notável, pois os materiais utilizados nas seis construções foram escolhidos (há muito tempo atrás) de entre os disponíveis localmente, e não selecionados ou corrigidos com base em especificações técnicas. No entanto, um dos fatores que contribui para esta coincidência poderá ser a elevada amplitude do intervalo definido pelos limites (inferior e superior) indicados nos quatro documentos analisados.

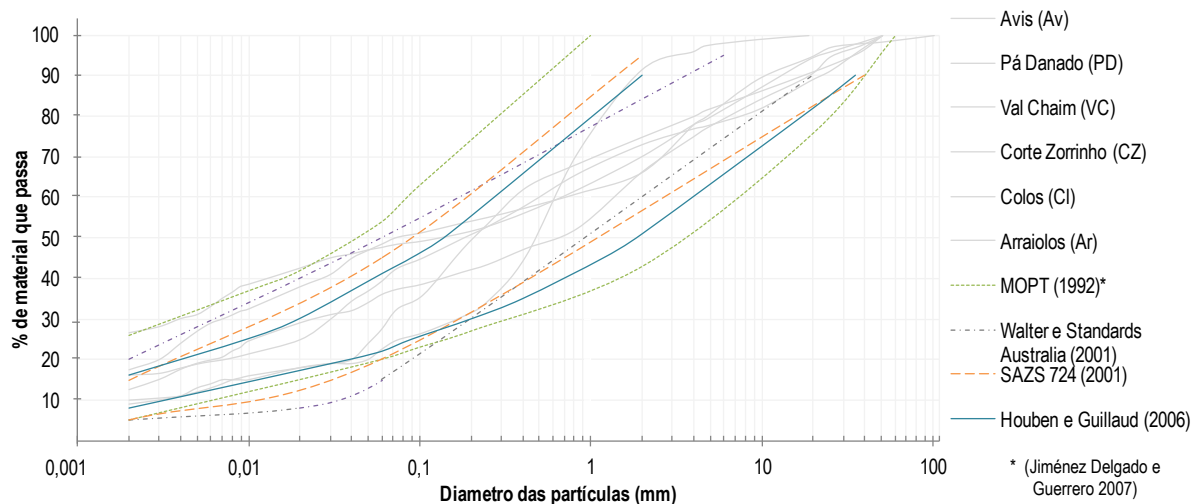


Figura 4.22. Curva granulométrica dos seis edifícios em estudo com os limites recomendados

Já o mesmo não acontece com o tamanho máximo das partículas: comparando o tamanho máximo das partículas do material dos seis edifícios analisados (Tabela 4.2) com os limites da Tabela 2.3, conclui-se que todos os materiais, com a única exceção do Av, caem fora dos limites recomendados. Isto configura uma discrepância fundamental dos edifícios de taipa antigos da região do Alentejo em relação às recomendações internacionais para construção de taipa. De facto, a maioria das referências bibliográficas desencoraja a utilização de cascalho grosso. Walker *et al.* (2005), por exemplo, embora indiquem que partículas grossas foram já utilizadas com sucesso em construções de taipa (Tabela 2.3), parecem não recomendar a sua utilização. Em primeiro lugar porque os limites granulométricos que indicam não enquadram os agregados grossos. E depois também porque enfatizam bastante os problemas que, a seu ver, podem decorrer da sua utilização: aumentando a proporção de partículas grossas, aumenta-se o risco de defeitos à superfície, tais como zonas salientes e esquinas friáveis, reduzindo ainda a resistência à compressão do material. Também os autores Patty e Minium, referidos por Maniatidis e Walker (2003), referem que o aumento do tamanho de partículas de cascalho diminui a resistência à compressão da taipa.

O tamanho máximo das partículas encontrado no material dos seis edifícios apenas é enquadrável quando comparado com os limites indicados no documento Português (Gomes e Folque 1953), Tabela 2.3. Neste caso, somente o solo VC, e apenas na percentagem de 1% possui partículas com dimensão superior a 50 mm (calhau), caindo fora do limite recomendado.

Os resultados experimentais obtidos indicam pois que as atuais recomendações internacionais não são totalmente aplicáveis à taipa tradicional na região do Alentejo no que respeita ao tamanho máximo das partículas. É interessante o facto do único documento nacional (Gomes e Folque 1953) ser aquele que, neste aspeto, está melhor adaptado para ao tipo de taipa regional estudado, que inclui a utilização de agregados de maior dimensão. Também no que se refere às recomendações das curvas granulométricas (indicadas pelo autor Florentin) referenciadas por Gomes e Folque (1953) tal como indicado na Figura 2.4, verifica-se que os seis estudos de caso se encontram dentro dos limites, à exceção, na zona dos siltes, do solo PD.

É de realçar que a norma da Nova Zelândia (SNZ 4298 1998) e o autor Segurado (1908) não estabelecem quaisquer restrições quantitativas quanto à distribuição granulométrica. Também os autores Houben e Guillaud (2006) referem que não é possível aplicar limites precisos.

4.4.4. Plasticidade - resultados e discussão

Os conceitos associados à plasticidade são apresentados em 2.3.3. Na presente tese o Limite de Liquidez, LL, e o Limite de Plasticidade, LP, foram determinados em conformidade com a NP 143 (LNEC 1969); a metodologia de ensaio encontra-se descrita na secção 3.2.3. Este método de ensaio é semelhante ao mencionado pelos quatro documentos indicados na Tabela 2.4. Os resultados obtidos para o LL, LP, Índice de Plasticidade, IP, e Atividade da Argila, A_c , para os seis estudos de caso apresentam-se na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade e atividade da argila para os seis casos em estudo

Estudos de caso	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Atividade da argila
Av	14,8	NP*	-	-
PD	41,2	25,1	16,1	0,6 pouco ativa
VC	46,1	26,7	19,4	1,1 normalmente ativa
CZ	17,0	NP*	-	-
CI	35,5	22,0	13,5	1,1 normalmente ativa
Ar	26,0	20,0	6,0	0,4 pouco ativa

NP* - Não plástico

Observando os resultados e comparando com os valores-limite da Tabela 2.4, conclui-se que os materiais recolhidos nos seis edifícios podem ser divididos em três grupos principais:

- (i) PD, VC e CI apresentam os valores mais elevados para LL (entre 36% e 46%) e um IP médio (entre 14% e 19%); de um modo geral, os valores obtidos para os dois parâmetros estão de acordo com as recomendações indicadas na Tabela 2.4; o LL do solo da edificação VC apresenta-se apenas ligeiramente acima dos limites superiores de Walker e Australia (2001) e Walker *et al.* (2005) e o IP de CI apenas um pouco abaixo do limite inferior de Walker e Australia (2001) e de Jiménez Delgado e Guerrero (2007); no que respeita ao LP apenas o solo VC apresenta um valor um pouco acima do único valor-limite recomendado;
- (ii) Ar apresenta-se como uma situação intermédia: o LL (26%), embora baixo, ainda se encontra dentro dos limites estabelecidos por três dos quatro documentos (Doat *et al.* 1979, Walker *et al.* 2005, Houben e Guillaud 2006); o IP (6%), também é baixo, mas encontra-se dentro dos limites estabelecidos por duas das quatro referências (Walker *et al.* 2005, Houben e Guillaud 2006) e apenas um pouco abaixo dos limites inferiores de uma terceira (Doat *et al.* 1979); o LP encontra-se dentro dos limites recomendados;
- (iii) Av e CZ são bastante distintos dos restantes estudos de caso: os valores resultantes para o LL, IP e LP estão em geral bastante afastados dos limites indicados nas referências normativas analisadas; o LL é

bastante baixo (entre 15% e 17%); estes valores de LL são aceitáveis apenas para Walker *et al.* (2005) que, em contraste com a tendência geral dos restantes documentos de impor um limite superior e um limite inferior para o LL, apenas define um limite superior para esta característica; além disso, não foi possível quantificar o LP em qualquer um destes solos, o que significa que estes se consideram não-plásticos; portanto, o seu IP não pode ser determinado, o que não está de acordo com as recomendações de qualquer um dos documentos pesquisados; de facto, os solos não plásticos são considerados inadequados pelas recomendações atuais, para construção de taipa; apesar disso, verifica-se em dois estudos de caso que solos não plásticos foram bem-sucedidos na construção de taipa na região do Alentejo, com uma vida útil longa; apesar do edifício CZ nunca ter sido terminado, faltando a cobertura, as paredes aguentaram vários anos e continuam a possuir alguma resistência.

Comparando os valores obtidos para os solos dos seis edifícios com os de outros estudos efetuados em edifícios de taipa, na região sul de Portugal, estas afirmações são corroboradas. Os valores para o índice de plasticidade são maioritariamente baixos, representando solos com fraca plasticidade (Motta e Canha da Piedade 1999, Fonseca 2007).

A atividade da argila (A_c) resulta da superfície específica dos minerais argilosos e da quantidade em que estes estão presentes na amostra. Correlacionando os valores da Tabela 2.5 com a Tabela 4.3, verifica-se que:

- (i) a atividade das argilas em Av e CZ não pode ser determinada; para PD e Ar a atividade da argila é baixa pois revela valores inferiores a 0,75; de acordo com estes resultados, com a percentagem de argila e com a composição mineralógica destes solos (Tabela 4.1), é expectável que estes apresentem pouca expansibilidade e baixa retração;
- (ii) os solos VC ($A_c = 1,1$) e CI ($A_c = 1,1$) apresentam-se normalmente ativos, uma vez que os valores de A_c estão compreendidos entre 0,75 e 1,25; os valores mais elevados para a atividade da argila em VC e CI devem-se à presença de mica e de clorite (Tabela 4.1); a mica detetada poderá apresentar-se dentro da classificação de uma moscovite ou de uma ilite (estes tipos de argila apresentam maior superfície específica que as restantes detetadas e conseqüentemente maior atividade, conforme secção 2.3.1).

4.4.5. Compactabilidade - resultados e discussão

Os conceitos associados à compactabilidade são apresentados em 2.3.4. Na presente tese, esta foi determinada pelo ensaio Proctor, em conformidade com a Especificação E197 (LNEC 1966c), tal como descrito na secção 3.2.4, cujos procedimentos são muito semelhantes aos utilizados pelos autores referidos na Tabela 2.6.

Os resultados do ensaio Proctor para os cinco estudos de caso são apresentados na Tabela 4.4. A realização deste ensaio não foi possível para a amostra da edificação de Arraiolos, uma vez que não existia material suficiente.

No que se refere à baridade máxima seca, comparando os resultados obtidos (Tabela 4.4) com os valores recomendados na Tabela 2.6, verifica-se que:

- (i) Av e CI apresentam-se dentro dos limites referenciados por praticamente todos os autores, estando Av

- apenas ligeiramente acima do indicado por Keable e CI um pouco abaixo do indicado por Warren - é de notar, aliás, que os limites indicados por estes dois autores não são compatíveis;
- (ii) PD encontra-se dentro dos limites para dois dos autores; contudo, seria excluído para os outros quatro autores, por se encontrar abaixo do limite mínimo;
- (iii) VC e CZ revelam valores muito baixos, sendo excluídos de acordo com todas as recomendações;
- (iv) os resultados obtidos para a baridade máxima seca não são muito elevados; inclusive os mais baixos são excluídos em todas as recomendações.

Tabela 4.4. Valores do ensaio Proctor para os edifícios em estudo

Estudos de caso	Baridade máxima seca, $\gamma_d^{máx}$ (kg/m ³)	Teor em água ótimo, TAO (%)
Av	2019	8,0
PD	1734	17,8
VC	1652	21,5
CZ	1601	11,3
CI	1815	15,6
Ar ^a	-	-

^a Ensaio não realizado devido à quantidade de material ser insuficiente

A argila contribui para a ligação mecânica entre os agregados e a água dá à argila a plasticidade necessária para a trabalhabilidade do material. Procurou-se assim, saber se existe alguma correlação entre a percentagem de material inferior a 0,06 mm (partículas finas - argila, silte) em relação à quantidade total de partículas utilizadas na amostra (ou seja, com dimensão inferior a 4,75 mm) e a baridade máxima seca (Figura 4.23). Verifica-se que o coeficiente de determinação é baixo ($R^2=0,296$) mas, ao excluir-se o valor do estudo de caso CZ, a correlação passa para excelente ($R^2=0,9571$). Significa assim que 95,7% da variabilidade encontrada para a baridade máxima seca é correlacionável com a percentagem de material inferior a 0,06 mm, sendo 4,3% devido a outros fatores. Contudo, fica a ressalva que este resultado só se verifica se for excluído o caso CZ, podendo este ser realmente uma exceção, não sendo perceptível à partida o que se deve este acontecimento.

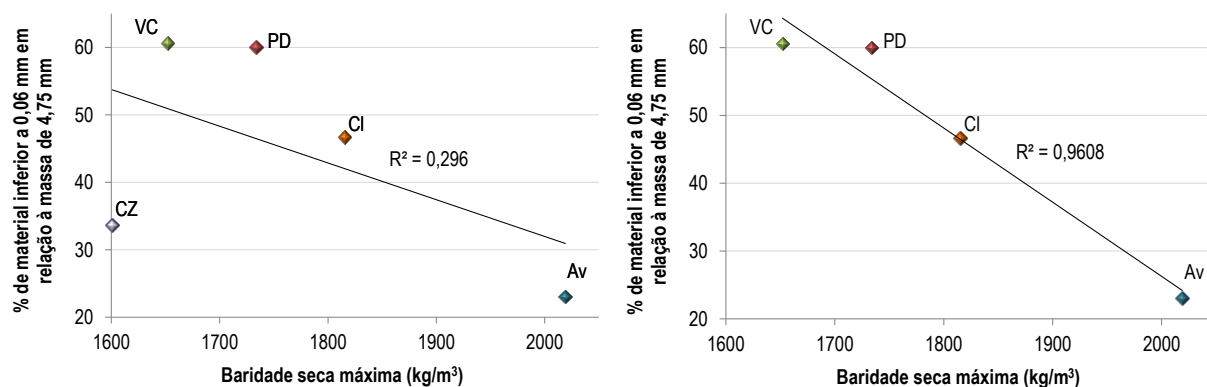


Figura 4.23. Relação entre a percentagem de material inferior a 0,06 mm em relação à quantidade total de partículas utilizadas na amostra e a baridade máxima seca indicando a linha de tendência e o coeficiente de correlação: à esquerda, com o valor do estudo de caso CZ; à direita, sem o estudo de caso CZ

Relativamente ao TAO, verifica-se que existe uma relação direta entre a percentagem de finos nas amostras e o TAO, ou seja, quanto menor for a percentagem de partículas finas (<0,06 mm) em relação à quantidade total de partículas utilizadas na amostra, menor será o TAO (Figura 4.24). Este resultado vem confirmar a afirmação anterior: será necessário um maior teor em água para lubrificar as partículas e tornar o solo trabalhável quando em presença de um solo com uma elevada percentagem de partículas finas.

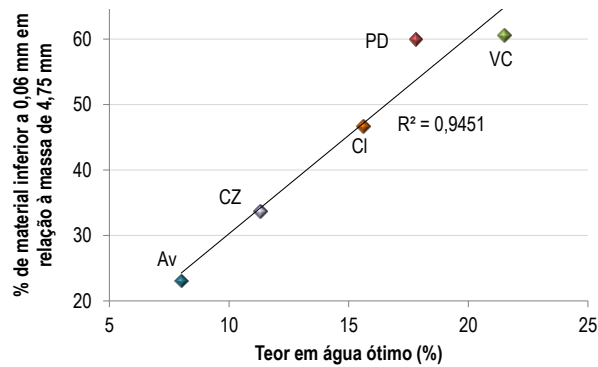


Figura 4.24. Relação entre a percentagem de material inferior a 0,06 mm em relação à quantidade total de partículas utilizadas na amostra e o teor em água ótimo em percentagem, dos vários estudos de caso, indicando a linha de tendência e o coeficiente de correlação

Já ao correlacionar o teor em água ótimo com a baridade máxima seca, verifica-se que o coeficiente de determinação é baixo ($R^2=0,3171$), conforme a Figura 4.25, à esquerda. Novamente, excluindo os valores CZ, o coeficiente de determinação passa para uma correlação excelente ($R^2=0,9961$), conforme a Figura 4.25, à direita. Assim, 99,6% da variabilidade encontrada para a baridade máxima seca é explicada pelo teor em água ótimo, sendo que apenas 0,4% se deve a outros fatores. Como anteriormente referido, só se verifica esta explicação ao excluir o caso CZ, devendo ser realizados mais estudos, para analisar as causas deste comportamento.

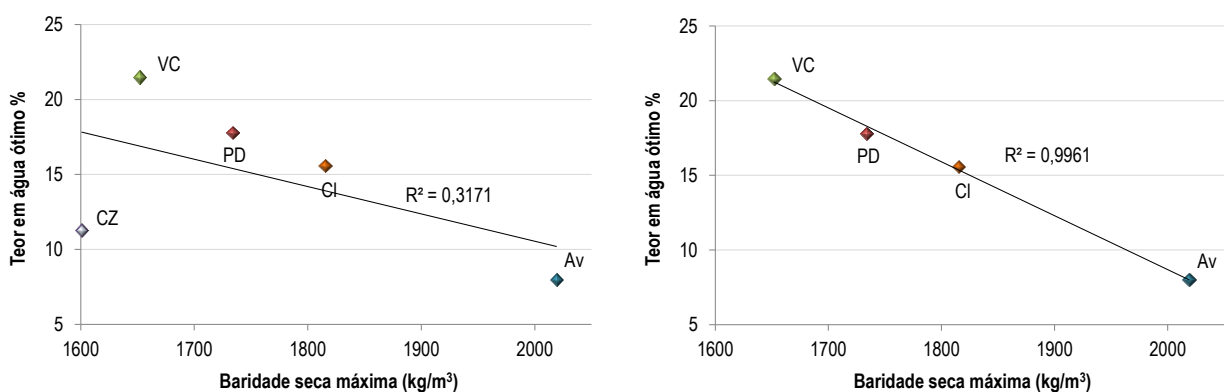


Figura 4.25. Relação entre o teor em água ótimo e a baridade máxima seca, indicando a linha de tendência e coeficiente de determinação: à esquerda, com o valor do estudo de caso CZ; à direita, sem o estudo de caso CZ

A maior parte dos materiais utilizados nos cinco estudos de caso apresentam valores para a baridade seca máxima baixos. Contudo, dada a idade dos edifícios, ao razoável estado de conservação em que se encontraram, mesmo sem manutenção e muitas vezes, sem qualquer proteção, considera-se que seria

importante, pelo menos para esta taipa regional, que o intervalo de valores admissíveis por parte das recomendações fosse ampliado.

4.4.6. Retração linear - resultados e discussão

Os conceitos e valores limite da retração são referidos em 2.3.5. Para a avaliação da retração utilizou-se o ensaio de retração linear, seguindo aproximadamente o procedimento mencionado por Walker e Australia (2001), o qual é descrito na secção 3.2.5. A opção pelo procedimento destes autores deve-se ao facto de limitarem a dimensão dos agregados contidos na amostra (a um valor máximo de 6 mm) e especificarem o teor de água. Com efeito, a elevada dimensão dos agregados presentes em alguns dos seis casos estudados (Figura 4.21) não seria compatível com a pequena dimensão do molde, caso não fosse efetuada uma peneiração prévia. Redimensionar o molde utilizado no ensaio em função do tamanho dos agregados presentes na amostra não pareceu viável, uma vez que tornaria o molde com dimensões excessivas. A fração de solo testado neste ensaio (partículas inferiores a 6 mm), corresponde entre 80-86% do material presente em cada amostra à exceção do material de Av do qual apenas ficou excluída uma percentagem inferior a 2% (Figura 4.21). Contudo, é de realçar que as principais partículas responsáveis pela retração, a argila, encontram-se na sua totalidade presente na amostra ensaiada, continuando estas a ser representativas.

O valor médio da retração linear e o correspondente desvio padrão para os cinco estudos de caso estão expressos na Tabela 4.5. Este ensaio não foi efetuado no material proveniente da edificação de Arraiolos, uma vez que não existia quantidade suficiente de material para a sua realização.

Como se verifica, a retração dos solos analisados é baixa, nunca excedendo os 2,5%, valor de retração máxima recomendada de acordo com Walker e Australia (2001) (Tabela 2.8), cujo método de ensaio se seguiu. O desvio padrão calculado mostra que a variabilidade dos valores da retração linear obtidos é negligenciável. Contudo, é necessário ter em consideração que o valor limite de 2,5% recomendado por Walker e Australia (2001) refere-se a uma taipa estabilizada com 4 a 6% de cimento. Porém, poderão também analisar-se os resultados em função dos requisitos indicados por Keable (1996) para uma taipa não estabilizada, que limitam a retração a 2%, com as mesmas dimensões do molde e o mesmo teor em água. Verifica-se que para os cinco estudos de caso a retração é muito inferior também ao valor limite recomendado por este autor. Sendo a retração linear inferior aos 2% (Tabela 4.5), verifica-se que estes resultados são consistentes com os resultados observados do ensaio de DRX (Tabela 4.1), onde não foram detetadas argilas expansivas em elevada quantidade.

A mais forte retração linear do material da edificação PD (1,31%), quando comparado com as restantes amostras, poderá explicar-se ao analisar a composição mineralógica (Tabela 4.1) desta amostra. A mica detetada no difratograma obtido através do ensaio de difração de raio X pode apresentar-se dentro da classificação de uma moscovite ou uma ilite. Os minerais do grupo das micas podem ainda ser divididos em micas ígneas e metamórficas, onde estão compreendidas moscovites, biotites, entre outras, ou em micas argiláceas, onde estão compreendidas ilites e argilo-minerais onde as ilites são constituintes (Santos 1989). Este tipo de minerais são mais expansivos do que os restantes compostos cristalinos encontrados nesta amostra, nomeadamente a caulinite, que apresenta uma expansibilidade volumétrica muito baixa. Este tipo de composto

mineralógico (mica) e o facto de esta amostra apresentar a percentagem mais elevada em argila, do que as restantes, podem explicar o facto de a retração ser a mais elevada em PD.

Tabela 4.5. Valores da retração linear para os edifícios em estudo

Estudos de caso	Retração linear (%)	
	Média (%)	Desvio Padrão (%)
Av	~ 0	0
PD	1,31	0,12
VC	0,86	0,03
CZ	~ 0	0
CI	0,08	0,01
Ar ^a	-	-

^a Ensaio não realizado devido à quantidade de material ser insuficiente

Parece existir uma correlação linear entre a retração linear e a percentagem de argila (Figura 4.26, esquerda), sendo o coeficiente de determinação forte ($R^2=0,9363$). Este resultado é interessante uma vez que mostra que a quantidade percentual da argila presente na amostra influencia a retração quando comparado com totalidade das partículas existentes na amostra (partículas inferiores a 6 mm), Figura 4.26, à direita.

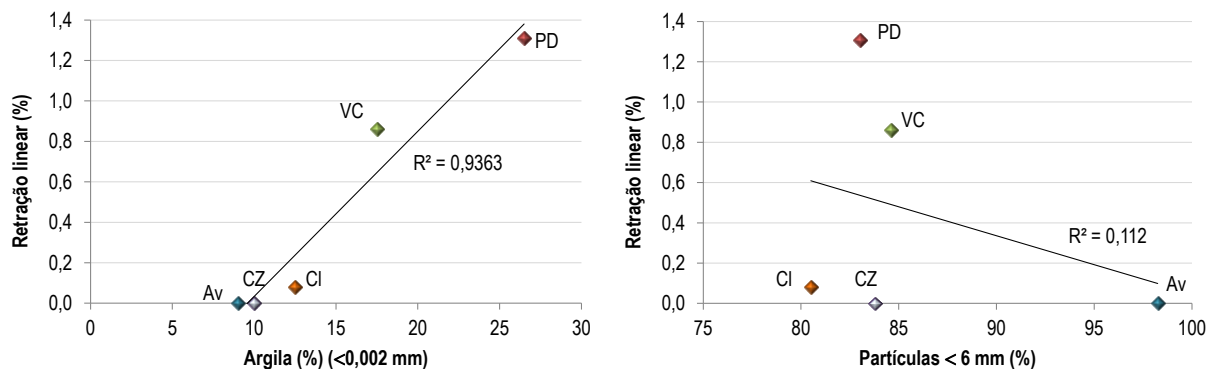


Figura 4.26. Relação entre a retração linear e a granulometria da amostra: à esquerda, com a percentagem de argila, indicando a linha de tendência e o coeficiente de correlação; à direita, com a percentagem das partículas inferiores a 6 mm

4.4.7. Teor de matéria orgânica - resultados e discussão

Os conceitos e valores limite referentes ao teor em matéria orgânica estão apresentados em 2.3.6. Na presente tese, a determinação do teor de matéria orgânica dos solos dos seis estudos de caso foi efetuada por calcinação segundo a norma ASTM D2974-07 (2007) - *Test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils*, com algumas alterações, podendo o procedimento de ensaio ser consultado na secção 3.2.6.

O teor em matéria orgânica dos materiais analisados para os seis estudos de caso está indicado na Tabela 4.6. Quando estes valores são comparados com os limites (Tabela 2.9) recomendadas por King (1996), Warren (1999), Walker *et al.* (2005) e Houben e Guillaud (2006), verifica-se que apenas Av e CZ apresentam claramente valores aceitáveis de 0,9% e 1,8% de teor de matéria orgânica, respetivamente. O material Ar contém mais de

5% de matéria orgânica, excedendo todos os limites. Assim, face à maioria dos documentos analisados, pode-se afirmar que todos os casos seriam excluídos, à exceção de Av e CZ.

Tabela 4.6. Matéria orgânica no solo nos edifícios em estudo

Estudos de caso	Matéria orgânica (%)			
	Tamanho pequeno (MO _{pequeno})		Visível (MO _{visível}) [3.6]	Total (MO) [3.7]
	Média aritmética das cinco amostras	Desvio Padrão		
Av	0,94	0,03	-	0,9
PD	4,33	0,11	0,20	4,5
VC	3,51	0,08	-	3,5
CZ	1,79	0,03	-	1,8
CI	3,52	0,10	0,03	3,6
Ar	5,38	0,07	-	5,4

Na Figura 4.27 verifica-se que os materiais PD e CI apresentam uma maior quantidade de matéria orgânica macroscópica quando comparados com os restantes, sendo visíveis pequenos pedaços de madeira. Este facto deve-se, possivelmente, ao pouco cuidado aquando da preparação do solo para a construção. Não obstante, o ensaio de calcinação revelou que a matéria-prima da edificação Ar apresenta o valor total de matéria orgânica mais elevado (Tabela 4.6), embora não sejam visíveis pedaços macroscópicos. A forte presença de matéria orgânica pode ser muitas vezes indiciada pela cor escura do solo. E, de facto, a edificação que apresenta a maior percentagem de matéria orgânica - Ar - apresenta a cor mais escura (castanho escuro) de entre todos os estudos de caso. Em todos os solos dos estudos de caso foi também realizado o teste do cheiro. Verificou-se que em todos era identificável um forte odor a húmus e a mofo, à exceção dos casos Av e CZ que é, de facto, o que tem teor de matéria orgânica mais baixo. Assim, de uma forma muito expedita e apenas qualitativa, este resultado corrobora os valores obtidos pelo ensaio da calcinação. De acordo com a maioria dos investigadores e recorrendo apenas ao teste expedito do cheiro, seria de rejeitar todos os solos para construção em taipa, à exceção da matéria-prima de Av e CZ. Analisando os resultados do ensaio de calcinação com as recomendações quantitativas verifica-se que todos, à exceção de Av, estão próximos do valor limite (CZ) ou apresentam valores muito superiores (PD, VC, CI e Ar) aos 2% - valor mais baixo para taipa não estabilizada para duas referências.

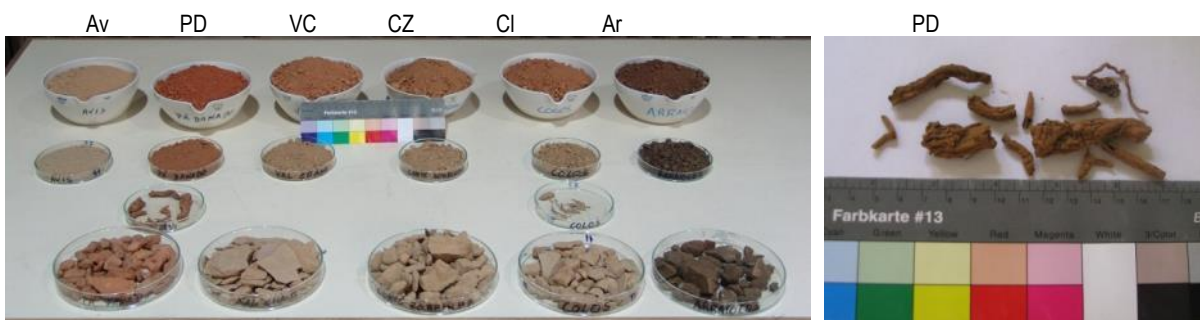


Figura 4.27. Resultado do ensaio para a determinação do teor de matéria orgânica. À esquerda, de trás para a frente: cápsula de porcelana com material calcinado; petri com o material que passou no peneiro com abertura de 9,52 mm; petri com matéria orgânica com dimensões superiores a 10 mm; petri com material que ficou retido no peneiro com abertura de 9,52 mm. À direita, matéria orgânica superior a 10 mm de comprimento

4.4.8. Teor em sais - discussão e resultados

Os conceitos e valores limite referentes ao teor em sais estão apresentados em 2.3.7. Na presente tese, o teor em sal dos materiais foi avaliado por meio de um método baseado na determinação do HMC e específico para este fim (Gonçalves e Rodrigues 2006, Gonçalves *et al.* 2006, Gonçalves 2007). O método está descrito na secção 3.2.7. e baseia-se no facto de o HMC de sais solúveis ser significativamente mais elevado do que o dos materiais de construção porosos, o que permite assumir que toda a humidade higroscópica que uma amostra absorve do ar deriva da ação higroscópica do sal que esta contém.

O teor em sais dos materiais analisados para os seis estudos de caso está indicado na Tabela 4.7. No caso do material Ar, sendo baixa a atividade da argila (Tabela 4.3) e não excessivamente expressiva a quantidade (Tabela 4.2) da argila que contém, é provável que a elevada absorção higroscópica corresponda, na verdade, a uma presença relevante de sal. O ensaio não permite evidentemente saber se o sal estava presente no material utilizado na construção original ou resultou de contaminação posterior. No primeiro caso, a proveniência do sal pode estar associada à natureza da matéria-prima, à zona de recolha do material ou à água utilizada na altura de construção que poderiam estar contaminadas. No segundo, poderá dever-se a contaminação por água existente no terreno de implantação da construção, que é absorvida por ascensão capilar ou ainda a sais existentes na atmosfera envolvente, por exemplo.

Aquando a recolha da matéria-prima deste estudo de caso, eram visíveis pequenos pontos brancos, aparecendo mesmo veios de um composto branco (Figura 4.28, à esquerda) que mais tarde se veio a identificar como sendo gesso (CaSO_4). Realizou-se um teste à matéria-prima. Foi dissolvida uma pequena quantidade de solo em água destilada e adicionadas algumas gotas de cloreto de bário (BaCl_2) (Porta 1998). A presença de sulfato foi detetada pela formação de um precipitado branco (Figura 4.28, ao centro e direita), sendo presumido que este seja enxofre na forma de sulfato de cálcio (CaSO_4 - gesso). A presença de sais tais como sulfatos (Tabela 2.10) é prejudicial às construções, como explicado em 2.4.1.

Tabela 4.7. Teor em humidade higroscópica ($T=20^\circ\text{C}$ e 96% HR) e teor de sal estimado dos materiais

Estudos de caso	Teor em humidade higroscópica (%)		Teor de sal equivalente, assumindo a presença de um sal único (%)	
	Média	Desvio Padrão	NaCl	Na_2SO_4
Av	4,2	0,3	0,2	0,6
PD	5,4	0,1	0,3	0,7
VC	4,7	0,2	0,3	0,6
CZ	1,2	0,1	0,1	0,2
CI	3,1	0,1	0,2	0,4
Ar	42,6	1,0	2,5	5,7
Amostra de referência (100% de NaCl)	1763,6 (corresponde a uma HR de 96,8%)	21,8	-	-

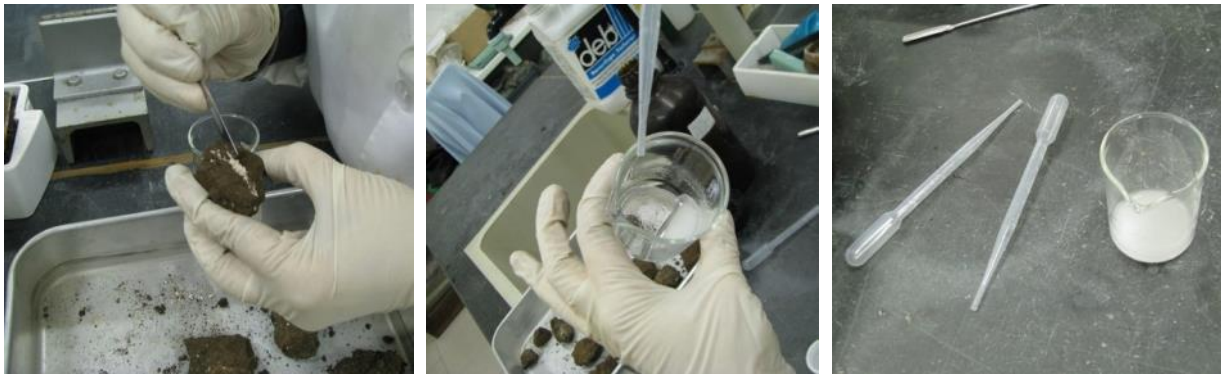


Figura 4.28. Teste expedito para a verificação da presença de sulfatos através da precipitação de uma solução de cloreto de bário (BaCl_2)

4.5. SÚMULA

Este capítulo teve como principal objetivo a análise de diversos edifícios de taipa não estabilizada localizados no Alentejo, das suas principais anomalias e a caracterização do material utilizado na taipa.

As anomalias presentes neste tipo de edifícios são provocadas por vários fatores de degradação, que podem ser potenciadores uns dos outros. Verificou-se que as anomalias mais recorrentes nas paredes de taipa das mais de 30 construções visitadas na primeira fase do trabalho eram a desagregação do paramento de taipa a um nível superficial e a conseqüente erosão, com formação pontual de cavidades mais profundas. A presença de humidade é uma das principais causas de degradação, pois esta reduz a coesão interna e a resistência mecânica da taipa, e potencia a ação dos sais solúveis e dos agentes biológicos. Os fatores humanos - a não conservação dos edifícios - assumem também um destaque bastante negativo, sendo responsáveis, direta ou indiretamente, pelo aparecimento de grande parte das situações anómalas. Embora seja de esperar que, em edifícios ao abandono, após desmoronamento da cobertura, a degradação da edificação acelere, atingindo-se rapidamente a ruína, o facto é que se encontraram edifícios já sem cobertura (há vários anos) com paredes em relativo bom estado de conservação. A manutenção periódica deste tipo de edifícios tem um papel fundamental na sua conservação, nomeadamente do que se refere à proteção das paredes. Todavia, nas obras de manutenção devem ser utilizados materiais compatíveis, nomeadamente no que diz respeito às argamassas de reparação. Com vista ao desenvolvimento de argamassas de reparação adequadas a estes trabalhos, começou-se por tentar perceber quais as características fundamentais do material utilizado na taipa, tendo como referência os seis edifícios de taipa não estabilizada quimicamente localizados no Alentejo, que foram selecionados como estudos de caso.

No ponto 2.3 foi realizada uma pesquisa na literatura para identificar as propriedades dos solos a utilizar na taipa não estabilizada (Gomes *et. al* 2014) e os procedimentos de ensaio mais adequados, que foram descritos em 3.2 e utilizados na caracterização dos solos dos estudos de caso, como descrito no presente capítulo.

As principais conclusões sobre a caracterização das partículas finas a nível mineralógico e as seis propriedades analisadas (granulometria, plasticidade, compactabilidade, retração linear, teor de matéria orgânica e teor em sais) são as seguintes:

- (i) Relativamente à caracterização mineralógica, não foram identificados materiais argilosos com características expansivas; de facto os minerais com maior abundância são: quartzo, feldspato, mica, clorite e caulinite.
- (ii) A granulometria dos seis materiais recolhidos encontra-se, em geral, dentro dos limites superior e inferior considerados na literatura especializada; no entanto, o mesmo não acontece com o tamanho máximo de partículas, o que parece configurar uma discrepância fundamental entre as recomendações atuais internacionais e as características dos materiais utilizados nos edifícios antigos de taipa na região do Alentejo. De facto, cinco dos seis materiais excedem o tamanho máximo recomendado para o agregado em cinco dos sete documentos considerados. É interessante salientar que o único documento nacional que aborda esta característica (Gomes e Folque 1953), admite a possibilidade da utilização de agregados muito maiores (até 50 mm), sendo este documento o que melhor se adapta aos materiais analisados; neste caso, apenas o solo VC seria rejeitado e apenas em relação a cerca de 1% da sua composição. Contudo, é de referir que dois dos sete documentos não apresentam restrições quantitativas, não aplicando limites precisos.
- (iii) Quanto à plasticidade, os resultados mostraram que quatro dos seis materiais analisados se encontram de acordo com (PD, VC e CI) ou muito perto (Ar) dos limites estabelecidos pelos quatro documentos analisados. No entanto, estes resultados também revelaram que solos não plásticos, em que o LL é baixo e o IP indeterminado, foram utilizados com aparente sucesso nos restantes dois casos (Av e CZ), apesar de este tipo de solo ser amplamente considerado inadequado para construção de taipa, julga-se assim pertinente alargar os limites estabelecidos nas recomendações estabelecidas a um nível internacional.
- (iv) No que diz respeito à compactabilidade e para os valores da baridade máxima seca (γ_d): os materiais de Av e de CI apresentam-se dentro dos limites dos seis documentos referenciados; PD encontra-se dentro dos limites para dois dos autores mas seria excluído pelos restantes quatro autores; VC e CZ revelam valores muito baixos, sendo excluídos de acordo com todas as recomendações. Verifica-se que os resultados obtidos não são muito elevados, inclusive os resultados mais baixos são excluídos em todas as recomendações. Apesar dos resultados obtidos, e dada a longevidade dos edifícios de onde os materiais foram recolhidos, pelo menos para esta taipa regional, considera-se que o intervalo de valores admissíveis deveria ser ampliado.
- (v) A retração linear nos seis materiais estudados é baixa (praticamente nula em quatro casos) e nunca excede os limites máximos identificados. É ainda necessário ter em consideração que a percentagem da argila presente na amostra também se apresenta como um fator de relevância. No entanto, algumas observações podem ser feitas ao ensaio da retração linear; a maior parte das referências pesquisadas utilizam o método de Alcock, existindo, contudo, problemas em relação à praticabilidade do procedimento experimental.
 - Nos casos em que a fração grosseira não é removida o processo não é aplicável a solos com agregados de grandes dimensões, tais como os encontrados na maioria dos seis estudos de caso, devido ao reduzido tamanho do molde.

- A secagem não é em geral realizada em condições controladas: à temperatura ambiente ou mesmo sob luz solar direta é o indicado na maioria dos casos, o que pode comprometer a reprodutibilidade dos resultados experimentais. Para além disso, a exposição à luz solar direta pode ser impraticável, especialmente em condições de inverno, com tempo encoberto, pluviosidade e elevada humidade relativa.

(vi) Relativamente ao teor de matéria orgânica, os valores obtidos para quatro dos seis materiais excedem claramente os limites definidos na literatura. Além disso, dois destes materiais (PD e CI) apresentam quantidades bastantes significativas de matéria orgânica de elevada dimensão (pequenos paus e raízes), indiciando que não foi efetuada uma seleção ou preparação cuidadosa do solo a utilizar para a construção da taipa. Provavelmente o solo utilizado foi o da camada vegetal, com maior percentagem de matéria orgânica. Contudo, os edifícios não parecem degradados devido a esta característica. É interessante também notar a extrema variabilidade dos requisitos e métodos de ensaio que dizem respeito a esta propriedade: seis documentos apresentam uma orientação geral apenas qualitativa para rejeitar solos que contenham matéria orgânica; quatro outras referências aconselham o teste expedito do cheiro, também apenas qualitativo; apenas quatro documentos apresentam limites quantitativos, sendo que dois deles coincidem (teor de matéria orgânica inferior a 2% em massa) e os dois restantes documentos apresentam limites um pouco mais elevados (teor de matéria orgânica inferior a 4 e 5% em massa, respetivamente).

(vii) Quanto ao teor de sal, os resultados experimentais indicam que este é baixo para cinco dos estudos de caso. O teor de sal parece ser significativo apenas para o material presente na edificação urbana (Ar), este poderia já estar presente aquando a construção ou ter surgido no decorrer dos anos. Quanto aos requisitos encontrados nos vários documentos, estes parecem demasiado generalistas, não apresentando qualquer justificação quanto ao número reduzido e tipos de sais que abrangem: apenas três das dez referências estabelecem valores-limite quantitativos (máximo 2%, em massa) e apenas três referem procedimentos. Experimentalmente alguns autores consideram que a determinação do teor de humidade higroscópica pode ser uma alternativa expedita, para a avaliação do teor em sais, tendo sido este o método utilizado.

O solo utilizado para a construção dos seis edifícios estudados, na sua maior parte, não se apresenta dentro dos limites propostos para as diferentes propriedades em vários documentos. Serão estes solos assim tão inapropriados para a construção com terra? Ou deveriam os limites ser mais abrangentes? Antigamente não existia uma seleção rígida, baseada em ensaios laboratoriais, do material. Contudo, eram selecionadas terras adequadas, dentro das disponíveis na região. A escolha baseava-se em conhecimento empírico. Este método de decisão à partida seria bastante eficiente, uma vez que existem inúmeras soluções em bom estado de conservação, quando sujeitas a alguma manutenção.

Existem muitos documentos tais como regulamentos, documentos normativos e documentos técnicos de vários países, referindo qual o melhor solo a ser utilizado para a técnica da taipa, mas ainda não existe um consenso a nível mundial sobre quais as principais propriedades a considerar, nem uma uniformização dos limites, sejam eles quantitativos ou qualitativos. Perante esta grande diversidade, como avaliar quais os solos mais indicados para a construção com taipa? Deverão estabelecer-se critérios flexíveis, para as diferentes propriedades, de

modo a responderem a exigências comportamentais genéricas? De facto, já existem, nos regulamentos analisados, requisitos com carácter não prescritivo em algumas das propriedades. Será este o caminho a ter em conta na construção de terra?

Alguns regulamentos (para construções de terra) apresentam um carácter exigencial, ou seja, não prescritivo (sobretudo o regulamento NZS 4298 1998); os regulamentos não prescritivos são mais flexíveis e estabelecem um conjunto de medidas, sendo para tal exigida uma solução que garanta o desempenho esperado, não sendo prescritiva uma solução. Este tipo de regulamentos refere-se às características comportamentais da estrutura, mais do que a materiais específicos. Os regulamentos exigenciais apresentam objetivos específicos, linhas de orientação com indicações precisas e detalhadas e metas a serem alcançadas, as quais devem ser satisfeitas.

É também importante referir que em Portugal o único documento para a construção com terra foi realizado pelos autores Gomes e Folque (1953) e publicado pelo LNEC em 1953, sendo este um estudo que apenas aborda a granulometria como característica da terra e descreve a técnica construtiva da taipa. É assim recomendável a implementação urgente de alguma regulamentação nesta área de construção.

O trabalho realizado mostra que é necessário ter em conta o desempenho e as características de construções existentes, como base para a redefinição de valores-limite para as propriedades chave dos solos a utilizar na taipa, bem como para uma definição adequada dos métodos de ensaio correspondentes. Verificou-se também que é conveniente e útil validar os requisitos a nível regional e, eventualmente, ajustá-los às especificidades de materiais locais utilizados com sucesso. A generalização de um tipo de terra ideal para a técnica construtiva da taipa parece ser um objetivo difícil de atingir, correndo-se o risco de estabelecer regras redutoras. Confirmou-se neste trabalho que os materiais locais, apesar de muitas vezes não se enquadrarem nos requisitos apontados para as seis propriedades estudadas, permitiram obter construções viáveis. Até dentro da mesma região, os solos podem variar, como nos estudos de caso de PD e VC, que distam não mais de 4 km e apresentam características bastante diferentes. A situação verifica-se para os seis edifícios de taipa alentejanos estudados mas poderá também acontecer, em relação às mesmas propriedades ou outras, com solos utilizados para a construção com taipa em outras regiões a nível mundial. As especificidades dos solos locais devem ser tidas em conta pois são os mais apropriados para uma construção sustentável, um dos principais fatores que justifica o futuro da construção com terra.

5

MATERIAIS UTILIZADOS E BLOCOS DE TAIPA

Neste capítulo são descritos todos os materiais utilizados nas argamassas de reparação, bem como os procedimentos seguidos na sua preparação. É também focada a execução dos blocos de taipa, assim como dos defeitos-padrão neles realizados, com vista à aplicação das argamassas de reparação.

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são identificados e caracterizados todos os materiais utilizados nas argamassas de reparação e nos blocos de taipa, bem como os procedimentos seguidos na preparação de ambos. Como referido anteriormente, foram utilizadas terras de três edifícios (Av, PD e VC) utilizados como estudos de caso e ainda uma terra-padrão comercial. Os resultados dos ensaios de caracterização servirão de base à interpretação dos resultados apresentados nos próximos capítulos. Pretende-se também que eles permitam, como é boa prática científica, a reprodução do trabalho experimental desta tese por futuros investigadores. As designações, com as respetivas abreviações dos materiais, blocos de taipa e respetivas argamassas apresentam-se na tabela 5.1.

Tabela 5.1. Designações atribuídas aos materiais, blocos de taipa e argamassas

	Material após colheita	Material utilizado nos blocos de taipa	Blocos de taipa	Material utilizado nas argamassas	Argamassa
Edifício Av	MAv	MAv_B	BAv	MAv_A	AAv
Edifício PD	MPD	MPD_B	BPD	MPD_A	APD
Edifício VC	MVC	MVC_B	BVC	MVC_A	AVC
Terra-padrão	MTP	-	-	MTP_A	ATP

5.2. MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização dos vários ensaios utilizaram-se terras locais recolhidas de três estudos de caso, sendo estas do edifício Av, PD e VC, respetivamente. Foi também utilizada uma terra comercial obtida no mercado nacional português, tendo esta sido selecionada de entre alguns materiais disponibilizados por um barreiro, como se explica na próxima secção.

No que se refere às adições de ligantes minerais e tendo em atenção a literatura especializada (ver secção 2.5.2) e a prática corrente na reabilitação em Portugal (Anexo A), foram utilizados os ligantes mais recorrentes, nomeadamente a cal aérea hidratada, cal hidráulica e cimento Portland. Optou-se ainda por utilizar o ligante mineral cimento natural, devido ao recente interesse a nível internacional no campo da conservação.

As fibras vegetais utilizadas tiveram como objectivo contribuir para uma diminuição da retração, sendo a opção entre as várias possibilidades, a escolha pelas fibras de cânhamo.

5.2.1. Terras

Para as argamassas de reparação utilizaram-se como base três terras (MAv, MPD e MVC) provenientes dos estudos de caso selecionados, os quais foram amplamente caracterizadas na secção 4.4. Para além destas foi ainda utilizada uma terra argilosa comercial, denominada terra-padrão (TP). As argamassas foram utilizadas na reparação de defeitos-padrão executados nos blocos de taipa fabricados a partir das três terras locais MAv, MPD e MVC. As argamassas de terra local AAv, APD e AVC foram aplicadas apenas nos blocos da terra respetiva, o que representa a situação em que a reparação é efetuada com recurso a terra local. Já as argamassas ATP foram aplicadas nos três tipos de taipa, o que simula a situação em que a reparação é efetuada com uma

argamassa baseada numa terra diferente da das edificações, potencialmente com uma argamassa comercial adquirida para esse fim.

Terras locais

A preparação das três terras locais selecionadas seguiu procedimentos distintos para o caso das argamassas de reparação e para o caso dos blocos de taipa, como a seguir descrito.

A preparação da matéria-prima para a realização dos blocos (MAv_B, MPD_B e MVC_B) passou pelas seguintes etapas (Figura 5.1):

- (i) desagregação dos torrões existentes com a ajuda de um martelo de borracha (de maneira a não partir os agregados);
- (ii) peneiração por via seca pelo peneiro de 12,50 mm (# 1/2" ASTM), rejeitando o material retido; a utilização de agregados de grandes dimensões não seria compatível com a dimensão dos blocos de taipa descritos na secção 5.3, pelo que foi necessário limitar a dimensão dos agregados presentes nas amostras; tendo em conta a disponibilidade de peneiros na escala ASTM, nomeadamente de 19,05 mm (# 3/4" ASTM), 12,50 mm (# 1/2" ASTM) e 9,52 mm (# 3/8" ASTM), a dimensão máxima para os agregados foi fixada em 12,5 mm;
- (iii) homogeneização do material que passou pelo peneiro, utilizando um repartidor, de acordo com o procedimento de ensaio descrito pela norma EN 1015-2 (CEN 1998c) e respetivo aditamento.



Figura 5.1. Preparação do material para realização dos blocos de taipa: à esquerda, desagregação dos torrões com o auxílio do martelo de borracha; ao centro, seleção da terra através de peneiração; à direita, matéria-prima final

A preparação das terras utilizadas nas argamassas (MAv_A, MPD_A e MVC_A) foi efetuada do seguinte modo:

- (i) peneiração por via seca através do peneiro de 2 mm (N.º 10 ASTM); após este processo, verificou-se que a peneiração por via seca apenas se tornava viável para o material da edificação de Avis (MAv_A), uma vez que, para os restantes materiais (MPD_A e MVC_A), as partículas mais finas, devido à elevada percentagem em argila e por estarem agregadas, não passavam pela malha do peneiro, optando-se assim pela peneiração por via húmida; considera-se ser este procedimento o mais correto para amostras que

apresentem materiais finos agregados, especialmente quando a malha do peneiro escolhido para a separação dos materiais seja reduzida;

- (ii) decantação do material passado no peneiro;
- (iii) rejeição da água limpa resultante do processo de decantação, sendo o material sólido seco em estufa ventilada a uma temperatura de 40° C (Figura 5.2);
- (iv) moagem do material sólido através do moinho de maxilas e homogeneização do material com auxílio de um repartidor, com base na norma NP EN 1097-3 (2002); após este procedimento verificou-se que mais de metade do material que tinha sido rejeitado por peneiração por via seca foi admitido por via húmida (com a mesma malha de peneiro), corroborando a afirmação de que o processo de peneiração por via húmida é mais correto.

A necessidade da utilização de um moinho de maxilas deveu-se ao facto de, após a secagem do material em estufa, este se apresentar agregado, havendo necessidade de o desagregar, libertando as partículas finas, e facilitando assim também a posterior amassadura da argamassa. Sendo esta condição difícil de obter através do martelo de borracha, optou-se pela utilização do moinho de maxilas. De maneira a controlar eventuais alterações da granulometria aquando da passagem dos materiais pelo moinho de maxilas, foram efetuadas análises granulométricas de controlo, antes e depois da moagem. Contudo, não se observaram diferenças significativas.

A baridade final das terras após a preparação descrita foi de 1461,0 kg/m³, 1105,0 kg/m³ e 1002,2 kg/m³, respetivamente para os materiais MAV_A, MPD_A e MVC_A. A baridade foi determinada de acordo com o ensaio descrito na secção 3.2.9.



Figura 5.2. Preparação do material terra: à esquerda, após sujeito a decantação; ao centro, secagem do material em estufa ventilada; à direita produto final (MPD_A) após ter sido sujeito ao moído de maxilas

Terra comercial (Terra-padrão - TP)

A TP foi obtida no mercado nacional português, tendo sido selecionada de entre alguns materiais disponibilizados pela empresa Sorgila - Sociedade de Argilas. Com base em dados fornecidos pela empresa, relativos à composição mineralógica por difração de raio X (DRX) e granulometria, selecionaram-se três, de entre as terras com argilas reconhecidamente de baixa expansibilidade. Posteriormente submeteram-se estas três terras ao ensaio de retração linear, cujo procedimento de ensaio se descreve na secção 3.4.1. Foi

selecionada como TP o material proveniente da zona de Redinha - Pombal, que revelou possuir uma menor retração.

As características da TP, nomeadamente: a composição mineralógica (ensaio descrito na secção 3.2.1) pode ser visualizada na Tabela 5.2 e o respetivo difratograma pode ser observado na Figura 5.3; a curva granulométrica (ensaio descrito na secção 3.2.2) pode ser visualizada na Figura 5.4. A baridade do material original é de 1136,4 kg/m³, de acordo com o ensaio descrito na secção 3.2.9.

A preparação da terra-padrão para as argamassas (MTP_A) incluiu uma fase da moagem com moinho de maxilas de forma a desagregar os torrões inicialmente presentes e, posteriormente, o uso de um repartidor para homogeneizar a mistura, com base na norma NP EN 1097-3 (IPQ 2002).

De maneira a controlar eventuais alterações de granulometria em todos os materiais que foram sujeitos à passagem pelo moinho de maxilas, foram submetidos a análises granulométricas de controlo, antes e depois da moagem. Contudo, não se observaram diferenças significativas.

Tabela 5.2. Composição mineralógica da terra-padrão obtida por DRX

Compostos cristalinos	Quartzo	Feldspatos	Mica/ilite	Clorite	Caulinite	Goetite	Anatase
Terra-padrão	+++	Vtg	Vtg	?	++	+	+/Vtg

Notação: +++ proporção elevada; ++ proporção média; + proporção fraca; Vtg vestígios; ? dúvidas na presença

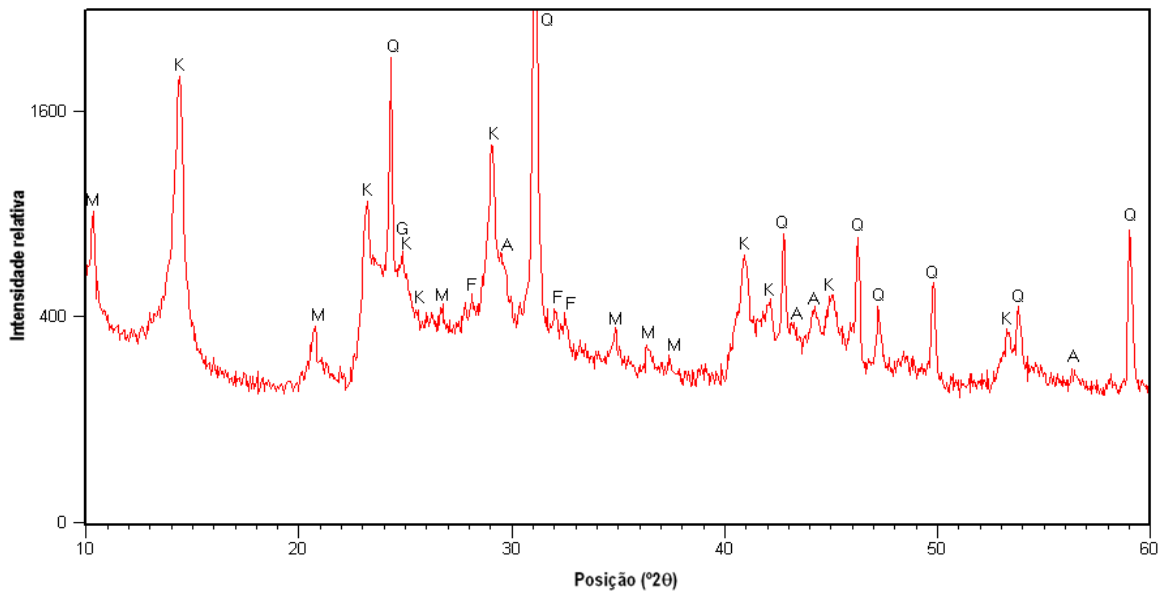


Figura 5.3. Difratograma de difração de raios X do material terra-padrão. Os picos nos difratogramas correspondem a uma fase cristalina identificada: Q - quartzo; F - feldspatos; M - mica/ilite; K - caulinite; G - goetite; A - anatase

As curvas granulométricas da terra-padrão (MTP_A) e das terras colhidas nos edifícios, após preparadas para utilização nas argamassas (MAv_A, MPD_A e MVC_A), estão apresentadas na Figura 5.4.

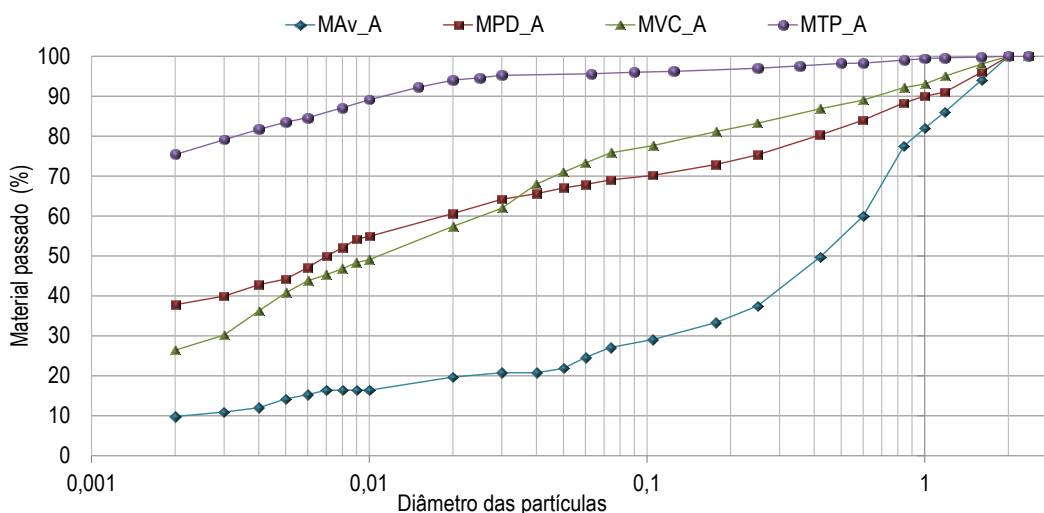


Figura 5.4. Distribuição granulométrica dos materiais utilizados para a realização das argamassas: MAV_A, MPD_A, MVC_A e MTP_A

5.2.2. Cal aérea hidratada

Foi utilizada a cal aérea hidratada em pó, que é um ligante aéreo corrente. É constituído por um pó muito fino que, quando amassado com água, forma uma pasta cujo endurecimento se dá por reação com o dióxido de carbono da atmosfera.

A cal aérea resulta da decomposição, por calcinação, de rochas com uma percentagem de, pelo menos, 95% de carbonato de cálcio (rocha cálcica - CaCO_3) ou carbonato de cálcio e magnésio (rocha dolomítica - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Do processamento da rocha cálcica (com um teor em óxido de magnésio inferior a 5% em massa) resulta a cal cálcica, designada por CL (IPQ 2011), enquanto a partir da rocha dolomítica (com um teor em óxido de magnésio superior a 5% em massa) desenvolve-se a cal dolomítica, designada por DL segundo a norma NP EN 459-1 (IPQ 2011).

Da cozedura do calcário, que ocorre com libertação de dióxido de carbono, obtém-se o óxido de cálcio (CaO) que constitui a chamada cal viva (Q). Por reação da cal viva com a água, forma-se o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), também designado cal apagada, hidratada ou extinta (S).

A cal aérea utilizada para este trabalho é uma cal produzida pela empresa Lusical. É uma cal aérea hidratada em pó CL 90-S, designada por Lusical H100, e apresenta uma baridade $329,1 \text{ kg/m}^3$, de acordo com o ensaio descrito na secção 3.2.9. As características fornecidas pelo fabricante estão apresentadas na ficha técnica do produto no Anexo F.1.

5.2.3. Cal hidráulica natural

Os ligantes hidráulicos, entre os quais a cal hidráulica, têm a propriedade de fazer presa e endurecer debaixo de água. As propriedades hidráulicas resultam da presença de argila na matéria-prima, numa percentagem superior a 5%. Os compostos hidráulicos que se formam após calcinação dependem da quantidade de argila presente, bem como do tempo e da temperatura de cozedura. A grande diferença entre as cals com propriedades

hidráulicas e o cimento é a percentagem de argila presente e a temperatura de cozedura. As cais com propriedades hidráulicas, segundo a norma NP EN 459-1 (IPQ 2011), dividem-se em:

- (i) Cais hidráulicas naturais (NHL) - obtidas a partir da cozedura de calcários mais ou menos argilosos ou siliciosos; não permitindo qualquer tipo de adição, as propriedades hidráulicas resultam exclusivamente da composição da matéria-prima natural.
- (ii) Cais hidráulicas (HL) - obtidas através da cozedura de pedra calcária, à qual são adicionados materiais como cimento, escória granulada de alto-forno, cinzas volantes, filer calcário e outros materiais adequados, dentro dos limites definidos pela norma.
- (iii) Cais formuladas (FL) - constituídas principalmente por cal aérea ou cal hidráulica natural a que se adicionou material hidráulico ou pozolânico.

No presente trabalho foi utilizada uma cal hidráulica natural, NHL 5, com uma classe de resistência à compressão aos 28 dias entre 5 e 15 MPa (IPQ 2011), e baridade de 761,5 kg/m³ (procedimento de ensaio descrito na secção 3.2.9). Esta cal foi disponibilizada pela empresa Secil Argamassas. A ficha técnica do produto encontra-se no Anexo F.2. No entanto, é de salientar que o estrito cumprimento da nova versão da norma não estava ainda em vigor (só passou a obrigatória em julho de 2012 e a cal utilizada foi produzida em junho 2011), pelo que a NHL 5 utilizada podia ainda não cumprir todos os requisitos precisos definidos na versão atual da norma, mas sim da versão anterior que estava à data ainda em vigor (IPQ 2003).

5.2.4. Cimento Portland

Em 1824, Joseph Aspdin regista a patente do que viria a designar-se hoje por cimento Portland, um ligante hidráulico que difere da cal hidráulica devido à maior temperatura de calcinação e maior teor de argilas presente na matéria-prima. Segundo a norma NP EN 197-1 (IPQ 2001), o cimento é um *“material inorgânico finamente moído que, quando misturado com água, forma uma pasta que faz presa e endurece devido a reações e processos de hidratação e que depois de endurecida, conserva a sua resistência mecânica e estabilidade mesmo debaixo de água”*. O cimento é um dos materiais de construção mais utilizados na construção civil.

Os cimentos correntemente usados são os artificiais, cujo fabrico está regulado por disposições legais. O cimento Portland artificial é obtido a partir de uma mistura devidamente proporcionada de calcário e margas, contendo argila (silicatos de alumínio e ferro) e, eventualmente, outras substâncias apropriadas ricas em sílica, alumina ou óxido de ferro. Estes materiais são reduzidos a pó muito fino e depois sujeitos à ação de temperaturas da ordem dos 1400 °C, o que dá origem à formação de novos compostos que tendem a aglomerar-se em grãos esferoides e se designam por “clínquer”. Para a obtenção do cimento, o clínquer é moído, sendo-lhe também adicionado gesso numa percentagem da ordem dos 4-5% da massa total, funcionando como retardador de presa. Podem ainda ser realizadas outras adições ao clínquer com diferentes objetivos (filer calcário (L), escórias de alto forno (S), materiais pozolânicos naturais (P) ou artificiais (Q,T), tais como cinzas volantes (V,W)).

Atualmente encontra-se em vigor a norma NP EN 197-1 (IPQ 2001) elaborada, pelo Comité Técnico CEN/TC 51, que estabelece os requisitos relativos à “Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes”. Assim, são identificados 27 cimentos existentes no espaço Europeu, agrupados em 5 principais tipos.

A resistência de referência de um cimento é considerada a resistência à compressão aos 28 dias determinada segundo a norma NP EN 196-1 (IPQ 2006b). Consideram-se três classes de resistência: 32,5, 42,5, 52,5, que correspondem às resistências à compressão obtidas. Para cada classe de resistência são definidas duas subclasses de resistência aos primeiros dias, nomeadamente: N (endurecimento normal) e R (endurecimento rápido).

No presente trabalho experimental foi utilizado cimento Portland (CP) CEM II/B-L 32,5 N, disponibilizado pela empresa Secil. A baridade do CP é de 1031,3 kg/m³, a qual foi determinada de acordo com o ensaio descrito na secção 3.2.9. A ficha técnica do produto encontra-se no Anexo F.3.

5.2.5. Cimento natural

A produção e utilização de cimentos naturais diminuíram na primeira metade do século XX, com o domínio do cimento Portland no mercado (Dariusz *et al.* 2010). O interesse deste material tem sido recentemente reinstituído no campo da conservação (Gosselin *et al.* 2010, Dariusz *et al.* 2010), através de vários projetos de investigação. As principais vantagens dos cimentos naturais (também designados como “*roman cements*” no Centro e Norte da Europa) podem resumir-se: ao baixo consumo de energia - resultante das baixas temperaturas de calcinação, durabilidade - mesmo em ambiente altamente poluído, compatibilidade com materiais de construção históricos e versatilidade para formulações de argamassas e técnicas de aplicação (Gosselin *et al.* 2010).

Os cimentos naturais são ligantes hidráulicos, produzidos a partir de margas calcárias. Esta matéria-prima, uma combinação natural de matéria calcária e argilosa, é depois sujeita apenas a calcinação - abaixo da temperatura de sinterização (800-1200°C) - e trituração das pedras queimadas. Em princípio os cimentos naturais têm características intermédias entre as cais hidráulicas e os cimentos Portland. Diferenciam-se das cais hidráulicas por, do seu processo de fabrico, não resultar cal viva e, portanto, não necessitam de hidratação, mas sim de moagem; diferenciam-se dos cimentos pela sua composição química, resultando de temperaturas mais baixas de calcinação, por exemplo não conduzirem à formação de silicato tricálcico - alite, C₃S. Este composto é responsável pela resistência mecânica do cimento Portland a curto prazo e apenas se forma a partir de temperaturas de sinterização superiores a 1300°C (Varas *et al.* 2005).

O cimento natural (CN) utilizado neste trabalho foi disponibilizado pelos membros do projeto europeu ROCARE. As características deste tipo de ligante encontram-se descritas no manual elaborado para o projeto “*Manual on Best Practices in the Application of Roman Cements*” (ROCARE EU-Project 2012). Segundo o manual, este ligante apresenta presa rápida e baixa retração. As resistências a curto prazo são relativamente baixas, mas depois de alguns meses tornam-se semelhantes ou mesmo superiores às do cimento Portland. O CN apresenta uma baridade de 831,2 kg/m³, medida de acordo com o ensaio descrito na secção 3.2.9.

5.2.6. Areia

As areias são materiais granulares de origem mineral que podem ser aglomerados por ligantes, constituindo assim o esqueleto das argamassas. Pertencem à classe funcional dos agregados que podem ser classificados em grossos (britas e godos) e finos (areias britadas ou roladas). As areias podem classificar-se do ponto de vista químico em siliciosas (graníticas e quartzosas, de rio ou areeiro) e calcárias (resultantes de britagem ou desperdícios de pedreiras de rocha calcária). De acordo com a Especificação E219 (LNEC 1968) as areias classificam-se também em função do diâmetro equivalente das partículas (secção 2.3.2 e 3.2.2): areia fina - entre 0,06 e 0,2 mm; areia média - entre 0,2 e 0,6 mm; areia grossa - entre 0,6 e 2 mm.

A areia que foi utilizada nesta tese é uma areia quartzosa com dimensão 0/8 (d/D - mínima/máxima dimensão do agregado) extraída de um areeiro localizado em Colmeias, Leiria. Tal como a argila, este material foi também disponibilizado pela empresa Sorgila. A curva granulométrica original fornecida pela empresa pode ser visualizada na Figura 5.5.

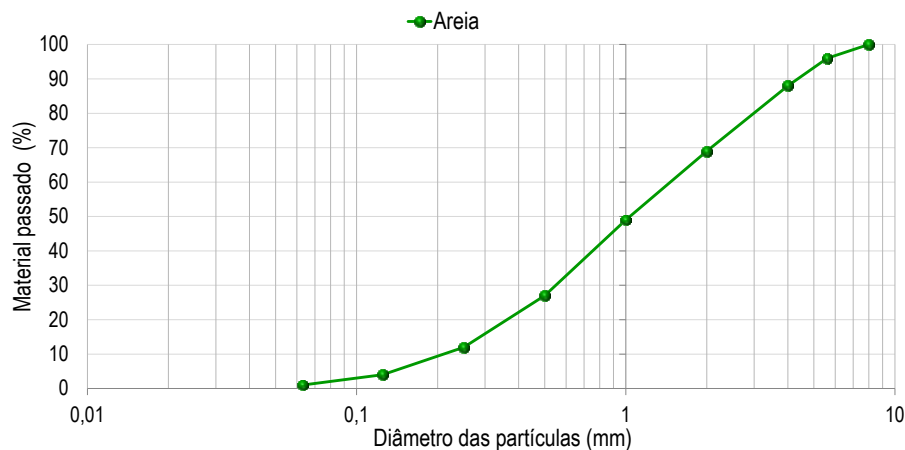


Figura 5.5. Distribuição granulométrica da areia

Esta areia foi peneirada e dividida em duas frações: areia grossa (AG), contendo partículas entre 0,6 e 2 mm, e areia fina (AF), contendo partículas inferiores a 0,6 mm, de acordo com a Especificação E219 (LNEC 1968). Röhlen e Ziegert (2011) referem que o tamanho máximo para a dimensão do agregado é de 2 mm para uma argamassa de terra, para utilização em edifícios de terra.

A areia foi homogeneizada com auxílio de um repartidor (Figura 5.6), tal como indicado na norma NP EN 1097-3 (IPQ 2002). A baridade das duas frações foi então determinada de acordo com o procedimento descrito na secção 3.2.9, sendo de 1430 kg/m³ para a areia grossa e de 1368 kg/m³ para a areia fina.



Figura 5.6. Homogeneização da areia com o auxílio de um repartidor

5.2.7. Fibras de cânhamo

Foram adicionadas fibras de cânhamo em algumas argamassas, com o objetivo de verificar se contribuem para diminuir a sua suscetibilidade à retração. As fibras de cânhamo (Figura 5.7) foram utilizadas no estado em que foram disponibilizadas, sendo fornecidas pela empresa Francesa Aubiose - “*Producteur exclusif Cooperative Agricole la Chanvriere de l’Aube*”. As fibras apresentam um comprimento máximo de cerca de 2,5 cm e diâmetro máximo aproximado de 0,2 cm, respetivamente. As fibras apresentam uma baridade de 124,0 kg/m³, medida de acordo com o ensaio descrito na secção 3.2.9.



Figura 5.7. Fibras vegetais de cânhamo

5.3. BLOCOS DE TAIPA

Foram executados blocos de taipa com a terra de cada um dos três estudos de caso, pretendendo-se simular paramentos com características próximas da realidade; possibilitando verificar a compatibilidade da argamassa de reparação em condições representativas. Foi inicialmente considerada a possibilidade de utilizar para este efeito blocos cortados das paredes de taipa dos edifícios selecionados. Contudo, as características físicas do material colhido em obra impossibilitaram a obtenção de blocos de taipa com dimensões uniformes, pelo que se

optou pela realização em laboratório de blocos de taipa reproduzindo, tanto quanto possível, as características da taipa real.

Foram realizados blocos de taipa com as terras provenientes dos edifícios de Av, PD e VC, num total de 10 blocos de cada terra. Os agregados utilizados nos blocos, após peneiração do material colhido, apresentam como dimensão máxima 12,5 mm (secção 5.2.1). As dimensões dos blocos de taipa são 0,30 m × 0,20 m × 0,28 m (comprimento × largura × altura), com um volume de 16800 cm³ (Gomes *et al.* 2012b). Estas dimensões foram estabelecidas com base no seguinte:

- (i) dispor de superfícies com área suficiente para aplicação das argamassas de reparação e para avaliação da compatibilidade entre o bloco e as argamassas;
- (ii) possibilidade de os blocos serem transportados, mesmo que com alguma dificuldade devido ao elevado peso próprio e à fragilidade do material.

5.3.1. Preparação e execução

A fim de executar blocos de taipa com características tão semelhantes quanto possível às das respetivas paredes originais de taipa, determinou-se a baridade seca do material existente “in situ” pela técnica da Especificação E205 (LNEC 1967), tal como descrito na secção 3.2.8, avaliando a massa e volume de amostras indeformadas colhidas diretamente das paredes dos edifícios. O resultado deste ensaio apresenta-se na Tabela 5.3.

O ensaio foi realizado com provetes de dois tamanhos (secção 3.2.8), para cada um dos estudos de caso:

- (i) provetes pequenos: com uma massa entre 150 - 200g;
- (ii) provetes grandes: com uma massa entre 350 - 400g.

Tabela 5.3. Baridade seca “in situ” das paredes de taipa

Estudos de caso	Material	Baridade seca “in situ” (kg/m ³)			
		Provetes pequenos		Provetes grandes	
		Média aritmética dos três ensaios	Desvio Padrão	Média aritmética dos três ensaios	Desvio Padrão
Av	MAv	2222,1	31,6	2275,8	102,3
PD	MPD	2008,3	46,5	2040,6	303,0
VC	MVC	2088,7	170,9	1694,3	19,2

Pela análise da Tabela 5.3 verifica-se que não existem diferenças acentuadas entre os resultados obtidos com a utilização de provetes pequenos ou grandes, à exceção do material colhido da edificação VC. Pode constatar-se, neste caso, que a presença de cascalho de grandes dimensões (101,6 mm, secção 4.4.3) fez diminuir o valor da baridade seca dos provetes grandes, podendo este facto dever-se à dificuldade de compactação da taipa devido à presença de cascalho de grandes dimensões, aumentando o volume de vazios na amostra. Tendo em conta que a terra a utilizar nos blocos de taipa não possui inertes com dimensões superiores a 12,5 mm (de forma a permitir proporcionalidade com a dimensão do molde), considerou-se que seriam mais significativos como referência os resultados obtidos para os provetes de pequena dimensão.

Sabendo o volume necessário para preencher cada bloco (16800 cm³) e a baridade seca da taipa original (Tabela 5.3), estimou-se o valor da massa total de terra seca necessária para a execução de cada bloco de taipa: 37,3 kg de material de Avis; 33,7 kg de material de Pá Danado e 35,1 kg de material de Val Chaim.

Na execução dos blocos foram utilizados moldes em contraplacado marítimo construídos para o efeito (Figura 5.8). A terra foi homogeneizada com água, pulverizada sobre o material durante a mistura. Para o preenchimento total do molde foram efetuadas três misturas de terra, que foram utilizadas para preencheram duas camadas de 10 cm e uma de 8 cm de altura, respetivamente (Tabela 5.4), perfazendo a altura total do bloco (28 cm). Para preencher as camadas de 10 cm, a mistura foi dividida em quatro partes, sendo cada uma colocada à vez dentro do molde e compactada vigorosamente. A compactação foi efetuada com um equipamento manual, constituído por um maço reforçado com um peso, de modo a perfazer uma massa total de aproximadamente 2,6 kg. Cada subcamada foi compactada até apresentar uma altura de cerca de 2,5 cm. A mistura que preencheu os restantes 8 cm foi dividida em três partes, cada uma das partes compactada separadamente até apresentar cerca de 2,7 cm de altura.



Figura 5.8. Execução dos blocos de taipa: à esquerda, molde e maço; ao centro, execução do provete através de compactação com o auxílio do maço; à direita, preenchimento do molde com a última camada de terra

Tabela 5.4. Quantidade de material utilizado em cada camada, para realização dos blocos de taipa

	Quantidade de material utilizado (kg)		
	MAv_B	MPD_B	MVC_B
Camada de 10 cm	13,3	12,3	12,6
Camada de 8 cm	10,7	9,1	9,9

Na execução dos blocos procurou-se reproduzir a taipa original e uma vez que não existia qualquer referência quanto ao teor de água optou-se por utilizar a quantidade de água correspondente ao teor de água ótimo (TAO). Este critério, na realidade, é também o indicado na bibliografia para se obter uma taipa compacta com bom desempenho e elevada durabilidade (Keable 1996, Walker e Australia 2001, Walker *et al.* 2005).

O valor de TAO foi determinado pelo ensaio Proctor normal (secção 4.4.5), com os resultados de 8,0%; 17,8% e 21,5% para MAV, MPD e MVC, respetivamente. O TAO foi utilizado com sucesso nos blocos de taipa de Avis e de Val Chaim (BAv e BVC). No entanto, para a realização dos blocos de Pá Danado (BPD) foi necessário utilizar

um teor de água cerca de 18,7% (ligeiramente superior ao ótimo), uma vez que se verificou na prática, aquando da realização da mistura, que abaixo deste teor havia uma insuficiente coesão entre as partículas. É possível que a necessidade de utilizar um pouco mais água neste caso se deva ao facto de o TAO ser, de acordo com a especificação do ensaio Proctor, realizado sobre material com partículas até 4,75 mm, enquanto os blocos foram executados com material com partículas até 12,5 mm. Os resultados do ensaio Proctor podem, assim, não traduzir exatamente o comportamento deste material. Contudo, esta circunstância não ocorreu com o material de Avis nem com o de Val Chaim.

Após a execução dos blocos pôde constatar-se que:

- (i) nos blocos de BAv e BPD não sobrou praticamente material, sendo utilizado o que tinha sido estipulado, mesmo adicionando mais percentagem de água para a execução do bloco BPD;
- (ii) nos blocos BVC sobram em média cerca de 4,7 kg de solo seco por bloco; este facto poderá dever-se a alguma discrepância verificada nos resultados do ensaio da baridade seca "in situ" (Tabela 5.3).

Discussão sobre o teor de água de compactação

Não sendo objetivo direto do trabalho a análise do teor de água ideal no ato de compactação da taipa, esta observação é incluída na tese, por se considerar pertinente tendo em conta a dispersão de dados científicos e opiniões avançadas por alguns autores.

Muitos autores (Doat *et al.* 1979, Keable 1996, Keefe 2005, Houben e Guillaud 2006) apresentam intervalos de valores para o teor de água a utilizar para a compactação da taipa que são independentes do tipo de solo a utilizar, Tabela 2.7. Os documentos SNZ 4298 (1998) e Walker *et al.* (2005) diferenciam-se dos restantes, não limitando o valor a um intervalo rígido mas definindo-o em função do TAO, sendo de $\pm 3\%$ no caso das normas SNZ 4298 (1998) e de ± 1 a 2% no documento Walker *et al.* (2005), ver secção 2.3.4. Verifica-se assim que, para a realização dos presentes blocos de taipa, os teores em água utilizados verificam os requisitos destes dois documentos. De facto, o trabalho experimental desta tese indica que será provavelmente melhor efetuar a compactação com um teor de água próximo do TAO e não de acordo com valores rígidos independentes do tipo de solo, como alguns autores recomendam.

Neumann (1993) afirma que o teor em água que corresponde ao máximo valor da resistência da parede sem efeitos secundários importantes é cerca de 20% superior ao TAO, associado à máxima densidade. No mesmo estudo refere ainda que um teor de água superior a 17% torna impraticável a compactação do solo, não sendo esta afirmação compatível com a anterior. Porém, verifica-se que os resultados do presente estudo não corroboram esta afirmação, dado que para a realização do BPD foi necessário utilizar um teor de água cerca de 18,7%, superior ao valor do TAO (17,8%), para que existisse coesão entre as partículas, verificando-se uma boa compactação.

5.3.2. Realização dos defeitos-padrão

Após o levantamento das anomalias correntes nas paredes de taipa (secção 4.3.8), verificou-se que a desagregação e, conseqüentemente, a falta de espessura superficial da taipa são recorrentes neste tipo de construção. Este tipo de degradação pode atingir apenas o nível mais superficial ou, em certos casos, originar a formação pontual de cavidades mais profundas. Estes dois padrões de degradação (erosão superficial e cavidades pontuais) foram tipificados, originando os defeitos-padrão que se reproduziram nos blocos, a fim de permitir testar as argamassas de reparação. Estes defeitos-padrão permitem simular, de forma padronizada, as anomalias mais correntes encontradas nas paredes exteriores dos edifícios em taipa visitados e também reportadas em bibliografia específica (Keable 1996, Walker e Australia 2001, Walker *et al.* 2005, Toubakari *et al.* 2010). Foi executado em cada uma das duas faces maiores dos blocos de taipa um defeito-padrão superficial e em cada uma das faces menores dois defeitos-padrão profundos. Estes defeitos foram efetuados imediatamente após os blocos de taipa serem descobrados - imediatamente após terminado o seu enchimento. Foram realizados através de raspagem com espátula e posterior definição de contorno com uma lâmina.

O defeito superficial consiste numa cavidade plana com área de 25×22 (cm²) e 2 a 2,5 cm de profundidade, conforme a Figura 5.9. O defeito profundo é uma cavidade semiesférica com diâmetro de 10 cm, conforme Figura 5.10.

Realizaram-se 10 blocos de taipa com o material de cada um dos três estudos de caso (Av, PD e VC). Cada bloco apresenta dois defeitos superficiais nas faces de maior dimensão e quatro defeitos profundos nas faces de menor dimensão. Para cada tipo de taipa existem 20 defeitos superficiais e 40 defeitos profundos a serem preenchidas com argamassa.



Figura 5.9. Sequência dos trabalhos para a realização do defeito-padrão superficial no bloco de Avis



Figura 5.10. Sequência dos trabalhos para a realização do defeito-padrão profundo no bloco de Avis

5.3.3. Controlo de secagem

Após a realização dos defeitos-padrão, os blocos de taipa foram colocados em prateleiras, por questões de disponibilidade de espaço, numa sala com ambiente controlado a 20°C e 50% de humidade relativa (Figura 5.11). A secagem dos blocos de taipa não podia ser controlada por pesagem, como é habitual, uma vez que estes blocos pesam mais de 35 kg cada; transportá-los e pesá-los com regularidade não se revelou viável. Os blocos permaneceram nessa sala durante aproximadamente vinte meses, período muito superior aos três meses considerados necessários e utilizados por Schroeder (2011) para secagem de uma parede de taipa com dimensões 1,50 m × 1,00 m × 0,50 m (comprimento × largura × altura) - em ambiente controlado, 12°C e 68% HR (ver secção 2.3.4). É ainda de salientar que os blocos do trabalho de Schroeder apresentam dimensões muito superiores aos do presente trabalho, o que poderá também influenciar na secagem.

Será, no entanto, de referir que uma parede de terra nunca se encontra completamente seca, mas sim em equilíbrio com o ambiente; contém sempre uma percentagem em água, embora esta possa ser mínima (Le Tiec e Paccoud 2006); ou seja, a água nunca evapora completamente pois está em equilíbrio higroscópico com a humidade relativa do ar circundante.



Figura 5.11. Disposição dos blocos de taipa na sala condicionada

A disposição dos blocos de taipa sobre as prateleiras teve de ser cuidadosa, na medida em que era importante que o ar circulasse por entre os blocos, para que a secagem se desse da forma mais homogénea possível. De maneira a controlar este aspeto, utilizou-se um método expedito que consistiu em monitorizar a secagem nos primeiros três meses, realizando vários ensaios ao longo deste período em provetes de pedra (cubos de calcário de Ançã com 2,5 cm de aresta). Os provetes estiveram imersos em água até à sua total saturação, tendo sido posteriormente colocados junto aos blocos de taipa, em posições estratégicas (Figura 5.11). A secagem destes cubos foi monitorizada por pesagens regulares, tendo-se verificado algumas diferenças. Contudo, não se verificaram diferenças significativas; considerou-se que as condições de evaporação da taipa eram mais ou menos semelhantes de face para face e de bloco para bloco.

6

ESTUDO DAS ARGAMASSAS

Foi avaliada a influência do teor de água nas propriedades da argamassa fresca - trabalhabilidade e retração. Para possibilitar essa avaliação, foram primeiro escolhidos os ensaios que melhor traduzem a trabalhabilidade, cruzando os dados experimentais com informação sobre a aplicação das argamassas.

A partir dos resultados da trabalhabilidade e da retração foi definido o traço volumétrico das possíveis argamassas de reparação a aplicar nos blocos de taipa, com a adição de areia.

Depois de definidos os traços das argamassas, estas foram mais amplamente caracterizadas no estado fresco e endurecido - com e sem a adição de fibras e de estabilizantes químicos: cal aérea hidratada, cal hidráulica natural, cimento Portland e cimento natural -, com vista à caracterização e escolha das argamassas mais promissoras para aplicação nos blocos de taipa.

6.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo foca uma campanha de ensaios realizados sobre argamassas de terra, nos estados fresco e endurecido, com vista à escolha dos traços mais promissores para argamassas de reparação de taipa. Tal como esquematizado na Figura 6.1, houve a necessidade numa primeira fase de avaliar a influência do teor de água nas propriedades da argamassa fresca (trabalhabilidade e retração) até à fase final da escolha do traço e caracterização das argamassas. As fases experimentais foram as seguintes:

- (i) Fase I - realização de seis amassaduras por cada argamassa (AAv, APD, AVC e ATP), utilizando teores de água crescentes, com o objetivo de;
 - escolher os ensaios (consistência por espalhamento e por penetrómetro e escoamento) mais apropriados para avaliar a trabalhabilidade numa argamassa de terra cruzando os dados experimentais com informação sobre a aplicação das argamassas;
 - escolher uma metodologia para a preparação e aplicação das argamassas de terra;
- (ii) Fase II - pré-seleção das argamassas em função do teor de água: avaliação da retração, propriedade que condiciona a viabilidade de uma argamassa;
- (iii) Fase III - seleção do traço das argamassas com a incorporação de areia e fibras;
- (iv) Fase IV - caracterização das argamassas, com e sem a introdução de estabilizantes minerais (cal aérea, cal hidráulica, cimento Portland, cimento natural), através de ensaios no estado fresco (consistência por espalhamento e massa volúmica) e no estado endurecido: ensaios hídricos (absorção de água por capilaridade e secagem) e ensaios mecânicos (módulo de elasticidade dinâmico e resistência à tração por flexão e à compressão).

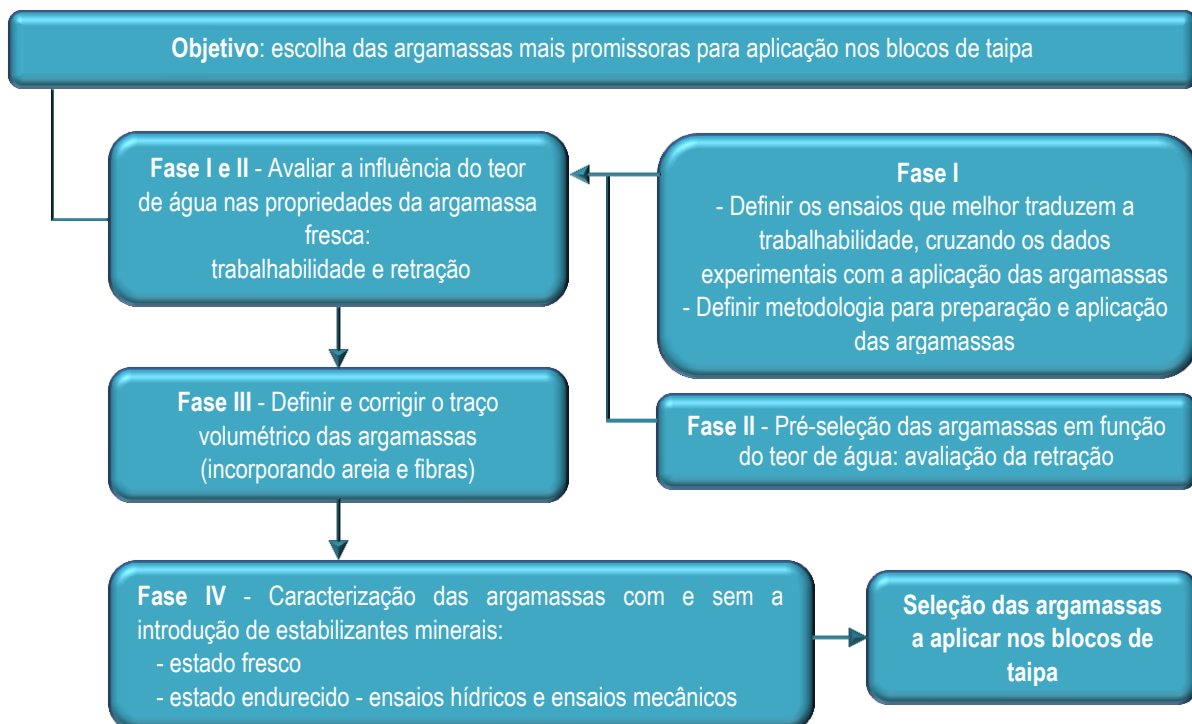


Figura 6.1. Organigrama das etapas da campanha experimental para a escolha das argamassas mais promissoras para aplicação nos blocos de taipa

As quatro fases dos trabalhos incidiram sobre quatro tipos de argamassas de reparação (Tabela 5.1):

- (i) três argamassas (AAv, APD, AVC) baseadas nas terras colhidas dos três estudos de caso (MAv, MPD e MVC), utilizadas para simular o caso em que a reparação de uma taipa é efetuada com terra local;
- (ii) a argamassa padrão (ATP) que utiliza terra argilosa comercial (MTP), que corresponde à alternativa de reparação das diferentes taipas utilizando um material diferente do das edificações; para além das argamassas não estabilizadas quimicamente ou com fibras, são ainda adicionados a este tipo de argamassa ligantes minerais em relação à massa de terra (MTP), em percentagens de 5%, 10% e 15%, de cal aérea hidratada (CA), cal hidráulica natural (CH), cimento Portland (CP) e cimento natural (CN) e ainda uma percentagem de 5% de fibras naturais.

6.2. FASE I: DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS QUE MELHOR TRADUZEM A TRABALHABILIDADE DE UMA ARGAMASSA DE TERRA

A trabalhabilidade, característica que traduz a facilidade com que uma argamassa é amassada e aplicada no suporte, é a propriedade mais importante de uma argamassa no seu estado fresco. Uma argamassa pouco trabalhável é de difícil manuseamento, podendo apresentar-se áspera, muito seca ou demasiado fluida, e com falta de aderência ao suporte (Gomes *et. al* 2012b). A trabalhabilidade influencia também as propriedades da argamassa após endurecimento, devido à influência que tem na técnica de aplicação. Como referido na secção 2.5.1, a trabalhabilidade da argamassa depende da combinação de várias propriedades, de entre as quais se destacam a consistência e a plasticidade.

A quantidade de água utilizada na amassadura de uma argamassa tem grande influência na trabalhabilidade. Nas argamassas de terra, este efeito pode ser muito relevante devido à presença de argilas, que alteram as suas propriedades físicas em presença da água, com consequências na plasticidade, compactação e retração. Contudo, os estudos sobre a influência do teor de água na trabalhabilidade são escassos, apesar de este ser um aspeto fundamental e provavelmente o primeiro que deve ser abordado no âmbito da formulação de argamassas, nomeadamente das argamassas de terra onde a percentagem de argila é tipicamente significativa (Gomes *et. al* 2012b).

Dada a indisponibilidade de uma metodologia para aferir diretamente a trabalhabilidade das argamassas, foi necessário nesta tese avaliar primeiro em que medida os ensaios existentes para caracterização da argamassa fresca podem ser utilizados para traduzir a trabalhabilidade das argamassas de terra em estudo.

Esta fase do trabalho consistiu na realização de ensaios sobre argamassas executadas com as quatro terras referidas (três terra locais e uma terra comercial), as quais foram ensaiadas com seis diferentes teores em água. Além dos ensaios laboratoriais de consistência (por espalhamento e por penetrómetro) e escoamento (através do cone de Marsh) avaliou-se também diretamente a trabalhabilidade, mediante aplicações efetuadas por operadores em blocos de taipa. Os resultados permitiram avaliar a eventual correlação existente entre os resultados dos ensaios laboratoriais e a trabalhabilidade real, encontrando gamas de valores de referência para os respetivos ensaios. Para tal foi também necessário verificar a fiabilidade das classificações atribuídas pelos operadores, o que foi efetuado com base num modelo matemático de análise conjunta.

6.2.1. Execução das argamassas

Na amassadura das argamassas foi seguido, sempre que possível, o procedimento prescrito na norma NP EN 196-1 (IPQ 2006b), não obstante esta norma não abranger especificamente argamassas de reparação ou argamassas de terra.

A amassadura foi efetuada com uma misturadora mecânica, constituída por uma cuba de aço inoxidável (com capacidade de 3 litros) com uma pá misturadora acionada por um motor elétrico.

A metodologia utilizada para as argamassas de terra local AAv, APD e AVC foi a seguinte:

- (i) homogeneização manual da terra;
- (ii) introdução da água na cuba, seguida da introdução da terra;
- (iii) execução da mistura com a misturadora em funcionamento em velocidade lenta, durante 90 segundos;
- (iv) paragem da misturadora durante 90 segundos; nos primeiros 15 segundos, com uma espátula de borracha foi removida a argamassa aderente às paredes da cuba, juntando-a à restante;
- (v) continuação da amassadura, a velocidade lenta, durante mais 60 segundos.

Para as argamassas de terra comercial ATP foi necessário aumentar o tempo da mistura, devido à grande percentagem de argila, constatando-se não ser possível uma eficaz homogeneização do material no período de tempo definido. Assim, após introdução da terra na cuba (ii), fez-se uma primeira mistura manual, durante 2 minutos. Esta fase foi necessária para o humedecimento uniforme da terra; caso contrário, mesmo em velocidade lenta, a mistura, como ainda se encontrava bastante heterogénea em termos de humedecimento, salpicava e perdia-se massa (Gomes *et al.* 2012a). A etapa referida em (iii) foi também prolongada para 150 segundos, de maneira a tornar a mistura homogénea, sem grumos de material seco.

As várias amassaduras de cada uma das argamassas foram efetuadas com teor de água crescente. As relações água/material seco (em massa) para as diferentes argamassas podem ser observadas na Figura 6.2. A quantidade de água utilizada foi definida previamente, tendo por base a sensibilidade do operador no manuseio da própria argamassa. É de referir que a água foi colocada na amassadura em volume, considerando que 1 g equivale a 1 cm³.

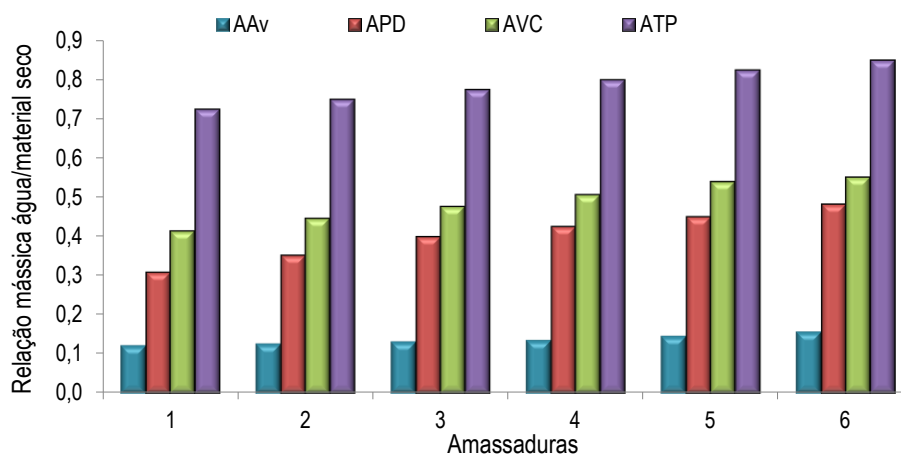


Figura 6.2. Relação mássica água/material seco das argamassas AAv, APD, AVC e ATP realizadas com teores de água crescentes

Verifica-se que a relação mássica água/material seco é inferior nas argamassas AAv e apresenta os valores mais elevados nas argamassas ATP (Figura 6.2). Isto deve-se à maior percentagem de materiais finos (argila e silte - partículas inferiores a 0,06 mm) da argamassa ATP, como se pode observar na Figura 6.3, que tem como característica uma maior absorção de água.

No estado fresco foi ainda determinada a massa volúmica das argamassas através do método de ensaio da norma EN 1015-6 (CEN 1998b), cujo procedimento de ensaio se encontra descrito na secção 3.3.1. Os resultados são apresentados na Figura 6.4 em função da relação água/material seco (em massa).

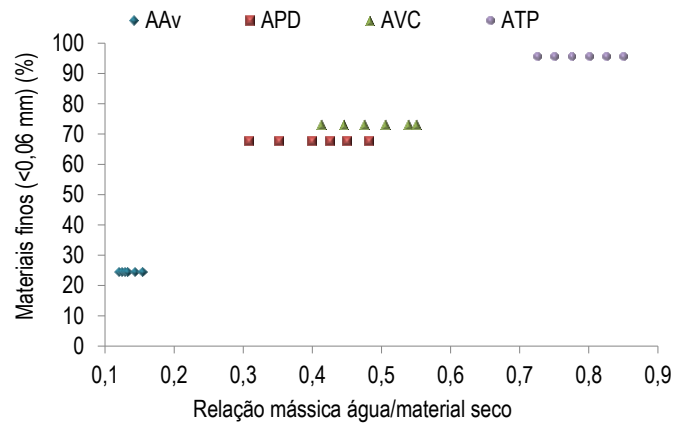


Figura 6.3. Relação entre a percentagem de materiais finos e a relação mássica água/material seco, referente às amassaduras AAv, APD, AVC e ATP realizadas com teores de água crescentes

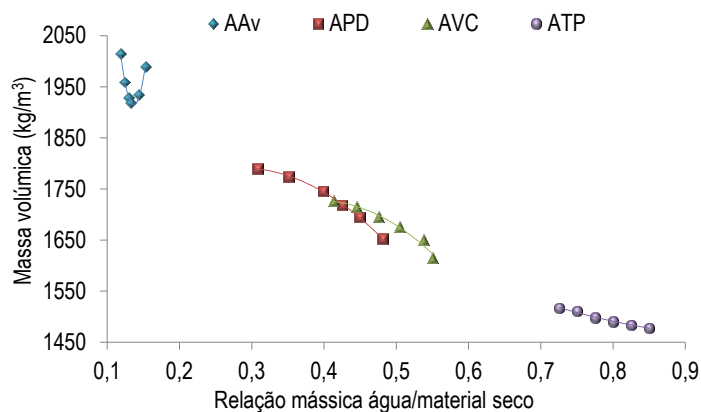


Figura 6.4. Relação entre a massa volúmica e a relação mássica água/material seco das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP

A variação de massa volúmica com a relação água/material seco (em massa) parece ser distinta para a argamassa AAv comparativamente às restantes argamassas. Enquanto para a generalidade das argamassas há uma diminuição sistemática da massa volúmica com o aumento da quantidade de água da mistura, no caso da AAv a diminuição inicial é seguida de um aumento.

Este diferente comportamento está provavelmente associado à maior percentagem de areia da argamassa AAv (Figura 5.4), considerando-se que no futuro será interessante investigar melhor quais as suas causas concretas. Constata-se ainda que os valores de massa volúmica mais baixos são verificados nas argamassas de terra-

padrão ATP, constituída por terra com maior percentagem de material fino; os valores mais elevados são obtidos nas argamassas AAv, constituída por terra com menor percentagem de material fino - silte e argila.

6.2.2. Consistência por espalhamento e por penetrómetro

Os ensaios da consistência por espalhamento e por penetrómetro foram realizados de acordo com as normas de ensaio EN 1015-3 (CEN 1999a) e EN 1015-4 (CEN 1998a), cujos procedimentos estão descritos em 3.3.2 e 3.3.3, respetivamente. Os resultados dos respetivos ensaios são apresentados na Figura 6.5 em função da relação mássica água/material seco. Verifica-se que, à medida que aumenta a relação água/material seco, os valores da consistência, quer por espalhamento, quer por penetrómetro, também aumentam.

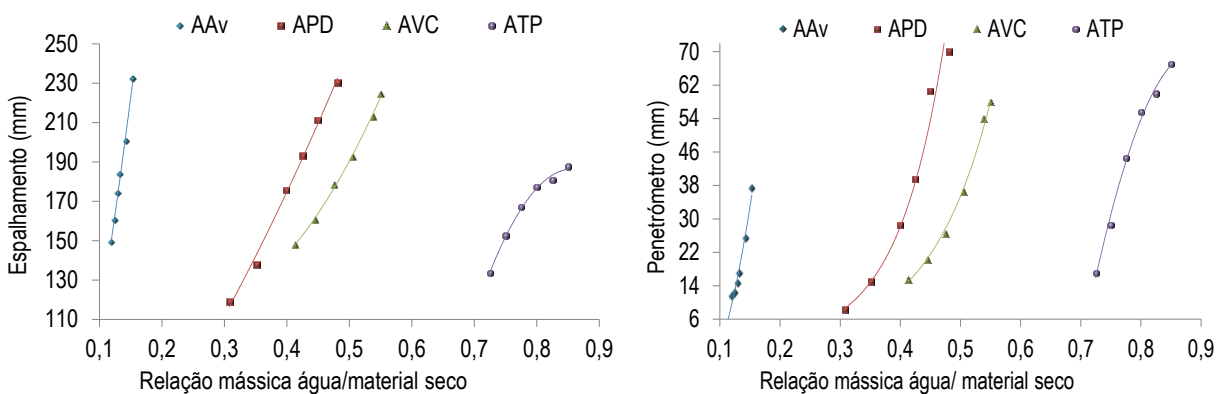


Figura 6.5. Consistência das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP: à esquerda, por espalhamento; à direita, por penetrómetro

A Figura 6.6 mostra também que existe uma correlação clara entre os valores obtidos pelos dois métodos de determinação da consistência. Sendo o material utilizado nas argamassas de AAv o mais arenoso e o material nas argamassas ATP o mais argiloso, pode ainda ver-se que, para um mesmo valor de espalhamento, o resultado no ensaio do penetrómetro tende a aumentar à medida que aumenta a componente argilosa do material utilizado na argamassa, enquanto para um mesmo valor do ensaio do penetrómetro o valor do espalhamento tende a aumentar à medida que diminui a componente argilosa do material utilizado na argamassa.

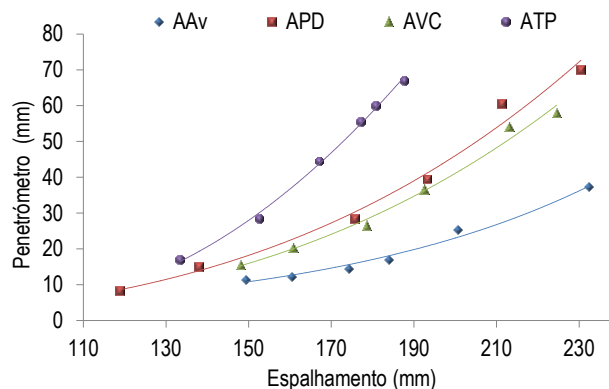


Figura 6.6. Correlação entre a consistência por espalhamento e por penetrómetro das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP

6.2.3. Escoamento por cone de Marsh

O ensaio de escoamento foi efetuado com base no procedimento descrito na norma NP EN 445 (IPQ 2000), e encontra-se detalhado na secção 3.3.4. Não foi possível realizar este ensaio para todos os teores de água para as diferentes argamassas; nas argamassas com uma menor relação água/material sólido (em massa) o ensaio não foi viável, não existindo qualquer escoamento através do funil. Os resultados obtidos para os restantes casos estão apresentados na Tabela 6.1 e Figura 6.7. Após a sua análise pode constatar-se que:

- (i) a massa escoada aumenta à medida que a relação mássica água/material seco aumenta;
- (i) o escoamento das argamassas, que é expresso pela relação massa/tempo (g/s), também aumenta à medida que a relação mássica água/material seco aumenta;
- (ii) a percentagem de material que permaneceu agarrado às paredes do cone, após a realização do ensaio, diminui, de forma geral, com o aumento da relação água/material seco.

A utilização do cone de Marsh é um dos procedimentos mais comuns para caracterizar o escoamento de pastas, sobretudo caldas de injeção. Porém, para o presente tipo de argamassas, mesmo modificando a geometria do cone, verifica-se que este ensaio é inexequível para quase todas as argamassas AAv e para metade das restantes argamassas.

Le Roy e Roussel (2005) mencionam que o ensaio do cone de Marsh apresenta duas limitações. Se a viscosidade for demasiado baixa (maior será a velocidade com que o fluido se movimentará), não existe uma correlação com a fluidez e esta deixa de ser uma medida significativa do ponto de vista reológico. O fluido a testar não se comporta como um fluido de *Bingham* (secção 2.5.1). Assim, quando o fluido apresenta uma tensão de corte que não consegue vencer a tensão de escoamento, não se verifica esse escoamento, o fluido comporta-se como um sólido. Este fenómeno foi observado nas amassaduras 1 a 5 da argamassa AAv e nas amassaduras 1 a 3 das argamassas APD, AVC e ATP.

Tabela 6.1. Ensaio de cone de Marsh das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP

Argamassa	Mistura	Relação água/material seco (em massa)	Total de massa a escoar (g)	Total de massa escoada		Massa que ficou agarrada às paredes do funil	
				(g)	(%)	(g)	%
AAv	6	0,16	1803	1599	88,7	204	11,3
	4	0,43	2725	2174	79,8	551	20,2
APD	5	0,45	2707	2333	86,2	374	13,8
	6	0,48	2649	2452	92,6	197	7,4
AVC	4	0,51	2645	2209	83,5	436	16,5
	5	0,54	2148	2002	93,2	146	6,8
	6	0,55	2668	2477	92,8	191	7,2
ATP	4	0,80	1584	1023	64,6	561	35,4
	5	0,83	2553	2039	79,9	514	20,1
	6	0,85	2283	1884	82,5	399	17,5

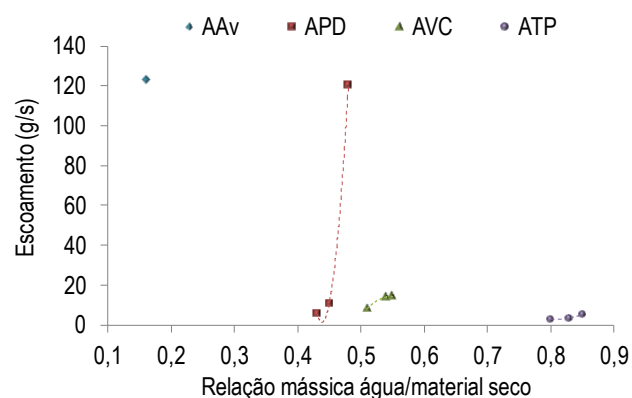


Figura 6.7. Escoamento das argamassas de terra AAv, APD, AVC e ATP obtido pelo ensaio de cone de Marsh

Ferraris *et al.* (2001) realizaram ensaios reológicos em pastas de cimento de forma a validar os resultados do cone de Marsh, considerando como padrão de referência os valores obtidos por um reômetro. Constataram que, em alguns casos, um tempo de fluxo menor não corresponde a uma menor viscosidade, verificando-se grande dispersão nos resultados. Os mesmos investigadores referiram que, tendo em conta a baixa correlação, seria arriscado confiar no ensaio do cone de Marsh para selecionar um material tendo como exigência a sua viscosidade (Ferraris *et al.* 2001).

6.2.4. Avaliação direta da trabalhabilidade

Para verificar como a trabalhabilidade das argamassas em estudo é influenciada pelo teor em água, foram efetuadas aplicações por dois aplicadores com experiência prática na matéria, ver secção 3.3.5. As condições de aplicação foram as seguintes (Tabela 6.2):

- (i) as argamassas de terra local que correspondem aos estudos de caso (AAv, APD e AVC) foram aplicadas apenas nos blocos de taipa da terra respetiva;
- (ii) a argamassa de terra-padrão (ATP) foi aplicada nos blocos dos três tipos de taipa;
- (iii) cada operador aplicou, à vez, a argamassa em lados opostos do bloco, exceto no caso do bloco de terra de Avis (BAv) em que apenas um dos operadores efetuou a aplicação (Tabela 6.2).

Tabela 6.2. Aplicações efetuadas por cada um dos operadores nos blocos de taipa

Argamassas	Operador	Blocos de taipa		
		BAv	BPD	BVC
AAv	1	x	-	-
APD	1	-	x	-
	2	-	x	-
AVC	1	-	-	x
	2	-	-	x
ATP	1	x	x	x
	2	x	x	x

Para cada argamassa foram efetuadas seis amassaduras com teores em água crescentes de forma sequencial, os mesmos teores em água utilizados nos ensaios de consistência e escoamento. Estabeleceu-se que, sempre

que os resultados demonstrassem que a trabalhabilidade de uma argamassa era já insuficiente devido a um excesso de água de amassadura, as misturas seguintes não seriam ensaiadas. Por esta razão não foi avaliada a trabalhabilidade das argamassas AVC6 e ATP6.

Para garantir que a humidade presente na argamassa não fosse totalmente absorvida pelo suporte, as superfícies dos blocos de taipa foram pulverizadas com água, antes de se proceder à aplicação da referida argamassa (Tabela 6.3). Utilizou-se para esta tarefa um borrifador.

Nas primeiras aplicações, os operadores consideraram necessário aplicar uma quantidade de água no bloco superior à das últimas, para todas as argamassas. Como as aplicações das argamassas foram efetuadas de forma sequencial ou seja, foram aplicadas no mesmo local após remoção da argamassa anterior, foi este facto decerto que fez variar a necessidade de humedificação do suporte, devido à humidade deixada pelas aplicações anteriores.

A remoção das argamassas foi efetuada com uma colher de pedreiro, sendo depois a zona raspada, para minimizar a presença de resíduos. A argamassa seguinte era aplicada após um período mínimo de 2 horas.

O método seguido para a aplicação manual das argamassas foi deixado ao critério dos operadores. Durante as aplicações por eles efetuadas identificaram-se dois métodos alternativos para projeção da argamassa contra o bloco:

- 1) método A - projeção da argamassa com as costas da colher de pedreiro, fazendo uma certa pressão, sempre de baixo para cima;
- 2) método B - lançamento vigoroso da argamassa contra o suporte com a colher de pedreiro, de baixo para cima.

A projeção da argamassa contra o suporte foi seguida do aperto e da regularização da superfície.

Os operadores definiram qual o melhor método de projetar a argamassa em cada caso, verificando-se na Tabela 6.3 que, para a mesma amassadura, os dois operadores optaram sempre pelo mesmo método. Verifica-se que existe uma predominância pelo método A quando as argamassas são mais fluidas ou extremamente secas, ou seja, em condições de trabalhabilidade menos favoráveis, e pelo método B quando as argamassas se encontram secas. Ainda assim, como se pode constatar, não é regra, uma vez que em todas as aplicações da argamassa AVC apenas foi utilizado o método A.

Tabela 6.3. Aplicação das argamassas no suporte: quantidade de água pulverizada no suporte e método de aplicação

Argamassa		AAv		APD					AVC			ATP					
Suporte		BAv		BPD					BVC			BAv			BPD e BVC		
Quantidade água pulverizada no provete	Amassaduras	1-4	5,6	1	2	3	4	5,6	1-3	4	5	1-3	4	5	1-3	4	5
	Quantidade de água (ml)	15	0	40	30	20	10	0	30	10	0	20	10	10	30	20	15
Método de aplicação	Amassaduras	2-4	1,5,6	1-3		5,6			1-5			BAv, BPD e BVC					
	Método	B	A	B	A			A			1-3		4,5				
		B	A	B	A			A			B		A				

O resultado da avaliação direta da trabalhabilidade das argamassas de terra nos três blocos pelos dois operadores foi analisado face a um conjunto de parâmetros pré-definidos (secção 3.3.5): manuseamento da argamassa; facilidade de aderência, de aperto, de regularização; opinião geral sobre a trabalhabilidade. Estes parâmetros foram classificados como má, suficiente, boa ou excelente. Os resultados, por argamassa e operador, apresentam-se nas Figuras 6.8-6.11.

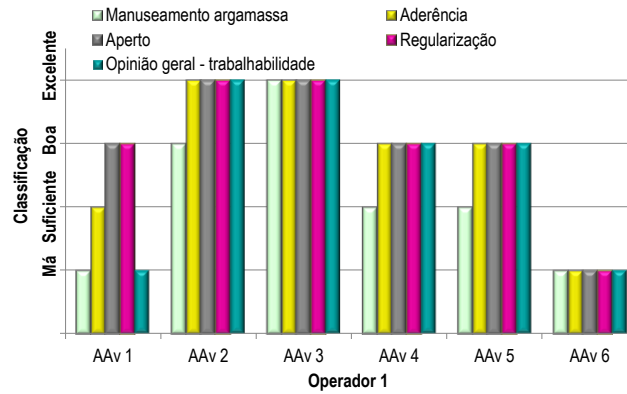


Figura 6.8. Classificação da aplicabilidade das argamassas AA v, pelo operador 1

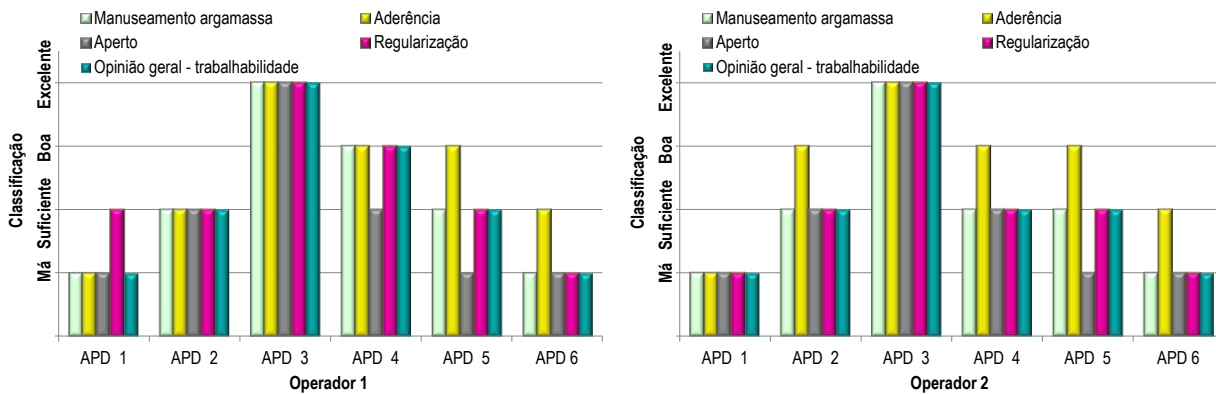


Figura 6.9. Classificação da aplicabilidade das argamassas APD: à esquerda, operador 1; à direita, operador 2

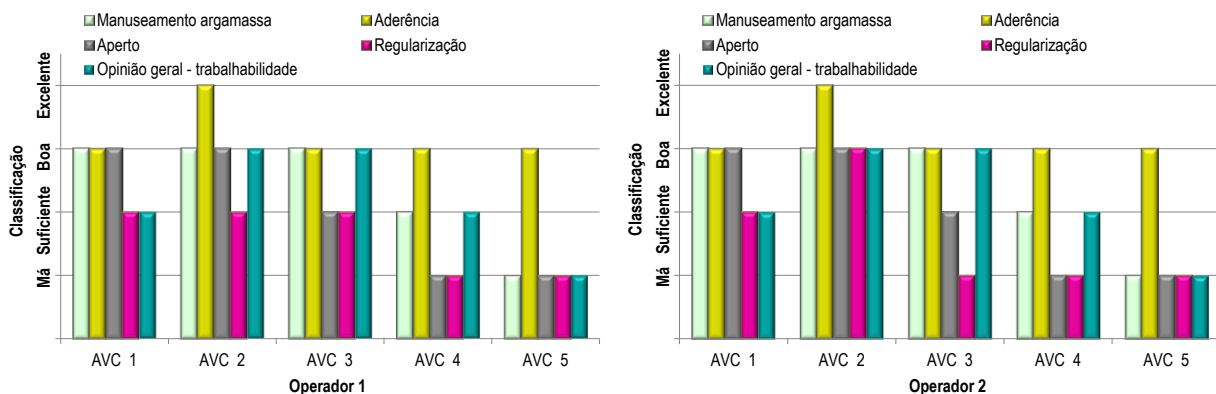


Figura 6.10. Classificação da aplicabilidade das argamassas AVC: à esquerda, operador 1; à direita, operador 2

As argamassas ATP foram aplicadas em todos os blocos (BAv, BVC, BPD). Contudo, após a sua aplicação verificou-se que a classificação dada por cada operador foi a mesma para todos, pelo que se optou por

apresentar um único gráfico (Figura 6.11). Este resultado indica que a aplicação das diferentes argamassas ATP não foi significativamente influenciada pelo tipo de taipa do suporte.

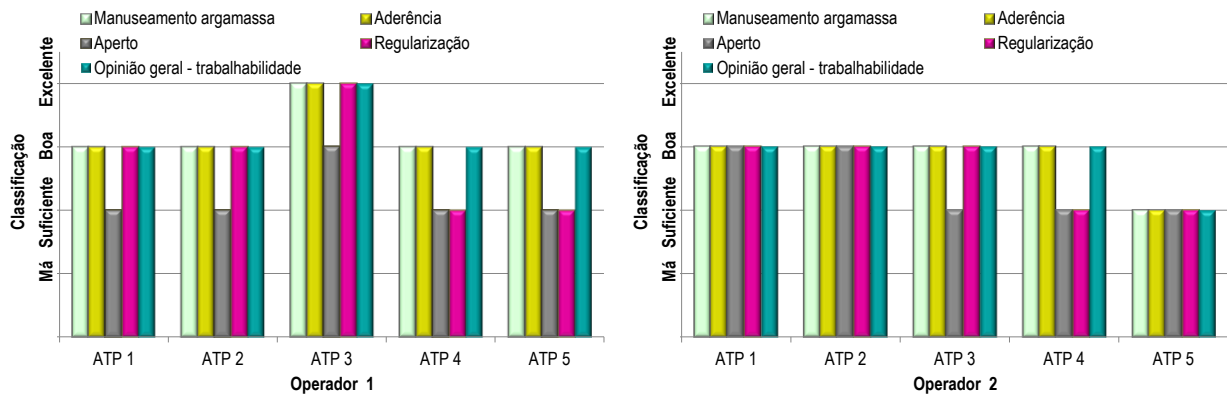


Figura 6.11. Classificação da aplicabilidade das argamassas ATP: à esquerda, operador 1; à direita, operador 2

É possível observar que a classificação da trabalhabilidade de uma argamassa depende muito da relação mássica água/material seco. Verifica-se que, em geral, existe uma relação ótima água/material seco para cada uma das terras; as argamassas mais fluidas ou mais secas nunca recebem excelentes classificações pelos operadores no que se refere à opinião geral da trabalhabilidade. Constatou-se que:

- (i) de entre os materiais utilizados, as argamassas AAV são as que apresentam os melhores resultados globais; no entanto, é de ressaltar que estas argamassas só foram avaliadas por um operador;
- (ii) a argamassa APD3 obtém a classificação de excelente em todos os parâmetros, avaliada pelos dois operadores;
- (iii) as argamassas com a terra local AVC apresentam as mais inconstantes classificações;
- (iv) nenhuma das argamassas ATP apresenta a classificação mais baixa (má), em nenhum dos parâmetros, tendo como limite mínimo a classificação de suficiente.

Análise da opinião do operador na trabalhabilidade da argamassa através do modelo de análise conjunta (conjoint analysis)

Como referido na secção 3.3.5, o modelo de análise conjunta é na realidade um problema de regressão linear múltipla que permite determinar a importância das ponderações, ou seja, é uma metodologia estatística de previsão de valores com uma ou mais variáveis y de resposta (designadas dependentes) através de um conjunto de variáveis x independentes (também designadas preditores). Assim, este método indica como diferentes atributos são utilizados pela mesma pessoa em diferentes situações. A equação geral é apresentada em [6.1] para o caso de uma variável dependente e quatro variáveis independentes:

$$y = a.x_1 + b.x_2 + c.x_3 + d.x_4 + \text{constante} \quad [6.1]$$

em que:

y - variável dependente que é função de, ou depende de duas ou mais variáveis independentes;

a, b, c e d - coeficientes das variáveis independentes;

x_1 , x_2 , x_3 e x_4 - variáveis independentes.

No presente caso a trabalhabilidade da argamassa (*Trab.argamassa*), foi considerada a variável dependente. Os coeficientes das variáveis independentes foram obtidos através da equação [6.2]. Os valores das variáveis independentes (argamassa, aderência, aperto e regularização) utilizados nesta equação foram obtidos através da classificação atribuída pelos operadores, apresenta nas Figuras 6.8-6.11, onde a classificação “má”, “suficiente”, “boa” e “excelente” foi traduzida quantitativamente em valores de respetivamente 1, 2, 3 e 4.

$$Trab.arg\ amassa = a.arg\ amassa + b.aderencia + c.aperto + d.regularizac\tilde{a}o + cons\ tan\ te \quad [6.2]$$

Os valores obtidos dos coeficientes das variáveis independentes e respetiva constante, resultante do modelo de análise conjunta podem ser observados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4. Coeficientes das variáveis independentes e constante resultante do modelo de análise conjunta

		Operador 1	Operador 2	
Coef. das variáveis independentes	a	argamassa	0,56	0,98
	b	aderência	0,30	0,03
	c	aperto	-0,04	-0,26
	d	regularização	0,33	0,23
	-	constante	-0,40	-0,03

Os coeficientes determinados pela regressão linear múltipla (Tabela 6.4) indicam como cada variável independente poderá influenciar o valor da variável dependente, ou seja a trabalhabilidade da argamassa. Como neste caso as variáveis independentes se apresentam todas quantitativamente (má-1, suficiente-2, bom-3 e excelente-4), poderá dizer-se que a variável independente “manuseamento da argamassa” (com valores de 0,56 - operador 1 e 0,98 - operador 2, respetivamente) é a que apresenta maior impacto na trabalhabilidade da argamassa, uma vez que o seu coeficiente é o mais elevado.

Determinados os coeficientes das variáveis independentes na equação [6.2], esta poderá ser utilizada para prever a trabalhabilidade de uma argamassa, alterando as variáveis independentes (argamassa, aderência, aperto e regularização), podendo-se aferir qual o seu impacto na trabalhabilidade da argamassa.

O ajuste dos dados experimentais ao modelo de análise conjunta obtido pode ser avaliado na Figura 6.12, a qual relaciona os resultados da trabalhabilidade estimada através da equação [6.2] com a opinião geral sobre a trabalhabilidade atribuída por cada operador (22 misturas avaliadas pelo operador 1 e 16 misturas avaliadas pelo operador 2). Os resultados mostram que o ajuste dos dados experimentais com a função da regressão linear

múltipla escolhida para representar da trabalhabilidade da argamassa [6.1] é muito bom para o operador 2 e bom para o operador 1. Esta boa correlação é consistente com a hipótese de o operador ser um fator de elevada importância na aplicação de uma argamassa.

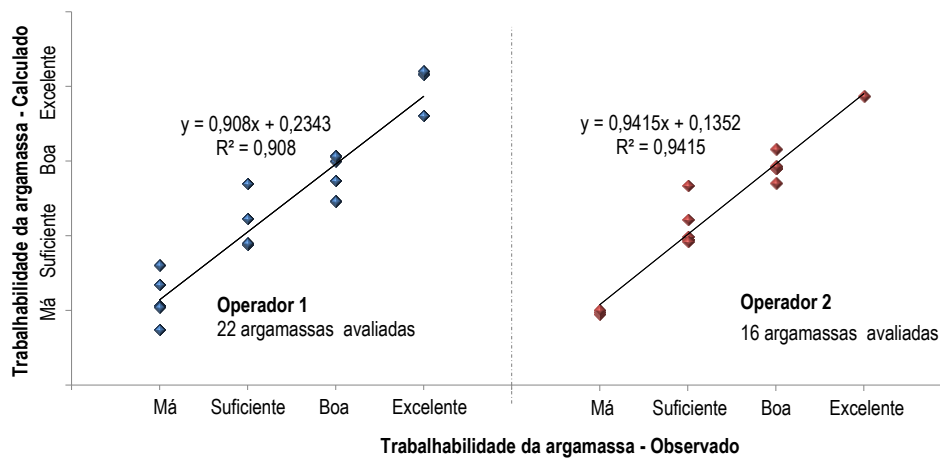


Figura 6.12. Relação da trabalhabilidade da argamassa calculada através do modelo de análise conjunta (equação 6.1) com a opinião geral sobre a trabalhabilidade de cada operador

6.2.5. Seleção dos ensaios para traduzir a trabalhabilidade

Após realizados os ensaios nas argamassas no estado fresco verificou-se que apenas os ensaios de consistência (por espalhamento e por penetrómetro) são passíveis de comparação com as aplicações efetuadas pelos operadores, sendo de excluir o ensaio de escoamento, uma vez que este se apresentou, inexecuível para grande parte das argamassas.

A Figura 6.13 apresenta os resultados obtidos pelos dois operadores na avaliação atribuída ao parâmetro “opinião geral sobre a trabalhabilidade”, em função das características relativas à consistência das argamassas, nomeadamente por espalhamento e penetração; foi objetivo aferir quais os ensaios mais apropriados para avaliar a trabalhabilidade numa argamassa de terra, cruzando os dados experimentais com informação sobre a aplicação das argamassas, e analisar a existência de possíveis intervalos de valores (para os respetivos ensaios) adequados para aplicação de uma argamassa. Assim sendo, pode observar-se na Figura 6.13 que:

- (i) o espalhamento apresenta uma maior coerência nos resultados, sendo possível, através deste parâmetro, identificar a gama de valores mais adequados para uma argamassa; pode observar-se que argamassas com valores de espalhamento entre 160 - 176 mm são consideradas excelentes e, alargando o intervalo para valores entre 152 - 177 mm, apresentam sempre uma boa classificação, do ponto de vista da apreciação da trabalhabilidade pelos operadores; estes valores apresentam-se próximos do recomendado pela norma EN 1015-2 (CEN 1998c), onde argamassas (não estão contempladas argamassas de terra nesta norma) que apresentem uma massa volúmica superior a 1200 kg/m^3 , como é o caso das argamassas estudadas na presente tese (Figura 6.4), o valor de espalhamento deve apresentar o intervalo $175 \pm 10 \text{ mm}$;
- (ii) no que se refere aos valores obtidos pelo ensaio do penetrómetro não se divisa uma relação clara entre a classificação final da aplicabilidade das argamassas efetuada pelos operadores e os valores deste ensaio.

Conclui-se assim que o ensaio mais relevante para determinar a percentagem em água ótima relacionado com a trabalhabilidade é o ensaio da consistência por espalhamento.

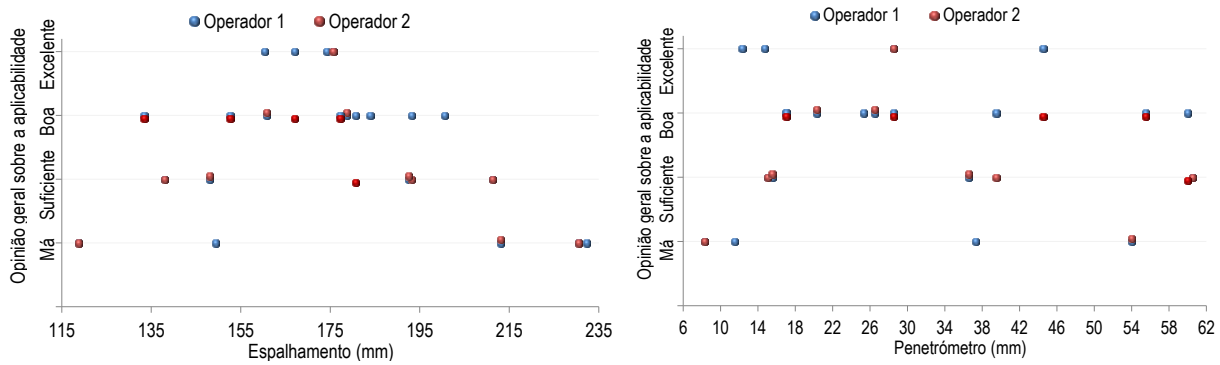


Figura 6.13. Relação entre a classificação da opinião geral sobre a aplicabilidade das argamassas de terra, obtida pelos dois operadores, com os resultados de espalhamento e de penetrómetro

6.3. FASE II: PRE-SELEÇÃO DAS ARGAMASSAS EM FUNÇÃO DO TEOR DE ÁGUA

A retração também condiciona a viabilidade de uma argamassa. Assim, a pré-seleção das argamassas é realizada a partir da trabalhabilidade mas também dos resultados obtidos pelo ensaio de retração.

Para determinar a retração das argamassas seguiu-se o ensaio descrito na secção 3.4.1. Como molde, utilizou-se uma caixa em contraplacado marítimo com dimensões internas planas de 30 × 3 (cm²) e altura interna de 3 cm, medidas indicadas por Keable (1996). Uma vez que se verificou que a retração dos provetes era significativa, não só segundo o seu comprimento mas também nas outras duas dimensões, optou-se por analisar não só a retração linear mas também a retração volumétrica do material. Na Figura 6.14 apresentam-se os resultados obtidos para a retração linear e retração volumétrica das argamassas realizadas com as duas terras locais Pá Danado (APD) e Val Chaim (AVC), e com a terra padrão (ATP). A retração da argamassa com a terra local de Avis (AAv), foi considerada nula, uma vez que não se registaram variações lineares ou volumétricas significativas.

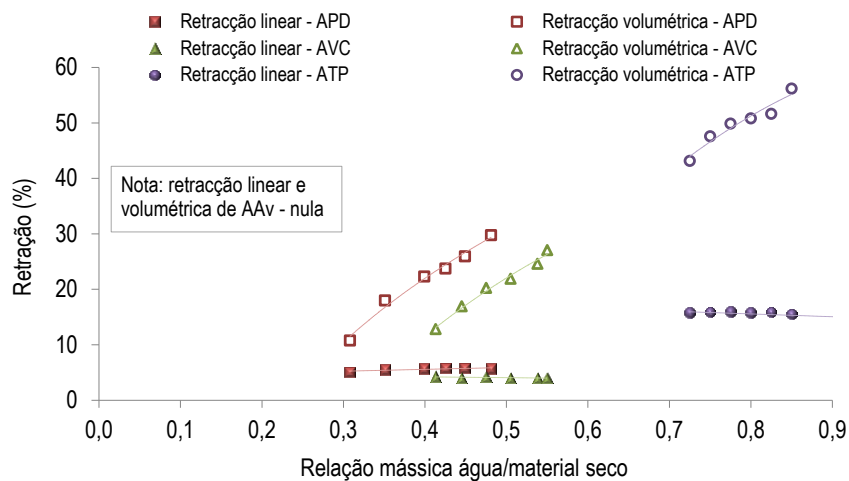


Figura 6.14. Retração linear e volumétrica para as argamassas AAv, APD, AVC e ATP

Na Figura 6.14 constata-se que os resultados obtidos da retração linear e da retração volumétrica são bastante díspares. A retração linear é praticamente constante para as diferentes amassaduras nas três argamassas, independentemente da variação da relação água/material seco (em massa). Pelo contrário, a retração volumétrica aumenta à medida que a relação água/material seco (em massa) também aumenta. Pode portanto concluir-se que, não obstante de ser este o parâmetro indicado nos documentos normativos (Keable 1996, SNZ 4298 1998, Walker e Australia 2001, Lehmbau Regeln 2009), a retração linear não é suficiente para indicar a retração real do provete, sendo aconselhável analisar-se também a retração volumétrica.

O Regulamento da Nova Zelândia (SNZ 4298 1998) e o documento de referência Alemão (Lehmbau Regeln 2009) são os únicos, de entre os vários documentos consultados, que apresentam limitações para a retração linear de argamassas de terra, sendo respetivamente: 3% em argamassas de terra sem adição de cimento, tendo em conta a realização do ensaio de *Alcock*; e de 2% considerando uma retração linear livre em provetes prismáticos de dimensões 40mm × 40mm × 160mm. Assim sendo, e mesmo sem analisar a retração volumétrica, todas as argamassas à exceção das argamassas AAv (retração linear e volumétrica nulas), devem ser rejeitadas.

Todas as argamassas rejeitadas devem ser eventualmente alteradas (estabilizadas), adicionando outros materiais ou modificando a sua distribuição granulométrica de forma a diminuir a retração, a fim de obter valores inferiores aos 3% (segundo valores da SNZ para o ensaio de *Alcock*).

Na Figura 6.15 apresenta-se a retração linear e volumétrica, assim como a percentagem de material argiloso em cada uma das amassaduras. Pode verificar-se que tanto a retração linear como a volumétrica são tanto maiores quanto maior a percentagem em material argiloso, o que confirma que a presença de argila influencia a retração. Este facto deve-se ao facto de os minerais argilosos serem instáveis, ou seja, apresentarem grandes variações de volume quando adsorvem humidade. Quando o teor em humidade aumenta, a película de água adsorvida pode aumentar de espessura e, conseqüentemente aumentar a dimensão geral das partículas; inversamente, durante o processo de secagem, o volume diminui dando origem à retração. Neste processo têm grande influência o tipo e a percentagem da argila presente na mistura.

Conclui-se que, de entre as argamassas analisadas, as únicas viáveis sem qualquer adição são as AAv1, AAv2, AAv3 e AAv4, com valores de retração linear e volumétrica nulos e valores de espalhamento entre 160 e 200 mm. As argamassas AAv2 e AAv3 são mesmo consideradas excelentes - de acordo com a classificação da aplicabilidade, avaliada pelos operadores (Figura 6.8).

Nas restantes argamassas (APD, AVC e ATP) como referido é necessário reduzir o teor em argila, otimizando a distribuição granulométrica (de maneira a melhorar a estabilidade interna). Considera-se que as argamassas mais promissoras para poderem ser facilmente corrigidas são as APD3, AVC2 e ATP3. Esta escolha deve-se ao facto de estas argamassas apresentarem a melhor classificação da aplicabilidade, Figuras 6.9-6.11, em função da avaliação da trabalhabilidade pelos operadores.

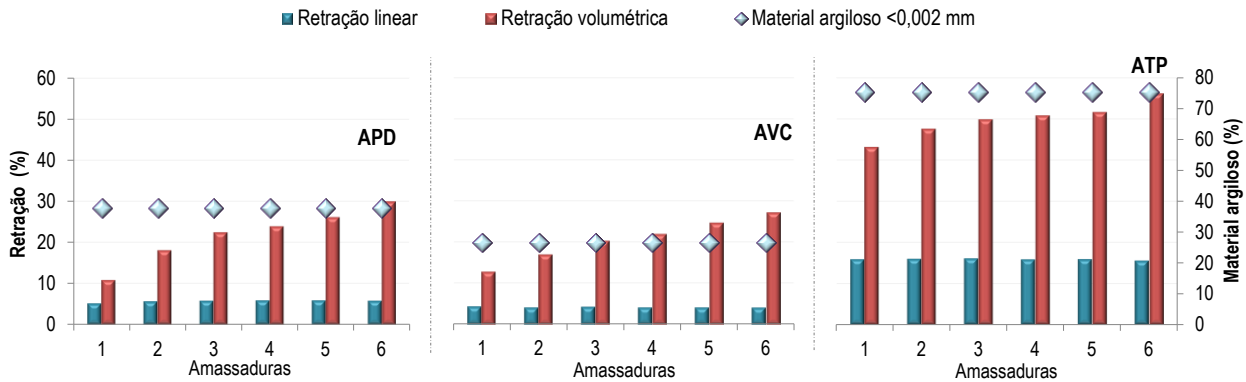


Figura 6.15. Retração linear e volumétrica e percentagem de material argiloso para as seis amassaduras, relativas às argamassas APD, AVC e ATP

6.4. FASE III: SELEÇÃO DO TRAÇO DAS ARGAMASSAS APÓS ESTABILIZAÇÃO COM AREIA E FIBRAS

Tendo em conta o estudo efetuado nas secções anteriores (6.2 e 6.3) foi escolhida uma argamassa em cada família (AAV, APD, AVC e ATP):

- (i) AAV3 - nesta argamassa não foi necessário qualquer tipo de adição dado que foi considerada excelente em todos os parâmetros de trabalhabilidade avaliados pelo operador, e a retração linear e volumétrica apresentam-se praticamente nulas;
- (ii) APD3, AVC2 e ATP3 - estas argamassas necessitaram de correção com outros constituintes (areia, fibras) a fim de melhorarem as suas características de retração.

Foi determinado que a consistência por espalhamento e a retração são características fiáveis para determinar o teor em água de uma argamassa. A seleção das argamassas teve como requisitos os seguintes valores de referência:

- (i) ensaio de consistência por espalhamento - ensaio no estado fresco que apresenta uma boa correlação com a trabalhabilidade, conforme avaliação realizada pelos operadores, devendo o resultado situar-se na gama de valores de referência, entre os 152-177 mm;
- (ii) ensaio de retração linear e retração volumétrica, adotando-se o valor-limite de 3% indicado na norma Neozelandesa (SNZ 4298 1998) de acordo com o ensaio de Alcock, ensaio este que foi utilizado no presente trabalho.

Com o objetivo de diminuir a retração e determinar o traço ótimo das argamassas, foram adicionados os seguintes materiais: areia grossa (MAG), areia fina (MAF) e fibras vegetais de cânhamo (Fib). O espalhamento das argamassas foi controlado à custa da introdução de água, a fim de que, este se situasse dentro do intervalo desejado. Os traços das argamassas estão indicados na Tabela 6.5.

Os resultados dos ensaios de consistência por espalhamento e retração linear são apresentados na Figura 6.16 para as argamassas AAV, APD e AVC e na Figura 6.17 para as argamassas ATP.

As amassaduras foram efetuadas de acordo com o descrito na secção 6.2.1.

Tabela 6.5. Argamassas e respetivos traços volumétricos e mássicos

Argamassas	Terra	Areia grossa (MAG)	Areia fina (MAF)	Fibra (%)*	Traço volumétrico	Traço mássico	Símbolo (Figuras 6.16 e 6.17)
AAv_AG0	1	0	-	-	1:0	1:0	●
APD_AG0	1	0	-	-	1:0	1:0	●
APD_AG1	1	1	-	-	1:1	1:1,3	●
APD_AG2	1	1,5	-	-	1:1,5	1:1,9	●
AVC_AG0	1	0	-	-	1:0	1:0	●
AVC_AG1	1	1	-	-	1:1	1:1,4	●
AVC_AG2	1	1,5	-	-	1:1,5	1:2,4	●
ATP_AG0	1	0	-	-	1:0	1:0	●
ATP_AG1	1	0,25	-	-	1:0,25	1:0,3	●
ATP_AG2	1	0,5	-	-	1:0,5	1:0,6	●
ATP_AG3	1	0,75	-	-	1:0,75	1:0,9	●
ATP_AG4	1	1	-	-	1:1	1:1,3	●
ATP_AG5	1	2	-	-	1:2	1:2,5	●
ATP_AG6	1	3	-	-	1:3	1:3,8	●
ATP_AGF7	1	0,5	0,5	-	1:0,5:0,5	1:0,6:0,6	■
ATP_AGF8	1	1	1	-	1:1:1	1:1,3:1,2	■
ATP_AGF9	1	2	1	-	1:2:1	1:2,5:1,2	■
ATP_AG_Fib10	1	2	-	5	1:2	1:2,5	●
ATP_AG_Fib11	1	3	-	5	1:3	1:3,8	●
ATP_AGF_Fib12	1	1	1	5	1:1:1	1:1,3:1,2	■
ATP_AGF_Fib13	1	2	1	5	1:2:1	1:2,5:1,2	■

* Percentagem relativamente à massa de argila

Uma vez que o valor do espalhamento foi ajustado para se situar na gama de valores de referência, o critério para a escolha do traço das argamassas foi o da menor retração linear (limite de 3%, SNZ 4298 1998). Assim, observando as Figuras 6.16 e 6.17 foram escolhidas as argamassas que apresentam melhor comportamento face a este limite:

- (i) AAv_AG0, APD_AG2 e AVC_AG2;
- (ii) ATP_AG6 e ATP_AG_Fib11.

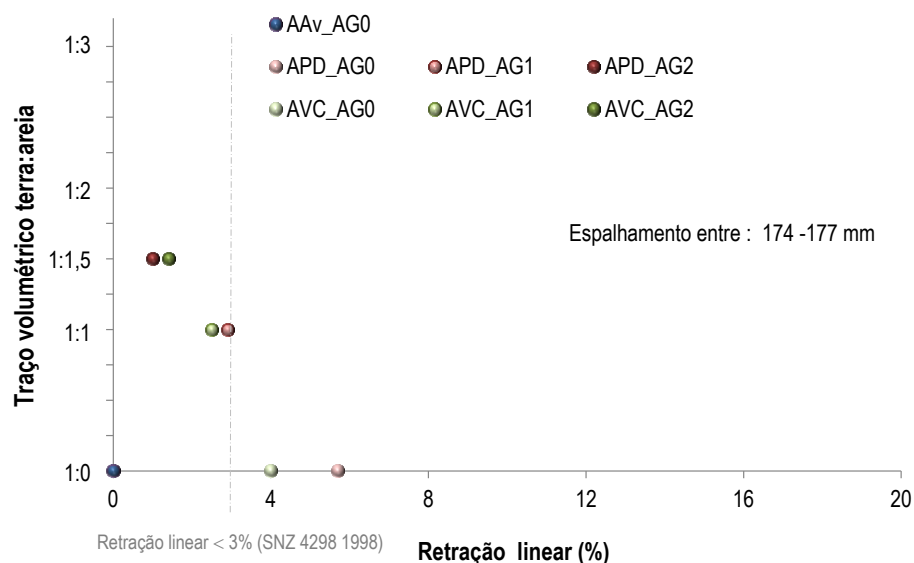


Figura 6.16. Retração linear e intervalo de valores para o espalhamento, para as argamassas AAv, APD e AVC (função do traço volumétrico terra:areia)

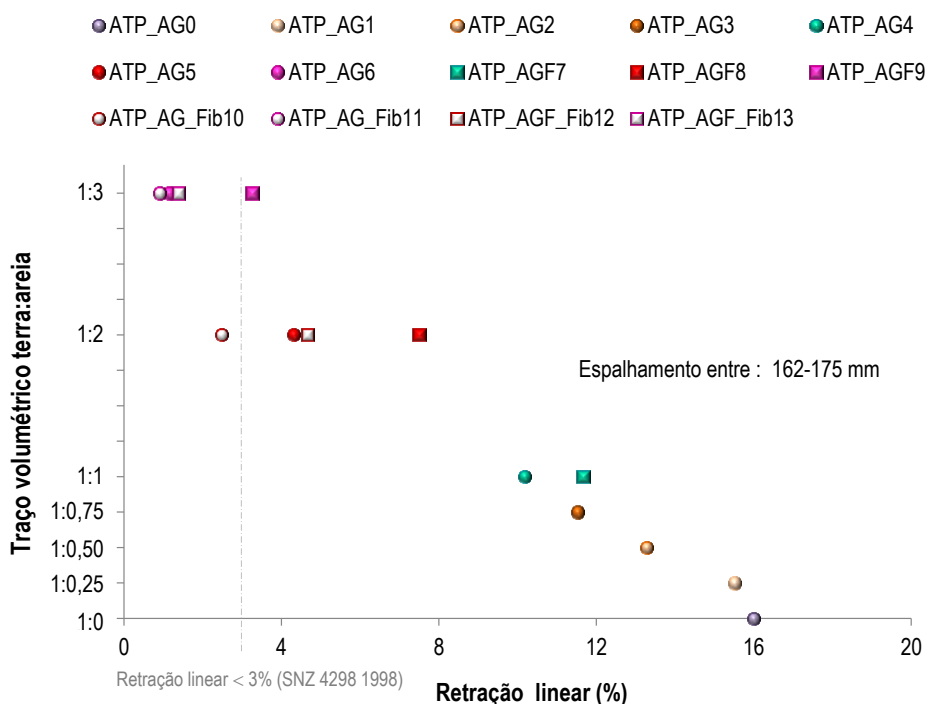


Figura 6.17. Retração linear e intervalo de valores para o espalhamento, para as argamassas ATP (função do traço volumétrico terra:areia)

Para simplificação, as argamassas escolhidas para avaliação e caracterização com e sem estabilizantes, que se encontram estudadas na secção seguinte do presente capítulo, passam a partir de aqui a ser designadas apenas em função do tipo de terra em que se baseiam e do facto de incluírem ou não fibras (ex.: AAv_AG0 passa a AAv; ATP_AG_Fib11 passa a ATP_Fib), conforme visualizado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6. Argamassas seleccionadas para o trabalho subsequente

Argamassas	Material terra				Areia grossa (AG)	Traço volumétrico (terra:areia grossa)	Traço mássico (terra:areia grossa)	Fibra (%) ⁽¹⁾	Nova nomenclatura
	MAv_A	MPD_A	MVC_A	MTP_A					
AAv_AG0	1				0	1:0	1:0		AAv
APD_AG2		1			1,5	1:1,5	1:1,9		APD
AVC_AG2			1		1,5	1:1,5	1:2,4		AVC
ATP_AG6				1	3	1:3	1:3,8		ATP
ATP_AG_Fib11				1	3	1:3	1:3,8	5	ATP_Fib

⁽¹⁾ Percentagem relativamente à massa de argila (MTP_A)

6.5. FASE IV: CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

As argamassas de reparação seleccionadas foram utilizadas para colmatar os defeitos-padrão, superficiais e profundos, nos blocos de taipa não estabilizada, pretendendo-se que estas fossem tão compatíveis com o suporte quanto possível. Assim, às argamassas AAv, APD, AVC, que correspondem à alternativa de reparação de cada uma das taipas com a correspondente terra local, não será adicionado qualquer estabilizante mineral. Já às argamassas ATP, que correspondem à alternativa de reparação das diferentes taipas utilizando um material diferente do das edificações, o seu comportamento será analisado com e sem adição de estabilizantes minerais (ligantes) e utilização ou não de fibras. Uma vez que a técnica da taipa atinge resistências mais elevadas do que

a das argamassas de terra sem estabilização que não são compactadas, pretende-se com a adição de estabilizantes, avaliar eventuais melhorias do comportamento das argamassas, aproximando os valores de resistência entre o paramento e a argamassa. Segundo alguns autores, o material terra necessita de estabilização, dado que as estruturas de terra sem estabilizantes apresentam uma menor durabilidade (Kerali 2001). É também referido na literatura que para aumentar a resistência e durabilidade dos materiais em terra são frequentemente adicionados ligantes minerais (Heathcote 1995, Jayasinghe e Kamaladasa 2007, Jaquin *et al.* 2008, Hall e Allinson 2009a, Hossain e Mol 2011, McGregor *et al.* 2012), tal como referido na secção 2.5.2. Assim, considerou-se pertinente efetuar uma avaliação do efeito deste tipo de ligantes nas argamassas de reparação.

O cimento e a cal são dos ligantes mais comuns para estabilização de construções de terra; menos de 10% por massa de cimento ou de cal é em geral considerada suficiente para garantir um ganho significativo de resistência e durabilidade (McGregor *et al.* 2012).

Com a utilização de fibras, como já referido, pretendeu-se diminuir a retração nas argamassas. A percentagem de fibras adicionadas foi de 5% em relação à percentagem em massa do material terra-padrão (MTP). Esta percentagem tem sido utilizada com sucesso em argamassas de terra atuais de acordo com alguns autores (Warren 1999, Copsey *et al.* 2010).

Nesta secção apresenta-se a caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido. Os resultados experimentais obtidos foram ainda utilizados para escolher, de entre as várias formulações das argamassas que utilizam a terra padrão (com a adição ou não, de estabilizantes e fibras), as mais viáveis para a aplicação nos blocos de taipa.

Os traços das argamassas estudadas na presente secção foram definidos na secção anterior, Tabela 6.6. A curva granulométrica de cada uma das misturas utilizadas para as respetivas argamassas está representada na Figura 6.18.

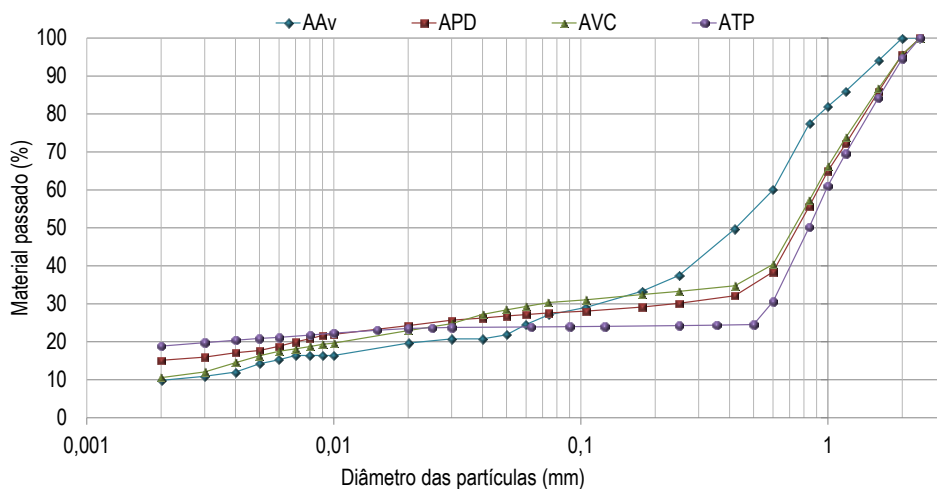


Figura 6.18. Curva granulométrica das argamassas AAv, APD, AVC e ATP

As argamassas de terra AAv, APD e AVC apresentam como único aglutinante a argila. Às argamassas ATP e ATP_Fib foram também adicionados ligantes minerais, numa percentagem de 5, 10 e 15% em relação à massa

de terra-padrão (MTP), sendo utilizados: cal aérea hidratada (CA), cal hidráulica natural (CH), cimento Portland (CP) e cimento natural (CN).

Todos os materiais utilizados nas argamassas encontram-se devidamente caracterizados no Capítulo 5. Na Tabela 6.7 estão indicados todas as argamassas estudadas nesta sessão, suas designações, traços e respectivas adições.

As 29 argamassas (Tabela 6.7) foram caracterizadas no estado fresco e endurecido. Note-se que diversos destes ensaios não são facilmente aplicáveis a argamassas de terra, devido à baixa resistência mecânica e sensibilidade à ação da água destas argamassas, o que obrigou à realização de numerosos testes preliminares e à adaptação dos protocolos de ensaio (secção 3.3 e 3.4).

Tabela 6.7. Designações das argamassas, respetivos traços e adições

Grupos	Designação da argamassa	Traço volumétrico (terra:areia grossa)	Ligante mineral (%)*				Fibra (%)*
			Cal área	Cal hidráulica	Cimento Portland	Cimento natural	
Terra Av	AAv	1:0	-	-	-	-	-
Terra PD	APD	1:1,5	-	-	-	-	-
Terra VC	AVC		-	-	-	-	-
Terra-padrão	ATP		-	-	-	-	-
Terra-padrão com fibras	ATP_Fib		-	-	-	-	5
Terra-padrão com cal aérea	ATP_CA5		5	-	-	-	-
	ATP_CA10		10	-	-	-	-
	ATP_CA15		15	-	-	-	-
Terra-padrão com cal área e fibras	ATP_CA5_Fib		5	-	-	-	5
	ATP_CA10_Fib		10	-	-	-	5
	ATP_CA15_Fib		15	-	-	-	5
Terra-padrão com cal hidráulica	ATP_CH5		-	5	-	-	-
	ATP_CH10		-	10	-	-	-
	ATP_CH15		-	15	-	-	-
Terra-padrão com cal hidráulica e fibras	ATP_CH5_Fib		-	5	-	-	5
	ATP_CH10_Fib	1:3	-	10	-	-	5
	ATP_CH15_Fib		-	15	-	-	5
Terra-padrão com cimento Portland	ATP_CP5		-	-	5	-	-
	ATP_CP10		-	-	10	-	-
	ATP_CP15		-	-	15	-	-
Terra-padrão com cimento Portland e fibras	ATP_CP5_Fib		-	-	5	-	5
	ATP_CP10_Fib		-	-	10	-	5
	ATP_CP15_Fib		-	-	15	-	5
Terra-padrão com cimento natural	ATP_CN5		-	-	-	5	-
	ATP_CN10		-	-	-	10	-
	ATP_CN15		-	-	-	15	-
Terra-padrão com cimento natural e fibras	ATP_CN5_Fib		-	-	-	5	5
	ATP_CN10_Fib		-	-	-	10	5
	ATP_CN15_Fib		-	-	-	15	5

* Percentagem relativamente à massa de argila (MTP)

A avaliação das argamassas no estado fresco consistiu na determinação da consistência pelo ensaio de espalhamento e da massa volúmica. Realizaram-se depois os ensaios no estado endurecido da retração linear e volumétrica e aos 90 dias de idade foram executados os seguintes ensaios:

- (i) ensaios hídricos - absorção de água por capilaridade e secagem; estes dois ensaios foram realizados sequencialmente sobre os mesmos provetes; para cada uma das argamassas utilizaram-se seis provetes cúbicos (dimensões 50 mm × 50 mm × 50 mm);
- (ii) ensaios mecânicos - módulo de elasticidade dinâmico e resistência à tração por flexão e à compressão, ensaios também realizados de forma sequencial sobre os mesmos provetes; para cada uma das argamassas utilizaram-se seis provetes prismáticos (dimensões 40 mm × 40 mm × 160 mm).

6.5.1. Ensaios no estado fresco

Para a determinação da relação água/material seco nas argamassas estabilizadas foram tidos em conta os resultados apresentados na secção 6.2.5. Assim, a relação mássica água/material seco foi definida, por tentativas, de modo a resultar um espalhamento sempre que possível entre 160-176 mm (argamassas com excelente trabalhabilidade) ou pelo menos entre 152-177 mm (argamassas com boa trabalhabilidade).

6.5.1.1 Massa volúmica

A massa volúmica no estado fresco foi determinada através do procedimento de ensaio descrito na secção 3.3.1 que segue o método da norma EN 1015-6 (CEN 1998b). Os resultados são apresentados na Tabela 6.8 e pode-se constatar que:

- (i) argamassas que contêm fibras apresentam massas volúmicas inferiores, provavelmente devido ao facto de as próprias fibras de cânhamo apresentarem massas volúmicas muito baixas; pode também dever-se em parte à maior percentagem de água que é adicionada a este tipo de argamassas pois, como se observa, a relação água/material seco apresenta valores sistematicamente mais elevados;
- (ii) a massa volúmica das argamassas com cal área diminui à medida que aumenta a percentagem desse ligante, verificando-se o inverso nas argamassas de cal hidráulica e de cimento Portland; no caso das argamassas com adição de cimento natural não existe uma tendência clara de variação; contudo, estas diferenças são sempre muito pouco significativas, constando-se essa afirmação pelos valores obtidos do desvio padrão, devendo-se provavelmente à baridade de cada um dos estabilizantes utilizados comparativamente à MTP (Capítulo 5).

6.5.1.2 Consistência por espalhamento

O ensaio da consistência por espalhamento foi realizado de acordo com a norma de ensaio EN 1015-3 (CEN 1999a), procedimento descrito em 3.3.2. Os resultados são apresentados na Tabela 6.8.

Após a análise dos resultados referentes ao ensaio de espalhamento pode constatar-se que (Tabela 6.8):

- (i) a relação mássica água/material seco é sistematicamente um pouco superior para as argamassas que incluem fibras, ou seja, a influência das fibras parece incrementar ligeiramente a quantidade de água necessária para atingir determinada trabalhabilidade; este facto é notório por exemplo no caso das argamassas de terra-padrão (ATP e ATP_Fib), onde os valores de espalhamento são iguais; esta

circunstância deve-se provavelmente ao facto das fibras de cânhamo absorverem parte da água utilizada na amassadura;

- (ii) as variações observadas em função da percentagem de estabilizante são pequenas e não revelam tendências claras, o que indica que a ligeira variação do teor em estabilizante não afeta significativamente a trabalhabilidade e conseqüentemente a relação água/material seco.

Tabela 6.8. Relação água/material seco (em massa) e resultados dos ensaios de espalhamento e massa volúmica das argamassas

Argamassa	Estabilizante mineral	Relação água/material seco (em massa)	Espalhamento (mm)	Massa volúmica (kg/m ³)
AAv		0,13	174	2000 ± 1,1
APD		0,20	177	2001 ± 1,0
AVC	---	0,21	177	1976 ± 1,5
ATP		0,31	170	1872 ± 1,4
ATP_Fib		0,34	170	1783 ± 0,3
ATP_CA5			172	1873 ± 0,1
ATP_CA10		0,30	172	1871 ± 0,1
ATP_CA15			170	1854 ± 0,2
ATP_CA5_Fib	Cal aérea		165	1787 ± 3,3
ATP_CA10_Fib		0,33	163	1776 ± 1,5
ATP_CA15_Fib			163	1770 ± 1,1
ATP_CH5			171	1878 ± 0,4
ATP_CH10		0,29	172	1879 ± 1,6
ATP_CH15			172	1880 ± 1,5
ATP_CH5_Fib	Cal hidráulica		169	1793 ± 1,8
ATP_CH10_Fib		0,32	166	1794 ± 1,2
ATP_CH15_Fib			166	1798 ± 4,3
ATP_CP5			176	1893 ± 1,8
ATP_CP10		0,29	176	1897 ± 1,8
ATP_CP15			177	1902 ± 0,4
ATP_CP5_Fib	Cimento Portland		169	1796 ± 2,4
ATP_CP10_Fib		0,33	173	1798 ± 4,5
ATP_CP15_Fib			173	1800 ± 1,4
ATP_CN5			172	1889 ± 6,3
ATP_CN10		0,29	173	1892 ± 5,8
ATP_CN15			159	1876 ± 0,9
ATP_CN5_Fib	Cimento natural		168	1811 ± 0,9
ATP_CN10_Fib		0,32	172	1807 ± 0,1
ATP_CN15_Fib			163	1786 ± 0,7

6.5.2. Execução dos provetes e condições de cura

Após a realização dos ensaios no estado fresco foi necessário executar provetes para a realização dos ensaios no estado endurecido (Tabela 6.7). De cada uma das 29 argamassas prepararam-se 6 provetes cúbicos (aresta 50 mm) para os ensaios hídricos de absorção de água por capilaridade e de secagem e, 6 provetes prismáticos (dimensões 40 mm × 40 mm × 160 mm) para os ensaios mecânicos de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e à compressão, totalizando 174 provetes para cada tipo de ensaio.

A norma EN 1015-11 (CEN 1999b) foca as condições de cura de diversos tipos de argamassa (cimento, cal, bastardas) mas não daquelas cujo aglutinante é a argila (argamassas de terra).

A norma indica para todos os casos uma cura húmida de 7 dias, com o provete 2 ou 5 dias dentro do molde, dependendo do tipo de argamassa. No presente caso, verificou-se que os provetes não endureciam o suficiente para poderem ser desmoldados ao fim de 5 dias. Note-se que a maior percentagem de ligante mineral (CA, CH, CP ou CN) destas argamassas é de apenas 15% relativamente à massa de terra-padrão, ou seja, cerca de 3% relativamente à massa total de material e que, no caso das argamassas AAv, APD, AVC e ATP, o único aglutinante é a argila. Assim, optou-se por manter os provetes no molde durante duas semanas. Durante os primeiros 7 dias estiveram em cura húmida, dentro de um saco fechado de polietileno (Figura 6.19). Durante os segundos permaneceram na sala condicionada a $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ HR.

Após este período foram desmoldados, mantendo-se na mesma sala condicionada até completarem os 90 dias. É referir que a norma EN 1015-11 (CEN 1999b) menciona que os provetes devem ser mantidos numa sala condicionada a $65 \pm 5\%$ de humidade relativa. Contudo, a sala disponível apresentava uma humidade relativa de 50%, o que se considerou também aceitável.

Os provetes das argamassas que incluíam o ligante mineral cal aérea foram ainda sujeitos, ao fim de 28 dias, a 7 dias em câmara de carbonatação ($5\% \text{CO}_2$, $21 \pm 2^\circ\text{C}$ e $71 \pm 2\%$ HR), procedimento que se adotou para garantir a total carbonatação da cal, uma vez que o endurecimento deste tipo de estabilizante é lento (Gomes *et al.* 2013a).



Figura 6.19. Sequência de trabalhos para a realização dos provetes cúbicos e prismáticos

6.5.3. Desenvolvimento biológico

Veio a verificar-se o aparecimento de fungos nas argamassas para três dos quatro tipos de ligante mineral. Estes surgiram apenas e sistematicamente nas argamassas com a utilização das fibras de cânhamo, à exceção das argamassas com a adição do ligante mineral cal aérea.

Os fungos compreendem um grupo de organismos extremamente diversificados, constituídos por grupos de organismos heterotróficos - seres vivos que não possuem a capacidade de produzir o seu próprio alimento a partir da fixação de dióxido de carbono e por isso alimentam-se a partir dos outros compostos inorgânicos ou orgânicos -, sem clorofila, imóveis, que se reproduzem por meio de esporos e possuem pigmentos que são responsáveis pelas variadas cores que apresentam (Alexopoulos *et al.* 1996).

Röhlen (2012) refere que o aparecimento de fungos pode ocorrer durante a construção, quer nas argamassas de terra, quer em outros elementos de terra. Straube e DeGraauw (2001) referem que é importante saber se uma parede absorve muita ou pouca humidade, de maneira a evitar o crescimento de fungos.

Os principais fatores para o crescimento de fungos são (Röhlen 2012):

- (i) Humidade relativa - uma humidade relativa do ar superior a 70% favorece o crescimento de fungos e a proliferação de ácaros (McGregor *et al.* 2012); ambientes extremamente secos dificultam o crescimento de fungos;
- (ii) Temperatura - as temperaturas entre 20-30°C ideais para o crescimento dos fungos (Alexopoulos *et al.* 1996); muito calor ou frio extremo dificulta na maior parte dos casos o crescimento de fungos;
- (iii) Teor de nutrientes - um elevado de nutrientes no substrato permite o crescimento de fungos; uma fina camada de partículas contaminadas que esteja aderente ao substrato é muitas vezes o suficiente;
- (iv) pH do ambiente - um pH próximo a 6 é o ideal para o desenvolvimento da grande maioria dos fungos (Alexopoulos *et al.* 1996).

Como já referido, no presente trabalho constatou-se a presença de fungos em todos os provetes com adição de fibras (Gomes *et al.* 2013a), à exceção de todas as argamassas estabilizadas com cal aérea e da argamassa com a maior percentagem de cimento Portland (ATP_CP15_Fib). Para se comprovar a causa que despoletou o aparecimento de bolores, foram efetuadas novas amassaduras, verificando-se novamente o referido desenvolvimento biológico nas mesmas argamassas.

A maior quantidade de fungos apareceu nas argamassas com o menor teor de estabilizante, diminuindo esta quantidade com o aumento do teor de estabilizante (Gomes *et al.* 2012a). Os fungos foram detetados nas seguintes argamassas e momentos:

- (i) ATP_CH5_Fib e ATP_CN5_Fib, enquanto os provetes ainda se encontravam nos respetivos moldes (Figuras 6.20 e 6.21);
- (ii) ATP_Fib, durante os 60 a 90 dias do processo de cura, ainda que neste caso de forma inicialmente quase impercetível;
- (iii) ATP_CH10_Fib, ATP_CP5_Fib e ATP_CN10_Fib, no decurso dos ensaios de absorção de água por capilaridade e secagem, em grande quantidade;
- (iv) ATP_CH15_Fib, ATP_CP10_Fib e ATP_CN15_Fib, no decurso dos ensaios de absorção de água por capilaridade e secagem; contudo com menor significado.

Observando os resultados julga-se que o desenvolvimento biológico é desencadeado pelo ambiente húmido, sendo que a presença das fibras de cânhamo potencia a sua ocorrência. Verificou-se que o crescimento de fungos foi inibido ou dificultado nas argamassas com cal aérea e nas argamassas com maior percentagem de cimento Portland, mesmo em presença de fibras, o que se julga dever-se a alterações de pH.

Devido ao alto valor de pH, materiais fortemente alcalinos como a cal ou o cimento estão protegidos pelas suas propriedades fungicidas (Straube e DeGraauw 2001, Röhlen 2012): o elevado nível de alcalinidade faz com que o crescimento de fungos seja dificultado. Alguns investigadores consideram ser esta uma das razões para o tradicional uso da cal na construção com terra no passado (Straube e DeGraauw 2001).

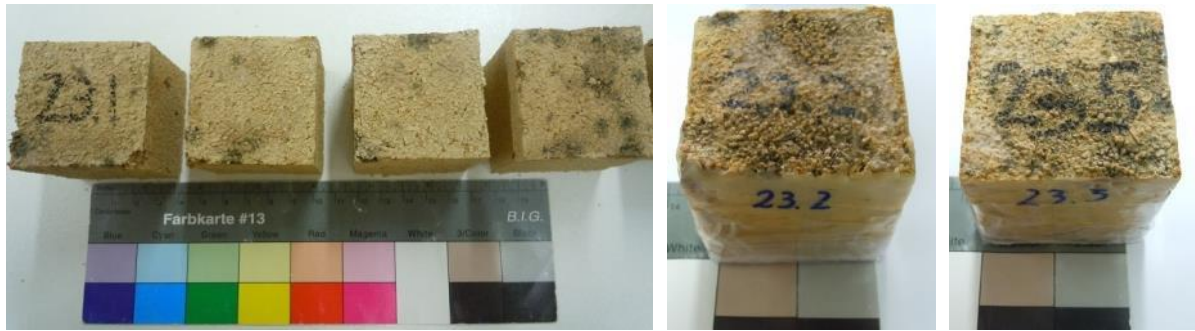


Figura 6.20. Fungos nos provetes ATP_CH5_Fib: à esquerda, ao fim de 90 dias de cura; ao centro e à direita, após a realização do ensaio de secagem, 120 dias



Figura 6.21. Fungos nos provetes ATP_CN5_Fib, aos 90 dias de cura

6.5.4. Ensaio no estado endurecido

6.5.4.1 Retração linear e volumétrica

A retração em materiais de terra foi amplamente discutida na secção 4.4.6. O ensaio de retração encontra-se detalhado na secção 3.4.1. Na Figura 6.22 apresentam-se os resultados obtidos para a retração linear e volumétrica das argamassas em análise. Observando a figura, pode concluir-se que:

- (i) os resultados obtidos da retração linear e volumétrica são bastante díspares, o que sugere que, para este tipo de material, a retração linear não é suficiente para indicar a retração real do provete (Gomes et al. 2013a); considera-se, por isso, que este ensaio apresenta como lacunas apenas determinar o valor da retração linear e não existirem valores-limite para a retração volumétrica; a retração volumétrica apresenta valores muito mais elevados do que a retração linear e parece ser um parâmetro muito mais sensível; devido a todas estas razões, a relação e diferenças entre estes dois parâmetros devem ser analisados em trabalhos futuros;
- (ii) a retração linear não ultrapassa os 2% em nenhuma das argamassas, sendo para as argamassas com a adição de cimento inferior a 1%; tendo como referência o regulamento da Nova Zelândia (SNZ 4298 1998) que considera 3% como limite para a retração linear para argamassas de terra sem adições e 1% para argamassas com a adição de cimento (valores obtidos segundo o ensaio de Alcock), poderá admitir-se que todas as argamassas ensaiadas apresentam valores aceitáveis para a retração linear;
- (iii) não é identificável qualquer tipo de relação entre a retração linear e volumétrica e a percentagem de estabilizante; as diferenças observadas entre as diferentes percentagens de cada estabilizante não se podem considerar significativas tendo em conta a dispersão;

- (iv) a utilização de fibras influenciou positivamente a retração, reduzindo a retração linear e volumétrica em todas as argamassas, à exceção da retração linear para o caso das argamassas de cal hidráulica, não sendo possível estabelecer as causas; a influência positiva das fibras é clara para o caso do ligante mineral com cal aérea, nas restantes estabilizações as diferenças não são significativas em relação à dispersão;
- (v) nas argamassas não estabilizadas as retrações linear e volumétrica são praticamente nulas para a AAv, constituída por terra com baixa percentagem em argila, observando-se os valores mais elevados de retração na argamassa AVC;
- (vi) nas argamassas estabilizadas: a menor retração linear verifica-se nas argamassas com a adição de cal aérea com fibras e cimento Portland com e sem fibras; a menor retração volumétrica ocorreu nas argamassas com cimento Portland;
- (vii) nas argamassas estabilizadas: a maior retração linear verifica-se nas argamassas de cal hidráulica com fibras e cimento natural sem fibras; a maior retração volumétrica sucedeu nas argamassas com cimento natural sem fibras.

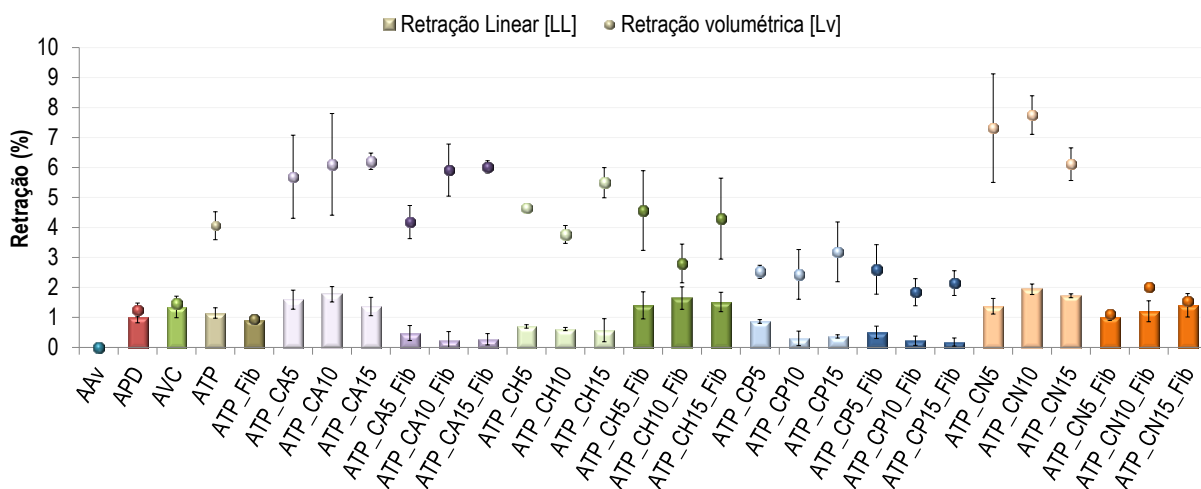


Figura 6.22. Retração linear e volumétrica para as argamassas AAv, APD, AVC e família ATP

6.5.4.2 Absorção de água por capilaridade

A capacidade de transporte capilar das argamassas é avaliada a nível macroscópico através do coeficiente de capilaridade (A , $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$), também designado coeficiente de absorção capilar. O procedimento experimental para a determinação do coeficiente de capilaridade é descrito na secção 3.4.2. A quantidade de água absorvida por unidade de superfície no instante i (W_i , kg/m^2) é expressa pela equação [3.15].

As curvas de capilaridade médias das várias argamassas estão representadas nas Figura 6.23 e Figura 6.24. Verifica-se uma grande diferença entre os materiais não estabilizados e estabilizados com ligantes minerais (mesmo apenas com uma adição de 5%). Nos materiais não estabilizados (AAv, APD, AVC e ATP) nos primeiros minutos de absorção observa-se nas curvas de capilaridade a presença anómala de um troço convexo (Figura 6.23), enquanto nos materiais com estabilização existe desde o início uma relação linear entre a quantidade de água absorvida e a raiz quadrada do tempo, como é típico em materiais porosos (Figura 6.24) (Gonçalves 2007). Alguns artigos relacionados com este tema mencionam que, por vezes, os materiais à base de cimento apresentam o mencionado tipo de comportamento não-linear entre a quantidade de água absorvida e a raiz

quadrada do tempo (Hall *et al.* 1995, Lockington e Parlange 2003). Porém, não foram encontrados artigos que mencionem a existência de não-linearidades na absorção capilar de argamassas de terra não-estabilizada.

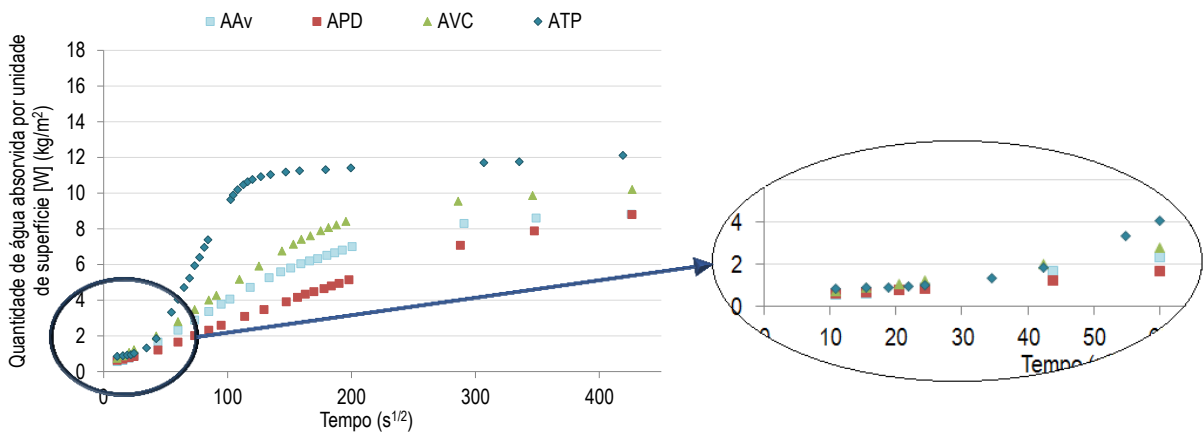


Figura 6.23. Curvas de capilaridade das argamassas AAv, APD, AVC e ATP com pormenor dos primeiros minutos, ensaio aos 90 dias

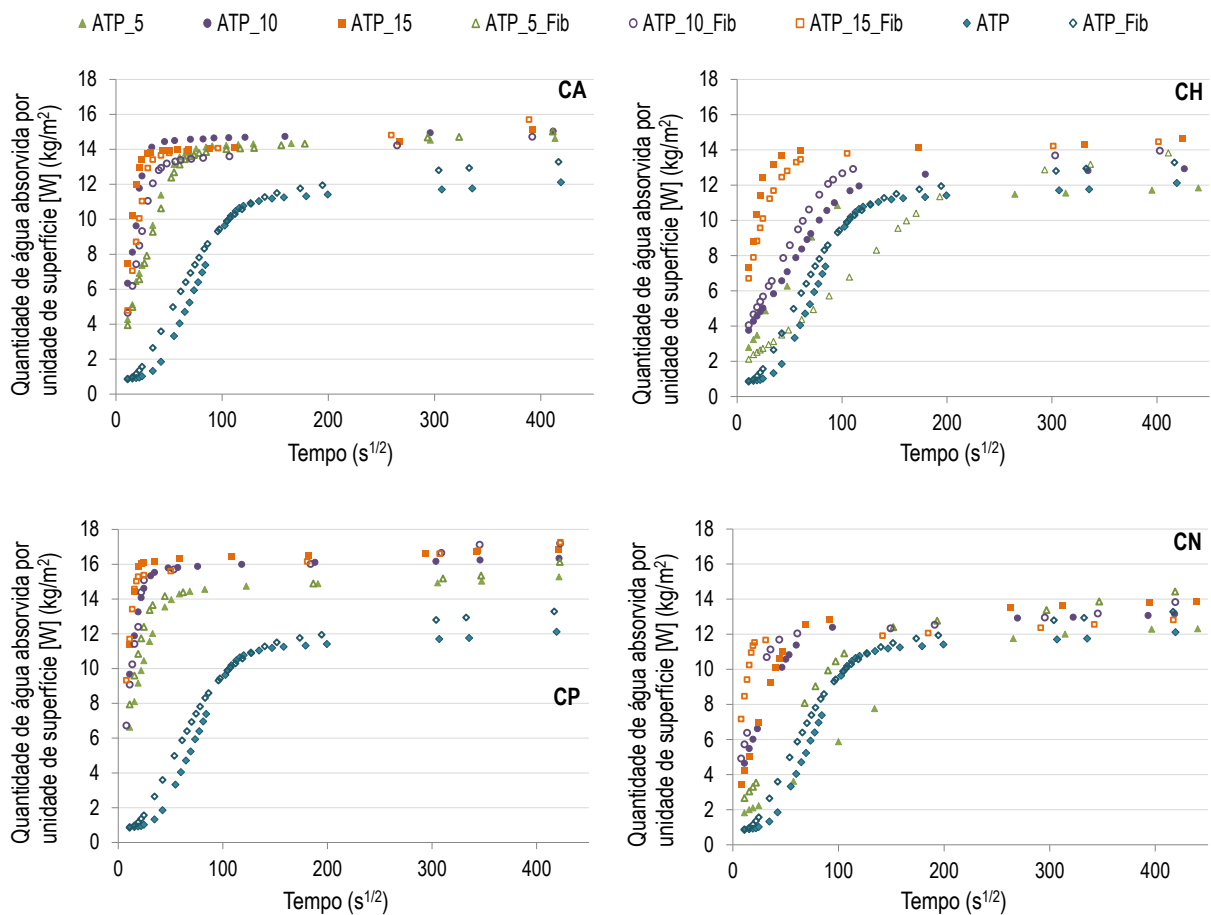


Figura 6.24. Curvas de capilaridade das argamassas ATP, ensaio aos 90 dias: em cima à esquerda, com cal aérea; em cima à direita, com cal hidráulica; em baixo à esquerda, com cimento Portland; em baixo à direita, com cimento natural

O patamar quase horizontal (Figura 6.23), nos primeiros minutos da curva de capilaridade, que apenas ocorre nas argamassas não-estabilizadas, sugere que, a absorção é baixa devido aos grandes poros do material não

estabilizado. À medida que a argila vai absorvendo água, a argila expande (argilas expansivas dilatam em contacto com a água) e os poros reduzem o seu tamanho, aumentando a absorção capilar. O tamanho dos poros estabiliza quando as partículas absorveram o máximo. Esta característica irá depender do tipo de argila e da percentagem presente no material.

Pode ver-se também que, de uma maneira geral, a adição de estabilizante aumenta a absorção de água (Figuras 6.25 e 6.26). Este facto deve-se provavelmente ao aumento da porosidade capilar no material que, por sua vez, se deve ao aumento da percentagem de estabilizante. Hall e Allinson (2009b) mencionam que a microestrutura do cimento e/ou as interações solo-cimento, influenciam a absorção por capilaridade, devido ao aumento de porosidade no material - uma vez que a adição de cimento parece aumentar a capacidade que o material tem em absorver água por capilaridade. Julga-se que o mesmo poderá ocorrer para outros ligantes.

Pode ainda observar-se que, com adição de estabilizante, passa a existir desde o início uma relação linear entre a quantidade de água absorvida e a raiz quadrada do tempo, o que sugere que a presença de estabilizante reduz as propriedades expansivas da argila na argamassa. Os estabilizantes podem criar uma matriz que melhora a coesão do material ou podem aglomerar as partículas de argila, reduzindo, assim, o seu potencial de expansão. O hidróxido de cálcio, que se cria a partir da cal ou que é formado durante a hidratação do cimento, pode igualmente reagir lentamente com a argila, formando silicatos de cálcio e aluminatos. Um outro efeito, provavelmente simultâneo, é o da “estabilização” propriamente dita. Como referido por Fernandes *et al.* (2007), as partículas de argila interferem com a ligação entre as partículas de areia e a matriz da pasta de cimento. A mesma fonte cita Herzog e Mitchell que referem que uma mistura de argila-cimento não pode ser considerada como uma simples mistura de uma matriz de cimento hidratado com ligação a partículas de argila inalteradas, mas pelo contrário deverá ser considerada como um sistema no qual a argila e o cimento hidratado combinam-se através de reações secundárias (Fernandes *et al.* 2007).

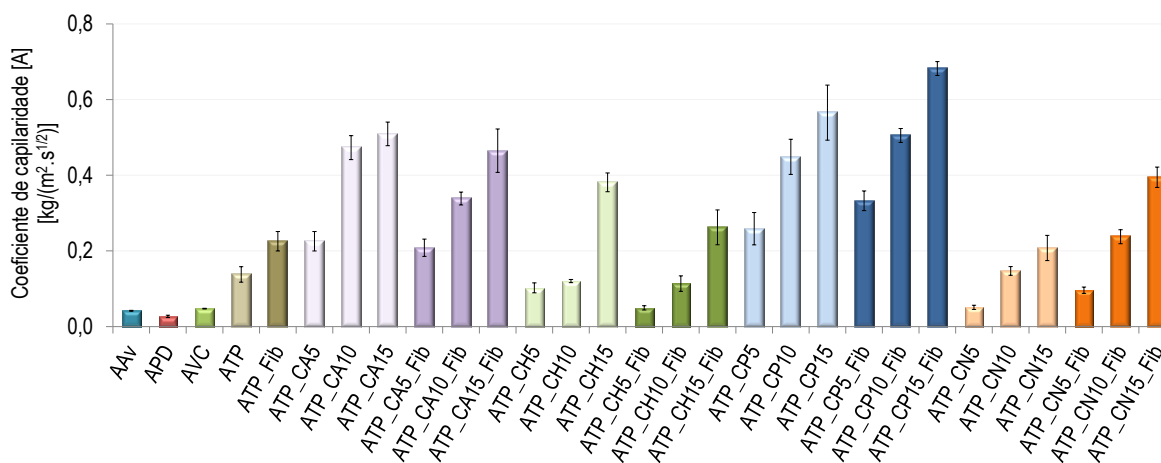


Figura 6.25. Coeficiente de capilaridade nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias

Os resultados dos valores médios do coeficiente de capilaridade (para os seis provetes) das diferentes argamassas são apresentados na Figura 6.25; nas argamassas não estabilizadas, para o cálculo deste coeficiente foram desprezados os valores obtidos nos primeiros minutos (valores do troço convexo). Pode verificar-se que:

- (i) o coeficiente de capilaridade aumenta à medida que a percentagem em estabilizante também aumenta;
- (ii) não existe um efeito claro e significativo das fibras sobre o coeficiente de capilaridade: para a mesma percentagem de estabilizante, a introdução de fibras nas argamassas ATP aumenta o coeficiente de capilaridade; nas ATP_CA5, _CA15, _CH10, _CP10 a diferença não é significativa relativamente ao desvio padrão; nas ATP_CA10, _CH5 e _CH15, o coeficiente de capilaridade diminui;
- (iii) os valores mais elevados para o coeficiente de capilaridade são observados com a adição do cimento Portland, quando comparados com as mesmas argamassas para a mesma percentagem de estabilizante, com e sem fibras; os valores mais baixos ocorrem nas argamassas com a adição do cimento natural sem fibras e com a cal hidráulica com a adição de fibras;
- (iv) no caso das argamassas sem a adição de estabilizantes o coeficiente de absorção capilar é mais elevado nas argamassas ATP e mais baixo nas argamassas APD.

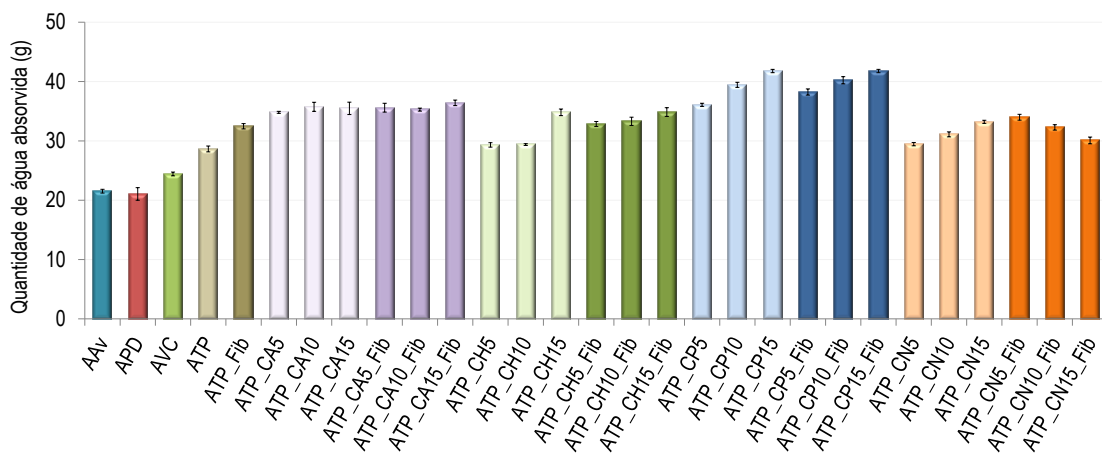


Figura 6.26. Quantidade de água absorvida por capilaridade nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias

O valor médio da quantidade máxima de água absorvida pelos diferentes tipos de argamassa é apresentado na Figura 6.26. Pode constatar-se que:

- (i) a maior quantidade de água absorvida é verificada nas argamassas com a adição de cimento Portland, com e sem a adição de fibras;
- (ii) com o aumento do teor de estabilizante existe uma tendência para o aumento da quantidade de água absorvida (excetuando-se as argamassas com cimento natural com a adição de fibras);
- (iii) de uma forma geral a introdução de fibras aumenta a quantidade de água absorvida;
- (iv) a argamassa ATP apresenta o valor mais elevado para a quantidade de água absorvida, quando comparada com as argamassas AAv, APD e AVC; este facto poderá dever-se à maior percentagem de argila presente na terra padrão (Figura 6.18) - resultado que não se deve às características mineralógicas da argila, uma vez que na TP os compostos cristalinos apresentam argilas menos expansivas quando comparando com os restantes materiais - Av, PD e VC (Tabela 4.1 e Tabela 5.2);
- (v) comparando as argamassas ATP não estabilizada e estabilizadas verificam-se valores mais elevados para a quantidade de água absorvida nas argamassas estabilizadas com os ligantes minerais (CA, CH, CP e CN);
- (vi) ao comparar as argamassas AAV, APD e AVC, verifica-se que:

- APD apresenta menor quantidade de água absorvida, mas maior percentagem de argila (Figura 6.18); contudo, verifica-se que na composição mineralógica não existem argilas expansivas (Tabela 4.1);
- AVC apresenta maior quantidade de água absorvida, mas menor percentagem de argila (Figura 6.18); contudo, na sua constituição mineralógica apresenta uma argila mais expansiva, a clorite (Tabela 4.1), numa percentagem superior quando comparada com os compostos cristalinos dos materiais Av e PD;
- quantidade de água absorvida depende dos teores e do tipo de argila presente na argamassa.

Não existindo referências para valores do coeficiente de capilaridade em argamassas de terra, os valores obtidos são comparados com os de materiais que apresentam características tão semelhantes quanto possível, como as argamassas de cal aérea e terra, e a taipa.

Comparando o valor obtido para o coeficiente de capilaridade ($0,51 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$) da argamassa estabilizada com a máxima percentagem de cal aérea com o de outras argamassas de cal aérea e terra, verificam-se valores da mesma ordem de grandeza (trata-se do mesmo tipo de ensaio, embora a área do provete em contacto com a água seja inferior, dimensões de $40 \times 40 \text{ mm}^2$), nomeadamente:

- $0,45 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$, argamassa de cal aérea e terra, com um traço mássico de 1:31 (terra:areia) e com uma percentagem de 25% de cal aérea em relação à massa de terra (Jamú 2013);
- $0,75 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$, argamassa de cal aérea e terra, com um traço mássico de 1:9,8 (terra:areia) e com uma percentagem de 92% de cal aérea em relação à massa de terra (Dias 2013).

Na Figura 6.25 verifica-se que os valores obtidos para o coeficiente de capilaridade encontram-se entre $0,03\text{-}0,14 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ para argamassas não estabilizadas, e entre $0,05\text{-}0,68 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ para argamassas estabilizadas. Comparando estes valores com um estudo realizado por Faria *et al.* (2012) em provetes de taipa segundo o ensaio realizado pela norma EN 15801 (CEN 2009), verificaram-se valores:

- de $0,27 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ em taipa não estabilizada (com uma granulometria não superior a 1 cm); comparando com as presentes argamassas não estabilizadas verifica-se que o valor é cerca do dobro para os valores mais altos;
- entre $0,11\text{-}0,56 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ em taipa estabilizada; comparando com as presentes argamassas estabilizadas observam-se valores com intervalos muito idênticos.

Analisando os valores assintóticos da absorção capilar pelas Figuras 6.23 e 6.24 verifica-se que estes se encontram no intervalo entre $8\text{-}12 \text{ kg}/\text{m}^2$ para argamassas não estabilizadas e entre $12\text{-}17 \text{ kg}/\text{m}^2$ para argamassas estabilizadas. Quando comparando com os valores obtidos por Faria *et al.* (2012) após 6 horas de ensaio em provetes de taipa verifica-se:

- um valor de $19,2 \text{ kg}/\text{m}^2$ em taipa não estabilizada (com uma granulometria não superior a 1 cm); valor mais elevado quando comparando com as argamassas não estabilizadas;
- entre $13,2\text{-}27,8 \text{ kg}/\text{m}^2$ em taipa estabilizada; comparando com as argamassas estabilizadas observam-se valores um pouco mais elevados na taipa mas na mesma ordem de grandeza.

Todas as comparações efetuadas são muito difíceis de abordar devido à variabilidade de casos que englobam. Mas são também importantes porque mostram que a ordem de grandeza dos valores obtidos faz de facto sentido.

6.5.4.3 Secagem

O ensaio de secagem nas argamassas estudadas foi efetuado sobre seis provetes cúbicos por argamassa, de acordo com o procedimento N.º II.5 da RILEM (RILEM 1980b), descrito na secção 3.4.3.

Para a realização deste ensaio os provetes são levados à saturação, por absorção capilar, e depois são colocados a secar em condições ambientes definidas. Cinco das suas seis faces estão seladas de maneira a que o transporte de humidade do interior do material para o exterior seja um processo unidirecional, sendo este processo mais fácil de avaliar do que uma secagem multidirecional.

Os resultados do ensaio de secagem são dados (ver secção 2.5.3.2): (i) pela curva de evaporação (RILEM 1980b), Figuras 6.27 e 6.28; (ii) pelo índice de secagem (Normal 1991), na Figura 6.29; (iii) pela taxa de secagem às 24h, na Figura 6.29.

É desejável que as argamassas facilitem a secagem, isto é, a eliminação da humidade de construção, introduzida com a sua aplicação, bem como da humidade que porventura possa posteriormente ser absorvida pelo material (água da chuva, de ascensão capilar ou produzida no interior do edifício). Analisando os resultados, verifica-se que existem diferenças entre as várias argamassas ao nível da secagem: as adições de fibras retardam a secagem, assim como, na maior parte dos casos, a adição de ligantes minerais. Observando as curvas de secagem, pode dizer-se que (Figuras 6.27 e 6.28):

- (i) nas argamassas não estabilizadas: a argamassa ATP é a que apresenta o valor mais elevado de teor de água inicial e o valor mais baixo verifica-se na argamassa AAv;
- (ii) nas argamassas estabilizadas: a argamassa ATP_CH5 apresenta o valor mais baixo do teor em água inicial, seguido da argamassa ATP_CN5; são as argamassas com a adição de 10% e 15% (em massa de argila) de cimento Portland que apresentam o valor mais elevado de teor em água inicial; a adição de ligantes minerais, na maior parte dos casos, aumenta o teor em água inicial.

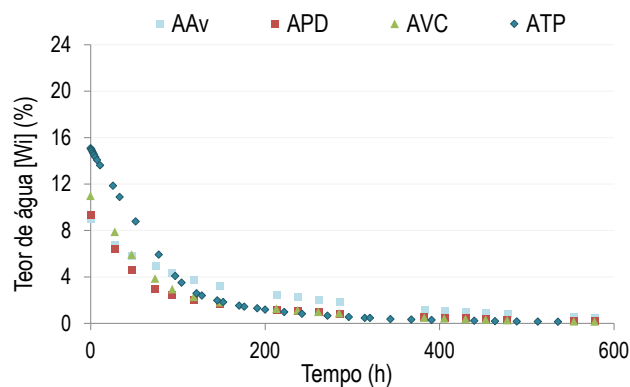


Figura 6.27. Curvas de evaporação das argamassas AAv, APD, AVC e ATP ATP, aos 90 dias

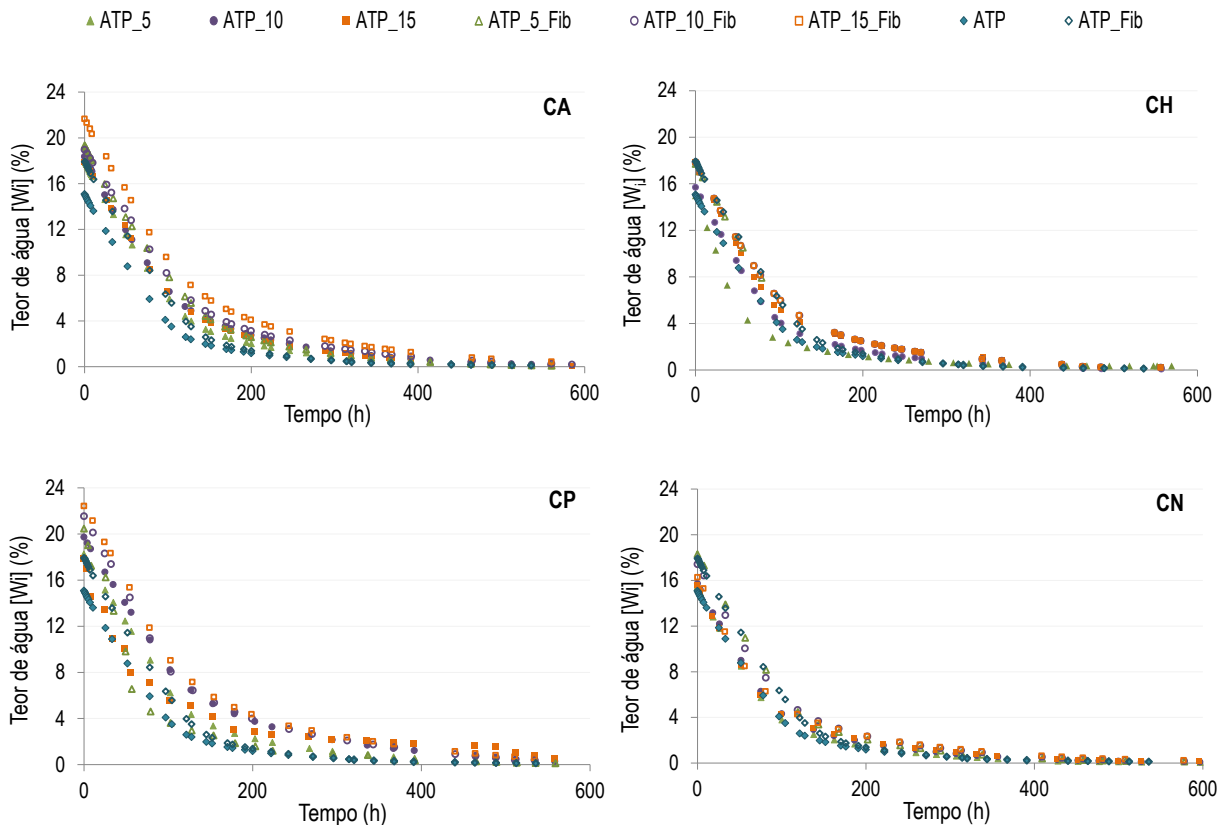


Figura 6.28. Curvas de evaporação das argamassas ATP aos 90 dias: em cima à esquerda, com cal aérea; em cima à direita, com cal hidráulica; em baixo à esquerda, com cimento Portland; em baixo à direita, com cimento natural

É claro que o teor de água inicial tem influência no processo de secagem porque a quantidade de água a ser eliminada será distinta, o que dificulta a análise de resultados. O parâmetro que está mais livre desta influência é a taxa de secagem às 24 h porque corresponde à fase de evaporação superficial.

Analisando o índice de secagem para o mesmo tipo de ligante e considerando a mesma percentagem, pode concluir-se que (Figura 6.29):

- (i) a secagem mais lenta (valor de índice de secagem mais elevado) verifica-se nas argamassas com o ligante cimento Portland, com e sem fibras, seguida das argamassas com cal aérea, com e sem fibras;
- (ii) a secagem mais rápida verifica-se nas argamassas com o ligante cal hidráulica sem fibras (ATP_CH5) e nas argamassas com o ligante cimento natural sem fibras (ATP_CN5) e nas argamassas de referência (ATP e ATP_Fib);
- (iii) existe uma tendência geral para a secagem ser mais lenta nas argamassas com fibras (verificando-se apenas uma exceção para a ATP_CP10) e torna-se mais lenta à medida que se aumenta a percentagem em ligante.

Os valores da taxa de secagem (TS) apresentam-se na Figura 6.29, calculo realizado nas primeiras 24 h. A taxa de secagem nesta fase corresponde ao declive do troço inicial da curva de secagem (em kg/m²), Figuras 6.27 e 6.28. Assim, a argamassa que possuir maior declive tem maior valor de taxa de secagem. Esta taxa refere-se à primeira fase de secagem onde a fase líquida é contínua na rede dos poros e a frente de evaporação se localiza na superfície do material (secção 2.5.3.2).

De uma forma geral é mais favorável que as argamassas apresentem valores mais elevados para a taxa de secagem indiciando uma maior velocidade de secagem para os teores de água elevados, e inversamente menores valores do índice de secagem, sugerindo maior facilidade de secagem global.

A argamassa que possui menor velocidade de secagem (taxa de secagem) é a argamassa com a terra local de Avis (AAv), e a que possui maior velocidade é a argamassa com a adição de 5% de cal hidráulica (ATP_CH5). A argamassa que apresenta maior índice de secagem apresenta também menor taxa de secagem, argamassa AAv, argamassa que apresenta na sua constituição maior percentagem de areia (Figura 6.18), e a argamassa que apresenta menor índice de secagem apresenta maior taxa de secagem (com um valor muito superior às restantes), argamassa ATP_CH5. É também importante referir que o restante grupo com adição de cal hidráulica, sem a adição de fibras, apresenta os valores mais elevados para a taxa de secagem e dos valores mais baixos para o índice de secagem.

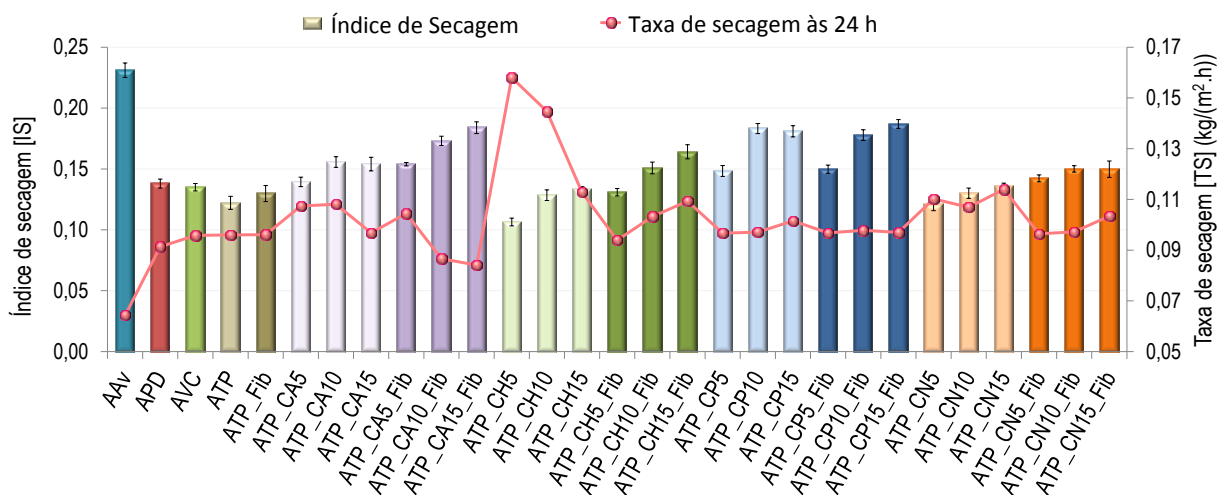


Figura 6.29. Índice de secagem e taxa de secagem (às 24 h) nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias

Pode ainda concluir-se da Figura 6.29, relativamente à taxa de secagem que:

- (i) a adição de fibras prejudica a velocidade de secagem inicial - para o mesmo tipo de ligante e para a mesma percentagem, a taxa de secagem é sempre inferior nas argamassas com fibras;
- (ii) não se detetam tendências definidas quando aumenta a percentagem de ligante, podendo verificar-se que a taxa de secagem:
 - diminui para: a cal aérea (com e sem fibras) e cal hidráulica sem fibras;
 - aumenta para: a cal hidráulica com fibras, o cimento Portland sem fibras e o cimento natural com fibras
 - não se verifica nenhuma tendência para: o cimento Portland com fibras e o cimento natural sem fibras.

As argamassas devem facilitar a evaporação da água, de modo a que esta permaneça pouco tempo no seu interior. As argamassas devem também ser o mais compatíveis com o suporte, pelo que devem possuir características que permitam uma secagem semelhante ou mais rápida que a da taipa, ou com valores de índice de secagem mais baixos.

Os intervalos de valores para o índice de secagem das presentes argamassas (Figura 6.29) encontram-se entre 0,12-0,23 para as argamassas não estabilizadas e entre 0,11-0,19 para as argamassas estabilizadas. Comparando os valores com os de um estudo realizado por Faria *et al.* (2012) em provetes de taipa não estabilizada e em provetes estabilizados, sendo respetivamente de 0,90 e entre 0,70-1,00, obtiveram-se valores muito superiores. Verifica-se, assim, que os índices de secagem das argamassas estudadas são mais baixos que os desses provetes de taipa, e conseqüentemente apresentam uma secagem mais rápida que a taipa, situação que se afigura como vantajosa.

6.5.4.4 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade é uma importante propriedade dos materiais que, de alguma forma, traduz a sua rigidez. Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico recorreu-se à medição da frequência de ressonância fundamental, com base na norma NP EN 14146 (IPQ 2006a) para pedra natural. O método utilizado consistiu na excitação contínua de uma vibração induzida na direção longitudinal do provete e determinação da frequência de ressonância fundamental correspondente. As condições de ressonância são estabelecidas quando se obtêm amplitudes máximas de igual valor e opostas em cada uma das extremidades do provete e, ao centro deste, um valor nulo. Assim, a frequência fundamental de ressonância longitudinal corresponde à frequência mais alta para a qual se obtém a amplitude máxima de vibração.

O procedimento de ensaio encontra-se detalhado na secção 3.4.4 e os resultados podem ser observados na Figura 6.30.

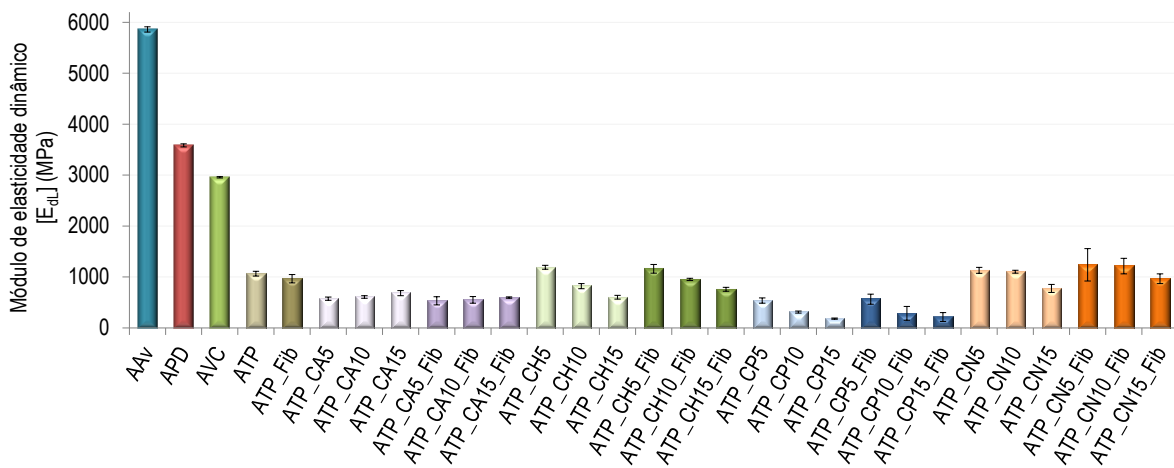


Figura 6.30. Módulo de elasticidade dinâmico nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias

A realização do ensaio para a obtenção do módulo de elasticidade dinâmico na direção longitudinal (E_{dL}) foi cuidadosa devido às dificuldades inerentes à execução deste ensaio nas presentes argamassas de terra: fragilidade do material e respetiva degradação do provete durante o ensaio (perda de material), em especial nas zonas de contacto com o equipamento; imperfeições tais como microfissuras que, embora não detetadas macroscopicamente podem existir e influenciar o valor final. Um outro aspeto fundamental é a sensibilidade que o operador deve ter para efetuar o ensaio e interpretar os resultados do mesmo. O ensaio é muito suscetível a erros desta natureza. De maneira a minimizar todas as dificuldades: (i) o ensaio foi realizado sempre pelo

mesmo operador; (ii) foi colocada cola líquida nas zonas de contacto entre o provete e o equipamento, de forma a evitar o punçãoamento da agulha e criar uma zona de leitura estável; e (iii) realizaram-se três leituras para cada um dos provetes, sendo o resultado final a média das três leituras.

Analisando a Figura 6.30, que apresenta os resultados obtidos no ensaio do módulo de elasticidade dinâmico, pode concluir-se que:

- (i) a introdução de fibras não afeta o módulo de elasticidade;
- (ii) o módulo de elasticidade diminui com o aumento do teor de ligante para todas as argamassas (com a exceção das argamassas com a adição de cal aérea, com e sem fibras); este resultado apresenta-se diferente do esperado; tal poderá dever-se ao material terra ser incoerente e, portanto, ter resistência à tração praticamente nula quando não estabilizado, o que leva a uma baixa deformação na rotura;
- (iii) nas argamassas sem ligante verifica-se que o valor mais elevado para o módulo de elasticidade encontra-se na argamassa AAv (menor percentagem de argila) e o valor mais baixo encontra-se na argamassa ATP (maior percentagem de argila); maiores percentagens de argila fornecem ao material maior coesão e maior deformabilidade e, conseqüentemente, menor módulo de elasticidade; esta ideia é corroborada com valores de mecânica dos solos, onde solos arenosos apresentam maior módulo de elasticidade do que solos argilosos (Subramanian 2010);
- (iv) nas argamassas com a adição de ligantes minerais verifica-se que os valores mais elevados para o módulo de elasticidade dinâmico (menor deformabilidade) são verificados para as argamassas com a adição de cimento natural ou cal hidráulica;
- (v) os valores mais baixos encontram-se de uma forma geral nas argamassas com o ligante cimento Portland, o que não era espetável uma vez que na literatura a cal aérea é sempre apresentada como tendo a vantagem de ser mais deformável.

O valor obtido para o módulo de elasticidade da argamassa estabilizada com a máxima percentagem de cal aérea é 683 MPa. Comparando com outras argamassas de cal aérea e terra, verifica-se que este valor é bastante inferior:

- 2662 MPa, valor obtido em argamassas de cal aérea e terra, com um traço mássico de 1:31 (terra:areia) e com uma percentagem de 25% de cal aérea em relação à massa de terra (Jamú 2013);
- 2193 MPa, valor obtido em argamassas de cal aérea e terra, com um traço mássico de 1:9,8 (terra:areia) e com uma percentagem de 93% de cal aérea em relação à massa de terra (Dias 2013).

Esta diferença de valores pode dever-se à maior percentagem de argila da argamassa do presente trabalho - traço mássico de 1:3,8 (terra:areia grossa) com percentagem máxima de 15% de cal aérea em relação à massa de terra. Dessa forma obteve-se maior deformabilidade e, conseqüentemente, menor módulo de elasticidade dinâmico. Poderá ainda dever-se ao facto de apresentarem menor percentagem de ligante - cal aérea, tornando as argamassas menos rígidas.

Walker *et al.* (2005) referem que o módulo de elasticidade (estático) da taipa varia na ordem dos 100-1000 MPa. O guia australiano refere um valor de 500 MPa (Walker e Australia 2001). Silva *et al.* (2013) mencionam um módulo de elasticidade na ordem dos 1034 MPa como sendo a média de cinco provetes de taipa, após um

estudo experimental realizado com solos modificados na zona de Odemira - Portugal. Observando estes valores verifica-se que, de uma forma geral, todas as argamassas ATP apresentam valores nesta ordem de grandeza, o que leva a considerar que estas se apresentam compatíveis com paredes de taipa.

Segundo a RILEM, argamassas com baixo módulo de elasticidade podem ser necessárias para paredes muito fracas, como por exemplo paredes de terra (RILEM 2008). Comparando os valores obtidos no presente trabalho verifica-se que as argamassas estudadas, segundo este critério, apresentam-se muito mais adequadas quando comparadas por exemplo, com argamassas com um traço de 1:4 (cimento:areia) com módulo de elasticidade na ordem dos 9000 MPa, segundo Faria e Henriques (2004) e Veiga *et al.* (2008) ou mesmo só de cal.

A massa volúmica seca (ou aparente), um dos parâmetros necessários para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico, foi determinada pelo quociente entre a massa (seca) de cada provete e o correspondente volume. Os resultados são apresentados na Figura 6.31 e pode-se constatar que:

- (i) o valor mais elevado respeita à argamassa AAv, sendo esta a que apresenta maior percentagem de areia (Figura 6.18) quando comparada com as restantes argamassas;
- (ii) argamassas que contêm fibras apresentam sistematicamente massas volúmicas secas inferiores (quando respeitantes ao mesmo grupo) devido ao facto de as próprias fibras de cânhamo apresentarem massas volúmicas muito baixas.

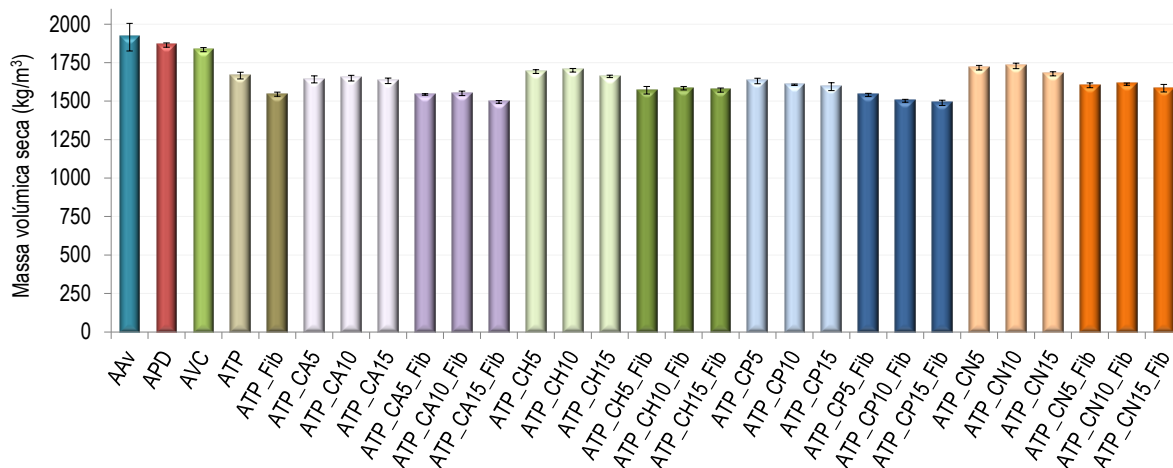


Figura 6.31. Massa volúmica aparente das argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias

6.5.4.5 Resistências à tração por flexão e à compressão

O ensaio da resistência à tração por flexão precede o ensaio de resistência à compressão. O procedimento de ensaio encontra-se detalhado na secção 3.4.5. Os resultados do ensaio da resistência à tração por flexão e à compressão estão representados nas Figuras 6.32 e 6.33, respetivamente. Pode constatar-se que:

- (i) as argamassas com a matéria-prima dos próprios edifícios, Av, APD e AVC, apresentam os valores mais elevados para a resistência à tração por flexão e à compressão, em concordância com os resultados do módulo de elasticidade; contudo, estes resultados são diferentes do esperado, verificando-se valores muito mais elevados para as argamassas não estabilizadas do que para as estabilizadas; facto este poderá dever-se ao material ser heterogéneo; outra causa provável é a metodologia de ensaio que poderá não

traduzir as características do próprio material, sendo de relembrar que nos ensaios de resistência à tração e compressão não foi possível completar o tempo de ensaio requerido pela norma mesmo sem a existência de pré-carga e com uma célula de carga de menor valor, com valor máximo de 2 kN; assim, será necessário (no futuro) adaptar metodologias de ensaio para este tipo de materiais;

- (ii) para o mesmo teor de ligante, a introdução de fibras: aumentou a resistência à tração por flexão em todos os casos, exceto nas argamassas com o ligante cal aérea e na argamassa de referência (ATP); a resistência à compressão aumentou, exceto na argamassa de referência (ATP);
- (iii) não existe uma clara relação entre a percentagem de ligante e a resistência à flexão ou à compressão; contrariamente ao que seria de esperar, com a adição de ligante não se verificaram diferenças significativas nestas duas características; este facto poderá ser explicado pela pequena percentagem de ligante adicionado (sendo o máximo de 3% em relação à massa total); é importante realizar mais investigação a fim de dar resposta a qual a percentagem ideal para ganhar resistência mecânica, sem comprometer a compatibilidade com o suporte;
- (iv) para a mesma percentagem de ligante, as argamassas com cimento natural como ligante apresentam os valores mais altos para a resistência à tração por flexão e compressão, com e sem fibras;
- (v) a adição de ligante ao material terra-padrão, às argamassas com e sem fibras, diminuiu de uma forma geral e contrariamente ao esperado os valores de resistência à tração por flexão, à exceção das argamassas com o cimento natural.

A adição de ligante ao material terra-padrão nas argamassas, ATP, não se verificou muito vantajosa no que se refere ao aumento de resistência à tração por flexão e à compressão; este facto poderá dever-se à baixa percentagem de ligante adicionada e eventuais alterações introduzidas na pasta de terra, que não tenham tido correspondência ao nível de reações químicas ocorridas. Contudo, estas tendências deverão ser melhor estudadas, nomeadamente em argamassas com uma maior percentagem de ligante. No caso das argamassas de terra (AAv, APD e AVC) cuja composição foi obtida através de material recolhido de paredes de taipa, são conseguidos valores bastante superiores quando comparados com as argamassas estabilizadas (embora com baixa percentagem de ligante), apesar de, como referido, tal possa dever-se ao método de ensaio.

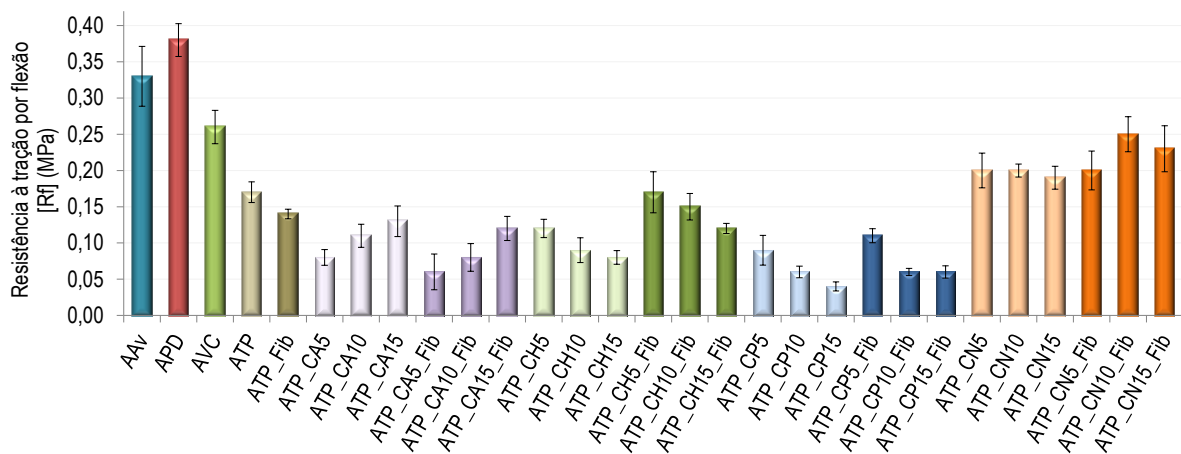


Figura 6.32. Resistência à tração por flexão nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias

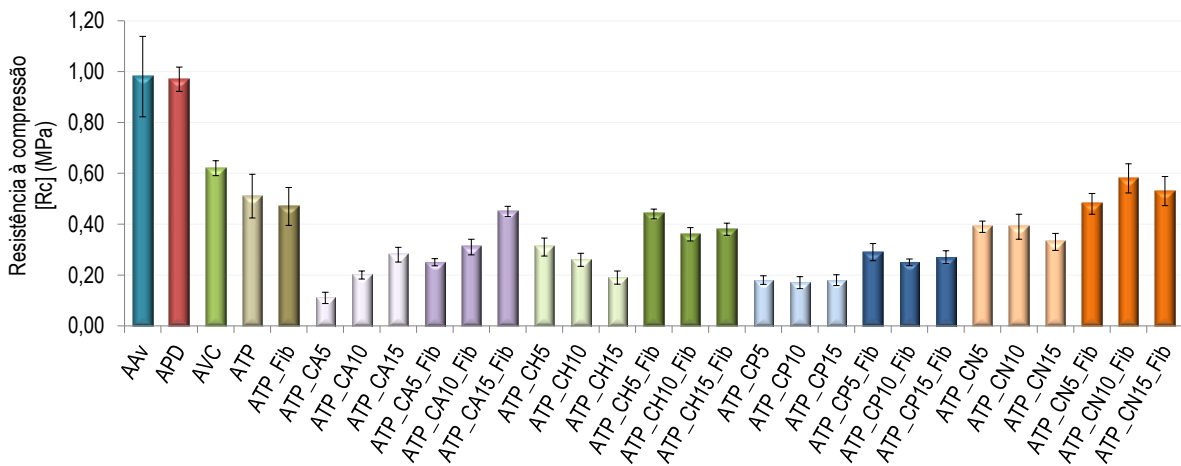


Figura 6.33. Resistência à compressão nas argamassas AAv, APD, AVC e família ATP, aos 90 dias

Analisando a Figura 6.34 verifica-se que os resultados apresentam uma concordância quase perfeita entre a resistência à compressão e a resistência à tração ($R^2=0,8495$). Quando correlacionados as resistências à tração por flexão e à compressão com o módulo de elasticidade dinâmico (Figura 6.35), verifica-se que: (i) existe uma boa correlação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão ($R^2=0,7645$); (ii) para a resistência à tração por flexão verifica-se um coeficiente de determinação um pouco inferior ($R^2=0,672$), no entanto a correlação continua a ser relativamente aceitável. Isto significa que, a haver inadequabilidade do método de ensaio, ela afetará os três tipos de determinação.

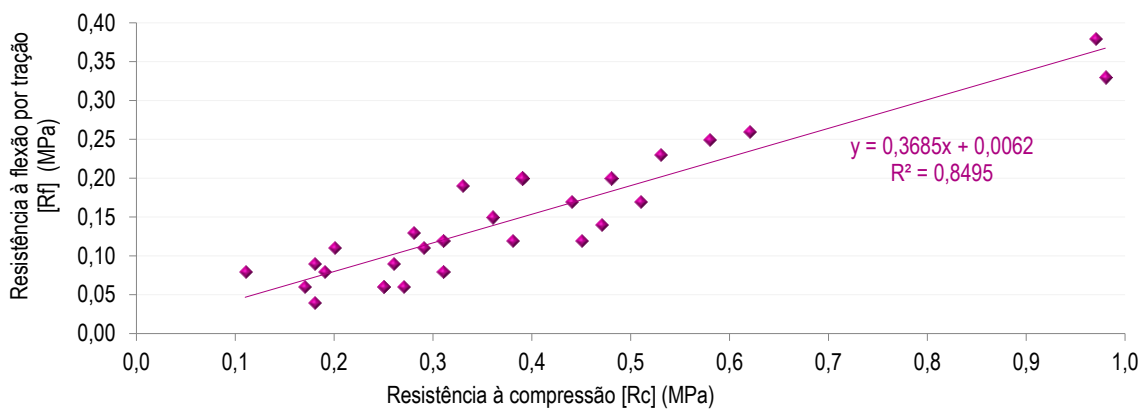


Figura 6.34. Correlação entre a resistência à compressão e a resistência à tração por flexão

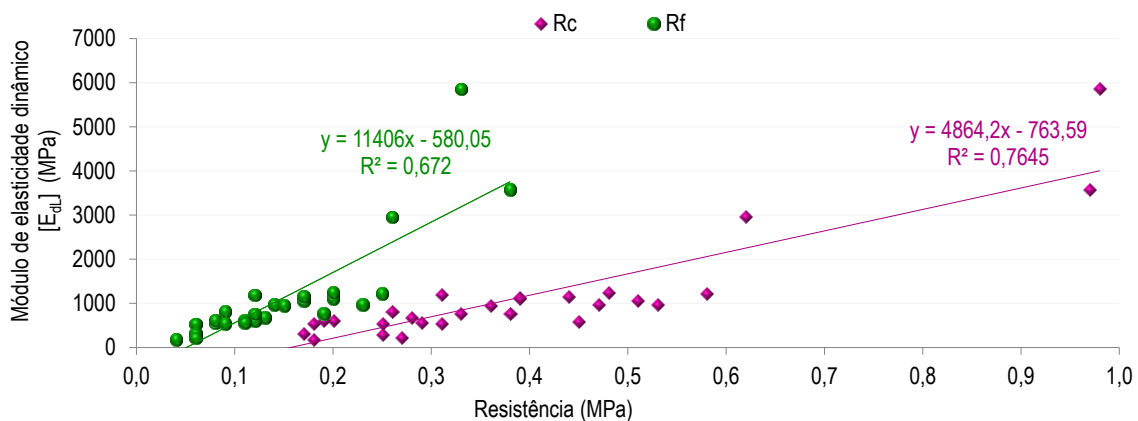


Figura 6.35. Correlação entre as resistências à compressão (Rc) e a resistência à tração por flexão (Rf) com o módulo de elasticidade dinâmico

Um estudo experimental em provetes de taipa, realizado por Silva *et al.* (2013) também revela uma boa correlação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão; esta correlação também é referida na norma Neozelandesa (SNZ 4297 1998). Contudo, Walker *et al.* (2005) referem que não existe qualquer relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade da taipa, segundo dados experimentais. A contradição aqui expressa é mais um fator que justifica a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre métodos de ensaio mecânicos para construções com terra.

Minke e Ziegert (2008) citam a norma alemã *Lehmbau Regeln* (2009) que refere que as argamassas de terra devem apresentar uma resistência à compressão superior a 0,5 MPa quando aplicadas em espaços secundários, de acordo com a DIN EN 1015-11:1999. Comparando os valores do documento normativo alemão com os resultados obtidos nas argamassas estudadas (Figura 6.33) apenas 8 (AAv, APD, AVC, ATP, ATP_Fib e família das ATP_CN_Fib) das 29 argamassas conseguem atingir o valor mínimo (0,5 MPa). Contudo, é de ressaltar esta afirmação, uma vez que a metodologia de ensaio poderá não ser adequada, como já referido. Porém, o cumprimento total da norma também é difícil para alguns tipos de argamassas, como por exemplo no caso de argamassas de cal aérea.

Analisando os valores da argamassa estudada com a adição de cimento Portland na maior percentagem, obtiveram-se valores de 0,18 MPa para a resistência à tração por flexão e de 0,04 MPa para a resistência à compressão. Comparando com outros estudos em argamassas de terra com adição de cimento, verificaram-se valores bastante mais elevados, nomeadamente:

- (i) aos 90 dias de idade: 1,50 MPa para o ensaio de tração à flexão e 5,52 MPa no ensaio à compressão, com uma composição de 37,5% em argila-silte, 50% de areia e 12,5% de cimento (Toumbakari *et al.* 2010), não sendo referido o tipo de ensaio;
- (ii) 0,55 MPa, valores de resistência à compressão em condições húmidas, com 5% de cimento e 16% de argila (Reddy e Gupta 2005), em ensaio realizado em provetes cúbicos de 70 mm;
- (iii) 2,14-3,34 MPa, valores de resistência à tração, em argamassas de terra com um traço volumétrico de 1:6 (cimento:solo) segundo Zinn (2005), ensaio realizado em provetes cilíndricos;
- (iv) 0,70-1,80 MPa, valores de resistência à compressão de argamassas de terra segundo Schroeder e Ziegert (2008), sem contudo referirem qualquer indicação sobre a composição das argamassas e tipo de ensaio.

Analisando os valores obtidos para as argamassas com a adição de cal aérea na maior percentagem, verificaram-se valores de 0,13 MPa para a resistência à tração por flexão e de 0,28 MPa para a resistência à compressão. Comparando com outros estudos em argamassas de terra com o mesmo tipo de adição, verificaram-se valores um pouco mais elevados mas na mesma ordem de grandeza e para o mesmo tipo de ensaio, nomeadamente:

- (i) resistência à tração por flexão:
 - 0,31 MPa, com um traço mássico de 1:31 (terra:areia) e com uma percentagem de 25% de cal aérea em relação à massa de terra (Jamú 2013);

- 0,29 MPa, com um traço mássico de 1:9,8 (terra:areia) e com uma percentagem de 93% de cal aérea em relação à massa de terra (Dias 2013);
- (ii) resistência à compressão:
 - 0,57 MPa, traço mássico de 1:31 (terra:areia) e com uma percentagem de 25% de cal aérea em relação à massa de terra (Jamú 2013);
 - 0,49 MPa, traço mássico de 1:9,8 (terra:areia) e com uma percentagem de 93% de cal aérea em relação à massa de terra (Dias 2013).

Comparando os valores da resistência à compressão para a taipa com os valores das argamassas estudadas, verifica-se que, de uma forma geral, os valores obtidos nas argamassas apresentam-se mais baixos. Esta conclusão não é totalmente negativa, uma vez que as argamassas de reparação querem-se compatíveis com o suporte, não ultrapassando as características mecânicas deste.

Walker *et al.* (2005) mencionam valores na ordem dos 0,50-4,00 MPa para resistência à compressão de taipa não confinada e valores mais elevados para taipa estabilizada, na ordem dos 10 MPa, aos 7 dias de idade. A norma neozelandesa aponta valores na ordem de grandeza dos 1,30 MPa (SNZ 4298 1998). Estudos experimentais para a determinação da resistência à compressão na taipa também revelaram valores mais elevados do que nas argamassas estudadas, registando-se valores: (i) entre 0,80-2,70 MPa, valores obtidos a partir dos edifícios da região do Barlavento Algarvio (Mateus 2006); (ii) 1,26 MPa, média de cinco provetes de taipa com solos modificados da zona de Odemira - Portugal (Silva *et al.* 2013).

6.5.5. Seleção das argamassas a aplicar nos blocos de taipa

Após caracterizadas e avaliadas as argamassas (Tabela 6.7), foi necessário escolher quais as que seriam aplicadas nos blocos de taipa.

As argamassas AAv, APD, AVC correspondem à alternativa de reparação de cada uma das taipas com a correspondente terra local e serão, portanto, aplicadas nos respetivos blocos (BAv, BPD e BVC). Relativamente à família das argamassas ATP, que correspondem à alternativa de reparação com um material diferente do das edificações, houve a necessidade de escolher 6 de entre as 26 argamassas (dado o número de blocos de taipa disponível, realizando 3 aplicações para cada argamassas). Para esta decisão teve-se em consideração:

- (i) os resultados obtidos nos ensaios no estado endurecido, nomeadamente: retração linear, absorção de água por capilaridade; secagem; módulo de elasticidade dinâmico; resistência à tração por flexão e à compressão;
- (ii) inclusão de todos os ligantes minerais usados como estabilizante (cal aérea, cal hidráulica natural, cimento Portland, cimento natural), de maneira a observar os diferentes comportamentos.

Dos resultados obtidos na secção 6.5.4 verifica-se que não existe uma percentagem ideal de ligante mineral, onde se verifique uma boa classificação para todos os ensaios. Tendo em conta essa circunstância e com base na obrigatoriedade da utilização de todos os ligantes minerais, as argamassas de reparação escolhidas para aplicação nos blocos de taipa (Capítulo 7), foram:

- (i) argamassa ATP: sem qualquer tipo de ligante à exceção da argila, possibilitando a comparação com as argamassas AAv, APD e AVC (que são constituídas unicamente com as terras locais - aglutinate argila) e que servirá também de comparação com as restantes argamassas ATP estabilizadas;
- (ii) argamassas ATP_CA15, ATP_CH15, ATP_CN15, ATP_CP15: argamassas que apresentam maior percentagem de estabilizante, ou seja, com 15% em relação à massa de terra-padrão; esta decisão teve em consideração o facto de que esta escolha seria a que evidenciaria maiores diferenças no comportamento das argamassas quando comparadas com a argamassa ATP; optou-se também por escolher a mesma percentagem de ligante para todas as argamassas para que os resultados fossem comparáveis entre si;
- (iii) argamassa ATP_CA15_Fib: em ensaios anteriormente realizados verificou-se que a utilização de fibras melhora o comportamento da retração e da resistência mecânica; contudo, apenas se optou por utilizar a argamassa com o ligante mineral cal aérea, dado que nas restantes adições de ligantes minerais houve o aparecimento de fungos/bolores.

6.6. SÚMULA

Este capítulo teve por base o estudo das argamassas desde a influência do teor em água na trabalhabilidade, características físicas e aplicação até à caracterização no seu estado fresco e endurecido.

A quantidade de água utilizada na amassadura de uma argamassa influencia as suas características físicas de forma direta e também de forma indireta, através dos efeitos na trabalhabilidade e, conseqüentemente, na aplicação. Após a realização dos ensaios de caracterização das argamassas de terra no estado fresco, com a finalidade de avaliar a influência do teor em água na sua trabalhabilidade, pode concluir-se que:

- (i) a trabalhabilidade de uma argamassa é fortemente influenciada pela relação água/material seco; para cada uma das argamassas existe uma relação ótima água/material seco;
- (ii) para a caracterização das argamassas no estado fresco, apenas o resultado do ensaio de consistência por espalhamento apresenta uma elevada correlação com a trabalhabilidade avaliada pelos operadores; no caso dos ensaios da consistência por penetrómetro e do cone de Marsh, a correlação com a trabalhabilidade é baixa;
- (iii) no que se refere ao ensaio de espalhamento, a gama de valores de referência das argamassas de terra, para os quais existe uma correspondência com a classificação de trabalhabilidade de boa ou excelente, encontra-se entre os 152 mm e os 177 mm, existindo argamassas com valores entre os 160-176 mm que são mesmo consideradas excelentes;
- (iv) a retração - embora seja um ensaio cujo resultado é avaliado no estado endurecido - condiciona a viabilidade de uma argamassa; argamassas com retrações lineares elevadas devem ser rejeitadas; verifica-se que quanto maior a relação água/material seco, maior é a retração volumétrica; por seu lado os valores da retração linear são aproximadamente constantes em todas as argamassas; verifica-se que as retrações linear e volumétrica são tanto maiores quanto maior a percentagem em material argiloso, o que comprova que a presença de argila influencia fortemente a retração;

- (v) a função analítica obtida através do modelo de análise conjunta [6.2] mostra que a facilidade de manuseamento da própria argamassa é um dos parâmetros com mais impacto na trabalhabilidade; esta função analítica poderá ser utilizada para prever a trabalhabilidade de uma argamassa, alterando as variáveis independentes (argamassa, aderência, aperto e regularização); a função analítica mostra ainda um bom ajuste com os dados experimentais, considerando-se esta boa correlação consistente com a hipótese de o operador ser um fator de elevada importância na aplicação de uma argamassa.

Após a análise da trabalhabilidade das argamassas de terra e com base nos ensaios de espalhamento e de retração linear e retração volumétrica foram escolhidos os traços (com adição de areia, com exceção do material de Avis) das argamassas com maior potencial, para caracterização mais aprofundada no estado fresco, repetindo o ensaio de espalhamento e determinando a massa volúmica, e no estado endurecido, repetindo os ensaios de retração linear e retração volumétrica, e realizando os ensaios de absorção de água por capilaridade, secagem, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e à compressão. Selecionaram-se as argamassas:

- (i) de terra recolhida de paredes de edifícios de taipa, que apresentam como único aglutinante a argila, e que correspondem à opção de reparação da taipa com a correspondente terra local;
- (ii) de terra comercial, estabilizada e não estabilizada, que correspondem à opção de reparação com uma terra diferente da utilizada nas paredes; os ligantes minerais adicionados foram a cal aérea hidratada, cal hidráulica natural, cimento Portland e cimento natural; na argamassa de cal aérea foram também adicionadas fibras vegetais de modo a avaliar a influência no comportamento e nomeadamente na retração.

Após a realização dos ensaios pode concluir-se, relativamente à adição de ligantes minerais, que:

- (i) não é identificável qualquer tipo de relação entre a retração linear e volumétrica e a percentagem de ligante, provavelmente devido aos baixos teores utilizados;
- (ii) o aumento da percentagem de ligante, de uma forma geral, aumenta a quantidade final de água absorvida por capilaridade pela argamassa endurecida e o coeficiente de capilaridade, ocorrendo os valores mais elevados para as argamassas com a adição do cimento Portland, o que indicia um pior comportamento destas argamassas face à capilaridade;
- (iii) elimina a não-linearidade na absorção capilar: as argamassas de terra estabilizada apresentam uma relação linear entre a quantidade de água absorvida e a raiz quadrada no tempo desde o início da absorção, facto este que se deve provavelmente ao bloqueio das propriedades expansivas da argila pelo estabilizante; verifica-se que, sem a adição de ligante, a curva de capilaridade apresenta um troço convexo nos primeiros minutos, que provavelmente está associado à expansão da argila quando contacta com a água;
- (iv) em consequência a adição de ligantes, na maior parte dos casos, aumenta o teor em água inicial aquando do ensaio de secagem;
- (v) o aumento da percentagem de ligante provoca uma secagem mais lenta nas argamassas; observam-se os índices de secagem mais elevados (e conseqüente menor capacidade de secagem) nas argamassas com a adição do cimento Portland (com e sem fibras), seguida das argamassas com cal aérea (com e sem fibras), indiciando pior comportamento face à secagem;

- (vi) o módulo de elasticidade diminui com o aumento do teor de ligante para todas as argamassas, com a exceção da cal aérea com e sem fibras;
- (vii) adições de baixas percentagens de ligante não se traduzem na melhoria do comportamento mecânico; não se evidencia uma clara relação entre a variação do teor em ligante com a resistência à tração por flexão e à compressão; este facto poderá ser explicado pela pequena percentagem de ligante adicionado (sendo o máximo de 3% em relação à massa total);
- (viii) não existe uma percentagem de ligante mineral considerado ideal onde se ateste uma boa classificação para todos os ensaios, para as argamassas estudadas.

Relativamente às argamassas não estabilizadas o tipo de compostos cristalinos que definem a argila (argilas mais ou menos expansivas), apresentam maior influência na quantidade de água absorvida pela argamassa do que a sua própria percentagem na mistura. Argilas mais ou menos expansivas têm a capacidade de absorver maior ou menor quantidade de água. Constatou-se ainda que, neste tipo de argamassas, o módulo de elasticidade dinâmico apresenta valores mais elevados em argamassas com menores percentagens de argila e valores mais baixos nas argamassas com maiores percentagens de argila. Verifica-se que maiores percentagens de argila fornecem ao material maior deformabilidade, conseqüentemente menor módulo de elasticidade dinâmico.

Quanto à adição de fibras nas argamassas:

- (i) diminui a retração, quer linear, quer volumétrica, em todas as argamassas, à exceção da retração linear nas argamassas de terra padrão com o ligante mineral cal hidráulica;
- (ii) não se verifica um efeito claro e significativo no coeficiente de capilaridade;
- (iii) aumenta a quantidade de água absorvida;
- (iv) existe uma tendência geral para a secagem ser mais lenta nas argamassas com fibras (e torna-se mais lenta à medida que se aumenta a percentagem em ligante mineral);
- (v) não existe uma clara influência no módulo de elasticidade dinâmico;
- (vi) para o mesmo teor de ligante mineral a introdução de fibras: aumenta a resistência à tração por flexão em todos os casos, exceto nas argamassas com o ligante cal aérea e na argamassa terra padrão; aumenta a resistência à compressão, exceto na argamassa terra padrão;
- (vii) proporciona o aparecimento de bolor ainda na fase de cura das argamassas mas também com a continuidade dos ensaios, especialmente os hídricos, exceto em todas as argamassas de cal aérea e na argamassa com maior percentagem de cimento Portland; este efeito deve-se provavelmente ao facto de materiais fortemente alcalinos, como a cal ou o cimento, apresentarem maior inibição ao desenvolvimento biológico.

Pode concluir-se em relação aos métodos de ensaio realizados nas argamassas no estado endurecido que:

- (i) a retração linear não é suficiente para indicar a retração real do provete, considerando-se ser uma lacuna este ensaio apenas determinar o valor da retração linear e a não existência de valores-limite para a

retração volumétrica; a retração volumétrica apresenta-se como um parâmetro muito mais sensível, devendo-se analisar e comparar estes dois parâmetros com maior profundidade em trabalhos futuros;

- (ii) a adição de ligantes minerais como estabilizantes não se verificou vantajosa pelo menos no que se refere ao aumento da resistência à tração por flexão e à compressão; tal facto poderá dever-se à baixa quantidade de estabilizante adicionada - podem verificar-se alterações mas não o suficiente para as reações químicas se sobreporem às ligações entre as partículas de argila - ou poderá também dever-se ao facto do material ser heterogéneo podendo a metodologia de ensaio não traduzir as características do próprio material; é de lembrar que não foi possível completar o tempo de ensaio requerido pela norma mesmo sem a existência de pré-carga e com uma célula de carga de menor valor, com valor máximo de 2 kN; considera-se necessário (no futuro) adaptar metodologias para este tipo de ensaio.

Após a caracterização das argamassas, de entre as 29 argamassas foram escolhidas 9 para aplicação nos blocos de taipa (capítulo 7), sendo escolhidas:

- (i) AAv, APD, AVC, que correspondem à alternativa de reparação de cada uma das taipas com a correspondente terra;
- (ii) 6 argamassas da família das ATP, que corresponde à alternativa de reparação das diferentes taipas, utilizando um material diferente do das paredes e incluindo estabilizantes minerais e fibras.

7

AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REPARAÇÃO APÓS APLICAÇÃO NO SUPORTE

Foram aplicadas argamassas de reparação sobre dois tipos de defeito-padrão - superficial e profundo -, a fim de verificar a compatibilidade entre o suporte e a argamassa e a eficácia da intervenção. Após aplicação, os sistemas foram analisados face ao seu comportamento no estado endurecido. Os conjuntos argamassa-suporte foram depois submetidos a um ensaio de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem de maneira a verificar o seu comportamento face à ação da água.

7.1. INTRODUÇÃO

É comum o estudo de argamassas cimentícias e de cal; porém, no que diz respeito às argamassas de terra, a investigação ainda é bastante incipiente, tendo começado recentemente a ser uma área mais focada de forma a dar resposta às várias questões mencionadas nesta tese (Bouabid *et al.* 1999, Venkatarama Reddy e Gupta 2005, Zinn 2005, Venkatarama Reddy e Gupta 2008, Toumbakari *et al.* 2010, Hamard *et al.* 2013, Faria *et al.* 2013). A argila enquanto material de construção para utilização nas paredes de terra e nas argamassas foi também objeto de vários trabalhos recentes (Molina *et al.* 2009, Budak *et al.* 2010, Galán-Marín *et al.* 2010, Go *et al.* 2010, Martínez-Reyes *et al.* 2010, Hossain e Mol 2011, Kaci *et al.* 2011). Contudo, os estudos existentes sobre argamassas de terra e o material argila não consideram a interação da argamassa com o suporte, o que se considera importante para poder analisar o comportamento real das argamassas incluindo a sua compatibilidade com o suporte. As argamassas de reparação, após aplicadas, devem manter-se aderentes ao suporte, com um nível de fissuração mínimo e comportamento hidrico semelhante ao do suporte.

A campanha experimental foi assim finalizada com os seguintes trabalhos:

- (i) aplicação das argamassas nos blocos de taipa, para verificar a compatibilidade entre o suporte e as argamassas e a eficácia da intervenção: as três argamassas que correspondem a terras locais, apenas foram aplicadas nos blocos da taipa correspondente; a argamassa de terra-padrão que se admite para uso geral, estabilizada e não estabilizada, foi aplicada em todos os blocos de taipa, de maneira a poder analisar o seu comportamento nos diferentes tipos de suporte;
- (ii) análise visual do comportamento entre a argamassa aplicada no seu suporte no estado endurecido, a curto e médio prazo, aos 10, 30 e 90 dias;
- (iii) avaliação das argamassas aos 90 dias de idade pelos ensaios de determinação da dureza superficial e velocidade de propagação de ultrassons;
- (iv) análise do comportamento de longo prazo da argamassa aplicada no suporte face à ação da água, através de um ensaio de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem especificamente desenvolvido para este estudo.

7.2. APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS NOS BLOCOS

A correspondência entre os blocos e as argamassas aplicadas nos defeitos-padrão, superficiais e profundos, pode ser visualizada nas Tabelas B.1, B.2 e B.3 do Anexo B.

A composição granulométrica, traços e respetivas adições das argamassas podem ser visualizados na Figura 6.18 e Tabela 6.7, cujas designações são:

- (i) AAv, APD, AVC e ATP: argamassas sem qualquer tipo de ligante mineral, que apenas apresenta como aglutinante a argila;
- (ii) ATP_CA15, ATP_CH15, ATP_CP15, ATP_CN15: argamassas com a adição de 15% de ligante mineral (cal aérea hidratada, cal hidráulica natural, cimento Portland e cimento natural);
- (iii) ATP_CA15_Fib: argamassa com a adição de 15% de cal aérea e 5% de fibras de cânhamo.

Para cada um dos três estudos de caso (Av, PD e VC) tinham-se realizado 10 blocos de taipa (BAv, BPD e BVC). Cada bloco apresenta duas anomalias superficiais (Figura 5.9) e quatro anomalias profundas (Figura 5.10). Assim, para cada um dos estudos de caso existem 20 anomalias superficiais e 40 anomalias profundas, a serem preenchidas com argamassas de reparação (ver secção 5.3.2).

Nos 40 defeitos-padrão profundos foram efetuadas, de acordo com a metodologia de aplicação descrita em baixo, 20 aplicações com encasque e vinte aplicações sem encasque (introdução de cascalho grosso entre a argamassa).

Cada argamassa foi sempre aplicada três vezes para cada tipo de anomalia (superficial, profunda com encasque e profunda sem encasque) e em cada tipo de bloco.

Na argamassa ATP_CP, devido ao limitado número de blocos disponíveis, apenas foram efetuadas:

- (i) no defeito-padrão superficial - duas aplicações;
- (ii) no defeito-padrão profundo - três aplicações com encasque e uma aplicação sem encasque.

Tal como referido anteriormente, os blocos foram mantidos durante aproximadamente 20 meses, até a aplicação das argamassas, numa sala com ambiente controlado, com temperatura de 20°C e humidade relativa de 50%.

Antes de aplicar a argamassa de reparação houve a necessidade de preparar a superfície do suporte a reparar, para os dois defeitos-padrão. As tarefas efetuadas foram:

- (i) verificação da rugosidade - nos casos em que se considerou que a superfície não se apresentava suficientemente áspera ou rugosa foi necessário providenciar esse aspeto, para proporcionar melhor aderência à argamassa, tarefa que foi efetuada com um escopro;
- (ii) limpeza da zona a reparar - foram removidas todas as partículas soltas e poeiras, com uma escova ou pincel (Figura 7.1, à esquerda);
- (iii) humedecimento do paramento 30 min, 20 min, 10 min e 30 s antes da aplicação da argamassa, a fim de que a humidade presente na argamassa não fosse rapidamente absorvida pelo suporte, o que provocaria uma secagem brusca da argamassa e aumentaria a retração inicial; esta frequente humedificação é sempre necessária e, em condições adversas, ou seja, situações em que as condições atmosféricas apresentem temperaturas muito elevadas, além da humedificação este trabalho deve ser efetuado garantindo o sombreamento e em altura de menor calor (final da tarde); no presente caso, esta tarefa foi efetuada com um borrifador (Figura 7.1, à direita) e no interior de um laboratório.

O trabalho experimental na secção “Avaliação direta da trabalhabilidade” (secção 6.2.4) serviu de base para apurar as técnicas de aplicação das argamassas no defeito-padrão superficial - que se mantêm as mesmas.

O operador que efetuou a aplicação das argamassas foi também um dos que realizou e avaliou as argamassas na secção “Avaliação direta da trabalhabilidade”, sendo o Operador 2.



Figura 7.1. Preparação da superfície do defeito-padrão superficial antes de receber a argamassa de reparação: à esquerda, limpeza com pincel; à direita, humedecimento da superfície

As técnicas de aplicação da argamassa nos defeitos-padrão superficiais e profundos foram distintas. No caso do defeito-padrão superficial (profundidade de 2 cm) a aplicação da argamassa apresentou o seguinte procedimento (Gomes *et al.* 2013b), Figura 7.2:

- (i) lançamento vigoroso contra o suporte com a colher de pedreiro, e sempre de baixo para cima;
- (ii) aperto e refechamento da argamassa, em especial nos cantos, com a colher de pedreiro;
- (iii) regularização da superfície com uma régua de madeira ou metálica;
- (iv) alisamento da superfície com uma esponja de espuma de polietileno;
- (v) de modo a garantir que a secagem das argamassas ocorria lentamente para evitar retrações elevadas, e como se tornava evidente a rápida secagem das argamassas, mesmo não sendo um mês suscetível a temperaturas elevadas - mês de março - com temperaturas médias de 20°C e humidade relativa na ordem dos 40 a 50% (Figura C.1 do Anexo C), optou-se por pulverizar a zona reparada, com uma periodicidade de hora a hora, durante 3 horas;
- (vi) refechamento de fissuras na maior parte das argamassas aplicadas; as fissuras de retração inicial de secagem surgiam aproximadamente ao fim de 2 a 3 horas após a aplicação, sendo estas refechadas cerca de 4 horas após a aplicação.



Figura 7.2. Aplicação da argamassa AAv no defeito-padrão superficial do bloco BAv

No caso do defeito-padrão profundo (semiesfera com 10 cm de diâmetro) a aplicação da argamassa apresentou o seguinte procedimento (Gomes *et al.* 2013b), conforme se visualiza na Figura 7.3:

- (i) lançamento vigoroso da argamassa, seguido de aperto contra o suporte com a colher de pedreiro, devendo obter-se uma camada de argamassa com espessura entre 5 e 10 mm;
- (ii) o encasque, no caso de ser utilizado, era introduzido nesta primeira camada de argamassa; foi utilizado cascalho calcário, com dimensões compreendidas entre 20 e 40 mm (Figura 7.4);
- (iii) as aplicações das diferentes camadas de argamassa foram efetuadas com intervalos de 15 a 20 min, facto que se considerou importante na medida em que se consegue que a argamassa inicie a secagem e, ao receber a camada subsequente, a camada anterior já está estável - em equilíbrio e não resvala -, o que foi importante dada a elevada espessura de argamassa a aplicar;
- (iv) aplicação da última camada de argamassa, que foi cuidadosamente refechada na zona de ligação com o suporte;
- (v) regularização da superfície com uma régua de madeira ou metálica;
- (vi) alisamento da superfície com uma esponja de espuma de polietileno;
- (vii) pulverização da zona reparada, com uma periodicidade de hora a hora, durante 3 horas (as mesmas condições já referidas na reparação do defeito-padrão superficial);
- (viii) refechamento de fissuras na maior parte das argamassas (as mesmas condições já referidas na reparação do defeito-padrão superficial).

As argamassas AAv, APD e AVC (não estabilizadas) que correspondem a terras locais e que foram aplicadas nos blocos da taipa correspondente, apresentaram pouca fissuração, sendo esta apenas visível na interface entre a argamassa e o bloco.



Figura 7.3. Aplicação da argamassa APD no defeito-padrão profundo com a utilização de encasque no bloco BPD

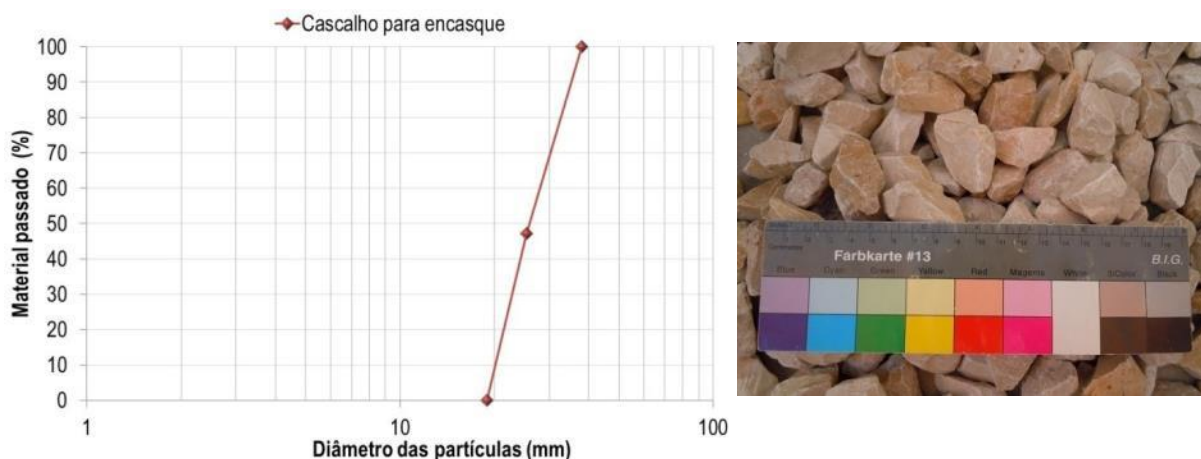


Figura 7.4. Cascalho grosso utilizado para o encasque: à esquerda, curva granulométrica; à direita cascalho com forma irregular

Verificou-se, de uma forma geral, que nas argamassas estabilizadas a fissuração era menos acentuada e menos extensa nos blocos BAv quando comparando a mesma argamassa mas aplicada nos blocos BPD e BVC, conforme se pode visualizar nas Figuras 7.5 e 7.6. Este facto deve-se provavelmente à elevada percentagem de argila presente nos blocos BPD e BVC. Esta elevada percentagem em argila parece contribuir para um aumento da possibilidade de ocorrência de anomalias na argamassa de reparação.



Figura 7.5. Fissuração e fendilhação verificada cerca de 3 horas após aplicação da argamassa ATP_CN15 no defeito-padrão superficial, nos blocos BAv, BPD e BVC, da esquerda para a direita

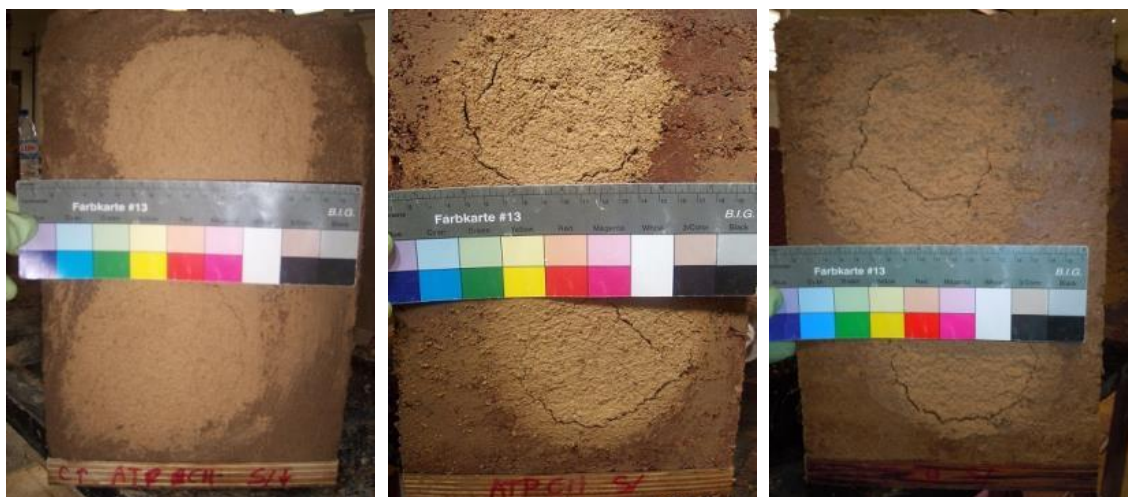


Figura 7.6. Fissuração e fendilhação verificada cerca de 3 horas após aplicação da argamassa ATP_CH15 no defeito-padrão profundo nos blocos BAv, BPD e BVC, da esquerda para a direita

O teor de água que cada bloco apresentava no ato de aplicação das argamassas, e a dimensão dos poros, são fatores com importância, sendo que a sucção capilar será tanto maior quanto menor for o teor de água e o diâmetro do poro. Contudo, pensa-se que no presente caso, o teor de argila do suporte deve ter sido um fator determinante. As partículas de argila apresentam maior sucção capilar do que as partículas de areia e o facto dos blocos BPD e BVC apresentarem maior percentagem em argila, faz com a água presente na argamassa seja absorvida pela argila presente no suporte, acelerando o processo de secagem na argamassa e contribuindo para o aumento da fissuração.

A elevada fissuração verificada após a aplicação da maior parte das argamassas no suporte veio a demonstrar que o ensaio de Alcock, comumente utilizado para avaliar a retração nas construções onde o material terra é utilizado como matéria-prima (ver secção 2.3.5), não consegue prever corretamente a retração de uma argamassa aplicada num suporte. A retração linear verificada em todas as argamassas, segundo o ensaio de Alcock, não excedeu o limite estabelecido (secção 6.5.4.1) na norma Neozelandesa (SNZ 4298 1998), que corresponde a um máximo de 3% para argamassas de terra sem adições e de 1% para argamassas com a adição de cimento.

Verifica-se, de facto, que os resultados observados no ensaio de retração linear avaliada pelo ensaio de Alcock não traduzem a retração ocorrida após aplicação das argamassas no suporte. Para além deste facto verifica-se que a mesma argamassa apresenta distintos comportamentos quando aplicada sobre diferentes tipos de suporte de taipa; o tipo de material constituinte da taipa onde uma argamassa é aplicada tem elevada importância, e esta característica deverá ser tida em conta para avaliar a retração de uma argamassa.

O simples facto de o ensaio de Alcock não entrar em linha de conta com o suporte já indicia que este ensaio não é adequado para medir a retração em argamassas após aplicadas; se o suporte influencia a retração, e a metodologia de ensaio não inclui o suporte, este ensaio não poderá servir eficazmente para traduzir a retração nas argamassas. Assim é importante em trabalhos futuros encontrar uma metodologia mais eficaz para avaliar a retração das argamassas de terra. Considera-se também importante analisar se será mais vantajoso uma argamassa retrair pouco individualmente mas ter poros de uma dimensão tal que sofra uma grande sucção do suporte, ou ser uma argamassa mais retrátil mas mais isenta ao efeito do suporte em causa, sendo o ideal uma argamassa apresentar as duas vantagens - com pouca retração e isenta ao efeito do suporte.

O ensaio de Alcock poderá não ter como objetivo garantir que não exista excessiva fissuração em nenhum suporte mas apenas verificar se a argamassa utilizada tem tendência para retrair; contudo, e tendo em conta o valor mínimo atribuído pela norma Neozelandesa (SNZ 4298 1998) verifica-se que todas as argamassas apresentam valores aceitáveis para a retração linear (secção 6.5.4.1), embora se verifique após aplicadas a ocorrência de elevado grau de fendilhação, dependendo do tipo de suporte.

Para o refechamento das fissuras (Figura 7.7): aspergiu-se com água a zona a intervir; apertou-se com uma colher de pedreiro a zona afetada; quando necessário aplicou-se mais argamassa; regularizou-se a argamassa com a colher de pedreiro e por fim alisou-se a superfície com a esponja de espuma de polietileno (Gomes *et al.* 2013b). Nas argamassas AAv, APD, AVC, ATP_CA e ATP_CP não foi necessário aplicar argamassa.



Figura 7.7. Refechamento de fendas no bloco BAv com a aplicação da argamassa ATP_CN15: à esquerda, aspersão com água; ao centro, aperto da argamassa na zona a intervir; à direita, argamassa após intervenção

7.3. ANOMALIAS VERIFICADAS APÓS APLICAÇÃO

O desempenho das argamassas de reparação foi avaliado ao 10º, 30º e 90º dia após a sua aplicação sobre os blocos. No entanto, não foram detetadas variações entre o 10º e o 90º dia, o que significa que a maior parte das anomalias ocorreram antes do 10º dia. As anomalias observadas foram fissuração ou perda de aderência entre a argamassa e o suporte.

As condições de temperatura e humidade relativa durante o período (90 dias) de avaliação das argamassas foram (Figuras C.1, C.2 e C.3 do Anexo C):

- (i) primeiros 30 dias: 17-22°C de temperatura e 35-65% de humidade relativa;
- (ii) 31-60º dia: 16-23°C de temperatura e 50- 92% de humidade relativa;
- (iii) 61-90º dia: 18-24°C de temperatura e 41-67% de humidade relativa.

A fissuração avaliada foi classificada em função da largura de fenda predominante, tendo-se adotado a classificação da Norma Francesa NF P 84-401 (Veiga 1998) para rebocos:

- (i) micro fendas: largura inferior a 0,2 mm;
- (ii) fendas médias: largura entre 0,2 e 2 mm;
- (iii) fendas grandes: largura superior a 2 mm.

Para classificar a intensidade da anomalia, isto é a densidade do padrão de fissuração na superfície ou a gravidade do descolamento, estabeleceram-se quatro níveis:

- (i) nível 0: não se verificaram anomalias;
- (ii) nível 1: anomalias de fraca intensidade (Figura 7.8, à esquerda);
- (iii) nível 2: anomalias de média intensidade (Figura 7.8, ao centro);
- (iv) nível 3: anomalias de alta intensidade (Figura 7.8, à direita).



Figura 7.8. Densidade do padrão de fissuração na superfície da argamassa: em cima, nível 1, fraca intensidade, ATP_CA15_Fib no BVC; ao centro, média intensidade, ATP_CH15 no BPD; em baixo, alta intensidade, ATP_CH15 no BVC

As Tabelas 7.1-7.6 descrevem as anomalias verificadas. Para cada tipo de anomalia são apresentados, separado por vírgulas, três valores da intensidade da anomalia, que correspondem às diferentes aplicações efetuadas por argamassa (em regra três por argamassa).

Tabela 7.1. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão superficiais nos blocos Bav e a sua intensidade

BAV - Defeito-padrão superficial								
Tipos de anomalia	AAv	ATP	ATP_CA15	ATP_CA15_Fib	ATP_CH15	ATP_CN15	ATP_CP15*	
Microfendas	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	2,2,2	0,0,0	2,0	
Fendas médias	0,0,0	0,2,0	1,2,2	0,1,1	3,3,3	3,2,3	0,0	
Fendas grandes	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	2,2,2	0,0	
Perda de aderência (entre a argamassa e o suporte)	0,0,0	0,0,0	0,2,0	0,0,0	0,0,0	3,3,3	2,0	
Ligação entre a argamassa e o suporte ao nível do contorno	Microfendas	1,0,0	0,0,0	2,2,2	0,0,0	2,2,2	0,0,0	2,2
	Fendas médias	0,0,0	2,2,2	2,2,3	1,2,2	2,2,2	3,3,3	0,0

Tabela 7.2. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão superficiais nos blocos BPD e a sua intensidade

BPD - Defeito-padrão superficial								
Tipos de anomalia	APD	ATP	ATP_CA15	ATP_CA15_Fib	ATP_CH15	ATP_CN15	ATP_CP15*	
Microfendas	0,0,0	0,0,0	0,0,0	1,1,2	1,1,2	0,0,0	2,2	
Fendas médias	0,0,0	0,0,3	3,3,3	2,2,1	2,2,1	3,3,3	2,2	
Fendas grandes	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0	
Perda de aderência (entre a argamassa e o suporte)	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0	
Ligação entre a argamassa e o suporte ao nível do contorno	Microfendas	1,1,1	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0
	Fendas médias	1,1,2	0,0,0	3,3,3	0,0,0	0,0,0	3,3,3	0,0

Tabela 7.3. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão superficiais nos blocos BVC e a sua intensidade

BVC - Defeito-padrão superficial								
Tipos de anomalia	AVC	ATP	ATP_CA15	ATP_CA15_Fib	ATP_CH15	ATP_CN15	ATP_CP15*	
Microfendas	0,0,0	0,0,0	0,1,0	0,0,2	0,1,0	0,0,0	2,2	
Fendas médias	1,0,0	2,0,2	3,1,3	1,1,0	3,3,3	2,2,3	0,2	
Fendas grandes	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0	
Perda de aderência (entre a argamassa e o suporte)	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	2,2,0	0,0	
Ligação entre a argamassa e o suporte ao nível do contorno	Microfendas	1,1,1	0,2,0	2,2,2	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0
	Fendas médias	1,1,1	2,0,2	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,1

Tabela 7.4. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão profundos nos blocos BAv e a sua intensidade

BAv - Defeito-padrão profundo									
Tipos de anomalia	Encasque	AAv	ATP	ATP_CA15	ATP_CA15_Fib	ATP_CH15	ATP_CN15	ATP_CP15*	
Microfendas	Com	0,0,0	2,2,2	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0	
Fendas médias	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0	
Fendas grandes	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0	
Perda de aderência (entre a argamassa e o suporte)	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,2,0	0,0,0	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,2	0	
Ligação entre a argamassa e o suporte ao nível do contorno	Microfendas	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0
		Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0
	Fendas médias	Com	0,0,1	2,0,0	2,3,2	1,1,1	0,0,0	2,2,2	2,2,2
		Sem	0,1,1	2,2,2	2,2,2	1,1,1	2,2,2	2,2,2	2

Tabela 7.5. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão profundos nos blocos BPD e a sua intensidade

BPD - Defeito-padrão profundo									
Tipos de anomalia	Encasque	APD	ATP	ATP_CA15	ATP_CA15_Fib	ATP_CH15	ATP_CN15	ATP_CP15*	
Microfendas	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,1	0,0,0	2,2,2	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	1,1,1	0,0,0	2	
Fendas médias	Com	0,0,0	0,0,0	1,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,1	0,0,0	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	1,0,0	0	
Fendas grandes	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0	
Perda de aderência (entre a argamassa e o suporte)	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0	
Ligação entre a argamassa e o suporte ao nível do contorno	Microfendas	Com	1,0,1	0,0,0	0,0,0	0,0,1	0,0,0	0,0,0	0,0,0
		Sem	1,1,1	0,0,0	0,0,2	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0
	Fendas médias	Com	1,0,1	0,0,0	2,2,2	1,1,1	1,1,0	1,1,0	2,2,0
		Sem	1,0,0	0,0,0	2,2,1	1,1,2	1,0,0	1,1,1	2

Tabela 7.6. Tipos de anomalias observadas nas sete famílias de argamassas aplicadas nos defeitos-padrão profundos nos blocos BVC e a sua intensidade

BVC - Defeito-padrão profundo									
Tipos de anomalia	Encasque	AVC	ATP	ATP_CA15	ATP_CA15_Fib	ATP_CH15	ATP_CN15	ATP_CP15*	
Microfendas	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	1,1,1	1,1,0	2,2,2	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	1,0,0	0,0,0	2	
Fendas médias	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,1	0,0,0	0,0,0	2,2,1	0,0,0	
	Sem	0,0,0	1,0,0	0,0,1	0,0,0	0,1,1	2,2,2	0	
Fendas grandes	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,1	2	
Perda de aderência (entre a argamassa e o suporte)	Com	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	
	Sem	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0	
Ligação entre a argamassa e o suporte ao nível do contorno	Microfendas	Com	0,0,1	1,1,1	1,1,0	1,1,1	0,0,0	0,0,0	0,0,0
		Sem	1,1,0	1,1,1	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0,0,0	0
	Fendas médias	Com	1,1,0	0,0,0	1,1,1	0,0,0	0,0,0	1,1,0	2,0,2
		Sem	1,1,0	0,0,0	1,1,1	1,1,1	0,0,1	1,1,1	0

Como referido, as anomalias observadas são de dois tipos: fendas ou descolamento da argamassa. Ambos os tipos são consequências típicas da retração de secagem da argamassa. Esta tem início imediatamente após a aplicação da argamassa e é restringida pela aderência ao suporte, originando o desenvolvimento de tensões de corte no plano de contacto da argamassa com o suporte. Pode pois, provocar o destacamento ou tensões de tração na argamassa, que levam à fissuração desta.

Da análise das Tabelas 7.1-7.6 pode concluir-se que existe uma clara diferença entre as anomalias verificadas no defeito-padrão superficial comparando com o defeito-padrão mais profundo. No defeito-padrão superficial verifica-se uma maior percentagem de fendas enquanto que no defeito-profundo a anomalia mais comum verifica-se ao nível da zona de contorno entre a argamassas e o suporte. Esta diferença deve-se à diferença de geometria, em área e espessura, entre os defeitos-padrão.

Da análise das Tabelas 7.1-7.6 conclui-se ainda que:

- (i) as argamassas não estabilizadas AAv, APD e AVC, aplicadas nos blocos com o mesmo tipo de terra, tiveram o melhor desempenho, mesmo comparando com a argamassa não estabilizada ATP; apresentaram essencialmente fissuras de contorno na interface suporte/argamassa;
- (ii) o desempenho das argamassas estabilizadas (Figuras 7.9 e 7.10) foi sempre pior do que o da argamassa não estabilizada, ATP: a fissuração/fendilhação foi mais intensa e, por vezes, foi acompanhada por destacamento da argamassa;
- (iii) a incorporação das fibras de cânhamo (nas argamassas com o estabilizante cal aérea) diminuiu substancialmente o tamanho e/ou a quantidade da fissuração para todos os tipos de suportes (Figura 7.11);
- (iv) a perda de aderência entre a argamassa e o suporte apenas foi verificada nos blocos BAv (suporte que tem baixo teor de argila), nas argamassas ATP_CA15, ATP_CN15 e ATP_CP15 para os defeitos-padrão superficiais e na argamassa ATP_CN15 para os defeitos-padrão profundos;
- (v) a perda de aderência na argamassa ATP_CN15 nos blocos BAv para o defeito-padrão superficial verificou-se em todas as aplicações (Figura 7.12), sendo que em duas das aplicações houve mesmo a queda total da argamassa; nos restantes blocos (BPD e BVC), a anomalia mais gravosa desta argamassa foi o aparecimento de fendas médias;
- (vi) a realização de encasque por introdução de cascalho no defeito-padrão profundo não se revelou vantajosa para a diminuição do aparecimento de anomalias, quer em género, quer em intensidade;
- (vii) a maioria das anomalias verificadas no defeito-padrão profundo, em todos os tipos de suportes, é a ocorrência de fendas na ligação entre a argamassa e o suporte; verifica-se na maior parte dos casos uma fendilhação média (Figura 7.13 e Figura 7.14).



Figura 7.9. Argamassa ATP_CA15 aplicada no bloco BAv com o pormenor de uma fenda média, aos 10 dias de idade



Figura 7.10. Fendas médias no defeito-padrão superficial: à esquerda, na argamassa ATP_CA15 aplicada no bloco BPD; à direita, na argamassa ATP_CH15 aplicada no bloco BVC



Figura 7.11. Argamassa ATP_CA15 aplicada no bloco BVC: à esquerda, sem fibras; à direita, com fibras

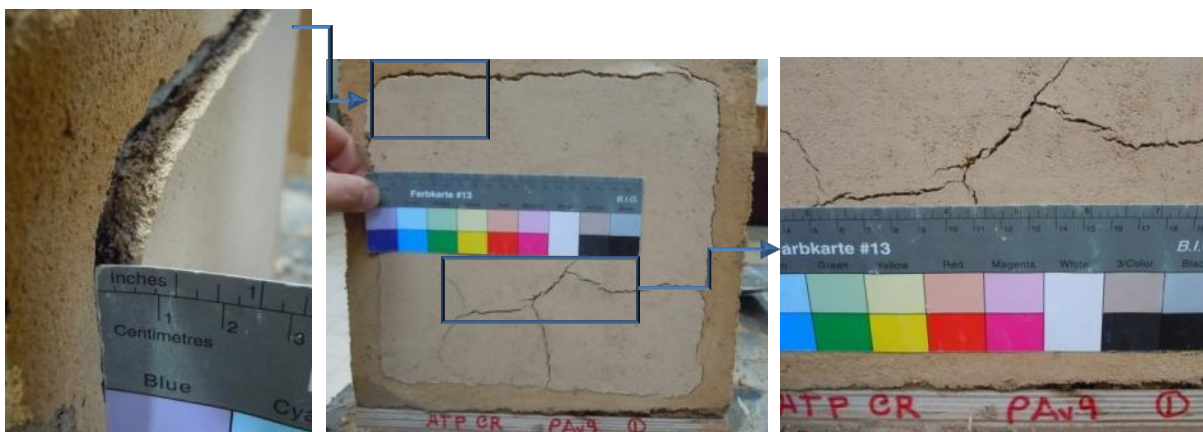


Figura 7.12. Argamassa ATP_CN15 aplicada no bloco BAV: à esquerda, pormenor do destacamento da argamassa; ao centro, argamassa aplicada no defeito-padrão superficial; à direita, pormenor de fendas grandes



Figura 7.13. Anomalias nos blocos BPD: à esquerda, argamassa ATP_CA15 com fendas médias; ao centro, argamassa ATP_CH15 com fendas médias na zona de interface entre a argamassa e o bloco; à direita, argamassa ATP_CN15 com fendas médias na zona de interface entre a argamassa e o bloco



Figura 7.14. Anomalias: à esquerda, fendas médias na argamassa ATP_CA15 aplicada no bloco BVC; ao centro, fendas médias na argamassa ATP_CH15 na zona de interface entre a argamassa e o bloco BAV; à direita, fendas médias na argamassa ATP_CN15 na zona de interface entre a argamassa e o bloco BAV

As argamassas não estabilizadas apresentaram de uma forma geral pouca fissuração e não ocorreram destacamentos em relação ao suporte. Este facto poderá dever-se à ausência de ligante mineral, fazendo com que as argamassas apresentem características físicas mais próximas das do suporte. A semelhança entre a argamassa e o suporte é particularmente relevante para as argamassas AAv, APD e AVC cuja aplicação foi efetuada sobre os blocos do mesmo tipo de terra e, de facto, são as que apresentam melhor comportamento.

Verifica-se que a compatibilidade entre os materiais utilizados nas argamassas e os materiais do suporte é, assim, particularmente importante (Gomes *et al.* 2013b). Comparando as argamassas APD, AVC e ATP_CH15, verifica-se que a retração linear das argamassas APD e AVC é superior à argamassa ATP_CH15 (ver Figura 6.22); contudo, verifica-se que estas (APD e AVC) apresentam melhor comportamento quando aplicadas nos blocos respetivos (BPD e BVC), conforme se pode visualizar nas Tabelas 7.1 e 7.2. As argamassas estabilizadas apresentaram pior comportamento, em especial no caso do suporte BAv, onde o destacamento da argamassa de reparação ocorreu em vários casos (Figura 7.12). Este facto provavelmente deve-se à menor aderência proporcionada por este tipo de taipa, que é mais arenosa. Pode assim concluir-se que o sucesso das argamassas pode ser fortemente influenciado pelo suporte onde elas são aplicadas. Estes resultados indicam também que para reparar uma taipa não estabilizada será mais adequada a utilização de argamassas não estabilizadas, de preferência com base em terra semelhante à do suporte. Esta conclusão está de acordo com Maniatis e Walker (2003) e Walker *et al.* (2005), que referem que a forma mais adequada para realizar trabalhos de reparação é a utilização, sempre que possível, das matérias-primas originais. Esta ideia está também em conformidade com o “princípio da igualdade”, expresso na norma BS 7913 (1998) que refere que numa abordagem tradicional é ideal que um material que esteja deteriorado seja reparado com um material idêntico. Por outro lado, Morton (2004) menciona que as construções são mais vulneráveis a uma degradação progressiva na interface entre diferentes materiais.

A incorporação de cascalho grosso em encasque não melhora, de uma forma geral, o desempenho das argamassas de reparação aplicadas no defeito-padrão profundo. No entanto, também não a piora, verificando-se ainda que a aplicação é facilitada. De facto, diminui a quantidade de argamassa que é necessário utilizar e torna o processo mais célere, dado que são necessárias menos camadas de argamassa. Uma alternativa poderá ser a introdução de resíduo cerâmico em vez de cascalho calcário, alternativa que poderá ser analisada no futuro.

É importante analisar o aparecimento de fissuras, mas esta poderá não ser uma limitação definitiva da aptidão da argamassa: é aceitável o aparecimento de algumas fissuras, desde que a camada não constitua acabamento final. Com efeito, sobre as argamassas de reparação é normalmente ainda aplicado um reboco. Contudo, não são admissíveis retrações elevadas, dado que existe uma maior probabilidade da argamassa deixar de permanecer aderente ao substrato. Deve ainda ser assegurada a completa retração da camada de argamassa de reparação antes da aplicação de nova camada. Isto contribui também para uma não continuidade das fissuras entre diferentes camadas.

7.4. AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

As argamassas, após aplicadas no suporte, foram caracterizadas aos 90 dias de idade pelos ensaios de determinação da dureza superficial e velocidade de propagação de ultrassons.

7.4.1. Dureza superficial

O ensaio para caracterizar a dureza superficial das argamassas foi realizado de acordo com a norma de ensaio ASTM D2240-05 (2010), cujo procedimento se encontra descrito na secção 3.4.6. Utilizou-se um durómetro, equipamento que mede a resistência à penetração de um pino quando pressionado contra a superfície do material. A escala de dureza utilizada foi a Shore A, adequada para materiais mais macios.

Os resultados do ensaio de dureza superficial realizado sobre as argamassas de reparação aplicadas nos blocos de taipa estão apresentados na Figura 7.15, e pode concluir-se que:

- (i) os valores da dureza superficial para a mesma argamassa apresentam uma dispersão - em termos de desvio padrão - que se pode considerar baixa, dada a rugosidade da argamassa;
- (ii) os resultados encontram-se dentro dos seguintes intervalos de valores:
 - no BAv, 69-85 Shore A; no BPD, 67-79 Shore A; no BVC, 66-74 Shore A;
- (iii) considerando a escala de classificação da dureza Shore A (Tavares 2009), as argamassas estudadas têm uma classificação de dureza:
 - média, com uma resistência moderada com tendência para perda de coesão superficial (\approx até 2 mm), valores entre 50-70 Shore A;
 - dura, com uma resistência normal quando em bom estado de conservação, valores entre 70-87 Shore A;
- (iv) a mesma argamassa apresenta valores distintos quando aplicada em diferentes suportes:
 - porém, a diferença de valores não é em geral muito significativa;
 - como exemplo extremo refere-se a argamassa ATP_CN15 que apresenta o valor mais elevado quando aplicada no bloco BAv de 85 Shore A e o valor de 74 Shore A quando aplicada no bloco BVC;
 - não existe uma correlação clara entre o tipo de suporte e a dureza da argamassa, ou seja, suportes mais ou menos arenosos ou argilosos não indicam que as argamassas aplicadas obtenham valores de dureza mais ou menos elevados.

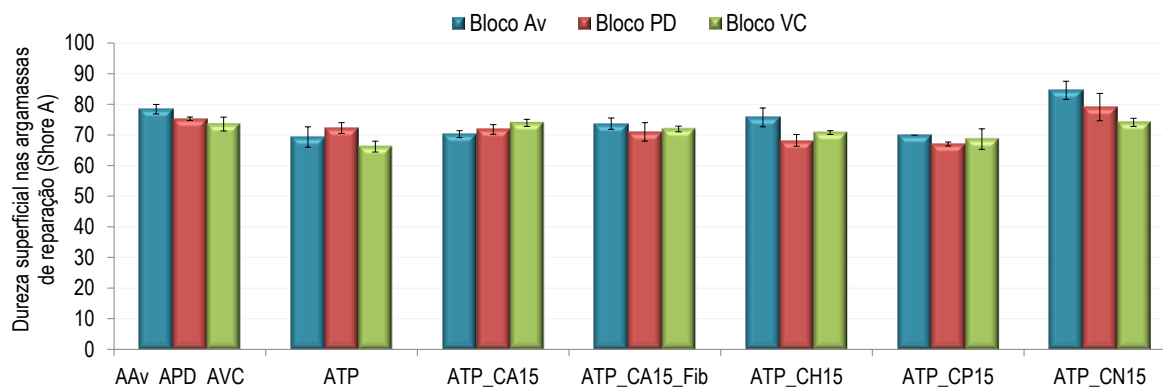


Figura 7.15. Valores da dureza superficial nas argamassas de reparação com o durómetro Shore A

Comparando o valor obtido no presente estudo para as argamassas com o ligante cal aérea (70 Shore A para BA_v, 72 Shore A para BPD, 74 Shore A para BVC), com os obtidos em outros estudos para argamassas de cal aérea e terra, verificaram-se valores muito próximos, nomeadamente:

- (i) 70 shore A, valor obtido em argamassas de cal aérea e terra, com um traço mássico de 1:31 (terra:areia) e com uma percentagem de 25% de cal aérea em relação à massa de terra, aplicada sobre um suporte de taipa (Jamú 2013);
- (ii) 69 shore A, valor obtido em argamassas de cal aérea e terra, com um traço mássico de 1:9,8 (terra:areia) e com uma percentagem de 93% de cal aérea em relação à massa de terra aplicada sobre um suporte de tijolo (Dias 2013).

A Figura 7.16 não mostra qualquer correlação entre os valores obtidos nas argamassas para o módulo de elasticidade dinâmico (secção 6.5.4.4) e a resistência à compressão ou à tração por flexão (secção 6.5.4.5) com a dureza superficial.

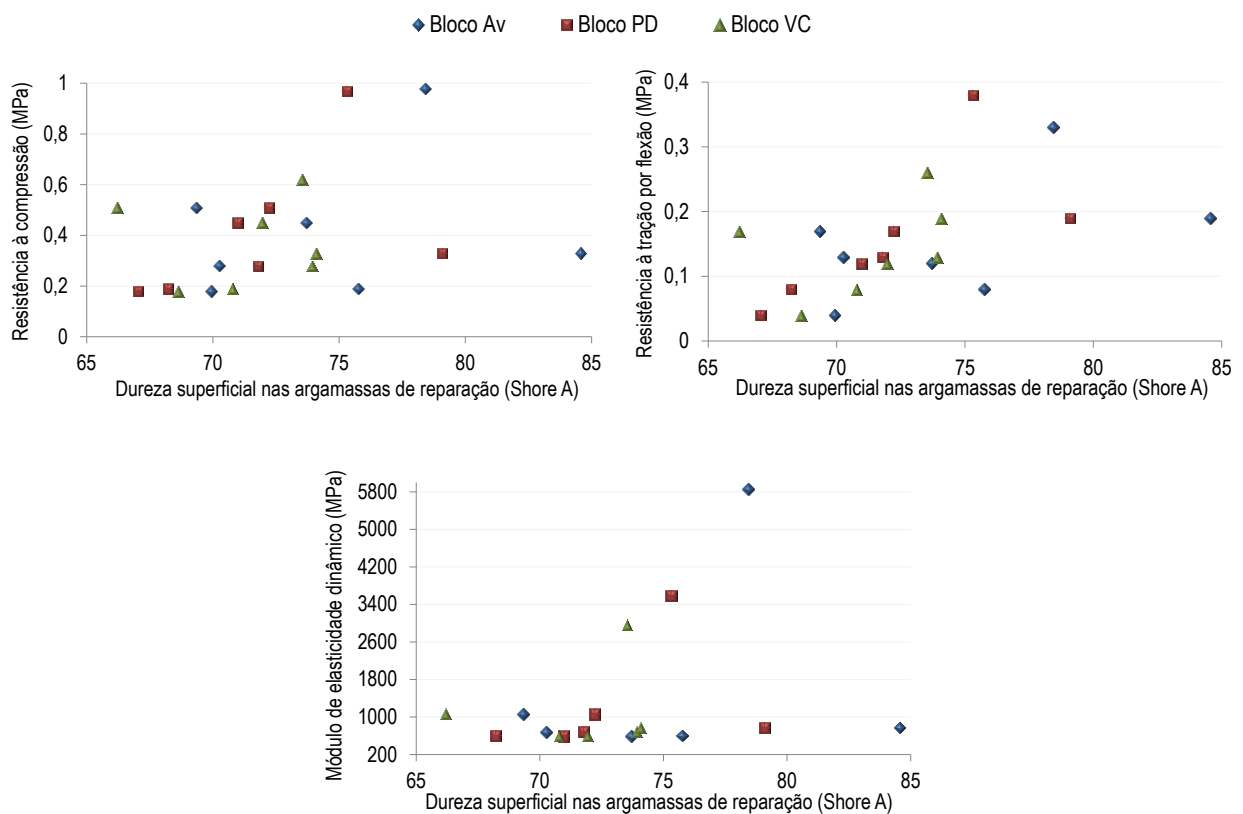


Figura 7.16. Correlação entre a dureza superficial nas argamassas de reparação: em cima à esquerda, resistência à compressão; em cima à direita, resistência à tração por flexão; em baixo, módulo de elasticidade dinâmico

7.4.2. Velocidade de propagação de ultrassons

O ensaio para determinar a velocidade de propagação por ultrassons consiste na colocação de dois transdutores, com funções de emissor e recetor, em bom contacto com a superfície do material e posteriormente determinação da velocidade de propagação de um impulso ultrassónico entre os dois transdutores (atravessando o material). Segundo a literatura especializada, através deste ensaio é possível estimar as

características mecânicas dos materiais, bem como avaliar a sua homogeneidade e a presença de fissuração ou outros defeitos (ver secção 2.5.3.3).

O ensaio para caracterizar a velocidade de propagação por ultrassons foi realizado pelo método de transmissão direta (transdutores em faces opostas) e indireta (transdutores na mesma face), de acordo com a ficha de ensaio LNEC FE Pa 43.1 (2010), cujo procedimento se encontra descrito na secção 3.4.7. Pelo método de transmissão direta a onda atravessará todo o bloco, inclusive a argamassa, pelo que poderá por vezes identificar se a argamassa está ou não destacada do substrato. No método de transmissão indireta é efetuada uma medição superficial, ou seja, a onda será de superfície atravessando na maior parte dos casos apenas a argamassa (e não o suporte), sendo assim possível obter informações quanto à argamassa.

No método de transmissão direta não é possível verificar o módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons, dado que a onda atravessa dois materiais distintos (argamassa e bloco). É mencionado na literatura que neste método, baixas velocidades de propagação por ultrassons são sinónimo de possíveis fissuras, descontinuidades ou degradação do material. Contudo, não foi identificada nenhuma relação entre as baixas velocidades de transmissão e a ocorrência de fissuras e/ou destacamentos verificados nas argamassas (secção 7.3). Aliás, argamassas que não apresentam qualquer tipo de anomalia a nível macroscópico (secção 7.3) na zona onde foi efetuada a medição, apresentam simultaneamente altas e baixas velocidades de propagação das ondas, como o caso da AAv aplicada no BAv (Tabela D.1 do Anexo D).

Nas Tabelas D.1, D.2 e D.6 do Anexo D apresentam-se as velocidades de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta. Não foi possível medir a velocidade de propagação da onda no bloco BAv₉ (Tabela D.1 do Anexo D) uma vez que existia falta de aderência entre a argamassa e o bloco (conforme se pode ver na Figura 7.12), não sendo possível fazer qualquer tipo de leitura com o aparelho.

É assim questionável a utilização da velocidade de propagação por ultrassons, pelo método direto, para a deteção de destacamentos de argamassas. Provavelmente estes valores irregulares podem dever-se: ao material heterogéneo, o que influencia neste tipo de ensaio; ao caminho percorrido pela onda e a existência de microfissuração, diminuindo a velocidade de transmissão correspondente (percorrendo caminhos mais longos de propagação); e ao facto de em alguns dos blocos, em faces opostas, estarem aplicadas no defeito-padrão superficial argamassas distintas (Anexo B).

A velocidade de propagação (V_{us}) das ondas pelo método de transmissão indireta é determinada pelo inverso do declive da linha de tendência que é obtida pelo traçado de um gráfico que expressa o tempo de propagação das ondas (em microssegundos) em ordenadas, em função da distância entre transdutores (cm) em abcissas. Na Figura 7.17 são apresentados os exemplos das três leituras efetuadas para a argamassa ATP e ATP_CA15_Fib, nos três blocos.

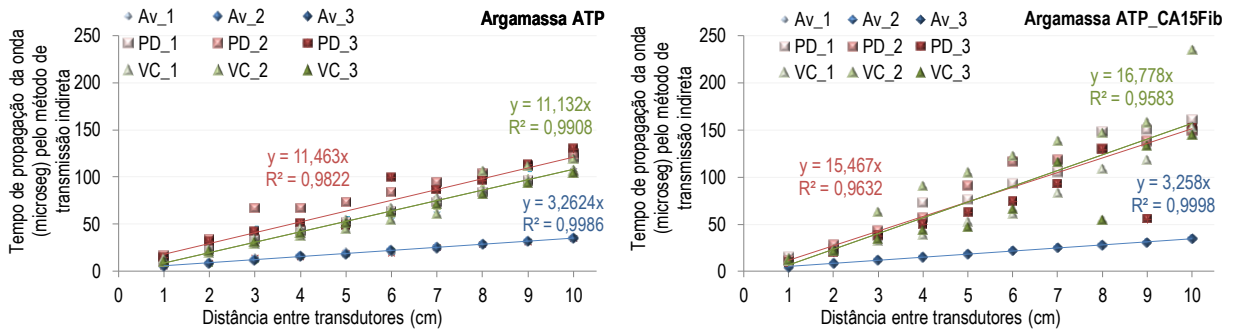


Figura 7.17. Determinação da velocidade de propagação por ultrassons, por transmissão indireta pela correlação entre a distância entre transdutores e o tempo de propagação da onda: como exemplos à esquerda, para a argamassa ATP; à direita, para a argamassa ATP_CA15_Fib nos três blocos

Analisando a Figura 7.18 verifica-se que a velocidade de propagação das ondas por transmissão indireta é muito idêntica para uma mesma família de argamassa mas aplicadas em blocos distintos, à exceção das argamassas ATP, ATP_CA15_Fib e ATP_CH15 quando aplicadas exclusivamente no bloco BAv - bloco de taipa mais arenoso. É questionável o porquê de três argamassas apresentarem valores tão distintos (velocidades muito superiores às restantes) e somente quando aplicadas nos blocos BAv.

Admite-se que quando se registam velocidades altas (para uma mesma distância, correspondem a um menor tempo decorrido entre transdutores) o percurso das ondas ocorre apenas na argamassa; pelo contrário velocidades mais baixas correspondem a um percurso que poderá não atingir só a argamassa como também o suporte. Contudo, analisando a Figura 7.19, admite-se a possibilidade de existir um erro de leitura nestas três argamassas referidas (ATP, ATP_CA15_Fib e ATP_CH15), como se explica de seguida.

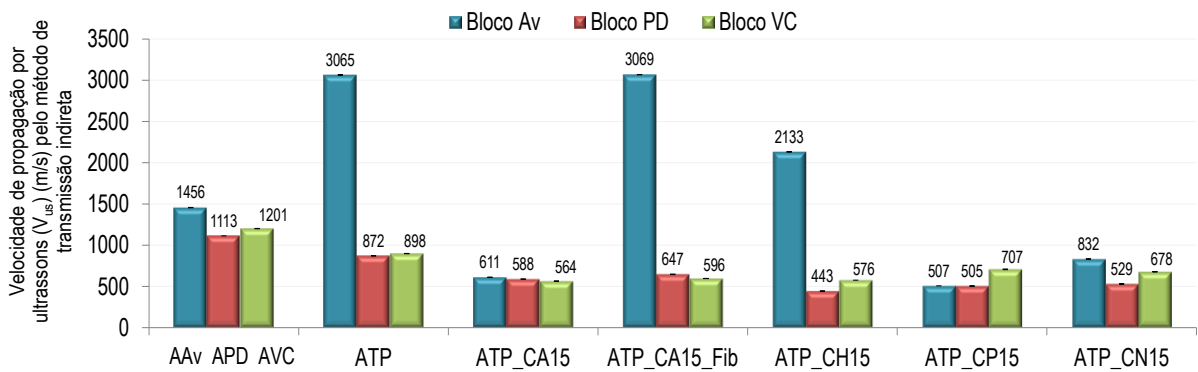


Figura 7.18. Velocidade de propagação por ultrassons, por transmissão indireta

Através do resultado obtido da velocidade de propagação das ondas pelo método indireto pode determinar-se o módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons (E_{dus}), cujos resultados são apresentados na Figura 7.19 (ver secção 3.4.7). Nesta figura são também apresentados os valores obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico na direção longitudinal (E_{dl}), calculado de acordo com o procedimento descrito em 3.4.4 e do qual os resultados também são apresentados na Figura 6.30.

Ao analisar a Figura 7.19, pode-se verificar que:

- (i) para a mesma argamassa mas aplicada em blocos distintos verifica-se uma proximidade nos valores do módulo de elasticidade pelo método de transmissão indireta, à exceção das argamassas ATP, ATP_CA15_Fib e ATP_CH15 quando aplicadas exclusivamente no bloco BAv;

(ii) comparando os valores do módulo de elasticidade nas argamassas pelos dois métodos - transmissão indireta pela medição da velocidade de propagação por ultrassons e pela medição da frequência de ressonância fundamental, constata-se que:

- os valores são próximos para as argamassas AAv, APD e AVC;
- os valores são muito idênticos nas restantes argamassas à exceção das argamassas ATP, ATP_CA15_Fib e ATP_CH15 quando aplicadas nos BAv; admite-se assim a existência de um erro de leitura nestas três argamassas;
- é possível verificar a correlação entre estes dois métodos, verificando-se que apresentam valores fiáveis;

(iii) não existe nenhuma correlação entre os valores obtidos e o destacamento visível das argamassas; como se pode verificar na argamassa ATP_CN15 que se encontra destacada do suporte BAv (secção 7.3, Figura 7.12) foi possível determinar o módulo de elasticidade pelo método indireto, obtendo valor idêntico ao já determinado pelo método de elasticidade dinâmico pela medição da frequência de ressonância fundamental, sendo possível concluir que a onda atravessou apenas a argamassa e não o suporte; assim este método não é afetado por destacamentos na interface entre a camada de argamassa e a taipa; afirmação também verificada por Santos *et al.* (2003) para argamassas de cal e cimento; não obstante este método é afetado por fissuração interna que possa eventualmente existir e não ser visível a nível macroscópico.

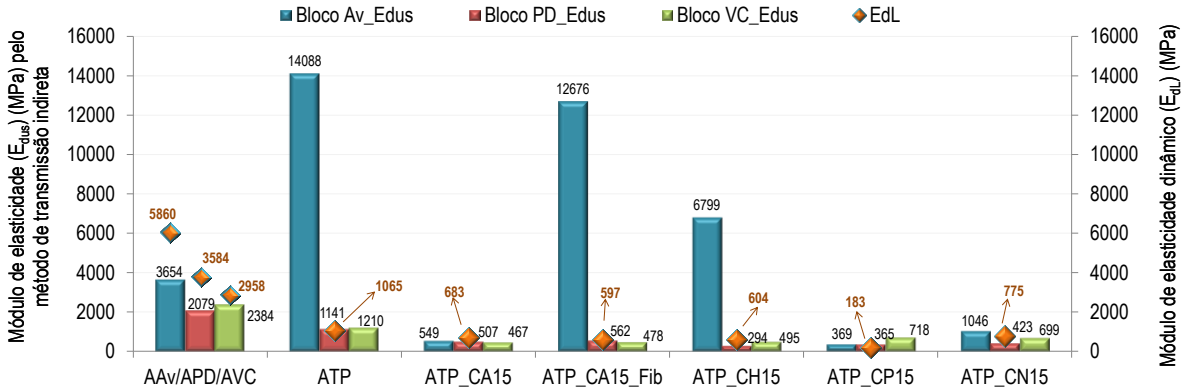


Figura 7.19. Módulo de elasticidade nas argamassas: pelo método dos ultrassons por transmissão indireta quando aplicadas nos blocos (E_{dus}) e pela medição da frequência de ressonância fundamental (E_{dL})

Comparando os valores obtidos no presente estudo para a velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão indireta para as argamassas estabilizadas com cal aérea (611 m/s para BAv, 588 m/s para BPD, e 564 m/s para BVC), com argamassas de cal aérea e terra, verificaram-se valores um pouco mais altos, devendo-se possivelmente a uma menor compacidade, sendo nomeadamente:

- (i) 775 ± 98 m/s, valor obtido em argamassas de cal aérea e terra, com um traço mássico de 1:31 (terra:areia) e com uma percentagem de 25% de cal aérea em relação à massa de terra, aplicada sobre um suporte de taipa (Jamú 2013);

- (ii) 989 ± 178 m/s, valor obtido em argamassas de cal aérea e terra, com um traço mássico de 1:9,8 (terra:areia) e com uma percentagem de 93% de cal aérea em relação à massa de terra aplicada sobre um suporte de tijolo (Dias 2013).

Analisando a correlação entre a resistência à compressão e à tração por flexão com o módulo de elasticidade por ultrassons nas Figuras 7.20, 7.21 e 7.22, verifica-se que para as argamassas aplicadas:

- (i) em BAv não existe qualquer correlação ($R^2=0,04$ e $R^2=0,00$), facto este que se deve às argamassas ATP, ATP_CA15_Fib e ATP_CH15 que obtiveram valores anómalos no módulo de elasticidade por ultrassons, neste grupo de blocos;
- (ii) em BPD existe uma boa correlação ($R^2=0,94$ e $R^2=0,82$);
- (iii) em BVC a correlação é de quase 60% ($R^2=0,59$ e $R^2=0,58$).

Fazendo uma avaliação global da correlação obtêm-se resultados muito aceitáveis, não sendo consistente com algumas dúvidas inicialmente colocadas sobre a eficácia do ensaio (ver secção 2.5.3.3). De facto os valores obtidos para o módulo de elasticidade pela velocidade de propagação por ultrassons podem de facto traduzir o comportamento da argamassa. Contudo, os valores encontrados para o coeficiente de determinação nos BAv podem indicar um erro nos ensaios realizados, dado que existem valores que se apresentam muito distintos dos restantes (Figura 7.18). Assim, é necessário ter algumas reservas neste ensaio, ou seja, é aconselhável a determinação do módulo de elasticidade dinâmico pela medição da frequência de ressonância fundamental, para que os valores sejam comparáveis.

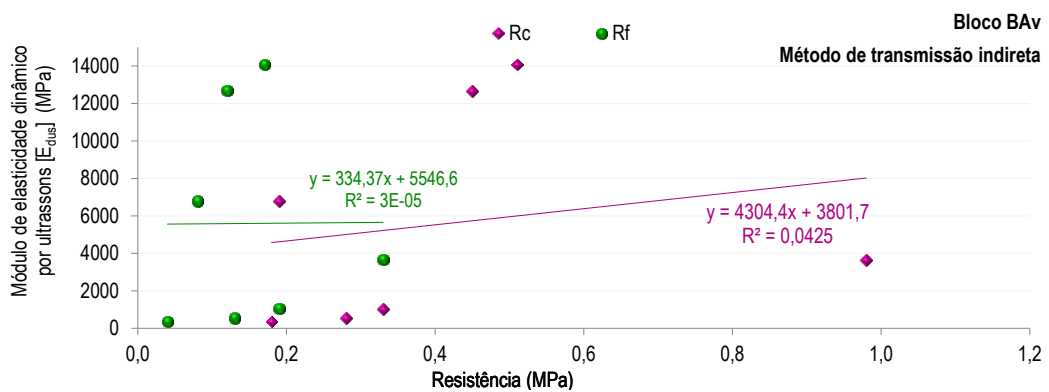


Figura 7.20. Correlação entre a resistência à compressão e à tração por flexão com o módulo de elasticidade dinâmico, pelo método de transmissão indireto nas argamassas aplicadas no bloco BPD

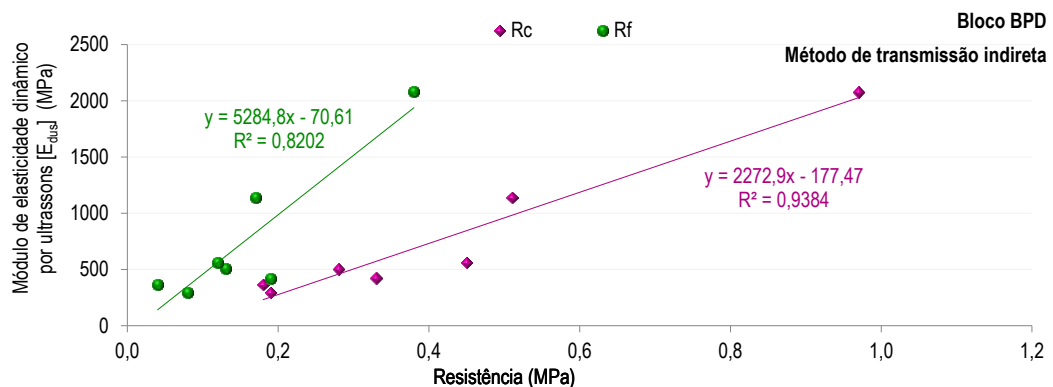


Figura 7.21. Correlação entre a resistência à compressão e à tração por flexão com o módulo de elasticidade dinâmico, pelo método de transmissão indireto nas argamassas aplicadas no bloco BPD

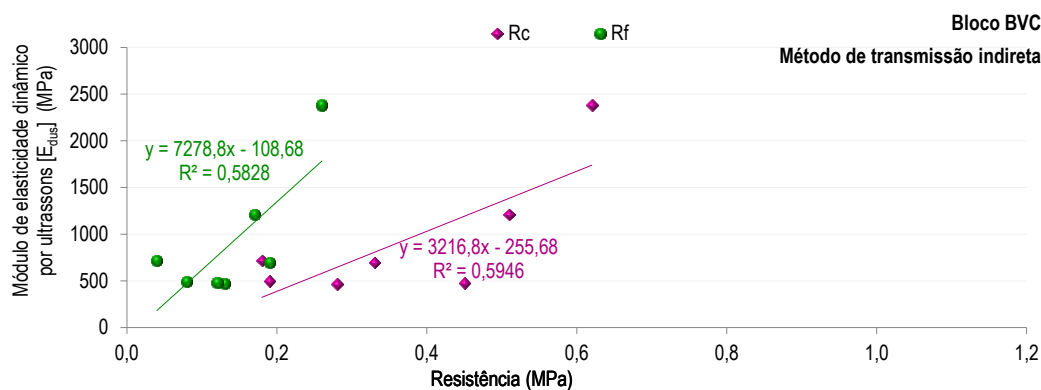


Figura 7.22. Correlação entre a resistência à compressão e à tração por flexão com o módulo de elasticidade dinâmico, pelo método de transmissão indireta nas argamassas aplicadas no bloco BVC

É questionável a utilização da velocidade de propagação por ultrassons, pelo método indireto ou direto, para a deteção de eventuais destacamentos para este tipo de argamassas. Contudo, verificou-se uma excelente correlação entre os dois métodos para determinação do módulo de elasticidade: método indireto por ultrassons e método dinâmico pela medição da frequência de ressonância fundamental. Provavelmente a falta de concordância entre alguns valores poderá dever-se ao facto de no método indireto por ultrassons ser um ensaio relativo ao conjunto argamassa/suporte e no caso do método dinâmico pela medição da frequência de ressonância fundamental o ensaio ser apenas relativo aos provetes de argamassa.

7.5. ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL ACELERADO POR CICLOS DE MOLHAGEM/SECAGEM

Após a avaliação do comportamento das argamassas depois de aplicadas no suporte e face aos resultados obtidos considerou-se pertinente a avaliação das argamassas quando sujeitas a ensaios de envelhecimento artificial acelerado. Segundo vários autores (Guettala *et al.* 2006, Atzeni *et al.* 2007, Hall e Allinson 2009b), é importante não só compreender os materiais e as técnicas de construção nestas construções, como também o comportamento destas quando expostas a agentes naturais.

Vários estudos de investigação incluem ensaios de envelhecimento acelerado sobre argamassas cimentícias ou de cal em provetes de reduzida dimensão, por exemplo 40 mm x 40 mm x 160 mm (Lanas *et al.* 2006, Faria *et al.* 2008, Arizzi *et al.* 2012). Já sobre argamassas de terra poucos são os estudos deste tipo. Porém, quaisquer deles só avaliam a argamassa e não a compatibilidade entre a argamassa e o suporte (Zinn 2005, Toumbakari *et al.* 2010).

No que diz respeito a ensaios de envelhecimento e em construções com terra são mais frequentes estudos de envelhecimento natural e/ou artificial da própria construção de terra (Guettala *et al.* 2006, Hall e Djerbib 2006, Hall 2007, Bui *et al.* 2009, Faria *et al.* 2011).

Não existindo estudos na área sobre a avaliação das argamassas de reparação com base em terra após aplicadas no suporte e sujeitas a ensaios de envelhecimento artificial acelerado, considera-se pertinente esta investigação, de maneira a analisar a compatibilidade entre a argamassa e o suporte após a ação de envelhecimento. Como referido no Capítulo 3 e como se trata de um procedimento de ensaio dinâmico (no

sentido que foi evoluindo ao longo da sua implementação) optou-se por se apresentar a metodologia deste ensaio apenas neste capítulo.

As argamassas de reparação são normalmente revestidas por um acabamento final - reboco, sistema de pintura - estando protegidas da ação direta de agentes climatéricos, como o vento, a chuva ou a radiação solar. Quando estão protegidas, as ações potencialmente mais gravosas a que estas argamassas podem estar sujeitas são devidas à ação de água no estado líquido ou por efeito de fatores ambientais, nomeadamente a humidade relativa e a temperatura. Dada a dimensão dos blocos e o seu peso próprio, colocá-los numa câmara climática, a fim de reproduzir o efeito da temperatura e humidade relativa, ou de uma forma geral, movê-los, não era praticável. Assim, sendo a ação da água no estado líquido considerada como uma das principais causas de degradação nas construções de taipa (secção 4.3.8), optou-se por realizar ensaios de envelhecimento acelerado face a esta ação.

Definiu-se um ensaio de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de secagem/molhagem, que foi realizado aproximadamente ao fim de 120 dias após a aplicação das argamassas nos respetivos blocos. Por forma a obrigar a que a secagem se fizesse maioritariamente através das argamassas (aplicadas nas faces laterais dos blocos), a face superior dos blocos foi impermeabilizada (Figura 7.23). Para o efeito utilizou-se uma mistura com proporção em massa de 50% de cera de abelha e 50% de pez de louro (idêntica à utilizada para impermeabilizar os provetes cúbicos nos ensaios de capilaridade e secagem). As faces laterais não estão totalmente cobertas por argamassa, mas a área de taipa aparente é bastante reduzida quando comparada com a área total da argamassa.



Figura 7.23. Impermeabilização da zona superior dos blocos

7.5.1. Fase de embebição

Os blocos foram submetidos a absorção parcial, com uma altura de lâmina líquida em contacto com os blocos de cerca de 1 a 2 cm. Com este objetivo foram construídas na nave do Sector de Materiais Cerâmicos do LNEC três zonas independentes, para as três famílias de blocos - BAv, BPD e BVC, onde se criaram reservatórios de água utilizando membranas betuminosas (Figura 7.24).



Figura 7.24. Método de absorção de água por ascensão capilar: à esquerda, construção dos reservatórios com as membranas betuminosas; ao centro, blocos em absorção nos reservatórios; à direita, altura da lâmina de água

A absorção da água no bloco apenas é realizada pela lateral deste e não pela sua base, uma vez que estes foram construídos sobre placas de contraplacado, para permitir o respetivo transporte sem que houvesse deterioração. Esta absorção de água por ascensão capilar revelou-se, contudo, muito lenta e, após 24 h em imersão parcial, a zona junto à base dos blocos apresentava-se já muito erodida em alguns casos (Figura 7.25, à esquerda). Tentou-se então criar um ambiente com elevada humidade relativa a fim de limitar a evaporação da água, criando condições para uma ascensão capilar mais rápida. Assim, todos os blocos foram cobertos com um plástico (Figura 7.25, à direita), permanecendo em imersão parcial até às 120 h (5 dias). Finalizadas as 120 h e devido à agressividade do ensaio artificial acelerado - elevada degradação na base dos blocos - optou-se por alterar a metodologia de embebição. Tal como por vezes é referido na literatura, os ensaios de envelhecimento criados em laboratório são por vezes bastante mais severos quando comparados com ensaios de envelhecimento em condições climáticas naturais (Heathcote 1995, Guettala *et al.* 2006).



Figura 7.25. À esquerda, degradação na base do bloco, devido à agressividade do método de absorção de água por ascensão capilar, e à direita, blocos cobertos com um plástico para criar um ambiente de elevada humidade relativa

Abandonou-se assim o método de absorção de água por ascensão capilar a partir da base, adotando-se outro método que consiste na absorção de água a partir do topo dos blocos. Esta metodologia de ensaio tem suporte

na realidade, na medida em que poderá simular infiltrações de água da chuva pelo topo de uma parede ou devido a rotura de uma canalização, efeitos também muito relevantes na prática.

A metodologia consistiu em colocar, no centro da face superior dos blocos, um cilindro de vidro aberto nos dois topos, com diâmetro de 7,3 cm e 5 cm de altura (Figura 7.26). Foi retirada a impermeabilização que existia no topo do bloco nessa zona, para que o cilindro ficasse em contacto com a taipa. A interface cilindro/bloco foi impermeabilizada com a mesma mistura de 50% de cera de abelha e 50% de pez de louro.



Figura 7.26. Colocação de um cilindro de vidro no topo do bloco, para a realização do método de absorção de água a partir do topo dos blocos

7.5.1.1 Metodologia de ensaio

A fase de embebição iniciou-se aproximadamente aos 120 dias após a aplicação das argamassas. Esta fase foi iniciada pelo ensaio de absorção de água por ascensão capilar, que decorreu durante 5 dias, seguido de um período de secagem com uma duração de 15 dias e, de imediato, iniciou-se o ensaio de absorção de água a partir do topo. Na Figura 7.27 é possível observar a calendarização do ensaio de absorção de água por ascensão capilar e parte do ensaio de absorção de água a partir do topo, nos blocos BAv, observando o 1º ciclo completo. A calendarização de todo o ensaio de envelhecimento artificial acelerado nos blocos BAv encontra-se no Anexo E, que corresponde a um total de 8 ciclos, molhagem/secagem, durante um período de mais de 6 meses. Este ensaio de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem teve início no dia 11 de julho de 2012 e os respetivos valores de temperatura e humidade relativa ocorridos, podem ser observados na Figura C.4 do Anexo C.

As variações de temperatura e humidade relativa ocorridas na nave de ensaios, durante toda a realização das aplicações e ensaios do sistema bloco-argamassa de reparação, com início no dia 12 março de 2012, podem ser observadas no Anexo C.

	Ensaio de absorção de água por ascensão capilar (AAC)																				Ensaio de absorção de água a partir do topo (APT)																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
BAV ₁	AACi				AACf	Si													Sf	APTi						APTf	Si													Sf	APTi		APTf			
BAV ₂	AACi				AACf	Si													Sf	APTi							APTf	Si												Sf	APTi		APTf			
BAV ₃	AACi				AACf	Si													Sf	APTi									APTf	Si											Sf	APTi		APTf		
BAV ₄	AACi				AACf	Si													Sf	APTi										APTf	Si									Sf	APTi		APTf			
BAV ₅	AACi				AACf	Si													Sf	APTi										APTf	Si									Sf	APTi		APTf			
BAV ₆	AACi				AACf	Si													Sf	APTi											APTf	Si									Sf	APTi		APTf		
BAV ₇	AACi				AACf	Si													Sf	APTi											APTf	Si									Sf	APTi		APTf		
BAV ₈	AACi				AACf	Si													Sf	APTi											APTf	Si									Sf	APTi		APTf		
BAV ₉	AACi				AACf	Si													Sf	APTi											APTf	Si									Sf	APTi		APTf		
BAV ₁₀	AACi				AACf	Si													Sf	APTi											APTf	Si									Sf	APTi		APTf		

AACi Início ciclo de 5 dias, absorção de água por ascensão capilar
AACf Fim ciclo de 5 dias, absorção de água por ascensão capilar
Si Início do ciclo de secagem (15 dias)
Sf Fim ciclo de secagem (15 dias)
APTi Início ciclo, absorção de água a partir do topo
APTf Fim ciclo, absorção de água a partir do topo

Figura 7.27. Calendarização do ensaio de envelhecimento artificial acelerado

O ensaio de absorção de água a partir do topo decorreu durante um período de aproximadamente 6 meses, perfazendo um total de 7 ciclos. Cada ciclo compreendeu:

- (i) um período em molhagem - a água foi colocada no cilindro de vidro a fim de penetrar, com a ajuda da ação da gravidade, no bloco; este período dependeu do tipo de taipa, tendo cada um dos blocos absorvido diferentes quantidades de água; este período finalizava quando a água aparecia na base do bloco, conforme se visualiza na Figura 7.28;
- (ii) 15 dias em secagem - duração inicialmente escolhida para o ensaio de absorção de água por ascensão capilar por aparentar que a argamassa já se encontrava seca e mantida para o ensaio de absorção de água a partir do topo.



Figura 7.28. Finalização do ciclo de molhagem após o aparecimento de água pela base pelo método de absorção de água a partir do topo

Será de realçar que a dimensão dos poros e a gravidade originará consequências distintas nos dois métodos de ensaio utilizados. No ensaio de absorção de água por ascensão capilar quanto mais finos forem os poros maior será a ascensão capilar e o ensaio de absorção de água a partir do topo, devido à gravidade a pressão da água será superior quando comparando com o 1º método e poderá ainda referir-se que contrariamente ao ensaio por ascensão capilar uma microestrutura com poros maiores terá uma maior absorção.

7.5.2. Resultados do ensaio de envelhecimento artificial acelerado

As principais anomalias verificadas nas argamassas após envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem foram: fissuração, destacamento da argamassa, aparecimento de bolores e eflorescências, tal como a seguir se descreve. Também se constataram diferenças ao nível da cinética de absorção capilar, com consequências na qualidade total de água absorvida por cada tipo de taipa.

De facto, nos suportes com maior percentagem de argila (BPD e BVC) não foi possível a saturação de todo o bloco, por nenhum dos métodos (absorção de água por ascensão capilar e absorção de água a partir do topo). A certa altura atingiu-se uma condição de equilíbrio hidrostático, ou seja a quantidade de água que entrava por absorção igualava a quantidade de água que saía por evaporação. Esta situação não aconteceu nos blocos BAv, cujo material é mais arenoso.

Absorção capilar

Na fase de absorção por ascensão capilar a partir da base dos blocos verificou-se que a velocidade com que a franja capilar progrediu através dos blocos:

- (i) foi mais rápida nas argamassas estabilizadas do que na taipa circundante (Figura 7.29);
- (ii) foi mais lenta para as argamassas não-estabilizadas, quando comparada com as argamassas estabilizadas (Figura 7.30).

Esta constatação apresenta resultados consistentes com os ensaios de absorção capilar efetuados nas argamassas, onde se verifica que o ponto de inflexão entre os dois segmentos - momento que traduz a franja capilar a atingir a superfície do provete (secção 2.5.3.1) - na curva da absorção (ver Figuras 6.23 e 6.24), acontece primeiro para as argamassas estabilizadas; com efeito a utilização de estabilizantes aumentou significativamente o coeficiente de capilaridade e a quantidade total de água absorvida (Figuras 6.25 e 6.26). As argamassas de terra estabilizadas apresentam maior porosidade capilar, como explicado na secção 6.5.4.2. Resultados idênticos foram obtidos em estudos anteriores com o ligante cimento Portland (Hall e Allinson 2009b).



Figura 7.29. Método de absorção de água por ascensão capilar, ao fim de 12 h em absorção capilar: à esquerda, BAv com argamassa ATP_CN; ao centro, BPD com a argamassa ATP_CP; à direita, BVC com a argamassa ATP_CH

Observaram-se ainda diferenças entre as argamassas não-estabilizadas AAv, APD e AVC, conforme se visualiza na Figura 7.30:

- (i) o conjunto BAv-AAv apresentam uma ascensão capilar muito mais rápida;
- (ii) o conjunto constituído pelo BPD-APD e pelo BVC-AVC apresentam uma ascensão capilar muito mais lenta;
- (iii) a diferença observada nos pontos anteriores deve-se à presença de argilas mais expansivas (Tabela 4.1) e maior quantidade de argila (secção 5.2.1) nas terras de PD e VC, empregues para a realização dos blocos BPD e BVC e das argamassas respetivas, APD e AVC.

Os resultados obtidos são corroborados, por exemplo, pelo trabalho experimental de Forster *et al.* (2008) que refere que solos ricos em argila normalmente apresentam características de drenagem muito fracas, ao contrário de solos mais arenosos.



Figura 7.30. Método de absorção de água por ascensão capilar, ao fim de 12h em absorção capilar: à esquerda, BAv com argamassa AAv; ao centro, BPD com a argamassa APD; à direita, BVC com a argamassa AVC

Fissuração

Uma argamassa no estado fresco tenderá a retrair à medida que se dá a evaporação da água que nela está contida. A retração é limitada pela aderência da argamassa ao substrato, o que conduz ao desenvolvimento de tensões de tração, que conduzirão a fissuração. Esta retração irá também dar origem a tensões de corte no plano de contacto entre a argamassa e o suporte, que podem conduzir ao descolamento. Se a argamassa for demasiado rígida e não conseguir suportar o movimento de um suporte mais flexível, estes materiais - argamassa e suporte - tornam-se incompatíveis. A fissuração também aumenta o risco de destacamento da argamassa devido à ulterior penetração de água.

Após o ensaio de envelhecimento acelerado pelo método de absorção de água por ascensão capilar verificou-se que existe uma clara diferença para a mesma argamassa quando aplicada no bloco BAv (blocos menos argilosos) ou quando aplicada nos blocos BPD e BVC (blocos mais argilosos).

Nas argamassas aplicadas nos blocos BAv não se verificou alteração da fissuração já existente (antes do ensaio de envelhecimento). Contudo, nas mesmas argamassas mas aplicadas nos blocos BPD e BVC verificou-se um

aumento na largura da fissuração existente; esta ocorrência verificou-se em todas as argamassas mas foi mais acentuada nas argamassas estabilizadas (Figuras 7.31. 7.32 e 7.33).



Figura 7.31. Bloco BPD ao fim de 120h em absorção capilar com a reparação da argamassa ATP_CA15_fib: à esquerda e ao centro, o pormenor de fissuras horizontais na zona da taipa e na zona da argamassa superficial e fissuras na delimitação entre a argamassa e o bloco; à direita, fissuras horizontais na taipa e na argamassa, com possível destacamento na zona inferior



Figura 7.32. Bloco BVC com a argamassa ATP_CH15 após terminado o método de absorção de água por ascensão capilar; fissuras nas argamassas e na taipa

As fissuras surgiram também no suporte, na interface entre as camadas de compactação; estas fissuras levaram também à fissuração da argamassa, conforme se pode visualizar na Figura 7.33, ao centro e à direita.



Figura 7.33. Bloco BPD após terminada a fase de absorção de água por ascensão capilar: à esquerda, destacamento da argamassa APD; ao centro, fissuras horizontais na taipa na interface entre as camadas de compactação que se propagam pela interface com a argamassa de reparação ATP; à direita, fissuras horizontais na interface entre as camadas de compactação da taipa que se propagam pela zona da reparação da anomalia superficial com a argamassa APD

Destacamento da argamassa

No decorrer da fase de absorção de água por ascensão capilar, verificou-se a queda por falta de aderência de duas das três argamassas ATP_CN15 aplicadas no bloco BAv, conforme se visualiza na Figura 7.34. Mas é de realçar que estas argamassas já se encontravam com falta de aderência mesmo antes de se iniciar o ensaio de envelhecimento acelerado.



Figura 7.34. Bloco BAv com a aplicação da argamassa ATP_CN15: à esquerda, 12 h após o início da fase de absorção por ascensão capilar; à direita, 24 h após o início desta fase

Nos blocos BPD e BVC ocorreram destacamentos nas argamassas estabilizadas após a fase de absorção de água por ascensão capilar. A forte fissuração destas argamassas (aplicadas nos blocos mais argilosos) deveram-se ao facto de estas não acompanharem a variação dimensional dos blocos, provocando tensões de tração, levando à fissuração e, conseqüentemente, originando tensões de corte no plano de contacto entre a argamassa e o bloco, provocando o destacamento das argamassas (Figuras 7.35 e 7.36).



Figura 7.35. Bloco BPD com a aplicação da argamassa ATP_CN15 após terminada a fase de absorção de água por ascensão capilar, verificando-se fissuração acentuada e destacamento da argamassa



Figura 7.36. Bloco BVC com a reparação da argamassa ATP_CA15_Fib após terminada a fase de absorção de água por ascensão capilar, verificando-se destacamento da argamassa na zona inferior

Aparecimento de bolores e eflorescências

Foi nos blocos BAv e nas argamassas neles aplicadas que os fungos e bolores se manifestaram em grande quantidade (Figuras 7.37, 7.38 e 7.39). Esta ocorrência deve-se provavelmente ao facto de terem sido realizados de 8 ciclos de molhagem/secagem nesta família de blocos, com uma duração de mais de 6 meses, enquanto nos outros dois tipos de blocos (BPD e BVC) nunca foi possível completar um ciclo de molhagem/secagem, quer para o ensaio de absorção de água por ascensão capilar, quer para o ensaio de absorção de água a partir do topo. Neste último ensaio e durante quase 6 meses, apenas a zona superior dos blocos se manteve húmida; como já referido este facto deveu-se possivelmente à baixa absorção destas duas taipas, não sendo sequer atingida a saturação total dos blocos.

De uma forma geral, a presença de fungos foi detetada em todas as argamassas (com e sem fibras) nos blocos BAv. Porém, foi nas argamassas estabilizadas com cal aérea e com a adição de fibras - únicas argamassas com a adição de fibras - que os bolores/fungos foram mais evidentes.

Na secção 6.5.3 verificou-se que as fibras potenciaram o desenvolvimento de bolores/fungos, em todos os tipos de argamassa à exceção das argamassas estabilizadas com cal aérea. Foi por este motivo que, com fibras, apenas a argamassa estabilizada com cal foi a escolhida para aplicação nos blocos. Todavia, constata-se assim que, mesmo em argamassas que incluem um ligante alcalino com propriedades fungicidas, como é o caso da cal

aérea, as fibras naturais potenciam o desenvolvimento de bolores/fungos. Isto significa que são desaconselhadas quando houver condições propícias à proliferação de bolores, como o caso de locais com pouca ventilação ou humidade elevada - condições a que foram submetidos os conjuntos blocos-argamassas de reparação.

Foi ainda verificado que os próprios blocos apresentavam também, embora em menor quantidade do que a argamassa, a presença de fungos/bolores. Provavelmente os esporos presentes na atmosfera e/ou possivelmente oriundos das argamassas já contaminadas são os responsáveis pelo aparecimento de fungos no suporte. O suporte, ao receber os nutrientes e uma vez húmido, passou a apresentar condições para os fungos proliferarem.



Figura 7.37. Bloco BAv com a aplicação da argamassa ATP_CA15_Fib pelo método de absorção de água a partir do topo: à esquerda, antes de iniciar o 1º ciclo com algum aparecimento de sais; ao centro, após a finalização do 8º ciclo com extensa visualização de bolores e fungos; à direita, pormenor da superfície do bloco

Röhlen (2012) realizou vários ensaios experimentais em argamassas de terra com e sem fibras naturais e fez variar as condições de cura, alterando a temperatura e humidade relativa. Verificou que nas suas argamassas de terra (sem a adição de fibras) os fungos também ocorriam quando o ambiente tinha uma humidade relativa elevada.

Os fatores principais para o crescimento de fungos/bolores são: a humidade, o calor e o teor de nutrientes presentes no substrato (ver secção 6.5.3). Estes fatores podem interferir uns com os outros; contudo, um fator poderá parcialmente ou completamente anular um outro, ou seja, um material com um elevado teor nutricional (elevada percentagem de fibras) dificilmente é propício ao aparecimento de fungos se estiver completamente seco (e condicionado em ambiente seco).

Assim, por forma a evitar a proliferação de fungos/bolores é necessário garantir uma secagem adequada da argamassa no seu estado fresco - promovendo a ventilação e garantindo níveis de humidade relativa baixos - e no estado endurecido devem ser criadas adequadas condições de ventilação, de modo a não ocorrerem condições prolongadas de elevada humidade relativa.

Após 60 dias do término dos ensaios de envelhecimento verificou-se que, de uma maneira geral, já não era visível a presença de bolores, à exceção das argamassas cuja composição inclui fibras, conforme se visualiza na Figura 7.38. Note-se que nos BPD e BVC o bolor apenas se concentra na parte superior do bloco, uma vez que foi apenas esta zona que se manteve húmida (quase 6 meses) durante a fase de absorção de água a partir do

topo. Durante a fase de absorção por ascensão capilar a partir da base não se verificou este tipo de ocorrência, uma vez que o ensaio apenas decorreu durante 5 dias.



Figura 7.38. Fungos/bolores na argamassa ATP_CA_Fib, 60 dias após ter terminada a fase de absorção de água a partir do topo: à esquerda, BAv; ao centro, BPD; à direita, BVC

Após o término da fase de absorção de água a partir do topo e em especial nos blocos BAv verificou-se a ocorrência de eflorescências, conforme se visualiza na Figura 7.39, facto este que se deveu provavelmente ao maior número de ciclos de envelhecimento de molhagem/secagem realizados nestes blocos. Contudo, também se verificaram eflorescências nos blocos BPD e BVC, conforme se visualiza na Figura 7.40 e Figura 7.41, respetivamente.



Figura 7.39. Bloco BAv com a aplicação da argamassa ATP_CP15 pelo método de absorção de água a partir do topo: à esquerda, antes de iniciar o 1º ciclo com algum aparecimento de eflorescências; à direita, após a finalização do 8º ciclo, com extensa visualização de eflorescências

Os sais solúveis não são convenientes nas construções (de terra ou outras). Os efeitos destruidores destes sais estão relacionados com os ciclos de secagem/molhagem. O seu movimento é devido ao fluxo de humidade no interior da parede, que tende a transportá-los no seu estado dissolvido em direção à superfície - dependendo da capacidade de secagem - onde se acumulam (Faria 2005). Os sais cristalizam e dissolvem-se ciclicamente nos poros, criando tensões que acabam por destruir a zona onde estão concentrados, pelas forças expansivas provenientes do crescimento dos cristais (Charola 2000). O processo cíclico de cristalização e dissolução pode

causar uma fragmentação extensa na zona contaminada, provocando a erosão da superfície ou dessolidarização da argamassa caso a cristalização ocorra no interior.

Não existindo contaminação externa (por sais) neste ensaio de envelhecimento, conclui-se que as eflorescências têm origem nos próprios materiais utilizados. Uma vez que se verificaram eflorescências em todos os blocos, esta causa não poderá ser atribuída aos ligantes como as cals ou os cimentos, mas sim à própria terra ou areia utilizada, que possivelmente poderia estar contaminada.



Figura 7.40. Bloco BPD com a aplicação da argamassa ATP, fase de absorção de água a partir do topo: à esquerda, antes de iniciar o 1º ciclo, já com algum aparecimento de eflorescências; à direita, 60 dias após ter terminada a fase, com maior incidência de eflorescências em especial na taipa



Figura 7.41. Bloco BVC com a aplicação da argamassa ATP_CH15, fase de absorção de água a partir do topo: à esquerda, antes de iniciar o 1º ciclo com fraco aparecimento de eflorescências; à direita, 60 dias após terminada a fase, com maior incidência de eflorescências em especial na taipa e na zona superior

Avaliação do ensaio

No decurso do ensaio de envelhecimento acelerado foram sendo tomadas opções relativamente à metodologia de ensaio. Esta circunstância deveu-se ao facto de ter sido necessário estabelecer um novo procedimento, devido à inexistência de dados bibliográficos sobre ensaios de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de

molhagem/secagem para o tipo de materiais em estudo. Após realizada a fase de absorção de água por ascensão capilar, que simula a ascensão a partir do terreno neste tipo de edifícios, verificou-se que este método se apresentava excessivamente agressivo para a base do bloco. Por forma a minimizar a agressividade do ensaio, que conduzia a uma degradação acentuada na base dos blocos, considera-se que o contraplacado marítimo no qual assenta o bloco de taipa deveria estar perfurado de maneira a que a água pudesse penetrar pela base do bloco através de uma maior área, permitindo reduzir o tempo de embebição. Esta opção tornou-se impraticável de executar quando foi detetada a sua necessidade, dada a dimensão dos blocos e o seu peso próprio, sendo também inviável retirar a base de contraplacado marítimo para a perfurar. No futuro, pode explorar-se também esta alternativa, realizando a perfuração antes de serem manufacturados os blocos. O contraplacado marítimo perfurado deveria ser assente numa estrutura móvel e que facilitasse o transporte (por exemplo metálica), também esta perfurada para que a água pudesse circular livremente.

Também é recomendável explorar melhoramentos ao método de absorção de água a partir do topo, aumentando a área de infiltração da água, por forma a acelerar a humedificação do suporte.

Os dois métodos de embebição utilizados, absorção de água por ascensão capilar e absorção de água a partir do topo, têm suporte na realidade, na medida em que poderão simular respetivamente a ascensão capilar a partir do terreno e a infiltração por exemplo de água da chuva pelo topo de uma parede, a partir de deficiência na cobertura.

7.6. SÚMULA

Este capítulo teve como principal objetivo a avaliação das argamassas de reparação após aplicadas nos defeitos-padrão, superficiais e profundos.

O principal objetivo numa argamassa de reparação é que esta seja compatível com o suporte, garantindo a integridade a longo prazo da ligação ao substrato, e não contribuindo para a degradação deste. Contudo, é também importante que a argamassa seja durável e tenha um bom desempenho. Após aplicadas as diferentes argamassas de reparação nos suportes de taipa não estabilizada, verificou-se que:

- (i) a utilização de material idêntico ao do suporte na composição das argamassas de reparação é muito vantajosa; as argamassas de terra idêntica à do suporte apresentaram de forma geral pouca fissuração, sem destacamentos do substrato; este facto poderá dever-se às suas características físicas serem mais próximas das do substrato;
- (ii) o sucesso de uma aplicação de argamassa de reparação é fortemente influenciado pelo suporte onde esta é aplicada; a utilização de ligantes minerais como estabilizantes nas argamassas de reparação, mesmo em pequena quantidade, não se revelou benéfica, uma vez que sistematicamente levaram a um pior comportamento em termos de fissuração ou mesmo do destacamento das argamassas, independentemente do tipo de ligante utilizado; assim na prática, para paredes de taipa não estabilizada será mais apropriada a utilização de argamassas de terra não estabilizada quimicamente, de preferência com base em terra semelhante à do substrato;

- (iii) a incorporação das fibras de cânhamo nas argamassas diminuiu substancialmente o tamanho e/ou a intensidade da fissuração; contudo, esta solução acabou por potenciar o desenvolvimento de bolores/fungos; assim, não se considera recomendável a utilização das fibras de cânhamo, em particular caso o ambiente onde a argamassa esteja aplicada apresente uma humidade relativa elevada e não exista uma adequada ventilação - principalmente na fase de secagem da humidade de construção (Henriques 1994);
- (iv) o ensaio de Alcock não consegue prever corretamente a retração de uma argamassa quando aplicada num suporte; os resultados observados pelo ensaio não traduzem a retração observada visualmente após aplicação das argamassas no suporte; de facto o ensaio apenas tem em linha de conta a avaliação da retração da própria argamassa, tendo-se verificado que a mesma argamassa apresenta um comportamento distinto quando aplicada em diferentes tipos de suporte;
- (v) a incorporação de cascalho no defeito-padrão profundo não se verificou vantajosa para a diminuição do aparecimento de anomalias; contudo, diminui a espessura de argamassa que é necessário utilizar e torna o processo mais célere dado que são necessárias menos camadas de argamassa, facilitando a aplicação;
- (vi) taipas com maiores percentagens de argila apresentam maior tendência para a fissuração de argamassas estabilizadas com baixas percentagem de ligantes; as partículas de argila apresentam maior absorção de água do que as partículas de areia; a água presente na argamassa fresca é assim mais facilmente absorvida pela argila presente no suporte, o que acelera o processo de secagem da argamassa e contribui para o aumento da fissuração desta;
- (vii) taipas com menores percentagens de argila apresentam, de uma forma geral, maior tendência para o destacamento de argamassas estabilizadas; este facto provavelmente deve-se à menor aderência proporcionada por este tipo de taipa, que é mais arenosa.

As argamassas de reparação aplicadas nos blocos de taipa foram caracterizadas aos 90 dias de idade pelos ensaios de determinação da dureza superficial e velocidade de propagação de ultrassons. Pode-se concluir que:

- (i) na determinação da dureza superficial:
 - a dureza é influenciada pela rugosidade e/ou acabamento da superfície do material; verificando-se que este tipo de ensaio é mais fiável em acabamentos lisos; não obstante, foi possível obter resultados com dispersão aceitável;
 - verifica-se que não existe nenhuma correlação entre o tipo de suporte e a dureza da argamassa, ou seja, suportes mais ou menos arenosos ou argilosos não indicam que as argamassas aplicadas obtenham valores de dureza mais ou menos elevados;
 - não existe qualquer correlação entre os valores obtidos nas argamassas para o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão ou à tração por flexão;
- (ii) na velocidade de propagação por ultrassons:
 - não foi identificada nenhuma relação entre as baixas velocidades de transmissão e fissuras e/ou destacamentos nas argamassas - argamassas que não apresentam qualquer tipo de anomalia a nível macroscópico apresentam simultaneamente altas e baixas velocidades de propagação das ondas; assim, é

questionável a utilização da velocidade de propagação por ultrassons, quer pelo método indireto, quer pelo direto, para a análise de eventuais fissuras ou destacamentos neste tipo de argamassas;

- de um modo geral, pelo método de transmissão indireta, verificou-se que as mesmas argamassas apresentam uma proximidade nos valores para a velocidade de propagação por ultrassons e, consequentemente, módulo de elasticidade dinâmico, quando aplicadas em blocos distintos;

- os valores obtidos para o módulo de elasticidade pelo método de transmissão indireta são idênticos aos valores obtidos pela medição da frequência de ressonância fundamental, sendo possível concluir que a onda atravessou apenas a argamassa e não o suporte.

Não existindo estudos ou normas de ensaio sobre a avaliação de argamassas de reparação com base em terra aplicadas no suporte através de ensaios de envelhecimento artificial acelerado, foi necessário desenvolver uma metodologia de ensaio específica, por ciclos de molhagem/secagem. A molhagem foi numa primeira fase realizada por absorção de água por capilaridade a partir da base dos blocos de taipa, o que se verificou bastante agressivo para essa zona dos blocos, levando a uma erosão bastante acentuada. Para ultrapassar este problema, numa segunda fase, a molhagem foi efetuada por absorção de água a partir do topo dos blocos de taipa.

Nos suportes com maior percentagem de argila não foi possível a saturação da totalidade do bloco, por qualquer dos métodos, uma vez que se atingiu um equilíbrio hidrostático, em que a quantidade de água que entrava por absorção igualava a quantidade de água que saía por evaporação. Este facto não se verificou nos blocos BAv, em que a taipa é mais arenosa.

Após a realização do ensaio de envelhecimento artificial acelerado por ciclos de molhagem/secagem, verificou-se que:

- (i) a velocidade da franja capilar foi mais rápida nas argamassas estabilizadas do que na taipa circundante; a utilização de estabilizantes aumenta significativamente a absorção capilar e a quantidade de água absorvida, facto este que se deve a uma maior porosidade capilar;
- (ii) a velocidade da franja capilar foi mais lenta para as argamassas não estabilizadas, quando comparada com as argamassas estabilizadas; nas argamassas não estabilizadas, as argamassas AAv que são mais arenosas apresentam uma ascensão capilar muito mais rápida do que as argamassas mais argilosas;
- (iii) os resultados observados são consistentes com os ensaios de absorção capilar efetuados nas argamassas, onde a absorção de água por capilaridade acontece mais depressa nas argamassas estabilizadas do que nas argamassas não estabilizadas;
- (iv) não houve alterações da fissuração nas argamassas aplicadas nos blocos mais arenosos; contudo, nas mesmas argamassas mas aplicadas nos blocos mais argilosos observou-se um aumento na largura da fissuração existente; esta ocorrência verificou-se em todas as argamassas mas foi mais acentuada nas argamassas estabilizadas;
- (v) as fissuras que surgiram no suporte de taipa e que ocorreram na interface entre as camadas de compactação (aquando a construção dos blocos) levaram à fissuração das argamassas;

- (vi) os destacamentos observados nas argamassas estabilizadas aplicadas nos blocos mais argilosos deveram-se ao facto destas argamassas não acompanharem a variação dimensional dos blocos, provocando tensões de tração, levando à fissuração e, conseqüentemente, originando tensões de corte no plano de contacto entre a argamassa e o bloco, provocando o destacamento das argamassas;
- (vii) embora se observe a presença de fungos e eflorescências em todas as argamassas, foi nos blocos mais arenosos (BAv) e nas argamassas neles aplicadas que se manifestaram em maior quantidade; este facto deve-se provavelmente à realização de muitos mais ciclos de molhagem/secagem nestes blocos, ao longo de mais de 6 meses, enquanto nos restantes blocos nunca foi completado um único ciclo;
- (viii) foi nas argamassas estabilizadas com o ligante cal aérea e com a adição de fibras - únicas argamassas com a adição de fibras - que os bolores/fungos foram mais evidentes; constata-se assim que, mesmo em argamassas que apresentam um ligante alcalino com propriedades fungicidas, como é o caso da cal aérea, as fibras naturais potenciam o desenvolvimento de bolores/fungos; assim sendo, é desaconselhada a utilização de fibras quando houver condições propícias à proliferação de bolores, como o caso de pouca ventilação ou humidade elevada;
- (ix) mesmo em argamassas sem a adição de fibras, acabaram por ocorrer fungos/bolores em argamassas continuamente sujeitas à ação da água (no presente trabalho durante mais de 6 meses); os esporos presentes na atmosfera são os responsáveis pelo aparecimento de fungos, e estes, ao receberem os nutrientes presentes nas poeiras, podem repousar numa argamassa no estado fresco; existindo condições, acabam por proliferar;
- (x) não existindo contaminação externa (por sais) neste ensaio de envelhecimento, considera-se que a existência de eflorescências tem origem nos próprios materiais utilizados; dado que se verificaram eflorescências em todos os blocos, esta causa não poderá ser atribuída aos ligantes como as cals ou os cimentos, mas sim à própria terra ou areia utilizada; devido ao forte contacto com água e franco transporte de humidade nos blocos e argamassas de reparação, é possível que esta contaminação não fosse elevada.

Em jeito de conclusão, verifica-se que:

- (i) a mesma argamassa de terra apresenta características e comportamentos muito distintos quando aplicada em diferentes suportes; assim, é recomendável que, para avaliar a adequabilidade de uma argamassa de reparação a um suporte, esta seja avaliada após aplicação numa superfície representativa (painel de teste);
- (ii) podem ser adicionados às argamassas agregados ou fibras a fim de reduzir a retração; contudo, em relação às fibras naturais como as fibras de cânhamo aqui ensaiadas é necessário ter cuidados acrescidos, nomeadamente promovendo a ventilação e garantindo níveis de humidade relativa baixos; ou por seu lado, não as utilizando em situações em que tal controlo não seja possível;
- (iii) é aceitável o aparecimento de fissuras, desde que a camada não constitua acabamento final; deverá ser assegurada a completa retração da argamassa de reparação antes da aplicação de nova camada e principalmente do reboco final.

8

CONCLUSÕES

Neste capítulo apresentam-se as considerações finais sobre a investigação efetuada e também algumas sugestões para trabalhos futuros.

8.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A durabilidade da terra quando utilizada como material de construção deve ser assegurada para que esta ganhe aceitação para construções contemporâneas e seja reconhecida como eficiente nas construções existentes. No entanto, esta é também uma das áreas da construção à qual estão associadas maiores lacunas no conhecimento. De maneira a poder dar um contributo específico na área das argamassas de reparação, tão pouco abordadas e estudadas, foi elaborado o presente trabalho. É importante asseverar não só a durabilidade das argamassas de reparação, para perspetivar intervenções com maior ciclo de vida, mas também a sua compatibilidade com o suporte, uma vez que a primeira premissa não pode colocar em causa a segunda.

Neste trabalho começou por se caracterizar os materiais utilizados nas paredes de taipa, em seis estudos de caso selecionados de entre os cerca de trinta edifícios inspecionados na região do Alentejo. A terra recolhida das paredes de três dos edifícios de taipa selecionados serviu de base para a construção de blocos de taipa. Nestes foram executados dois tipos de defeito-padrão - superficial e profundo -, com o objetivo de reparar estes defeitos com as respetivas argamassas de reparação a desenvolver e avaliar o seu comportamento.

Foram avaliadas 29 argamassas de reparação, efetuadas com terra recolhida das paredes dos três estudos de caso selecionados, que apresentam como aglutinante unicamente a argila, e com uma terra comercial (designada por terra-padrão) em que, para além da argila, foram adicionados estabilizantes como a cal aérea hidratada, a cal hidráulica natural, o cimento Portland e o cimento natural, e ainda fibras vegetais (cânhamo).

Realizaram-se ensaios de caracterização das argamassas de terra no estado fresco e estas foram ainda caracterizadas no estado endurecido.

As argamassas de reparação foram depois aplicadas nos blocos de taipa e avaliadas as anomalias a curto e a médio prazo. Houve ainda a necessidade de avaliar o comportamento a longo prazo da argamassa aplicada no suporte face à ação da água, através de um ensaio de envelhecimento artificial acelerado com ciclos de molhagem/secagem, especificamente desenvolvido para este estudo.

Ao longo do trabalho procurou-se cumprir os objetivos fundamentais, definidos no primeiro capítulo, tendo sido realizado o trabalho e extraídas as conclusões que a seguir se resumem.

Taipa

Após a caracterização do material dos seis edifícios de taipa selecionados, a análise dos resultados experimentais obtidos e a sua comparação com as recomendações encontradas nos documentos de referência sobre construção de terra, permitiu constatar que:

- (i) não se identificaram materiais argilosos com características expansivas, tal como é recomendado na construção com terra; os minerais com maior abundância são quartzo, feldspato, mica, clorite e caulinite;
- (ii) a granulometria encontra-se, em geral, dentro dos limites, superior e inferior, considerados na literatura especializada; o mesmo não acontece com o tamanho máximo de partículas, sendo que cinco dos seis materiais de taipa analisados excedem o tamanho máximo recomendado para o agregado, tendo por base as recomendações constantes em cinco dos sete documentos considerados (os restantes dois documentos não apresentam restrições quantitativas, não aplicando limites precisos);

- (iii) quatro dos seis materiais analisados apresentam valores aceitáveis quanto aos limites estabelecidos para a plasticidade; no entanto, verificou-se que solos não plásticos foram utilizados com aparente sucesso em dois estudos de caso, apesar de este tipo de solo ser correntemente considerado na bibliografia como inadequado para construção de taipa;
- (iv) dois estudos de caso revelam valores muito baixos no que diz respeito à compactabilidade, sendo excluídos de acordo com todas as recomendações;
- (v) a retração linear nos seis materiais estudados é baixa, registrando-se valores abaixo do recomendado na bibliografia;
- (vi) quatro dos seis materiais excedem claramente os limites definidos na literatura para o teor de matéria orgânica, indiciando que não foi efetuada uma seleção cuidadosa do solo; contudo, os edifícios não parecem degradados devido a essa circunstância específica; é interessante notar a extrema variabilidade dos requisitos e métodos de ensaio para esta propriedade na literatura especializada;
- (vii) o teor de sal parece ser significativo apenas para o material utilizado num dos edifícios - o urbano (em Arraiolos); os requisitos encontrados nos vários documentos demonstram-se demasiado generalistas.

Conclui-se que é importante validar os requisitos a nível regional e, eventualmente, ajustá-los às especificidades de materiais locais utilizados com sucesso para a técnica construtiva da taipa, redefinindo os valores-limite para as propriedades chave de solos a utilizar na taipa. Verificou-se que a tentativa de generalização de gamas estreitas de valores se pode traduzir em regras redutoras. Os materiais locais permitiram obter construções viáveis, apesar de muitas vezes não se enquadrarem totalmente nestes requisitos generalistas.

As especificidades dos solos locais devem ser tidas em conta também porque estes são os mais apropriados à sustentabilidade da construção, sendo esta um dos principais fatores que justifica o futuro das construções com terra.

Argamassas de reparação

A quantidade de água utilizada na amassadura de uma argamassa influencia as suas características físicas de forma direta e também de forma indireta, através dos efeitos na trabalhabilidade e, conseqüentemente, no sucesso da aplicação.

Em relação à influência do teor em água na trabalhabilidade das argamassas de terra, pôde concluir-se que:

- (i) a trabalhabilidade de uma argamassa é fortemente influenciada pela relação água/material seco; para cada uma das argamassas ensaiadas existe um valor ótimo para esta relação;
- (ii) apenas o resultado do ensaio de consistência por espalhamento apresenta uma boa correlação com a trabalhabilidade avaliada por operadores; no caso dos ensaios da consistência por penetrómetro e do cone de Marsh a correlação com a trabalhabilidade demonstrou ser baixa;
- (iii) a gama de valores de referência de espalhamento das argamassas de terra, correspondentes à classificação de “boa” ou “excelente” trabalhabilidade, encontra-se entre os 152 mm e os 177 mm; valores entre 160 - 176 mm correspondem a uma trabalhabilidade “excelente”;

- (iv) a retração não interfere com a trabalhabilidade mas condiciona a viabilidade de uma argamassa ser aplicada e ficar aderente; de acordo com a bibliografia, argamassas com retrações lineares elevadas devem ser rejeitadas; verificou-se que quanto maior a relação mássica água/material seco, maior será a retração volumétrica, sendo que os valores da retração linear se apresentam aproximadamente constantes em todas as argamassas do mesmo grupo, independentemente do tipo de terra (sem adição); constatou-se ainda que a retração linear e volumétrica é tanto maior quanto maior a percentagem em material argiloso, o que comprova que a presença de argila influencia fortemente a retração;
- (v) a função analítica obtida através do modelo de análise conjunta mostra que a facilidade de manuseamento da própria argamassa é um dos parâmetros com mais impacto na trabalhabilidade; esta função analítica revela um bom ajuste com os dados experimentais obtidos, o que indica que os parâmetros selecionados para traduzir a trabalhabilidade (argamassa, aderência, aperto e regularização) são, provavelmente, de facto os mais relevantes.

Pode concluir-se relativamente à adição de ligantes minerais como estabilizantes que:

- (i) não é identificável qualquer tipo de relação entre a retração linear e volumétrica e a percentagem de estabilizante;
- (ii) o aumento da percentagem de estabilizante aumenta, em regra, a quantidade total de água absorvida por capilaridade e o coeficiente de capilaridade da argamassa; os valores mais elevados ocorrem com a adição do cimento Portland, indiciando um pior comportamento face à capilaridade destas argamassas;
- (iii) elimina a não-linearidade na absorção capilar inicial; com efeito verifica-se que, sem a adição de estabilizante: a curva de capilaridade apresenta um troço convexo nos primeiros minutos; a absorção é baixa devido aos grandes poros do material não-estabilizado; à medida que a argila vai absorvendo água, esta expande e os poros reduzem o seu tamanho, aumentando a absorção capilar; o tamanho dos poros estabiliza quando as partículas absorveram o máximo - característica que depende do tipo de argila e da percentagem presente no material;
- (iv) as argamassas de terra estabilizada apresentam uma relação linear entre a quantidade de água absorvida e a raiz quadrada no tempo, registada desde o início do processo de absorção, facto este que se deve provavelmente ao bloqueio das propriedades expansivas da argila pelo ligante;
- (v) o aumento da percentagem de ligante mineral provoca uma secagem mais lenta nas argamassas; observam-se índices de secagem mais elevados nas argamassas com a adição do cimento Portland, seguida das argamassas com cal aérea;
- (vi) o módulo de elasticidade dinâmico diminui com o aumento do teor de estabilizante para todas as argamassas, com a exceção da com cal aérea com e sem fibras; este resultado apresenta-se diferente do esperado; tal poderá dever-se ao material terra ser incoerente e, portanto, ter uma baixa resistência à tração quando não estabilizado, o que leva a uma baixa deformação na rotura; valores idênticos foram obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico obtido através do ensaio de velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão indireto, mesmo quando estas são aplicadas em suportes distintos;

- (vii) as adições de baixas percentagens não se traduzem na melhoria do comportamento mecânico; não se evidência uma clara relação entre a variação do teor em ligante e a resistência à tração por flexão e à compressão; este facto pode ser explicado pela pequena percentagem adicionada (sendo o máximo de 3% em relação à massa total); contudo, verificou-se também que os ensaios de resistência à tração por flexão e à compressão (cujas metodologias foram originalmente estabelecidas para argamassas à base de ligantes hidráulicos) não conseguem traduzir as características dos materiais de terra em análise, provavelmente devido à sua baixa resistência mecânica, não sendo possível respeitar o tempo de ensaio requerido pela norma, mesmo sem a utilização de pré-carga e com uma célula de carga de menor valor - no caso com valor máximo de 2 kN;
- (viii) não se encontrou uma percentagem ideal de ligante mineral, para a qual se ateste uma boa classificação para todos os ensaios.

Relativamente às argamassas não estabilizadas com ligante mineral:

- (i) considera-se que o módulo de elasticidade apresentou valores mais baixos nas argamassas de terras com maiores percentagens de argila; maior percentagem de argila fornece ao material maior coesão e maior deformabilidade e, conseqüentemente, menor módulo de elasticidade; é de referir que a atividade da argila nas várias argamassas é baixa e apresenta-se bastante idêntica;
- (ii) verifica-se que a argamassa mais arenosa apresenta uma ascensão capilar muito mais rápida do que nas argamassas mais argilosas.

Quanto à adição de fibras nas argamassas, considera-se que:

- (i) diminuem a retração em todas as argamassas, quer a linear, quer a volumétrica, excetuando-se a retração linear nas argamassas estabilizadas com cal hidráulica;
- (ii) não se verificaram alterações significativas do coeficiente de capilaridade;
- (iii) aumentam a quantidade total de água absorvida por capilaridade, ou seja, o valor assintótico da curva de absorção;
- (iv) existe uma tendência geral para a secagem ser mais lenta nas argamassas com fibras, tomando-se ainda mais lenta à medida que se aumenta a percentagem em ligante;
- (v) não se deteta influência no módulo de elasticidade dinâmico;
- (vi) para o mesmo teor de ligante mineral: aumenta a resistência à tração por flexão das argamassas, exceto nas argamassas com a estabilização de cal aérea e na argamassa terra padrão sem estabilização; aumenta a resistência à compressão, exceto na argamassa terra padrão sem estabilização;
- (vii) propicia o aparecimento de fungos:
- ainda na fase de cura e no decurso dos ensaios, em especial os de caracterização hídrica;
 - contudo, existem ligantes minerais que inibem ou dificultam o aparecimento de fungos, como o caso da cal aérea e do cimento Portland, facto este que se deve ao seu elevado nível de alcalinidade;
 - em ambientes permanentemente húmidos, mesmo as argamassas estabilizadas com ligantes minerais alcalinos apresentam níveis elevados de fungos;

- (viii) são desaconselhadas quando houver condições propícias à proliferação de bolores, como o caso de locais com pouca ventilação e humidade elevada.

Taipa vs argamassas de reparação

Em relação à técnica de aplicação da argamassa de reparação conclui-se que é necessário:

- (i) preparar o suporte onde se irá aplicar a argamassa de reparação;
 - o suporte deve apresentar uma superfície áspera e rugosa, que é típica de superfícies de taipa degradadas;
 - escovar a zona a intervir; de forma a remover todas as partículas soltas e poeiras, de maneira a não comprometer a aderência;
 - molhar o suporte previamente à aplicação da argamassa de reparação, a fim de garantir que a humidade presente na argamassa não seja total e rapidamente absorvida pelo próprio suporte;
- (ii) lançar vigorosamente a argamassa contra o suporte ou imprimir uma certa pressão de contacto, para que a argamassa adira ao suporte;
- (iii) propiciar uma secagem de forma gradual; se necessário devem ser criadas condições de redução da velocidade de secagem, nomeadamente a pulverização com água na zona reparada ou a proteção da zona da incidência direta dos raios solares e do vento quente;
- (iv) ter cuidados acrescidos quando se adicionam às argamassas fibras vegetais, como as fibras de cânhamo ensaiadas nesta tese, nomeadamente promovendo a ventilação e garantindo níveis de humidade relativa baixos; ou por seu lado, não as utilizando em situações em que tal controlo não seja possível;
- (v) a utilização de encasque, pela introdução de cascalho grosso em reparações mais profundas e a utilização de camadas finas é aconselhada; as camadas mais finas são mais suscetíveis à microfissuração mas as camadas mais grossas são mais suscetíveis à formação de fendas e estas podem provocar destacamento da argamassa; o encasque torna a aplicação da argamassa mais eficiente, dado que são necessárias menos camadas de argamassa.

Pode ainda referir-se que argamassas de reparação são fortemente influenciadas pelo suporte onde são aplicadas:

- (i) em suportes arenosos, mesmo quando em ambientes húmidos por longos períodos, não se verificam variações dimensionais no seu comportamento; consequentemente não são transmitidas tensões às argamassas;
- (ii) em suportes argilosos, quando sujeitos a ambientes húmidos, verifica-se que existe uma tendência para se observarem destacamentos nas argamassas, facto este que se deve à forte fissuração das argamassas por estas não acompanharem a variação dimensional do suporte; com efeito, desenvolvem-se tensões de tração nas argamassas, levando à fissuração e, consequentemente, originando tensões de corte no plano de contacto entre a argamassa e o suporte, provocando o seu destacamento;
- (iii) as argamassas não estabilizadas com ligante, quando aplicadas em taipa também não estabilizada, apresentam de uma forma geral pouca fissuração, não se verificando destacamentos, facto que poderá dever-se às características físicas encontrarem-se mais próximas das do suporte;

- (iv) as argamassas estabilizadas com ligante, quando aplicadas em taipa não estabilizada, apresentam pior comportamento, verificando-se alguns casos destacamentos, em especial na taipa mais arenosa, o que provavelmente pode dever-se à menor aderência proporcionada por este tipo de taipa;
- (v) é mencionado na literatura que baixas velocidades de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta são sinónimo de possíveis fissuras, descontinuidades entre a argamassa e o suporte; contudo, não foi identificada nenhuma relação entre as baixas velocidades de transmissão e fissuras e/ou destacamentos visualizados nas argamassas.

O principal requisito das argamassas de reparação deverá ser a proteção do material original das paredes, não devendo contribuir para a sua degradação. A durabilidade da argamassa de reparação em si mesmas deve constituir apenas um requisito de segunda ordem. As argamassas devem garantir a integridade a longo prazo da ligação ao substrato, contribuindo para a proteção das paredes de uma forma durável. Assim, como requisitos, considera-se que:

- (i) para maximizar a compatibilidade das argamassas com o suporte:
 - sempre que possível as argamassas devem ser efetuadas com o mesmo tipo de terra utilizado na parede de taipa ou com materiais tão semelhantes a esses quanto possível, para que as propriedades físicas, mecânicas e químicas sejam próximas da parede a reparar;
 - numa taipa não estabilizada não devem ser utilizados estabilizantes (ligantes minerais correntes) nas argamassas;
- (ii) é recomendável avaliar, a título prévio, a adequabilidade de uma argamassa de reparação a um suporte; assim, esta deve ser aplicada e ensaiada numa superfície representativa, avaliando aspetos como a retração e a aderência ao suporte;
- (iii) podem ser adicionados agregados ou fibras às argamassas a fim de reduzir a retração; a estabilização por adição de areias é imprescindível para este mesmo fim, quando se utilizam terras muito argilosas;
- (iv) devem ser utilizados materiais que não contenham impurezas prejudiciais ao substrato e às argamassas e, conseqüentemente, suscetíveis ao desenvolvimento de fungos e sais;
- (v) poderá ser aceitável o aparecimento de fissuras, desde que a camada não constitua acabamento final (caso comum em argamassas de reparação que venham a ser rebocadas); contudo, deverá ser assegurada a completa retração da argamassa antes da aplicação de nova camada para minimizar o risco de continuidade das fendas entre camadas.

Relativamente ao ensaio de retração linear (ensaio de Alcock), que é comumente utilizado para avaliar a retração da terra utilizada como material de construção, algumas observações podem ser mencionadas:

- (i) em relação ao procedimento experimental verificou-se que: quando existem agregados de grandes dimensões, o procedimento não é aplicável, devendo remover-se os agregados de maior dimensão ou ajustar o molde ao tamanho dos agregados; considera-se que a secagem deve ser realizada em condições controladas, de maneira a não comprometer a reprodutibilidade dos resultados experimentais;
- (ii) verificaram-se grandes diferenças nos resultados obtidos para a taipa e para as argamassas: no caso da taipa apenas se verificam alterações significativas no que respeita à retração linear; no caso da argamassa

verificou-se que a retração linear não foi suficiente para indicar a retração real, uma vez que a retração volumétrica apresentava-se muito mais significativa, este ensaio apresenta-se insuficiente se apenas se considerar a retração linear para a avaliação em argamassas; assim constata-se que a retração volumétrica é um parâmetro muito mais sensível do que a retração linear;

- (iii) os resultados observados nas argamassas não conseguem traduzir a retração ocorrida após aplicação das argamassas no suporte; este facto, que está relacionado com o procedimento experimental do ensaio, apenas indica a retração da própria argamassa, não considerando a influência do suporte, o que se observou ser relevante.

Após a análise das conclusões da presente tese verifica-se que os objetivos foram cumpridos. Efetivamente considera-se que foram conseguidos progressos com vista à melhoria das metodologias de reparação de paredes de taipa não estabilizada através da aplicação de argamassas com base em terra. Contudo, também foi conclusivo que mais estudos devem ser realizados para que a durabilidade da terra como material de construção seja assegurada e esta ganhe aceitação por parte de proprietários e promotores, gerando uma nova fase de investimento nesse tipo de construções. Sabe-se à partida que a utilização da matéria-prima **terra** é uma mais-valia no que concerne à utilização dos recursos locais, muitas vezes reutilizável, obtendo-se uma construção sustentável, o que justifica o futuro da construção com terra.

8.2. TRABALHOS FUTUROS

No desenvolvimento deste trabalho surgiram várias ideias que podem constituir sugestões pertinentes para o desenvolvimento futuro desta área de investigação:

- (i) estender a caracterização do material utilizado em paredes de taipa em Portugal, e nomeadamente no Alentejo, a um maior número de casos, de forma a constituir um universo ainda mais alargado, que possa constituir uma base adequada para a criação e balizamento de valores-limite para as propriedades-chave de solos a utilizar na taipa a nível regional ou, se possível, nacional;
- (ii) aplicação “in situ” das argamassas estudadas em situações reais de paredes de taipa com perda de espessura:
 - o que implicará a aplicação das argamassas em camadas sucessivas e conseqüentemente com maior espessura do que o efetuado na reparação laboratorial;
 - estas aplicações validarão a degradação superficial ou profunda (falta de coesão na parede) mas real vs a aplicação laboratorial (superfície mais consistente);
- (iii) avaliação experimental que permita analisar e comparar o desempenho da aplicação manual com uma aplicação efetuada por meios mecânicos de projeção, de forma a eliminar a influência do operador na aplicação de uma argamassa;
- (iv) aprofundar o conhecimento sobre a influência dos ligantes minerais nas propriedades hídricas, nomeadamente verificando em que medida a adição de diferentes percentagens de ligante aumentam a porosidade capilar em argamassas de terra;
- (v) estudar a retração volumétrica de uma forma mais profunda e eventualmente definir valores-limite;

- (vi) definir metodologias de ensaio para a resistência à flexão por tração e compressão, específicas para argamassas de terra;
- (vii) desenvolver um manual de orientação relativo a tecnologias de reparação em suportes de taipa, em parceria com empresas de materiais (em especial terra) e aplicadores.

Referências bibliográficas

- ABNT/CB-18. 2009. Argamassa de Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Caracterização Reológica pelo Método Squeeze-flow. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Dezembro.
- ACI Committee. 2007. Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures. American Concrete Institute, Farmington Hills.
- Adam, E.A. and Agib, R.A. 2001. Compressed Stabilised Earth Block Manufactures in Sudan. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris, France. p.52.
- Alexopoulos, C.J.; Mims, C.W. and Blackwell, M. 1996. Introductory Mycology. 4th edition. New York: John Wiley & Sons.
- Anger, R.; Fontaine, L.; Joffroy, T. and Ruiz, E. 2011. Earthen Construction, an Additional Way to House the Planet. Private Sector & Developme: 18-21.
- Arizzi, A.; Viles, H. and Cultrone, G. 2012. Experimental Testing of the Durability of Lime-based Mortars Used for Rendering Historic Buildings. Construction and Building Materials 28(1): 807-18.
- Ashurst, J. and Ashurst, N. 1995. Pratical Building Conservation: Brick, Terracotta & Earth. Volume 2. Hampshire, England: English Heritage Technical Handbook. Gower technical press. p.350.
- ASTM. 2007. ASTM D2974-07. Standard Test Methods for Moisture, Ash and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils. Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards, West Conshohocken, United States.
- ASTM. 2010. ASTM D2240-05. Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness 1. Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards, West Conshohocken, United States 05 (Reapproved).
- ASTM C270-08a. 2008. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards, West Conshohocken, United States.
- Atzeni, C.; Pia, G.; Sanna, U. and Spanu, N. 2007. Surface Wear Resistance of Chemically or Thermally Stabilized Earth-based Materials. Materials and Structures 41(4): 751-58.
- Avrami, E. and Guillaud, H. 2008. Introduction. In Terra Literature Review - An Overview of Research. In Earthen Architecture Conservation, eds. E. Avrami, H. Guillaud and M. Hardy. Los Angeles, United States. The Getty Conservation Institute: xii-xiii.
- Azeredo, G.; Morel, J.C. and Lamarque, C.H. 2008. Applicability of Rheometers to Characterizing Earth Mortar Behavior. Part I: Experimental Device and Validation. Materials and Structures 41(8): 1465-72.
- Balderrama, A. A. 2001. The Conservation of Earthen Architectures. The Getty Conservation Institute Newsletter 16(1): 4-10.
- Bezerra, A. 2007. Influência das Variáveis de Ensaio nos Resultados de Resistência à Compressão de Concretos: Uma Análise Experimental e Computacional. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. p.151.
- Bleicher, L. and Sasaki, J.M. 2000. Introdução à Difração de Raios X em Cristais. Universidade Federal do Ceará: 1-20.

- Borsoi, G.; Tavares, M.; Veiga, M.R. and Santos-Silva, A. 2012. Microstructural Characterization of Consolidant Products for Historical Renders: An Innovative Nanostructured Lime Dispersion and a More Traditional Ethyl Silicate Limewater Solution. *Microscopy and Microanalysis: the Official Journal of Microscopy Society of America, Microbeam Analysis Society, Microscopical Society of Canada* 18(5): 1181-89.
- Bouabid, H.; Zinedine, K.; Elkortbi, M.; Charif-D'Ouazzane, S. and Fassi-Fehri, O. 1999. Comportement Mécanique non Linéaire du Mortier de Terre Stabilisée. *Revue Marocaine du Génie Civil* (81): 16-19.
- Boussalh, M.; Jlok, M.; Guillaud, H. and Moiset, S. 2004. *Noûs Manuel de Conservation du Patrimoine Architectural en Terre des Vallées Présahariennes du Maroc*. CERKAS-Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO-CRATerre - Centre de Recherché et d'Application.
- Brito, V. 2009. *Influência dos Revestimentos por Pintura na Secagem do Suporte*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. p.215.
- Bruno, P. 2007. *Arquitetura de Terra na Pré-história: Vestígios de Estruturas Habitacionais, do VI ao II Milénio a.C., no Sul de Portugal*. In *Terra em Seminário 2007 - V Seminário de Arquitectura de Terra em Portugal*, Lisboa: Argumentum: 149-52.
- Bruno, P. 2011. *Arquiteturas de Terra nos Espaços Domésticos Pré - Históricos do Sul de Portugal. Sítios, Estruturas, Tecnologias e Materiais*. Tese de Doutoramento, Departamento de História da Universidade de Lisboa. Lisboa. p.289.
- BS 1377:2. 1990. *Soils for Civil Engineering Purposes. Part 2: Classification Tests*. British Standards Institution. London.
- BS 1377:3. 1990. *Soils for Civil Engineering Purposes. Part 3: Chemical and Electro-chemical Tests*. British Standards Institution. London.
- BS 7913. 1998. *The Principles of the Conservation of Historic Buildings*. British Standards Institution. London.
- Budak, M.; Akkurt, S. and Böke, H. 2010. Evaluation of Heat Treated Clay for Potential use in Intervention Mortars. *Applied Clay Science* 49(4): 414-19.
- Bui, Q.B.; Morel, J.C.; Venkatarama-Reddy, B.V. and Ghayad, W. 2009. Durability of Rammed Earth Walls Exposed for 20 Years to Natural Weathering. *Building and Environment* 44(5): 912-19.
- Bulletin 5. 1987. *Bulletin 5: Earth-wall Construction*. National Building Technology Centre. 4th edition. ed. G.F. Middleton. Chatswood, Australia: CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. p.65.
- Cascudo, O. and Carasek, H. 2007. *Controle de Produção de Argamassas Industrializadas em Obra Empregando o Método de Penetração do Cone*. In *2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção*, APFAC, Lisboa, 22-23 novembro. CD-ROM.
- Castro, J.M. 1998. *Estudo Experimental da Secagem do Betão Celular*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. p.127.
- CEN. 1998a. EN 1015-4. *Methods of Test for Mortar for Masonry. Part 4: Determination of Consistence of Fresh Mortar (by Plinger Penetration)*. European Committee for Standardization. Brussels.

- CEN. 1998b. EN 1015-6. Methods of Test for Mortar for Masonry. Part 6: Determination of Bulk Density of Fresh Mortar. European Committee for Standardization. Brussels.
- CEN. 1998c. EN 1015-2. Methods of Test for Mortar for Masonry. Part 2: Bulk Sampling of Mortars and Preparation of Test Mortars Mortar. European Committee for Standardization. Brussels, A1:2008
- CEN. 1999a. EN 1015-3. Methods of Test for Mortar for Masonry. Part 3: Determination of Consistence of Fresh Mortar (by Flow Table). European Committee for Standardization. Brussels, A1:2004\ A2:2006
- CEN. 1999b. EN 1015-11. Methods of Test for Mortar for Masonry. Part 11: Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar. European Committee for Standardization. Brussels, A1:2006.
- CEN. 2000. EN 1015-12. Methods of Test for Mortar for Masonry. Part 12: Determination of Adhesive Strength of Hardened Rendering and Plastering Mortars on Substrates. European Committee for Standardization. Brussels.
- CEN. 2009. EN 15801. Conservation of Cultural Property. Test Methods: Determination of Water Absorption by Capillarity. European Committee for Standardization. Brussels.
- CEN EN 12504-4. 2004. Testing Concrete. Part 4: Determination of Ultrasonic Pulse Velocity. European Committee for Standardization. Brussels.
- Charola, A.E. 2000. Salts in the Deterioration of Porous Materials: An Overview. *Journal of the American Institute for Conservation* 39(3): 327-43.
- Ciancio, D.; Jaquin, P. and Walker, P. 2013. Advances on the Assessment of Soil Suitability for Rammed Earth. *Construction and Building Materials* 42: 40-47.
- Cid, J.; Mazarrón, F.R. and Cañas, I. 2011. Las Normativas de Construcción con Tierra en el Mundo. *Informes de la Construcción* 63(523): 159-69.
- Copsey, N.; Gourley, B. and Allen, R. 2010. Mud Mortars in Masonry Construction, Malton , North Yorkshire. In 2nd Historic Mortars Conference HMC2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop, eds. J. Válek, C. Groot and J. J. Hughes. Prague, Czech Republic, 22-24 september: RILEM Publications SARL: 581-90.
- Correia, M. 2007. *Taipa No Alentejo*. Lisboa: Argumentum. p.176.
- Correia, M. and Walliman, N. 2012. Defining Criteria for Intervention in Earthen Built Heritage Conservation. *International Journal of Architectural Heritage*, Taylor & Francis (online since 26 june 2012). doi:10.1080/15583058.2012.704478.
- Costa, J. and Coelho, C. 2005. Recuperação do Património Edificado com Argamassas Industriais de Ligantes Hidráulicos. In 1^o Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 24-25 novembro. CD-ROM.
- Dariusz, W.; Bratasz, Ł. and Kozłowski, R. 2010. Reducing Shrinkage Cracks in Roman Cement Renders. In Historic Mortars and RILEM TC 203-RHM Final Workshop, eds. J. Válek, C. Groot and J. J. Hughes. Prague, Czech Republic, 22-24 September: RILEM Publications SARL: 1265-72.

- Dassler, L. 1990. Nineteenth-century New York State Earthen Homes: An Investigation of their Material Composition. In 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Adobe 90 Preprints, eds. Kirsten Grimstad. Las Cruces, New Mexico, 14-19 October: The Getty Conservation Institute: 430-37.
- Demehati, A. 1990. Contribution a l'Etude de Correlations et de l'Utilite de Parametres de l'Identification des Terres. In 1^{er} Seminaire International sur l'Ingenieurie des Constructions en Terre, Marrakech, 30-31 Mai, 1^{er} juin: 44-57.
- Dethier, J. 1983. Down to Earth - Adobe Architecture: An Old Idea, a New Future. New York: Facts On File Inc., New York. p.192.
- Dias, I. 2013. Desenvolvimento e Caracterização de Argamassas de Cal Aérea e Terra: A Influência da Terra como Agregado Parcial. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. p.127.
- Dic. da Academia das Ciências. 2001. Dicionário da Língua Portuguesa Contemporânea: Academia das Ciências de Lisboa. ed. Verbo. Lisboa.
- DIN 18952. 1956. Deutsche Normen. Lehmbau. Baulehm. Prüfung von Baulehm. Deutsche Industrie Normen. Berlin.
- Doat, P.; Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S. and François, V. 1979. Construire en Terre. Grenoble, France: CRATerre - Centre de Recherché et d'Application - Terre. École d'Architecture de Grenoble. France. p.273.
- EBAA. 2001. Earth Building Association of Australia. Earth Building Book. Wangaratta, Australia: Earth Building Association of Australia.
- EN ISO 14688-1. 2002. Geotechnical Investigation and Testing. Identification and Classification of Soil. Part 1: Identification and Description (ISO 14688-1:2002). International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- Faria-Rodrigues, P. 2004. Argamassas de Revestimentos para Alvenarias Antigas: Contribuição para o Estudo da Influência dos Ligantes. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. p.454.
- Faria, P. 2005. Rendering of Earth Walls. In Earth Architecture in Portugal, Lisboa: Argumentum: 68-73.
- Faria, P. and Henriques, F. 2004. Current Mortars in Conservation: An Overview. International Journal for Restoration 10(6): 609-22.
- Faria, P.; Henriques, F. and Rato, V. 2007. Argamassas Correntes: Influência do Tipo de Ligante e do Agregado. In 2^o Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 22-23 novembro. CD-ROM.
- Faria, P.; Silva, V.; Jamú, N.; Dias, I. and Gomes, M.I. 2013. Evaluation of Air Lime and Clayish Earth Mortars for Earthen Wall Renders. In Vernacular Heritage and Earthen Architecture. Contributions for Sustainable Development, eds. M. Correia, C. Gilberto, S. Rocha. Vila Nova de Cerveira, Portugal, 16-20 october: Congress Proceedings Published by CRC Press, Taylor & Francis Group: 407-13.
- Faria, P.; Silva, V.; Pereira, C. and Rocha, M. 2012. The Monitoring of Rammed Earth Experimental Walls and Characterization of Rammed Earth Samples. In 1st International Conference on Rammed Earth Conservation,

- RESTAPIA, eds. C. Mileto, F. Vegas and V. Cristini. Valencia, Spain, 21-23 June: Congress Proceedings Published by CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group: 91-97.
- Fernandes, M. 2012. Interventions in Portuguese Rammed Earth Architecture - from Ignorance to Good Practices. In 1st International Conference on Rammed Earth Conservation, RESTAPIA, eds. C. Mileto, F. Vegas and V. Cristini. Valencia, Spain, 21-23 June: Congress Proceedings Published by CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group: 309-14.
- Fernandes, M. 2013. A Taipa no Mundo. digitAR - Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Artes: 14-21.
- Fernandes, V.A.; Purnell, P.; Still, G.T. and Thomas, T.H. 2007. The Effect of Clay Content in Sands used for Cementitious Materials in Developing Countries. *Cement and Concrete Research* 37(5): 751-58.
- Ferraris, C.F.; Obla, K.H. and Hill, R. 2001. The Influence of Mineral Admixtures on the Rheology of Cement Paste and Concrete. *Cement and Concrete Research* 31(2): 245-55.
- Flores-Colen, I. 2009. Metodologia de Avaliação do Desempenho em Serviço de Fachadas Rebocadas na Óptica da Manutenção Predictiva. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. p.487.
- Flores-Colen, I.; Brito, J. and Peixoto-Freitas, V. 2006. Técnicas de Ensaio 'In-situ' para Apoio à Manutenção Predictiva de Rebocos de Fachada. In PATORREB 2006 - 2^o Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, eds. Vasco Peixoto Freitas, Vítor Abrantes and Cesar Diaz Gómez. Porto, 20-21 março: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Universitat Politècnica de Catalunya: 701-10.
- Fonseca, I. 2007. *Arquitetura de Terra em Avis*. Lisboa: Argumentum. p.143.
- Fontaine, L. and Anger, R. 2009. *Bâtir en Terre: Du Grain de Sable à L'architecture*. Belin. p.223.
- Forster, A.M.; Medero, G.M.; Morton, T. and Buckman, J. 2008. Traditional Cob Wall: Response to Flooding. *Structural Survey* 26(4): 302-21.
- Galán-Marín, C.; Rivera-Gómez, C. and Petric, J. 2010. Clay-based Composite Stabilized with Natural Polymer and Fibre. *Construction and Building Materials* 24(8): 1462-68.
- Galvão, J. 2009. Técnicas de Ensaio 'In-situ' para Avaliação do Comportamento Mecânico de Rebocos em Fachadas. Esclerómetro e Ultrassons. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. p.136.
- Go, S.; Chung, C.; Struble, L.J. and Lee, H. 2010. Pozzolan Activity of Hwangtoh Clay. *Construction and Building Materials* 24(12): 2638-45.
- Gomes, M.I.; Faria, P. and Gonçalves, T.D. 2009a. Construções de Terra - Causas de Degradação. In PATORREB, 3^o Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, eds. Vasco Peixoto Freitas, César Diaz Gómez, Paulo Helene and Vítor Abrantes. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal: 205-10.
- Gomes, M.I.; Brito, J. and Lopes, M. 2009b. Design and Strengthening of Earth Construction in Seismic Areas. In 1st Mediterranean Conference on Earth Architecture - Mediterra, eds. Maddalena Achenza, Mariana Correia and Hubert Guillaud. Cagliari, Italy, 13-16 março: Facoltà di Architettura, Dipartimento di Architettura: 505-15.

- Gomes, M.I.; Lopes, M. and Brito, J. 2011. Seismic Resistance of Earth Construction in Portugal. *Engineering Structures* 33(3): 932-41.
- Gomes, M.I. and Faria, P. 2011. Repair Mortars for Rammed Earth Constructions. In XII DBMC , 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components, eds. Michael Vasco Peixoto Freitas, Helena Corvacho and Lacasse. Volume 2, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 12-15 abril: 689-96.
- Gomes, M.I.; Gonçalves, T.D. and Faria, P. 2012a. Earth-Based Repair Mortars: Experimental Analysis with Different Binders and Natural Fibers. 1st International Conference on Rammed Earth Conservation (RESTAPIA 2012). Eds: Mileto, Vegas e Cristini: Rammed Earth Conservation, Congress Proceedings Published by CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group. 21-23 june, Valencia, Spain: 661-8.
- Gomes, M.I.; Gonçalves, T.D. and Faria, P. 2012b. Evaluación de la Influencia del Contenido de Agua en la Trabajabilidad del Mortero de Tierra. APUNTES - Revista de Estudos sobre Património Cultural, *Journal of Cultural Heritage Studies*, 25 (2): 258-77.
- Gomes, M.I.; Gonçalves, T.D. and Faria, P. 2013a (submitted e aceite). Characterization of Earth-Based Mortars for Rammed Earth Repair. A publicar no livro "Earth Constructions and Tradition", Vienna University of Technology.
- Gomes, M.I.; Gonçalves, T.D. and Faria, P. 2013b. The Compatibility of Earth-Based Repair Mortars with Rammed Earth Substrates. 3rd Historic Mortars Conference (HMC). 11-14 september, Glasgow, Scotland: preprints.
- Gomes, M.I.; Gonçalves, T.D. and Faria, P. 2014. Unstabilised Rammed Earth: Characterization of the Material Collected from Old Constructions in South Portugal and Comparison to Normative Requirements. *International Journal of Architectural Heritage*, Taylor & Francis 8 (2):1-28.
- Gomes, R. and Folque, J. 1953. O Uso da Terra como Material Construção. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. p.25.
- Gonçalves, T.D. 2007. Salt Crystallization in Plastered or Rendered Walls. PhD Thesis, LNEC and IST, Technical University of Lisbon. Lisbon. p.215.
- Gonçalves, T.D.; Pel, L. and Delgado-Rodrigues, J. 2007. Drying of Salt-contaminated Masonry: MRI Laboratory Monitoring. *Environmental Geology* 52(2): 293-302.
- Gonçalves, T.D. and Delgado-Rodrigues, J. 2006. Evaluating the Salt Content of Salt-contaminated Samples on the Basis of Their Hygroscopic Behavior. Part I: Fundamentals, Scope and Accuracy of the Method. *Journal of Cultural Heritage* 7(2): 79-84.
- Gonçalves, T.D.; Delgado-Rodrigues, J. and Abreu, M.M. 2006. Evaluating the Salt Content of Salt-contaminated Samples on the Basis of Their Hygroscopic Behaviour: Part II: Experiments with Nine Common Soluble Salts. *Journal of Cultural Heritage* 7(3): 193-200.
- Gonçalves, T.D.; Delgado-Rodrigues, J.; Abreu, M.M.; Esteves, A. M. and Santos-Silva, A. 2006. Causes of Salt Decay and Repair of Plasters and Renders of Five Historic Buildings in Portugal. In International Conference on Heritage, Weathering and Conservation, eds. R. Fort, M. Alvarez de Buergo, M. Gomez-Heras and C. Vasquez-Calvo. Madrid, Spain, 21-24 June: Taylor and Francis/Balkema: 273-84.

- Gosselin, C.; Scrivener, K.L. and Feldman, S.B. 2010. Hydration of Roman Cements Used for Architectural Restoration. In *Historic Mortars and RILEM TC 203-RHM Final Workshop*, eds. J. Válek, C. Groot and J.J. Hughes. Prague, Czech Republic, 22-24 September: RILEM Publications SARL: 993-1004.
- Green, P.E.; Krieger, A.M. and Wind, Y.J. 2001. Thirty Years of Conjoint Analysis: Reflections and Prospects. *Interfaces* 31(June): S56-S73.
- Groot, C. and Hughes, J.J. 2010. Performance and Repair Requirements for Renders and Plasters. In *Historic Mortars and RILEM TC 203-RHM Final Workshop*, eds. J. Válek, C. Groot and J. J. Hughes. Prague, Czech Republic, 22-24 September: RILEM Publications SARL: 1359-63.
- Guelberth, C.R. and Chiras, D. 2003. *The Natural Plaster Book: Earth, Lime and Gypsum Renders for Natural Homes*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers. p.252
- Guettala, A.; Abibsi, A. and Houari, H. 2006. Durability Study of Stabilized Earth Concrete Under Both Laboratory and Climatic Conditions Exposure. *Construction and Building Materials* 20(3): 119-27.
- Guillaud, H. 2008. Characterization of Earthen Materials. In *Terra Literature Review - An Overview of Research*. In *Earthen Architecture Conservation*, eds. E. Avrami, H. Guillaud and M. Hardy. Los Angeles, United States. The Getty Conservation Institute: 21-31.
- Hall, C.; Hoff, W.D.; Taylor, S.C.; Wilson, M.A.; Yoon, B.; Reinhardt, H.W.; Sosoro, M.; Meredith, P. and Donald, A.M. 1995. Water Anomaly in Capillary Liquid Absorption by Cement-based Materials. *Journal of Materials Science Letters* 14: 1178-81.
- Hall, M. and Allinson, D. 2009a. Analysis of the Hygrothermal Functional Properties of Stabilised Rammed Earth Materials. *Building and Environment* 44(9): 1935-42.
- Hall, M. and Allinson, D. 2009b. Assessing the Effects of Soil Grading on the Moisture Content-dependent Thermal Conductivity of Stabilised Rammed Earth Materials. *Applied Thermal Engineering* 29(4): 740-47.
- Hall, M. and Allinson, D. 2009c. Influence of Cementitious Binder Content on Moisture Transport in Stabilised Earth Materials Analysed Using 1-Dimensional Sharp Wet Front Theory. *Building and Environment* 44(4): 688-93.
- Hall, M. and Djerbib, Y. 2004a. Rammed Earth Sample Production: Context, Recommendations and Consistency. *Construction and Building Materials* 18(4): 281-86.
- Hall, M. and Djerbib, Y. 2004b. Moisture Ingress in Rammed Earth: Part 1 - The Effect of Soil Particle-size Distribution on the Rate of Capillary Suction. *Construction and Building Materials* 18(4): 269-80.
- Hall, M. and Djerbib, Y. 2006a. Moisture Ingress in Rammed Earth: Part 2 - The Effect of Soil Particle-size Distribution on the Absorption of Static Pressure-driven Water. *Construction and Building Materials* 20(6): 374-83.
- Hall, M. and Djerbib, Y. 2006b. Moisture Ingress in Rammed Earth: Part 3 - Sorptivity, Surface Receptiveness and Surface Inflow Velocity. *Construction and Building Materials* 20(6): 384-95.
- Hall, M. 2007. Assessing the Environmental Performance of Stabilised Rammed Earth Walls Using a Climatic Simulation Chamber. *Building and Environment* 42(1): 139-45.

- Hamard, E.; Morel, J.C.; Salgado, F.; Marcom, A. and Meunier, N. 2013. A Procedure to Assess the Suitability of Plaster to Protect Vernacular Earthen Architecture. *Journal of Cultural Heritage* 14(2): 109-15.
- Harries, R.; Clark, D. and Watson, L. 2000. A Rational Return to Earth as a Contemporary Building Material. In 8th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture (Terra 2000), Torquay, United Kingdom, 11-13 May: English Heritage, University of Plymouth, ICOMOS/UK Earthen Structures Committee: 319-21.
- Heathcote, K.A. 1995. Durability of Earthwall Buildings. *Construction and Building Materials* 9(3): 185-89.
- Hendrickx, R. 2009. Engineering: The Adequate Measurement of the Workability of Masonry Mortar. PhD Thesis, Faculty of Engineering in Katholieke Universiteit Leuven. p.242.
- Henriques, F. 1994. Humidade em Paredes. 1^a edição. ed. Edifícios - Conservação e Reabilitação. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. p.168.
- Hernández, M.G.; Anaya, J.J.; Izquierdo, M.G. and Ullate, L.G. 2002. Application of Micromechanics to the Characterization of Mortar by Ultrasound. *Ultrasonics* 40: 217-21.
- Hossain, K.M. and Mol, L. 2011. Some Engineering Properties of Stabilized Clayey Soils Incorporating Natural Pozzolans and Industrial Wastes. *Construction and Building Materials* 25(8): 3495-3501.
- Houben, H. and Guillaud, H. 1996. Earthen Architecture: Materials, Techniques and Knowledge at the Service of New Architectural Applications. *The Courier*. N.º159, Dossier Investing in People Country Reports:Mali.
- Houben, H. and Guillaud, H. 2006. Technology Earth Construction: a Comprehensive Guide. London: Technology Intermediate Publications (1st edition 1994), ITDG Publishing. p.376.
- Hurtado, R. and Manuel, J. 2010. Measuring Preferences: From Conjoint Analysis to Integrated Conjoint Experiments. *Journal of Quantitative Methods for Economics and Business Administration* (9): 28-43.
- IETCC, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. 1971. Obras de Fábrica. Prescripciones del Instituto Eduardo Torroja: PIET.70. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. p.190.
- IPQ. 2000. NP EN 445. Caldas de Injeção para Armaduras de Pré-esforço. Métodos de Ensaio. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- IPQ. 2001. NP EN 197-1. Cimentos. Parte 1: Composição, Especificações e Critérios de Conformidade para Cimentos Correntes. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- IPQ. 2002. NP EN 1097-3. Ensaios das Propriedades Mecânicas e Físicas dos Agregados. Parte 3: Determinação da Baridade e do Volume de Vazios. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- IPQ. 2003. NP EN 459-1. Cal de Construção. Parte 1: Definições, Especificações e Critérios de Conformidade. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- IPQ. 2006a. NP EN 14146. Métodos de Ensaio para Pedra Natural. Determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico (através da Medição da Frequência de Ressonância Fundamental). Instituto Português da Qualidade. Lisboa.

- IPQ. 2006b. NP EN 196-1. Métodos de Ensaio de Cimentos. Parte 1: Determinação das Resistências Mecânicas. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- IPQ. 2011. NP EN 459-1. Cal de Construção. Parte 1: Definições, Especificações e Critérios de Conformidade. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- ISO/IEC Guide 2. 2004. International Organisation for Standardisation. Standardisation and Related Activities: General Vocabulary. International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland.
- Jamú, N. 2013. Desenvolvimento e Caracterização de Argamassas de Cal Aérea e Terra: A Influência da Terra como Ligante. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. p.125.
- Jaquin, P.A.; Augarde, C.E. and Legrand, L. 2008. Unsaturated Characteristics of Rammed Earth. In 1st European Conference on Unsaturated Soils: Advances in Geo-Engineering, ed. Toll *et al.* Durham, UK, 2-4 July: Taylos & Francis Group: 417-22.
- Jayasinghe, C. and Kamaladasa, N. 2007. Compressive Strength Characteristics of Cement Stabilized Rammed Earth Walls. *Construction and Building Materials* 21(11): 1971-76.
- Jiménez-Delgado, M.C. and Guerrero, I.C. 2007. The Selection of Soils for Unstabilised Earth Building: A Normative Review. *Construction and Building Materials* 21(2): 237-51.
- Jiménez-Delgado, M.C. and Guerrero, I.C. 2006. Earth Building in Spain. *Construction and Building Materials* 20(9): 679-90.
- Kaci, A.; Chaouche, M. and Andréani, P. 2011. Influence of Bentonite Clay on the Rheological Behaviour of Fresh Mortars. *Cement and Concrete Research* 41(4): 373-79.
- Keable, J. 1996. *Rammed Earth Structure: a Code of Practice*. London: Intermediate Technology Publications Ltd. p.114.
- Keefe, L. 2005. *Earth Building: Methods and Materials, Repair and Conservation*. United States of America and Canada: Taylor & Fancis Group. p.196
- Kerali, A.G. 2001. *Durability of Compressed and Cement-stabilised Building Blocks*. PhD Thesis, School of Engineering in University of Warwick. United Kingdom. p.335.
- King, B. 1996. *Buildings of Earth and Straw: Strutral Design for Rammed Earth and Straw-bale Architecture*. California: Ecological Design Press. p.165.
- Laboratório de Ensaio dos Materiais. 2010. Difração e Espectrometria de Raios X. Consulta no dia 4 de janeiro de 2012, <http://www.fem.unicamp.br>.
- Lanas, J.; Sirera, R. and Alvarez, J.I. 2006. Study of the Mechanical Behavior of Masonry Repair Lime-based Mortars Cured and Exposed Under Different Conditions. *Cement and Concrete Research* 36(5): 961-70.
- Lehmbau Regeln. 2009. *Begriffe, Baustoffe, Bauteile*. 3. überarb. ed. Praxis Vieweg & Teubner. Wiesbaden, Germany: Dachverband Lehm e.V. (Hrsg). p.119.

- LNEC. 1962. Especificação LNEC 1. Vocabulário de Estradas e Aeródromos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC. 1966a. Especificação LNEC 196. Solos: Análise Granulométrica. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC. 1966b. Especificação LNEC 195. Solos: Preparação por Via Seca de Amostras para Ensaio de Identificação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC. 1966c. Especificação LNEC 197. Solos: Ensaio de Compactação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC. 1967. Especificação LNEC 205. Solos: Determinação da Baridade 'In-situ' pelo Método do Volume de Água Deslocado. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC. 1968. Especificação LNEC 219. Prospeção Geotécnica de Terrenos: Vocabulário. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC. 1969. NP 143. Solos: Determinação dos Limites de Consistência. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC. 1970. Especificação LNEC 239. Solos: Análise Granulométrica por Peneiração Húmida. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC. 2010. FE Pa 43-1. Fichas de Ensaio de Revestimentos de Paredes. Ensaio de Avaliação de Características Mecânicas por Ultrassons. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Lockington, D.A. and Parlange J.Y. 2003. Anomalous Water Absorption in Porous. *Journal of Physics: Applied Physics* 36: 760-67.
- Magalhães, A.C.; Costa, D. and Veiga, M.R. 2003. Diagnóstico de Anomalias de Revestimentos de Paredes com Técnicas de Ensaio 'In-situ'. Avaliação da Resistência Mecânica. In 3º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa, 26-30 maio: LNEC: 419-27.
- Malanho, S. and Veiga, M.R. 2010. Análise do Comportamento Mecânico em Laboratório e 'In-situ' de Revestimentos Pré-doseados de Cimento. In 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, APFAC, LNEC, Lisboa, 18-19 março.
- Maniatidis, V. and Walker, P. 2003. A Review of Rammed Earth Construction. *Review Literature and Arts of the Americas DTi Partne* (May). p.109.
- Martinez-Reyes, J.; Alavez-Ramírez, R.; Montes-García, P. and Jiménez-Quero, V. 2010. Mineralogical Effect on the Pozzolanic Reactivity of a Mexican Lacustrine Soil. *Construction and Building Materials* 24(12): 2650-57.
- Mateus, L. 2006. Caracterização de Revestimentos usados em Construções de Taipa no Barlavento Algarvio. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. p.186.
- Maurenbrecher, P. 2004. Mortars for Repair of Traditional Masonry. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, ASCE 9(2): 62-65.

- McGregor, F.; Heath, A.; Ayre, G.; Fodde, E. and Walker, P. 2012. The Effect of Stabilisation on Humidity Buffering of Earth Walls. In 6th International Conference on Building with Earth, LEHM 2012, Weimar, Germany, 5-7 October: Dachverband Lehm e.V.: 73-79.
- McHenry, P. 1984. Adobe and Rammed Earth Buildings: Design and Construction. Arizona: The University of Arizona Press. Wiley-Interscience. p.217.
- Mestre, V. 2007. La Construcción Tradicional en el Espacio Mediterráneo Portugués. APUNTES Instituto Carlos Arbeláez Camacho para el patrimonio arquitectónico y urbano - Arquitectura en tierra 20(2): 278-86.
- Minke, G. 2000. Earth Construction Handbook: The Building Aerial Earth in Modern Architecture. Southampton, Boston: Wit Press, Computational Mechanics Inc. p.206.
- Minke, G. 2006. Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture. Birkhäuser - Publishers for Architecture. p.200.
- Minke, G. and Ziegert, C. 2008. DVL Technical Information Sheet 'The Requirements of Clay Plasters'. In 5th International Conference on Building with Earth, LEHM 2008, Koblenz, Germany, 9-12 October: Dachverband Lehm e.V.: 23-31.
- Molina, M.; Guzmán, A.; Crubio, Á.; Velasco, Á.; Ramírez, M. and Acosta, T. 2009. The Mechanical Effects of Mineral Stabilization in Montmorillonite Clays on Adobe Performance. In 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies, Bath.
- MOPT. 1992. Bases Para el Diseño y Construcción con Tapial. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid, Spain.
- Morel, J.C.; Mesbah, A.; Oggero, M. and Walker, P. 2001. Building Houses with Local Materials: Means to Drastically Reduce the Environmental Impact of Construction. Building and Environment 36(10): 1119-26.
- Morton, T. 2004. Earth Structures, Renders and Plasters: Experiments in Historical Techniques and Weathering. In 4th International Conference on Building with Earth, LEHM 2004, Weimar, Germany, 29-30 October: Dachverband Lehm e.V.: 272-75.
- Morton, T. 2008. Conserving Earth Structures in a Damp Climate. In 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage, eds. Leslie Rainer, Angelyn Bass Rivera and David Gandreau. Bamako, Mali, 1-5 February: The Getty Conservation Institute: 233-38.
- Motta, M.M. and Canha-Piedade, A. 1999. Construções em Terra Crua no Baixo Alentejo, Portugal: Tecnologia e Material Apropriados para Zonas Rurais. In Jornada sobre Construções com Terra Aditivada: A Terra como Material de Construção de Edifícios, Lisboa: Fundação para a Formação Contínua em Engenharia Civil, FUNDEC: 1-15.
- Neumann, J.V. 1993. Earthquake Resistent Rammed-earth (Tapial) Buildings. In 7^a Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra, Silves, Portugal, 24-29 outubro: Direção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais: 503-8.
- Neves, O. 2009. Folhas de Apoio à Unidade Curricular de Pedologia e Geoquímica. Aula Prática N.º1. p.10.

- New Mexico Code. 2006. New México Earthen Building Materials Code 14.7.4. New Mexico: Santa Fé, NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department.
- Normal. 1991. Commissione Normal - 29/88. Misura Dell'indice di Asciugamento (Drying Index). Centri di Studio di Milano e Roma, Istituto Centrale per il Restauro. Rome.
- Norton, J. 1997. Building with Earth. Second Edi. Warwickshire: Pratical Action. p.78.
- NP 83. 1965. Norma Portuguesa, Solos: Determinação da Densidade das Partículas. Lisboa.
- Pkla, A.; Mesbah, A.; Rigassi, V. and Morel, J.C. 2003. Comparaison de Méthodes d' Essais de Mesures des Caractéristiques Mécaniques des Mortiers de Terre. *Matériaux et Constructions* 36 (march): 108-17.
- Rago, F. and Cincotto, M.A. 1999. Influência do Tipo de Cal Hidratada na Reologia de Pastas. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil BT/PCC/233. p.29.
- Raimondo, M.; Dondi, M.; Gardini, D.; Guarini, G. and Mazzanti, F. 2009. Predicting the Initial Rate of Water Absorption in Clay Bricks. *Construction and Building Materials* 23(7): 2623-30.
- Rato, V.M. 2006. Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. p.294.
- Reis, M. 1994. Difração de Raios X. Curso de Técnicas de Caracterização Química e Físico-química de Materiais. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa:1.1-1.47.
- RILEM. 1980a. Recommended Tests to Measure the Deterioration of Stone and to Assess the Effectiveness of Treatment Methods. Test No. II.6 'Water Absorption Coefficient (capillarity)'. *Materials and Structures, Research and Testing* 13(75): 209.
- RILEM. 1980b. Recommended Tests to Measure the Deterioration of Stone and to Assess the Effectiveness of Treatment Methods. Test No. II.5 'Evaporation Curve'. *Materials and Structures, Research and Testing* 13(75): 205-7.
- RILEM. 2008. Rilem TC 203-RHM: Repair Mortars for Historic Masonry. Testing of Hardened Mortars, a Process of Questioning and Interpreting. *Materials and Structures* 42(7): 853-65.
- RILEM, 13-MR. 1982. 13-MR Technical Committee on Mortars and Renderings. Final Recommendations. *Matériaux et Constructions - Réunion International des Laboratoires d'Essais et Matériaux* 15(89): 475-519.
- Robinson, R.A. and Stokes, H.R. 2002. *Electrolyte Solutions: The Measurement and Interpretation of Conductance, Chemical Potential and Diffusion in Solutions of Simple Electrolytes*. London: Dover Publications. p.571.
- ROCARE EU-Project. 2012. Manual on Best Practice in the Application of Roman Cements. Version 1., eds. C. Gurtner, G. Hilbert, D. Hughes, R. Kozłowski and J. Weber. EU-Project Nº. 226898.
- Rodriguez-Navarro, C. and Doehne, E. 1999. Salt Weathering: Influence of Evaporation Rate, Supersaturation and Crystallization Pattern. *Earth Surface Processes and Landforms* 24(3): 191-209.
- Röhlen, U. 2012. Mould on Clay Renders. In 6th International Conference on Building with Earth, LEHM 2012, Weimar, Germany, 5-7 October: Dachverband Lehm e.V.: 113-21.

- Röhlen, U. and Ziegert, C. 2011. *Earth Building Practice. Planning, Design, Building*. 1st Edition. Berlin: Beuth Verlag GmbH. p.286.
- Rossi-Doria, R. 2006. Mortars for Restoration: Basic Requirements and Quality Control. *Matériaux et Constructions* 19(114): 445-48.
- Roussel, N.; Lanos, C. and Toutou, Z. 2006. Identification of Bingham Fluid Flow Parameters Using a Simple Squeeze Test. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 135(1): 1-7.
- Roussel, N. and Le Roy, R. 2005. The Marsh Cone: a Test or a Rheological Apparatus? *Cement and Concrete Research, Elsevier* 35(5): 823-30.
- Le Roy, R. and Roussel, N. 2005. The Marsh Cone as a Viscometer: Theoretical Analysis and Practical Limits. *Materials and Structures, RILEM* 38(275): 25-30.
- Santos, C.C.; Ramos, D.M.; Bauer, E.; Paes, I.L.; Sousa, J.G.; Alves, N.J.; Lara, P.L.; Wanderley Ó, S. and Sérgio, G. 2005. *Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades*. ed. Elton Bauer. Brasília: LEMUnB/Sinduscon-DF.
- Santos, C.P.; Matias, L.; Magalhães, A.C. and Veiga, M.R. 2003. Application of Thermography and Ultra-sounds for Wall Anomalies Diagnosis a Laboratory Research Study. In *International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, Berlin.
- Santos, P. 1989. *Ciência e Tecnologia das Argilas*. 2^a Edição, Brasil: Ed. Edgard Blücher, Lda. p.408.
- SAZS 724. 2001. Standards Association Zimbabwe. *Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures*. Harare: Standards Association of Zimbabwe. p.48.
- Schaffer, R.J. 1932. *The Weathering of Natural Building Stones*. London: His Majesty's Stationery Office. Building Research Special Report 18. Reprinted, with Slight Amendments. p.149.
- Schroeder, H. and Ziegert, C. 2008. Testing the Adhesive Strength of Clay Plasters. In *5th International Conference on Building with Earth, LEHM 2008*, Koblenz, Germany, 9-12 October: Dachverband Lehm e.V.: 203-5.
- Schroeder, H. 2011. La Transferencia de Humedad y el Cambio en la Resistencia Durante la Construcción de Edificios de Tierra. *Informes de la Construcción* 63(523): 107-16.
- Schroeder, H.; Ziegert, C. and Müller, U. 2012. Standardisation in Earthen Building in Germany: The Current Situation. In *6th International Conference on Building with Earth, LEHM 2012*, Weimar, Germany, 5-7 October: Dachverband Lehm e.V.: 57-71.
- Segurado, J.S. 1908. *Alvenaria e Cantaria*. 2^a Edição. Lisboa: Biblioteca de Instrução Profissional. Livrarias Aillaud e Bertrand. p.254.
- Shekede, L. 2000. Wall Paintings on Earth Supports: Evaluating Analytical Methods for Conservation. In *8th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture (Terra 2000)*, Torquay, United Kingdom, 11-13 May: English Heritage, University of Plymouth, ICOMOS/UK Earthen Structures Committee: 169-75.
- Silva, R.; Oliveira, D.; Lourenço, P.; Schueremans, L. and Miranda, T. 2013. Experimental Investigation on the Repair of Rammed Earth by Means of Injection of Mud Grouts. In *Vernacular Heritage and Earthen*

- Architecture. Contributions for Sustainable Development, eds. M. Correia, C. Gilberto, S. Rocha. Vila Nova de Cerveira, Portugal, 16-20 October: Congress Proceedings Published by CRC Press, Taylor & Francis Group: 727-34.
- Silver, C. 1990. Analyses and Conservation of Pueblo Architectural Finishes in the American Southwest. In 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Adobe 90 Preprints, eds. Kirsten Grimstad. Las Cruces, New Mexico, 14-19 October: The Getty Conservation Institute: 176-81.
- Smith, E.W. and Austin, G.S. 1996. Adobe, Pressed-earth and Rammed Earth Industries in New Mexico. Bulletin 1. Socorro, New Mexico: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources.
- SNZ 4297. 1998. Engineering Design of Earth Buildings. Standards New Zealand. p.62.
- SNZ 4298. 1998. Materials and Workmanship for Earth Buildings. Standards New Zealand. p.90.
- SNZ 4299. 1998. Earth Buildings Not Requiring Specific Design. Standards New Zealand. p.90.
- Šramek, J. and Losos, L. 1990. Outline of Mud Brick Structures Conservation at Abusir, Egypt. In 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Adobe 90 Preprints, eds. Kirsten Grimstad. Las Cruces, New Mexico, 14-19 October: The Getty Conservation Institute: 449-54.
- Steiger, M. and Siegesmund, S. 2007. Special Issue on Salt Decay. *Environ Geol* 52(2): 185-86.
- Straube, J.F. and DeGraauw, J.P. 2001. Indoor Air Quality and Hygrpscopically Active Materials. In American Society of Refrigeration and Air-conditioning Engineers Winter Meeting, ASHRAE Transactions: 107(1).
- Subramanian, N. 2010. Design of Steel Structures. Oxford: Oxford University Press, USA. p.1211.
- Tavares, M.L. 2009. A Conservação e o Restauro de Revestimentos Exteriores de Edifícios Antigos. Uma Metodologia de Estudo e Reparação. Tese de Doutoramento, Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. p.440.
- Tavares, M.L. and Veiga, M.R. 2007. A Conservação de Rebocos Antigos. Restituir a Coesão Perdida Através da Consolidação com Materiais Tradicionais e Sustentáveis. In VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, ANTAC, Recife, 1-4 maio.
- Le Tiec, J.M. and Paccoud, G. 2006. Pisé H2O. De l'Eau et des Grains Pour un Renouveau du Pisé En Rhône-Alpes. CRATerre. Villefontaine, France.
- Toumbakari, E.E.; Ntziouni, A. and Rigopoulou, V.K. 2010. Cement-stabilized Earth Mortars for Application in Archaeological Sites and Prehistoric Momuments. In 2nd Historic Mortars Conference and RILEM TC 203-RHM Final Workshop, eds. J. Válek, C. Groot and J.J. Hughes. Prague, Czech Republic, 22-24 september: RILEM Publications SARL: 1209-17.
- UNESCO. 2012. World Heritage Earthen Architecture Programme: Inventory of Earthen Architecture. ed. Thierry Joffroy. CRATerre-ENSAG.
- Varas, M.J.; Alvarez-Buergo, M. and Fort, R. 2005. Natural Cement as the Precursor of Portland Cement: Methodology for its Identification. *Cement and Concrete Research* 35(11): 2055-65.

- Veiga, M.R.; Aguiar, J.; Santos-Silva, A. and Carvalho, F. 2004. Conservação e Renovação de Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. p.126.
- Veiga, M. R. and Carvalho, F. 1994. Argamassas de Revestimento na Reabilitação do Património Urbano. In 2º ENCORE, Encontro Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa: 195-206.
- Veiga, M.R.; Fragata, A.; Velosa, A.; Magalhães, A.C. and Margalha, G. 2008. Substitution Mortars for Application in Historical Buildings Exposed to the Sea Environment. Analysis of the Viability of Several Types of Compositions. In 1st International Conference Construction Heritage in Coastal and Marine Environments. Damage, Diagnostics, Maintenance and Rehabilitation, Lisboa, 28-30 janeiro.
- Veiga, M.R. 1998. Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes. Contribuição para o Estudo da sua Resistência à Fendilhação. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. p.458.
- Venkatarama-Reddy, B.V. and Gupta, A. 2005. Characteristics of Cement-soil Mortars. *Materials and Structures* 38(280): 639-50.
- Venkatarama-Reddy, B.V. and Gupta, A. 2008. Influence of Sand Grading on the Characteristics of Mortars and Soil-cement Block Masonry. *Construction and Building Materials* 22(8): 1614-23.
- Vieira, M.G. 2008. Betões Autocompactáveis. Reologia do Betão no Estado Fresco. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa p.384.
- Walker, P. and Australia, S. 2001. HB 195: The Australian Earth Building Handbook. Sydney, Australia: Standards Australia International Ltd. p.151.
- Walker, P.; Keable, R.; Martin, J. and Maniatidis, V. 2005. *Rammed Earth: Design and Construction Guidelines*. Watford: BRE Bookshop. p.146.
- Warren, J. 1999. *Conservation of Earth Structures*. Butterworth Heinemann, British Library. p.198.
- WCED. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. p.83. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.
- Zehnder, K. and Arnold, A. 1989. Crystal Growth in Salt Efflorescence. *Journal of Crystal Growth* 97: 512-21.
- Zinn, W.A. 2005. Historic Preservation: Cement Modified Earthen Mortar - An Investigation of Soil-cement Performance Characteristics at Three Southwestern National Monuments. Master Thesis, University of Pennsylvania. p.309.

ANEXOS

**Anexo A - Fichas técnicas de inspeção dos edifícios observados
..... 3A**

**Anexo B - Tabelas de correspondência entre as argamassas aplicadas e
os blocos de taipa63B**

**Anexo C - Registos da temperatura e humidade relativa
.....65C**

**Anexo D - Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de
transmissão direta71D**

**Anexo E - Calendarização do ensaio de envelhecimento artificial
acelerado73E**

**Anexo F - Ficha técnica dos ligantes minerais fornecidos pelos
fabricantes75F**

ANEXOS

Anexo A - Fichas técnicas de inspeção dos edifícios observados	3A
Anexo B - Tabelas de correspondência entre as argamassas aplicadas e os blocos de taipa	63B
Anexo C - Registos da temperatura e humidade relativa	65C
Anexo D - Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta	71D
Anexo E - Calendarização do ensaio de envelhecimento artificial acelerado	73E
Anexo F - Ficha técnica dos ligantes minerais fornecidos pelos fabricantes	75F

ANEXO A - Fichas técnicas de inspeção dos edifícios observados

Optou-se propositadamente e para maior facilidade de leitura, que as fichas técnicas de inspeção de cada um dos edifícios observados se iniciem na página par e finalizem na página ímpar seguinte.

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 1 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: Arq. ^a Helena Simões			
Morada / localidade: São Teotónio, Odemira						
Data e hora da visita: 28/08/2008 às 16:00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: obra de reabilitação e ampliação de uma residência rural com um apoio agrícola. Obras efetuadas em 2007, com o projeto do Arq. ^o Henrique Schreck e empreiteiro Sr. ^o António Loução. Toda a edificação sofreu alterações, inclusive várias paredes de taipa que se encontravam com elevado nível de degradação, devido a dois fatores: construção de remediada qualidade e argamassas destacadas, propiciando uma degradação acelerada.						
DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO						
Ano de Construção: reabilitação 2007		Altura do edifício: cerca de 3,50 m (até à cumeeira)		Número de pisos: 1 (um), a zona comum da sala encontra-se num patamar mais elevado, cerca de 0,50 m		
Uso anterior: habitação		Uso atual: habitação		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Sudeste	---	Secção retangular, compartimentada	2	0,50 m	---	---
Descrição genérica: todos os compartimentos apresentam um vão para o exterior.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: fundação, embasamento e contraforte						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input checked="" type="checkbox"/> Betão Localização: betão armado na viga de bordadura						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassas de cal e areia						
Descrição genérica: todas as argamassas são constituídas com cal e areia.						
Tipologia construtiva:						
Fundações: mistura com material pré-existente, pedra e argila e utilização de betão ciclópico						
Embasamento: mistura com material pré-existente, pedra e argila e utilização de betão ciclópico						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Linteis						
Viga bordadura: betão armado						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						

Descrição genérica: utilização de grandes pedras de xisto inseridas na taipa, para travamento da fendilhação vertical que possa existir na taipa. A cobertura de duas águas com telha canudo. A fundação e o embasamento foram construídos utilizando dois tipos de técnicas e com materiais distintos (mistura com material pré-existente, pedra e argila, e betão ciclópico). Existência de um contraforte no alçado noroeste e de dois contrafortes no alçado sudoeste, todos construídos em alvenaria de pedra.

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura

Estrutura

Paredes: é visível degradação superficial nas paredes exteriores que não apresentam revestimento (opção do arquiteto para deixar secar a taipa) devido à ação das intempéries (chuva e vento). Aquando a construção chuvas intensas degradaram algumas zonas de taipa (principalmente na fachada principal), sendo essa zona colmatada com argamassas de reparação à base de cal e areia.

Descrição genérica: edifício em bom estado de conservação.



Figura 1.A. À esquerda, alçado principal (sudeste), e à direita, alçado posterior (noroeste)



Figura 2.A. À esquerda, alçado lateral direito (sudoeste) e principal, e à direita, interior da edificação



Figura 3.A. À esquerda, alçado principal visualizando a argamassa de reparação, e à direita, alçado principal com elementos de xisto inseridos na parede

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 2 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: Rudolfo e Angélica Muller			
Morada / localidade: Monte da Choça, Vale Juncal, São Teotónio, Odemira						
Data e hora da visita: <u>28 / 08 / 2008</u> às <u>18 : 00</u> min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: a decisão de viver numa casa de taipa partiu do Sr.º Rudolfo (dono), que já tinha vivido numa edificação de taipa. O Sr.º Rudolfo refere que estas edificações apresentam-se muito ecológicas e não necessitam de ar condicionado, uma vez que são termicamente confortáveis. Projeto do Arqtº. Henrique Schereck e empreiteiro Sr.º António Loução						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: construção 2005		Altura do edifício: min. 2 m e máx. de 3 m		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: ---		Uso atual: habitação		Ocupado em permanência: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Nordeste	---	Secção retangular, compartimentada	1	0,50 m	---	---
Descrição genérica: todos os compartimentos apresentam um vão para o exterior.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: inserida na taipa						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input checked="" type="checkbox"/> Betão Localização: lintéis, embasamento e fundação						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassas de cal e areia						
Descrição genérica: argamassas de revestimento de cal e areia com uma espessura de 2,5 cm.						
Tipologia construtiva:						
Fundações: betão armado						
Embasamento: betão armado						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tijolo cozido						
Lintéis: arcos em tijolo cozido e lintéis em betão						
Viga bordadura: estrutura de madeira para descarregar as cargas de cobertura que por sua vez descarregam em pilares de alvenaria de tijolo maciço cozido, encastrados nas paredes de taipa						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica: utilização de grandes pedras de xisto inseridas na taipa, para travamento da fendilhação vertical que possa existir na taipa. A cobertura de duas águas com telha canudo e sub-beirado.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura

Estrutura

Paredes: são visíveis algumas humidades no interior da edificação, na fachada posterior. Estas humidades só começaram a aparecer após rebocar a edificação com argamassas cimentícias; decisão tomada pelo proprietário e contestada pelo arquiteto do projeto. Segundo o arquiteto este facto deve-se à colocação de argamassas cimentícias, pouco permeáveis às trocas de vapor de água. Humidades ascensionais no alçado lateral direito, mais visível no inverno.

Descrição genérica: edifício em bom estado de conservação.



Figura 4.A. Construção em 2005: à esquerda, alçado principal (nordeste); à direita, alçado posterior (sudeste)



Figura 5.A. Construção em 2005: interior da edificação



Figura 6.A. Em 2008: à esquerda, alçado lateral direito (noroeste); à direita, alçado posterior (noroeste) depois de revestido com argamassa de cimento

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 3 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação e comércio			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: Luzianes, Odemira						
Data e hora da visita: 07 / 09 / 2008 às 18 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações:						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---		Altura do edifício: máximo de 4 m		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação e comércio		Uso atual: desabitado		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Este	(12,00 × 8,40) m ²	Secção retangular, compartimentada	1	0,50 m	---	---
Descrição genérica: apenas 5 vãos para o exterior (sendo 1 porta)						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura e lintéis nos vãos de janelas e porta						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: fundação e embasamento e, pedra inserida na taipa						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: utilização de dois tipos de terras para a realização da taipa, sendo uma delas muito xistosa com uma granulometria variada e utilização de agregados de grandes dimensões. Embasamento com altura a partir do nível do chão entre 0,50 e 0,70 m.						
Tipologia construtiva:						
Fundações: alvenaria de xisto						
Embasamento: alvenaria de xisto						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tabique e parede de tijolo						
Lintéis: vergas de porta e janelas com elementos de madeira						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica: utilização de grandes pedras de xisto inseridas na taipa na vertical. A cobertura de duas águas com telha canudo com sub-beirado. Estrutura de cobertura a apoiar diretamente na parede de taipa.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: estrutura de madeira partida e madeira ressequida.

Estrutura: fendas diagonais nos cantos das portas interiores (paredes de tijolo), possíveis causas assentamento de apoio ou sismo.

Paredes: é visível degradação bastante acentuada nas paredes exteriores face à ação das intempéries (chuva e vento); existem ainda algumas zonas da taipa bastante mais degradadas (erodidas), consequência dos dois tipos de terra utilizada. Fissuração generalizada nas paredes provocada pelo facto da estrutura de madeira da cobertura descarregar diretamente na taipa. Destacamento do revestimento da zona interior e erosão do revestimento da zona exterior da edificação com perda de espessura da parede. Utilização de argamassas cimentícias para travar a erosão nas paredes de taipa, estando estas maioritariamente destacadas.

Descrição genérica: edificação a necessitar de intervenção mas em condições de habitabilidade.



Figura 7.A. À esquerda, alçado principal (este), e à direita, pormenor da zona de embasamento com pedra de xisto



Figura 8. A. À esquerda, alçado posterior (oeste) e alçado lateral esquerdo (sul), e à direita, pormenor da parede de taipa, visualizando-se dois tipos de terra distintas



Figura 9.A. À esquerda, interior da edificação com queda de revestimento, e à direita, alçado posterior (oeste) visualizando a reparação da taipa com argamassas cimentícias

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 4 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: Talíscas, Odemira						
Data e hora da visita: 29 / 08 / 2008 às 18 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações:						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: desabitado		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Sudeste	---	Secção retangular, compartimentada	2	0,50 m	---	---
Descrição genérica: apenas 5 vãos para o exterior: sendo 3 portas e 1 janela no alçado principal e 1 janela no alçado posterior						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura e lintéis nos vãos de janelas e portas						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: apenas 1/3 da edificação é em taipa os restantes 2/3 são em alvenaria de pedra. A taipa apresenta uma grande percentagem de agregados de grandes dimensões na maioria de origem xistosa.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de xisto						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: paredes de xisto						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tabique						
Lintéis: vergas de porta e janelas com elementos de madeira						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica: existência de um contraforte como reforço localizado no alçado principal. A cobertura é de duas águas com telha canudo. Estrutura de cobertura a apoiar diretamente na parede de taipa.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: estrutura de madeira bastante danificada.

Estrutura: fendas verticais originadas (na maior parte dos casos) pelo peso da estrutura de cobertura. Desligamento de paredes perpendiculares (Figura 10.A, à direita), devido ao facto da não existência de elementos de ligação nos cunhais.

Paredes: destacamento de reboco em algumas zonas da edificação, quer nas paredes interiores quer exteriores; nas zonas onde não existe revestimento, a parede de taipa encontra-se bastante degradada com perda de espessura.

Descrição genérica: edificação a necessitar de intervenção.



Figura 10.A. Alçado principal (sudeste) com o pormenor da zona de embasamento e do contraforte com pedra de xisto; visualização à direita do desligamento de duas paredes perpendiculares



Figura 11.A. À esquerda, zona interior do alçado lateral direito (nordeste) visualizando uma fenda vertical, e à direita, pormenor do contraforte com fenda vertical na parede



Figura 12.A. À esquerda, pormenor do lintel em madeira no vão de uma porta e destacamento da camada de reboco com perda de espessura da parede, e à direita, zona de entrega dos barrotes de madeira nas paredes de taipa

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 5 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: Bemposta_1, Odemira						
Data e hora da visita: 30/08/2008 às 16:30 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input checked="" type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações:						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---			Altura do edifício: máximo de 3 m		Número de pisos: 1 (um)	
Uso anterior: habitação			Uso atual: desabitado		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Noroeste	(21 x 10) m ²	Secção retangular	3	---	---	---
Descrição genérica: 9 vãos para o exterior (7 portas e 2 janelas)						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: lintéis nos vãos de janelas e portas						
<input type="checkbox"/> Pedra						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: muitos dos materiais utilizados nesta edificação não foram identificados uma vez que só foi possível a visualização desta edificação pelo exterior.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Lintéis: vergas de portas e janelas com elementos de madeira						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura						
Descrição genérica: a cobertura de duas águas, com telha canudo. A edificação está caiada por fora, com a zona do soco no exterior da fachada principal pintada com a tradicional cor azul e verde (como delimitação das propriedades). Parte da zona dos vãos das portas e janelas também se encontram pintadas.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: estrutura partida ou material com fluência, visível na Figura 13.A, no compartimento da edificação mais à esquerda.

Estrutura

Paredes: é visível a erosão do revestimento (começando a chegar à taipa) na parede do alçado lateral esquerdo (Figura 14.A, à esquerda) face à ação das intempéries (chuva e vento). Destacamento de reboco em algumas zonas e noutras zonas foram aplicadas argamassas cimentícias para colmatar a degradação. É também identificável na taipa, onde já não existe revestimento, a existência de pequenos orifícios devido à nidificação de insetos. Um dos lintéis de madeira encontra-se bastante degradado com a zona envolvente da taipa também degradada e com perda de espessura da parede.

Descrição genérica: edificação a necessitar de intervenção.



Figura 13.A. Alçado principal (noroeste)



Figura 14.A. À esquerda, alçado lateral esquerdo (nordeste) com o revestimento bastante erodido, e à direita, alçado posterior (sudeste)



Figura 15.A. À esquerda, destacamento da camada de reboco visualizando-se os buracos devido à nidificação de insetos, e à direita, lintel em madeira (bastante ressequido) no vão da porta

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 6 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: Bemposta_2, Odemira						
Data e hora da visita: 29 / 08 / 2008 às 16 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input checked="" type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações:						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---		Altura do edifício: máximo de 3,50 m		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: desabitado		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Sudeste	(9,00 × 4,50) m ²	Secção retangular	1	0,50 m	---	---
Descrição genérica: apenas 2 vãos para o exterior (1 porta e 1 janela)						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: lintéis nos vãos de porta e janela						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: muitos dos materiais utilizados nesta edificação não foram identificados uma vez que só foi possível a visualização desta pelo exterior.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de pedra						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Lintéis: vergas de porta e janelas com elementos de madeira						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura						
Descrição genérica: a cobertura de duas águas com telha canudo. São visíveis as várias camadas de caiação com as várias cores de pigmentação (Figura 18.A).						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: a estrutura de cobertura parece estar partida ou o material apresenta fluência. Fraco escoamento de água, causando zonas negras na parede.

Estrutura

Paredes: é visível a degradação bastante acentuada na parede exterior, com uma taipa bastante erodida com perda de espessura. Grande parte da camada de revestimento já não existe. Esta degradação deve-se à ação das intempéries ou ascensão capilar. Utilização de argamassas cimentícias para travar a erosão nas paredes, sendo que algumas destas argamassas apresentam-se destacadas. Existe ainda a presença de ninhos de insetos causando o aparecimento de pequenos orifícios na taipa.

Descrição genérica: edificação a necessitar de intervenção.



Figura 16.A. Alçado principal (sudeste): à esquerda, em agosto de 2008, visualizando-se na zona mais à esquerda a utilização de argamassas cimentícias; à direita, em agosto de 2013 visualizando-se a contínua degradação



Figura 17.A. Taipa bastante erodida e degradada, visualizando-se a nidificação de insetos



Figura 18.A. À esquerda, vão de janela com pormenor do lintel em madeira, e à direita, visualização das várias camadas de cal com pigmentos de várias cores

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 7 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: Milharadas, Odemira						
Data e hora da visita: 06 / 09 / 2008 às 18 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---			Altura do edifício: máximo 4,20 m		Número de pisos: 1 (um)	
Uso anterior: habitação			Uso atual: habitado		Ocupado em permanência: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Sudeste	(13,50 × 10,00) m ²	Secção retangular	4 <small>(apenas 1 de taipa)</small>	0,60 m	1,40 × 0,55 × 0,60 (m ³) <small>(comprimento×altura×espessura)</small>	---
Descrição genérica: apenas 4 vãos para o exterior (2 portas e 2 janelas)						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: lintéis nos vãos de porta e janela						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento, zona da verga de portas e janelas e inserida (na vertical) na taipa						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: muitos dos materiais utilizados nesta edificação não foram identificados uma vez que só foi possível a visualização desta pelo exterior.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de pedra						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: alvenaria de pedra						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Lintéis: vergas de portas e janelas com elementos de madeira e em cima destes foram ainda colocados alguns elementos de pedra						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: em madeira						
Descrição genérica: a edificação é constituída por 4 corpos, sendo apenas 1 de taipa, os restantes são em elementos de alvenaria de xisto. A cobertura de duas águas com telha canudo.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: estrutura de cobertura parece estar partida ou o material apresenta fluência.

Estrutura

Paredes: é visível degradação bastante acentuada na parede exterior do alçado lateral esquerdo com o revestimento bastante erodido, face à ação das intempéries (chuva e vento). Utilização de argamassas cimentícias para colmatar a degradação da taipa. Em algumas zonas foram utilizadas chapas metálicas, não se sabendo ao certo qual a sua finalidade. Revestimento em algumas zonas destacado deixando a taipa à vista e criando suscetibilidade à erosão da taipa. São visíveis fendas verticais nas paredes, não sabendo ao certo qual a sua origem especula-se a falta de um lintel de coroamento para distribuição das cargas verticais de cobertura.

Descrição genérica: edificação a necessitar de alguma intervenção.



Figura 19.A. À esquerda, alçado principal (sudeste), e à direita, alçado lateral esquerdo (sudoeste)



Figura 20.A. À esquerda, vão de janela com pormenor do lintel em madeira visualizando-se a utilização da pedra em cima da madeira, e à direita, introdução de xisto na parede de taipa

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 8 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: São Teotónio, Odemira						
Data e hora da visita: 22 / 10 / 2008 às 12 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input checked="" type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: verifica-se que a edificação já sofreu intervenções com a utilização de argamassas cimentícias e a realização de vigas de fundação em betão armado na zona do alçado posterior.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---			Altura do edifício: entre 2,50-3,00 m		Número de pisos: 1 (um)	
Uso anterior: habitação			Uso atual: armazém		Ocupado em permanência: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Noroeste	comprimento 14 m	Secção retangular	1	---	---	---
Descrição genérica: 6 vãos para o exterior (4 portas e 2 janelas)						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: lintéis nos vãos de portas e janelas						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento, zona da verga de portas e janelas e inserida (na vertical) na taipa						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input checked="" type="checkbox"/> Betão Localização: fundação						
<input type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: muitos dos materiais utilizados nesta edificação não foram identificados uma vez que só foi possível a visualização desta edificação pelo exterior. Utilização de dois tipos de revestimento: argamassas à base de cal e argamassas cimentícias.						
Tipologia construtiva:						
Fundações: viga de fundação						
Embasamento: alvenaria de pedra						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Lintéis: vergas de portas e janelas com elementos de madeira e no alçado posterior utilização de tijolo cerâmico						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: em madeira						
Descrição genérica: a cobertura de duas águas com telha canudo. No alçado principal a edificação está caiada com a zona do soco e dos vãos pintados com a tradicional cor azul. Introdução, como ato de reabilitação, de uma viga de fundação com continuidade para o interior da edificação (alçado posterior, Figura 22.A e 23.A).						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura

Estrutura

Paredes: intensa fissuração no revestimento no alçado principal com destacamento de parte do reboco. Utilização de argamassas cimentícias no alçado posterior para colmatar a perda de espessura da parede. São ainda visíveis manchas de humidade no alçado principal, possivelmente provocadas por acesso contínuo da água.

Descrição genérica: a edificação tem sido objeto de intervenção por parte do proprietário com a utilização de argamassas cimentícias. Inserção na zona das ombreiras tijolo cozido. Edificação a necessitar de alguma intervenção.



Figura 21.A. Alçado principal (noroeste)



Figura 22.A. À esquerda, alçado posterior, ao centro, humidades ascensionais, e à direita, destacamento de reboco



Figura 23.A. À esquerda, alçado posterior com a aplicação de um revestimento cimentício e utilização em algumas zonas argamassas de reparação também cimentícias, visualiza-se ainda uma viga de fundação que penetra para o interior da edificação onde se observam armaduras de espera, e à direita, pormenor da parede com argamassas cimentícias e da zona de embasamento

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 9 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: Bicos_1, Cercal do Alentejo						
Data e hora da visita: 21/10/2008 às 11:00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações:						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---		Altura do edifício: entre 2,50-3,00 m		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: armazém		Uso atual: armazém		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Este	9 × 6 (m ²)	Secção retangular	1	---	0,46 m em altura	---
Descrição genérica: devido ao facto de a edificação se encontrar em grande parte revestida não é possível verificar a dimensão dos blocos. A edificação apresenta 1 vão para o exterior (porta).						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input type="checkbox"/> Madeira						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: no embasamento, inserida (na vertical) na taipa e na zona da cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Tirante Localização: 3 tirantes em ferro forjado localizados na zona superior da edificação						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: argamassas de cal e cimento						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de pedra						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Linteis						
Viga bordadura: não existe uma viga de bordadura mas existe alvenaria de pedra para redistribuir os esforços do peso da cobertura						
Transição entre pisos						
Cobertura						
Descrição genérica: a cobertura de duas águas com telha canudo. Apresenta juntas em declive. São inseridos na taipa elementos de xisto na horizontal (Figura 26.A, à direita) para travamento da fendilhação vertical que possa existir na taipa.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura

Estrutura

Paredes: fissuração vertical. Destacamento e queda de parte do revestimento. Utilização de argamassas cimentícias para reparação de algumas zonas degradadas/erodidas da taipa. Nidificação de insetos causando a existência de orifícios na parede de taipa. São visíveis algumas manchas de humidade possivelmente provocadas por água ascensional.

Descrição genérica: edificação a necessitar de intervenção.



Figura 24.A. Alçado posterior (este) e alçado lateral esquerdo (norte), pode-se visualizar o destacamento da camada de revestimento e as ancoragens: à esquerda, em outubro de 2008; à direita, em abril de 2013 visualizando-se a contínua degradação na edificação



Figura 25.A. À esquerda, alçado lateral esquerdo (norte) e alçado principal (oeste), e à direita, visualização do tirante e da alvenaria de pedra para receber a estrutura de cobertura



Figura 26.A. À esquerda, nidificação de insetos e zona de intervenção com argamassas de reparação cimentícias, e à direita, pormenor da inserção na parede de uma pedra de xisto na posição horizontal

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 10 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: Bicos_2, Cercal do Alentejo						
Data e hora da visita: 21 / 10 / 2008 às 13:00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações:						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---		Altura do edifício: máximo 2,70 m		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: habitado		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Este	(16 × 5) m ²	Secção retangular	1	---	0,54 m em altura	---
Descrição genérica: devido ao facto de a edificação se encontrar em grande parte revestida não é possível verificar a dimensão dos blocos. Apenas 3 vãos para o exterior (2 portas e 1 janela)						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento, contraforte e peitoril						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input checked="" type="checkbox"/> Betão Localização: lintéis						
<input type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: muitos dos materiais utilizados nesta edificação não foram identificados uma vez que só foi possível a visualização desta edificação pelo exterior.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de pedra						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Lintéis: betão						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: em madeira						
Descrição genérica: a edificação apresenta um contraforte em pedra com uma dimensão em altura de 1,75 e de base uma área de 1,30 × 0,7 (m ²). Verificou-se ainda o cuidado de tapar os buracos deixados pelas agulhas (no ato da construção) com pedras aparentemente calcárias. Utilização de lintéis em betão, não sendo esta tipologia muito habitual para este tipo de edificações.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: estrutura de cobertura parece estar partida ou o material apresenta fluência.

Estrutura

Paredes: é visível a degradação bastante acentuada na parede exterior dos alçados lateral direito e posterior com o revestimento bastante erodido. Algumas zonas de revestimento encontram-se destacadas deixando a taipa à vista, degradando-a a um nível superficial.

Descrição genérica: edificação a necessitar de intervenção.



Figura 27.A. À esquerda, alçado principal (este)



Figura 28.A. Alçado posterior com um contraforte: à esquerda, em outubro de 2008; à direita, em abril de 2013, visualizando-se uma degradação bastante mais acentuada



Figura 29.A. Em 2013: à esquerda, destacamento e queda da camada de reboco; à direita, lintel em betão no vão da porta

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 11 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: mercado municipal			Nome do proprietário: junta freguesia de S. Luís			
Morada / localidade: S. Luís, Odemira						
Data e hora da visita: 21 / 10 / 2008 às 16 : 30 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input checked="" type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: edifício projetado pelos arquitetos Teresa Beirão e Alexandre Bastos decorreu do programa escola-oficinas ao abrigo da Portaria n.º 414/96 de 24 de agosto, que qualifica profissionais entre outros no domínio dos ofícios tradicionais. O empreiteiro da obra foi o Sr. Júlio Melro e o mestre taapeiro o Sr. José Maria.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1999-2000		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: mercado		Uso atual: mercado		Ocupado em permanência: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Nordeste	---	Secção retangular	1	---	---	---
Descrição genérica: o edifício apresenta 5 portas e 12 janelas.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: cobertura						
<input type="checkbox"/> Pedra						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input checked="" type="checkbox"/> Betão Localização: embasamento e fundações						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassas bastardas						
Descrição genérica: são visíveis dois tipos de misturas para a realização da taipa, originando duas taipas distintas; com dois tipos de argila e uma das misturas apresenta maior quantidade de agregados.						
Tipologia construtiva:						
Fundações: betão						
Embasamento: betão						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: alvenaria de tijolo						
Linteis: betão						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: em madeira						
Descrição genérica: verificam-se juntas em declive e como reforço foi utilizada uma estrutura de betão.						
ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO						
Cobertura:						
Estrutura:						
Paredes: são visíveis humidades ascensionais principalmente na fachada noroeste. É visível uma degradação na taipa consequente da erosão (bastante acentuada) e perda de coesão típica da presença de sais. Sendo um mercado municipal a existência de sais poderá dever-se à água utilizada na limpeza do espaço - habitualmente lavado com mangueira - que pode conter sais derivados dos produtos alimentares ali são manuseados. Outra possibilidade para o aparecimento dos sais surge derivado do cimento, utilizado na construção das fundações e embasamento, que são de betão.						

As paredes têm sido constantemente alvo de reparação com o recurso de argamassas cimentícias, que se verificaram inadequadas uma vez que se encontram maioritariamente destacadas, e verificou-se ainda a nidificação de insetos debaixo destas. Em algumas zonas verifica-se que o revestimento (argamassas bastardas) encontra-se muito frágil e com baixa coesão (desintegrando-se facilmente), a tinta que reveste o revestimento encontra-se pulverulenta e destacada.

Descrição genérica: a edificação apresenta-se muito degradada e a necessitar de intervenção.



Figura 30.A. Alçado principal do Mercado Municipal de São Luís: à esquerda, em 2004; à direita, em 2013 depois de algumas intervenções realizadas



Figura 31.A. Perda de espessura na parede com perda de coesão da taipa e revestimento com baixa coesão, verificando o empolamento de tinta



Figura 32.A. Em 2013: à esquerda, humidades ascensionais e perda de espessura da parede; ao centro, reparações efetuadas com uso de argamassas cimentícias; à direita degradação do revestimento com perda de coesão

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 12 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: Sr. Sérgio			
Morada / localidade: Propriedade do Monte, São Domingos						
Data e hora da visita: 22 / 10 / 2008 às 14 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input checked="" type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações:						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1890		Altura do edifício: máximo 2,60 m		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: em uso		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Norte	(10,90 × 8,80) m ²	Secção retangular	1	---	0,52 m em altura	---
Descrição genérica: devido ao facto de a edificação se encontrar em grande parte revestida não é possível verificar a dimensão dos blocos. A edificação apresenta 7 vãos para o exterior (2 portas e 5 janela)						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: vãos de portas e janelas						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento, pedra localizada entre os blocos de taipa						
<input checked="" type="checkbox"/> Tirante Localização: 3 tirantes em ferro forjado localizados na zona superior da edificação						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: muitos dos materiais utilizados nesta edificação não foram identificados uma vez que só foi possível a visualização desta edificação pelo exterior.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de pedra						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Linteis: vergas de portas e janelas com elementos de madeira						
Viga bordadura: não existe uma viga de bordadura mas existe tijolo cozido para redistribuir os esforços do peso da cobertura						
Transição entre pisos						
Cobertura:						
Descrição genérica: distribuição das cargas de cobertura através de tijolos cozidos. No alçado principal a edificação está pintada na zona do soco com a tradicional cor azul. Introdução de pedra na horizontal para travamento da fendilhação vertical que possa existir na taipa.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: estrutura de cobertura parece estar partida ou o material apresenta fluência.

Estrutura

Paredes: algumas zonas de revestimento encontram-se destacadas deixando a taipa à vista, enquanto que outras zonas do revestimento apresentam alguma erosão. Verifica-se ainda a utilização de argamassas cimentícias.

Descrição genérica: edificação a necessitar de intervenção.



Figura 33.A. Alçado principal (norte)



Figura 34.A. À esquerda, alçado posterior com destacamento de revestimento, e à direita, topo da parede de taipa, visualizando-se parte do tirante e o recurso a tijolo cozido para distribuição do peso de cobertura



Figura 35.A. Destacamento do revestimento com pormenor do embasamento e introdução de elementos de pedra entre os blocos de taipa

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 13 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação e comércio			Nome do proprietário:			
Morada / localidade: Castelão, São Luís						
Data e hora da visita: 23 / 10 / 2008 às 10 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input checked="" type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: intervenção de reabilitação e ampliação. A proprietária não quis fornecer muitas informações nem deixou tirar muitas fotografias, uma vez que não foi pedida autorização para as respetivas obras.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---		Altura do edifício:		Número de pisos: 2 (dois)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: habitação e comércio		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Norte	---	Secção retangular, compartimentada	1	0,50 m	---	---
Descrição genérica:						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura; estrutura da transição entre pisos						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input checked="" type="checkbox"/> Betão Localização: pilares e viga de bordadura						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica:						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de pedra						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tijolo cerâmico						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tijolo cerâmico						
Linteis						
Viga bordadura: em betão						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura

Estrutura: foram efetuados negativos na taipa e inseridos pilares de betão.

Paredes: as paredes de taipa foram revestidas com argamassas cimentícias após serem picadas para apresentarem rugosidades.

Descrição genérica



Figura 36.A. Criação de rugosidades na parede de taipa para receber uma argamassa cimentícia



Figura 37.A. Ampliação em altura da edificação de taipa com recurso à utilização de tijolos furados



Figura 38.A. Edificação em 2013

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 14 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação e turismo rural			Nome do proprietário: Miguel Godinho			
Morada / localidade: Cerro da Fontainha, São Teotónio						
Data e hora da visita: 22 / 10 / 2008 às 18 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: obra de reabilitação em 2001 realizada pelo dono com a ajuda de amigos. Atualmente serve de habitação e turismo rural. Foram recuperadas todas as paredes em bom estado de conservação, as que se encontravam muito degradadas foram demolidas e construídas em alvenaria de tijolo (com a mesma espessura).						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1860		Altura do edifício:		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: habitação e turismo		Ocupado em permanência: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Noroeste	---	Secção retangular, compartimentada	5	0,50 m	---	---
Descrição genérica:						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: fundações						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input checked="" type="checkbox"/> Betão Localização: fundações, viga de coroamento e viga de bordadura						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica						
Tipologia construtiva:						
Fundações: betão armado e alvenaria de pedra						
Embasamento: betão armado						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tijolo cerâmico						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tijolo cerâmico						
Linteis						
Viga bordadura: betão armado						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica: a viga de bordadura foi realizada não só com betão armado mas também com tijolo cozido (em cima do betão). Alguns pilares foram inseridos na taipa, para isso foram abertos negativos na própria taipa. Algumas paredes de taipa apresentavam fendas e foram colmatadas com o recurso a argamassas cimentícias. Foram utilizadas argamassas bastardas de 1:1:3 (cimento:cal:areia).						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura

Estrutura

Paredes: verificam-se em muitas zonas da parede humidades ascensionais com destacamento do revestimento. Estas humidades são mais visíveis no inverno. O revestimento apresenta uma fissuração excessiva sem direção preferencial.

Descrição genérica



Figura 39.A. Alçado principal (noroeste)



Figura 40.A. À esquerda, alçado posterior, e à direita, detalhe de humidade (devido a humidades ascensionais)



Figura 41.A. Humidades ascensionais: à esquerda, no interior do edifício; à direita, no exterior do edifício

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 15 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: Dr. Lélé			
Morada / localidade: Palácio do Monte Fernando Baixo, Safara, Moura						
Data e hora da visita: 27 / 12 / 2008 às 14 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: segundo Correia (2007) o edifício teve novo proprietário em 1974 devido à reforma agrária, 20 anos mais tarde o antigo proprietário voltou a comprar o monte.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1926		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: devoluto/ruína desde 1974		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Este	19,50 × 13,50 (m ²)	Secção retangular, compartimentada	1	0,50 m	1,70 × 0,50 × 0,50 (m ³) (comprimento×altura×espessura)	---
Descrição genérica: o edifício apresenta 3 portas e 13 janelas.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: entre as camadas dos blocos						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassa de cal e terra com uma espessura de 2-3 cm						
Descrição genérica: o edifício apresenta uma taipa bastante escura, podendo caracterizar uma terra com elevada matéria orgânica.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento						
Paredes exteriores	<input checked="" type="checkbox"/> Taipa	<input type="checkbox"/> Adobe	<input type="checkbox"/> Outro	Observações: _____		
Paredes interiores	<input checked="" type="checkbox"/> Taipa	<input type="checkbox"/> Adobe	<input type="checkbox"/> Outro	Observações: _____		
Linteis						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica: verifica-se por vezes que o bloco de taipa está dividido em dois, ficando cada bloco com uma altura de aproxima de 0,25 m, dividido por uma argamassa de terra e cal (Figura 44.A, à direita). A cobertura é de duas águas simétricas, com a utilização de telha canudo.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: grande parte da estrutura de cobertura já ruíu.

Estrutura

Paredes: não existindo parte da cobertura verifica-se que o topo de algumas paredes apresentam-se muito degradadas. Algumas zonas do revestimento já se encontram destacadas, começando a degradar superficialmente parte da parede. Verificam-se alguns fungos/bolores nas paredes de taipa.

Descrição genérica: o edifício encontra-se em estado avançado de degradação, causado pelo abandono.



Figura 42.A. Palácio do Monte Fernando Baixo, alçado principal e alçado lateral direito

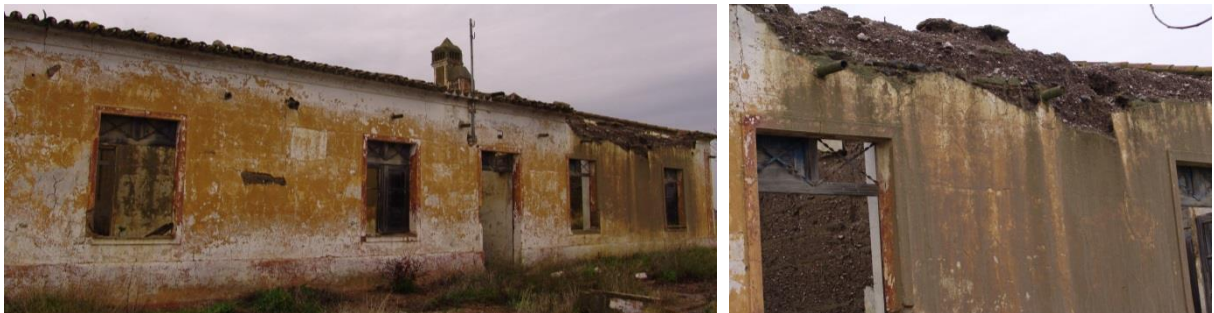


Figura 43.A. À esquerda, alçado posterior, e à direita, pormenor do topo da parede em estado avançado de degradação



Figura 44.A. Paredes interiores da edificação, visualizando-se à direita a divisão do bloco de taipa em dois blocos

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 15 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: albergue de animais			Nome do proprietário: Dr. Lélé			
Morada / localidade: Palácio do Monte Fernando Baixo, Safara, Moura						
Data e hora da visita: 27 / 12 / 2008 às 15 : 30 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: segundo Correia (2007) o edifício teve novo proprietário em 1974 devido à reforma agrária, 20 anos mais tarde o antigo proprietário voltou a comprar o monte. Este edifício servia de casa de porcos.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1926 (provável)		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: casa dos porcos		Uso atual: devoluto/ruína desde 1974		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Corpo 1 - nordeste	4,90 × 5,00 (m ²)	Corpo 2 - Secção retangular, compartimentada	-	0,50 m	1,90 × 0,55 × 0,50 (m ³) (comprimento×altura×espessura)	---
Corpo 2 - sudeste	5,50 × 31,60 (m ²)					
Descrição genérica: todas as aberturas são em arco. O corpo 1 apenas apresenta uma abertura. O corpo 2 apresenta duas aberturas.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra <input type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/> Pedra <input type="checkbox"/> Tirante <input type="checkbox"/> Betão <input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassa de cal e terra com uma espessura de 2-3 cm e no corpo 2 argamassas cimentícias						
Descrição genérica: a zona dos cunhais e ombreiras são realizados com tijolo e elementos de xisto						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento						
Paredes exteriores	<input checked="" type="checkbox"/> Taipa	<input type="checkbox"/> Adobe	<input type="checkbox"/> Outro	Observações: _____		
Paredes interiores	<input type="checkbox"/> Taipa	<input type="checkbox"/> Adobe	<input checked="" type="checkbox"/> Outro	Observações: alvenaria de tijolo cozido		
Linteis						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura						

Descrição genérica: verifica-se que por vezes o bloco de taipa está dividido em dois (como na construção do edifício principal), ficando cada bloco com uma altura de aproximadamente 0,27 m, dividido por uma argamassa de terra e cal. O topo das paredes apresenta uma fiada de xisto no corpo 1, e no corpo 2 uma fiada de tijolo cozido.

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: já não existe estrutura de cobertura.

Estrutura

Paredes: nas zonas das juntas entre os blocos de taipa o revestimento ainda existe, manifestando que a argamassa deverá apresentar algum tipo de ligante. Nas zonas da taipa já não existe revestimento e a taipa encontra-se muito degradada e com elevada perda de espessura. Verificam-se ainda alguns fungos/bolores nas paredes de taipa.

Descrição genérica: o edifício encontra-se em estado avançado de degradação, já não existindo algumas paredes.



Figura 45.A. À esquerda, visualiza-se o corpo 2 à esquerda e o corpo 1 à direita, e à direita entrada para o corpo 1



Figura 46.A. Parede de taipa bastante degradada e erodida



Figura 47.A. Edifício do corpo 2, verificando-se a utilização de algumas argamassas cimentícias

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 15 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: vacaria			Nome do proprietário: Dr. Lélé			
Morada / localidade: Palácio do Monte Fernando Baixo, Safara, Moura						
Data e hora da visita: 27 / 12 / 2008 às 16 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: segundo Correia (2007) o edifício teve novo proprietário em 1974 devido à reforma agrária, 20 anos mais tarde o antigo proprietário voltou a comprar o monte. Este edifício servia de vacaria.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1926 (provável)		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: vacaria		Uso atual: devoluto/ruína		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Sul	---	---	3	0,50 m	1,90 × 0,50 × 0,50 (m ³) (comprimento×altura×espessura)	---
Descrição genérica:						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de madeira						
<input type="checkbox"/> Pedra						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassa de cal e terra com uma espessura de 2-3 cm						
Descrição genérica:						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: alvenaria de tijolo cozido						
Linteis						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica: a estrutura de madeira descarrega diretamente nas paredes de taipa.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: algumas zonas da cobertura já ruíram.

Estrutura

Paredes: utilização de argamassas cimentícias para colmatar a degradação acentuada nas paredes de taipa. Nas zonas onde não existe revestimento a degradação da taipa apresenta-se acentuada. Fissuração vertical provocada pelo facto da estrutura de madeira da cobertura descarregar diretamente na taipa. Verificam-se alguns fungos/bolores nas paredes de taipa.

Descrição genérica: o edifício necessita de intervenção.



Figura 48.A. Alçado lateral esquerdo, visualizando-se uma degradação acentuada no revestimento e queda em algumas zonas



Figura 49.A. À esquerda, entrada para o edifício principal, visualizando o muro de taipa com o revestimento destacado, e à direita, interior do edifício visualizando-se também destacamento do revestimento



Figura 50.A. Zona interior do edifício, visualizando-se a estrutura de cobertura e os pilares

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 18 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: oficina			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: oficina do abegão, Safara Moura						
Data e hora da visita: 28 / 12 / 2009 às 10 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input checked="" type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: abegoaria, oficina para construção de carroças.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ≈ 1900			Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)	
Uso anterior: oficina			Uso atual: em uso		Ocupado em permanência: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Norte	6,50 × 8,10 (m ²) 4,10 × 4,10 (m ²)	---	2	0,50 m	Altura 0,55 m	---
Descrição genérica: o edifício apresenta 2 portas.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura e elementos no interior da taipa						
<input type="checkbox"/> Pedra						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica:						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tijolo burro e xisto						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tijolo burro						
Linteis						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: a cobertura apresenta uma estrutura principal em madeira, com telhas de canudo						
Descrição genérica: entre os blocos de taipa existe uma argamassa com a utilização de pedra. Elementos de reforço em madeira, em forma de L, encastrados um no outro, no interior das paredes de taipa (Correia 2007).						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: a estrutura de cobertura poderá estar partida ou a estrutura de madeira pode apresentar fluência.

Estrutura

Paredes: numa das paredes foi utilizado um revestimento cimentício. O revestimento na fachada principal encontra-se erodido, sendo já visível a taipa.

Descrição genérica: a necessitar de obras de reabilitação.



Figura 51.A. Alçado principal (norte)



Figura 52.A. Alçado principal e alçado lateral esquerdo

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 19 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: Maria do Céu Marques			
Morada / localidade: Malhada do Monte Sal, Sobral da Adiça, Moura						
Data e hora da visita: 28 / 12 / 2008 às 17 : 30 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: Bento Marques antigo proprietário deixou o edifício à sua filha, Maria do Céu Marques. O edifício era habitado por um pastor que trabalhava para Maria do Céu Marques, e que também utilizava o curral (ficha técnica de inspeção n.º 20).						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: séc. XIX, o edifício tem mais de + 100 anos		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: abandonado à mais de 20 anos		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Este	---	Retangular compartimentada	3	0,55 m	? × 0,55 m × 0,55 m (comprimento×altura×espessura)	---
Descrição genérica: o edifício apresenta 2 portas de acesso e 1 janela. Está também acoplado ao edifício 1 forno.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input type="checkbox"/> Madeira						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassa de terra						
Descrição genérica: taipa bastante argilosa.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embassamento alvenaria de pedra, com uma altura de 0,50 m						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Linteis: reforço no vãos de portas e janelas com tijolo macico cozido						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura						
Descrição genérica: cobertura apenas com 1 água e utilização de telhas canudo. É visível pelos orifícios deixados pela estrutura de cobertura (provavelmente em madeira) que esta assentava diretamente nas paredes de taipa. Houve o cuidado no ato de construção, de tapar os buracos deixados pelas agulhas com uma argamassa.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: já não existe.

Estrutura

Paredes: destacamento de zonas do revestimento e como consequência a taipa apresenta-se erodida a um nível superficial. Zonas de revestimento erodidas a nível superficial, começando a atingir a taipa. Verificam-se a existência de crescimento de vegetação no topo das paredes e existência de fungos/bolores em algumas zonas do revestimento. Reparações efetuadas com o recurso a argamassas cimentícias. Verifica-se a existência de pequenos buracos, derivado da nidificação de insetos. É Também visível humidades ascensionais, possivelmente devido a um corte hídrico mal executado. No revestimento existe uma fissuração excessiva em algumas zonas e a existência de fundos/bolores.

Descrição genérica: o edifício encontra-se em estado avançado de degradação.



Figura 53.A. À esquerda, alçado principal, e à direita, alçado posterior com a utilização de argamassas cimentícias para tapar alguma degradação na taipa



Figura 54.A. À esquerda, interior da edificação com o destacamento do revestimento, e à direita, alçado lateral esquerdo visualizando-se o forno e fissuração excessiva do revestimento, existência de fungos/bolores



Figura 55.A. À esquerda, pequenos orifícios na taipa devido à nidificação de insetos, e à direita, pormenor da zona do embasamento com a utilização de alvenaria de pedra

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 20 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: curral			Nome do proprietário: Maria do Céu Marques			
Morada / localidade: Malhada do Monte Sal, Sobral da Adiça, Moura						
Data e hora da visita: 28 / 12 / 2008 às 17 : 30 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: Bento Marques antigo proprietário deixou o edifício à sua filha. O edifício era utilizado por um pastor que trabalhava para Maria do Céu Marques.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: séc. XIX, o edifício tem mais de + 100 anos		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: curral		Uso atual: abandonado à mais de 20 anos		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Este	(10,00 x 15,80) m ²	Retangular compartimentada	1	0,55 m	? × 0,55 m × 0,55 m (comprimento×altura×espessura)	---
Descrição genérica: o edifício apresenta 3 portas de acesso. Aparentemente o edifício apresentava dois pátios.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra <input type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/> Pedra <input type="checkbox"/> Tirante <input type="checkbox"/> Betão <input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassa de terra						
Descrição genérica: taipa bastante argilosa com muita matéria orgânica, pequenos ramos, bolotas, entre outros.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Linteis: reforço no vãos de portas e janelas com tijolo maciço cozido						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura						
Descrição genérica: cobertura apenas com 1 água e utilização de telhas canudo. É visível pelos orifícios deixados pela estrutura de cobertura (provavelmente em madeira) que esta assentava diretamente nas paredes de taipa. Houve o cuidado de tapar os buracos deixados pelas agulhas com uma argamassa. Algumas pedras foram colocadas entre as fiadas verticais e horizontais dos blocos de taipa para travamento da fendilhação que possa existir na taipa.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: já não existe.

Estrutura

Paredes: destacamento de grande parte da camada de revestimento, apresentado uma taipa bastante erodida com uma perda de espessura a um nível bastante acentuado. Verificam-se a existência de bolores/fundos e o crescimento de vegetação no topo das paredes. Reparações efetuadas com o recurso a argamassas cimentícias.

Descrição genérica: o edifício encontra-se em estado avançado de degradação.



Figura 56.A. Alçado principal e alçado lateral esquerdo, com o pormenor da porta de entrada (à direita)



Figura 57.A. À esquerda, alçado posterior, e à direita, alçado lateral esquerdo visualizando algumas reparações efetuadas com argamassas cimentícias



Figura 58.A. Destacamento do revestimento e consequente erosão da taipa

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 21 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação, armazém, palheiro, estábulos, casa do forno				Nome do proprietário: Santa Casa da Misericórdia		
Morada / localidade: Herdade Afonseanes, Sobral da Adiça, Moura						
Data e hora da visita: 28 / 12 / 2008 às 17 : 30 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: Rui Lacerda antigo proprietário como não tinha herdeiros doou a herdade à Santa Casa da Misericórdia, que posteriormente alugou a um agricultor.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ≈ 1880		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: ---		Uso atual: em uso		Ocupado em permanência: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
---	---	---	---	0,55 m	1,60 × 0,55 × 0,55 (m ³) (comprimento×altura×espessura)	---
Descrição genérica: alguns edifícios da herdade encontram-se bastante degradados e ao abandono. O rendeiro pediu autorização à Santa Casa da Misericórdia para fazer obras mas não obteve resposta. Todos os edifícios da herdade apresentam poucas aberturas para o exterior (portas), e apenas na habitação e casa do forno são visíveis janelas.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento e topo das paredes						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassa de terra						
Descrição genérica: taipa bastante argilosa.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de xisto, com altura de 1,20 m						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Linteis: reforço no vãos de portas e janelas com tijolo maciço cozido						
Viga bordadura: coroamento no topo das paredes com tijolos maciços cozidos e elementos de xisto						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica: utilização de telhas canudo e substituição de algumas telhas por chapas de ferro fundido. Houve o cuidado para redistribuir as cargas de cobertura, assim é visível no topo das paredes uma fiada de tijolos maciços cozidos e elementos de xisto. Elementos de reforço em madeira, em forma de L, encastrados um no outro, no interior das paredes de taipa (Correia 2007). Houve ainda o cuidado de tapar os buracos deixados pelas agulhas com uma argamassa. Verificam-se também juntas em declive.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: parte da estrutura de cobertura já não existe.

Estrutura

Paredes: as paredes onde já não existe revestimento encontram-se bastante erodidas verificando-se um nível de degradação superficial mas também a um nível mais profundo. Esmagamento com fissuração vertical devido à estrutura da cobertura apoiar diretamente na parede de taipa. Verificam-se humidades ascensionais e a existência de bolores e fundos.

Descrição genérica: o edifício encontra-se em estado avançado de degradação, a necessitar de obras.



Figura 59.A. À esquerda, observam-se juntas em declive e o reforço com tijolo maciço nos vãos, e à direita, verifica-se a existência de cavidades profundas nas paredes de taipa



Figura 60.A. À esquerda, zona da taipa bastante degradada com perda de espessura na parede, e à direita, esmagamento no topo da parede e consequente fissuração devido ao peso da cobertura



Figura 61.A. À esquerda, degradação na parede de taipa, e à direita, humidades ascensionais com crescimento de fungos/bolores

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 22 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação + estábulo + curral				Nome do proprietário:		
Morada / localidade: Herdade do Monte, Barrancos						
Data e hora da visita: 29 / 12 / 2008 às 10 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações:						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ---			Altura do edifício: entre 3,20-3,80 m		Número de pisos: 1 (um)	
Uso anterior: habitação + estábulo + curral			Uso atual: devoluto/ruína		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Noroeste	(34,00 x 13,30) m ²	Secção retangular, compartimentada	1	0,50 m	---	---
Descrição genérica: o edifício apresenta 7 portas para o exterior. O alçado posterior apresenta um alpendre que servia de cavaliças/estábulo.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento e pedra inserida na horizontal no meio dos blocos de taipa						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica:						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de xisto, com altura de 1,40 m						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: alvenaria de tijolo cozido						
Linteis: tijolo cozido para reforço das ombreiras e vergas						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica: a cobertura é de duas águas com telha canudo. A base é rematada com uma faixa nos tons de vermelho. A carga de cobertura descarrega diretamente nas paredes de taipa. Os pilares existentes são em alvenaria de pedra. Pedra inserida na horizontal para travamento da fendilhação vertical que possa existir na taipa.						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: grande parte encontra-se em ruína.

Estrutura

Paredes: fissuração do revestimento sem direção preferencial. Destacamento em algumas zonas do revestimento. A degradação das paredes começa a acentuar-se devido à falta de cobertura.

Descrição genérica: o edifício a necessitar de intervenção.



Figura 62.A. Alçado lateral esquerdo e principal



Figura 63.A. À esquerda, alçado principal, e à direita, pormenor do embasamento



Figura 64.A. À esquerda, destacamento do revestimento, e à direita, interior do edifício (cozinha)

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 23 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: Rua Melo Mexia, no centro de Arraiolos						
Data e hora da visita: 15 / 07 / 2009 às 11 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input checked="" type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: informações fornecidas pela Art.ª Florbela Vitorino da Câmara Municipal de Arraiolos.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: ≈ 1800		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 2 (dois)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: devoluto/ruína na fachada este		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Norte	-	Secção retangular compartimentada	1 (2 pátios)	-	---	---
<p>Descrição genérica: apesar de desabitado, ainda se apresenta em boas condições de habitabilidade. A edificação apresenta dois pátios; um junto ao alçado principal e outro junto ao alçado posterior. Não foi possível determinar a data de construção do edifício, sendo referido pela Arquitecta Florbela, que tendo em conta a localização da edificação no tecido urbano, as hipóteses de modelos de expansão da vila, e a tipologia construtiva (estudado pela CMA), é possível que esta construção tenha cerca de 200 anos. A edificação é térrea em cerca de metade da sua extensão como consequência do desnível do terreno. O proprietário pediu autorização à CMA para a demolição do edifício, porém esta não lhe foi concedida.</p>						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra <input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de madeira <input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento <input type="checkbox"/> Tirante <input type="checkbox"/> Betão <input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
<p>Descrição genérica: solo utilizado para a construção da taipa é bastante escuro, indiciando elevado teor de matéria orgânica. Verifica-se ainda a presença de pequenos pontos brancos na taipa. As informações que foram possíveis recolher, nomeadamente no que se refere ao tipo de reforço, fundações, tipo de junta entre blocos de taipa e dimensões destes, são escassas uma vez que as paredes ainda se encontram revestidas na sua grande parte e não se encontrou qualquer projeto da construção.</p>						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de pedra						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: divisórias em madeira						
Linteis						
Viga bordadura						
Transição entre pisos: estrutura de madeira						
Cobertura: a cobertura apresenta uma estrutura principal em madeira, onde assentam ripas também de madeira para suporte das telhas de canudo						

Descrição genérica: reforço da ombreira da porta com tijolo maciço cozido. A edificação está caiada por dentro e por fora, com a zona do soco pintada com a tradicional cor azul.

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura

Estrutura

Paredes: verificam-se duas zonas bastante degradadas com perda de espessura na parede resistente, nomeadamente na parede na fachada principal (fachada norte) e empena este. Nestas zonas verifica-se ainda uma taipa bastante erodida, possivelmente devido a humidades ascensionais. Na fachada este, parte da parede está em ruína. Visualizam-se ainda algumas intervenções com argamassas cimentícias na fachada principal. Destacamento e queda do revestimento no interior da edificação.

Descrição genérica: apesar de desabitado e algumas partes em ruína, a edificação ainda tem condições de habitabilidade. São contudo necessárias obras de reabilitação.



Figura 65.A. Alçado principal (norte)



Figura 66.A. À esquerda, zona da cozinha, e à direita, zona da sala com acesso ao piso superior

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 24 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: ---			
Morada / localidade: Monte das Covas, Valongo, Avis						
Data e hora da visita: 15 / 07 / 2009 às 15 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: o atual proprietário recebeu por herança a propriedade e não pretende fazer obras de reabilitação.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1933		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: devoluto/ruína		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Noroeste	-	Secção retangular, compartimentada	2	0,50 m	Taipa 1 - não é perceptível devido à erosão e altura variável Taipa 2 - o destacamento do reboco ocorreu numa área diminuta não sendo visível as dimensões	Adobe tipo 1: 0,40 × 0,12 × 0,20 (m³) Adobe tipo 2: 0,30 × 0,10 × 0,15 (m³) (comprimento×altura×espessura)
Descrição genérica: foram efetuadas ampliações ao longo dos anos, décadas de 50 e 70, devido ao aumento do agregado familiar. O proprietário não tem qualquer interesse na edificação, referindo que um dia será para demolir.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento e contraforte						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassa de cal com uma espessura de 2-3 cm, no interior foi colocado pedra rolada (aparentemente calcário)						
Descrição genérica: taipa 1 - taipa mais arenosa com pouca percentagem em cascalho; taipa 2 - taipa arenosa com pedaços de cerâmica e cascalhos angulares de grandes dimensões. Adobe tipo 1 - adobe com uma terra escura e alguma matéria orgânica visível; adobe tipo 2 - adobe de cal e areia. A edificação está revestida com uma argamassa de cal com espessura aproximada de 1,5 cm, que se encontra caída.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de xisto, com altura de 1,00 m						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input checked="" type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input checked="" type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Linteis: tijolo cozido para reforço das ombreiras e das vergas (em forma de arco)						
Viga bordadura: coroamento no topo das paredes com adobes, para receber a estrutura da cobertura						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						

Descrição genérica: existe um contraforte em pedra, como reforço da fachada noroeste. A cobertura é de duas águas simétricas, de telha canudo, com sub-beirado e um balanço de 0,40 m. A base é rematada com a tradicional faixa, azul numa das habitações e avermelhada na outra.

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: estrutura de cobertura já ruiu.

Estrutura

Paredes: as paredes onde já não existe revestimento encontram-se bastante erodidas verificando-se um nível de degradação superficial mas também profundo. Existe a evidência de perda de material e de secção resistente. Verifica-se ainda que em algumas zonas no topo das paredes que já não apresentam qualquer capeamento, uma erosão acentuada.

Descrição genérica: o edifício encontra-se em ruína num estado avançado de degradação, causado pelo abandono.



Figura 67.A. À esquerda, alçado principal (noroeste), e à direita, alçado lateral direito (sudeste)



Figura 68.A. À esquerda, parede interior em taipa visualizando-se pedaços de cerâmica e cascalho angular de grandes dimensões, e à direita, parede do alçado posterior com a utilização de dois tipos de adobe

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 25 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: habitação			Nome do proprietário: Joana Trelça			
Morada / localidade: Castro Verde, Almodôvar						
Data e hora da visita: 21 / 07 / 2009 às 10 : 30 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input checked="" type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: a edificação pertence a Joana Trelça que herdou e que pretende reabilitar utilizando a mesma técnica. Pediu o projeto de reabilitação a um arquiteto da família.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: início do séc. XIX		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: habitação		Uso atual: devoluto		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Norte	---	Secção retangular, compartimentada	2	0,55 m	---	---
Descrição genérica: a edificação apresenta um pequeno terreno nas traseiras da edificação com um alpendre, também este realizado com paredes de taipa.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas):						
Descrição genérica:						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de pedra, não sendo perceptível a sua altura devido ao revestimento ainda existente						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tijolo cerâmico e alvenaria em adobe						
Linteis						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						
Descrição genérica: a cobertura consiste numa estrutura principal de madeira com telha canudo e sub-beirado. Esta estrutura descarrega diretamente nas paredes de taipa (não se verificando nenhum sistema para redistribuição de cargas).						

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura

Estrutura: esmagamento pontual e fissuração nas zonas de parede de taipa por não conseguirem suportar as cargas devido ao peso excessivo da cobertura.

Paredes: revestimento com fissuração generalizada, encontrando-se em algumas zonas destacado. Verifica-se ainda zonas de revestimentos pulverulentos e presença de sais devido a humidades ascensionais. Também devido ao contínuo acesso da água verifica-se zonas de paredes com bolores/fungos. Observa-se a utilização de argamassas cimentícias para travar a degradação da taipa erodida.

Descrição genérica: o edifício a necessitar de intervenção.



Figura 69.A. À esquerda, alçado principal, e à direita, alçado posterior



Figura 70.A. Degradação do revestimento: à esquerda, fissuração e destacamento; à direita, intervenção com argamassas cimentícias



Figura 71.A. À esquerda, revestimento pulverulento e existência de sais devido ao acesso contínuo da água, e à direita, zona do alpendre

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 26 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: Escola e habitação para os professores			Nome do proprietário: D. Júlia do Monte Velho			
Morada / localidade: Escola do Barranco Cai Logo, Herdade da Afincerna, Colos, Ourique						
Data e hora da visita: 26 / 09 / 2009 às 15 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: nome da herdade deve-se ao facto da edificação se encontrar perto da capela de Nossa Senhora do Carmo ou Afincerna (datada do século XV). Escola mandada construir pela D. Júlia do Monte Velho para as crianças da aldeia, uma vez que a escola mais próxima estaria a alguns quilómetros de distância e não era possível o respetivo transporte. A edificação apresentava quartos para os professores, assim como cozinha e instalações sanitárias.						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1947/48			Altura do edifício: 5,40 m (até à cumeeira)		Número de pisos: 2 (dois)	
Uso anterior: escola primária e habitação			Uso atual: abandonado desde 1988, devoluto/ruína		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Noroeste	16,50 × 26,50 (m ²)	Secção retangular, compartimentada	1	0,50 m	1,65 × 0,45 × 0,50 (m ³) (comprimento×altura×espessura)	---
Descrição genérica: todos os compartimentos apresentam um vão para o exterior, perfazendo um total de 16 vãos (4 portas e 12 janelas). A cumeeira chega a atingir uma altura aproximada de 5,40 m.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura; estrutura da transição entre pisos						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: embasamento e contraforte						
<input checked="" type="checkbox"/> Tirante Localização: interior da taipa: em ferro forjado a 0,30 - 0,20 m do topo das paredes e ao centro da parede						
<input checked="" type="checkbox"/> Betão Localização: vergas de portas e janelas e viga de bordadura						
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): argamassas de cal e areia, com espessura 2-2,5 cm						
Descrição genérica: verifica-se a conjugação de uma construção de taipa com uma estrutura de betão armado, sistema que não era usual utilizar-se à data da construção. No interior e no exterior, ainda existem vestígios de um reboco com espessura de 1 a 1,5 cm, constituído por argamassa de cal e areia.						
Tipologia construtiva:						
Fundações						
Embasamento: alvenaria de xisto, com altura de 0,80 m						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: tijolo cerâmico						
Linteis: vergas de portas e janelas com elemento em betão armado com espessura de 0,10 m e entrega de 0,30 m						
Viga bordadura: betão armado com espessura de 0,12 m						
Transição entre pisos: estrutura de madeira						
Cobertura: estrutura de madeira						

Descrição genérica: a preocupação estrutural está patente em grande parte no tipo de elementos adotados, que na altura da construção eram pouco utilizados em Portugal, nomeadamente o betão armado. Com algumas juntas em declive as paredes de taipa apresentam elementos de xisto entre camadas. A cobertura consistia numa estrutura principal de madeira, com ripas também em madeira e telha de aba e canudo. A estrutura principal da cobertura descarrega no lintel de betão armado, estando confinada por tijolos cozidos furados nos pontos de entrega (Figura 74.A, à direita). Nas zonas em que não há lintel de betão, em algumas das zonas descarrega em elementos de xisto. Pelo modo como se desenha a estrutura da cobertura, esta parece ter sido de quatro águas, com beirado sinuoso.

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: mais de 60% da estrutura de cobertura já ruiu.

Estrutura: esmagamento em algumas zonas das paredes de taipa por não conseguirem suportar as cargas devido ao peso excessivo da cobertura.

Paredes: grande parte das paredes já não se encontram com revestimento e é visível a degradação acelerada da taipa (com bastante erosão) com perda de espessura das paredes, devido às condições climatéricas (chuva e vento). Observa-se a utilização de argamassas cimentícias (alçado posterior) para travar a degradação da taipa erodida; mas, também este tipo de revestimento encontra-se em algumas zonas destacado.

Descrição genérica: o edifício encontra-se em ruína em estado avançado de degradação, causado pelo abandono e falta de manutenção.



Figura 72.A. À esquerda, alçado principal (noroeste), e à direita, alçado posterior (sudeste)



Figura 73.A. À esquerda, alçado lateral direito (sudeste), e à direita, pormenor de viga de bordadura e tirante



Figura 74.A. À esquerda, erosão da taipa, e à direita, juntas em declive, visualizando-se como a estrutura de cobertura apoiava nas paredes

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 27 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: armazém rural			Nome do proprietário: Srª Cândida Maria			
Morada / localidade: Monte Se Deus Quiser, Corte Zorrinho, S ^{ta} . Clara-a-Nova, Almodôvar						
Data e hora da visita: 26 / 09 / 2009 às 10 : 30 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: a atual proprietária herdou do pai, Jazuíno Manuel João, a herdade e consequentemente a edificação. Na zona de Almodôvar, existe abundância de pedra, sendo a maioria das edificações construídas com este tipo de material e com a técnica do adobe para paredes interiores. Assim, o edifício em análise é um dos poucos exemplares com a técnica construtiva da taipa (nesta região).						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1930		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: armazém rural		Uso atual: devoluto/ruína		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Sueste	3,60 × 5,00 (m ²)	Secção retangular não compartimentada	1	0,50 m	1,40 × 0,45 × 0,50 (m ³) (comprimento×altura×espessura)	---
Descrição genérica: a edificação destinava-se a guardar utensílios para a agricultura e alimentação para os animais. A sua construção teve início em 1930 e encontra-se abandonada desde 1995. A atual proprietária referiu que a edificação levou várias décadas a construir, nunca chegando a ser totalmente concluída, daí o nome Monte Se Deus Quiser. Só existe um único vão a registar, nomeadamente a porta.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: lintel da porta						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: fundação e embasamento						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: a taipa utilizada apresenta alguns agregados de xisto de grandes dimensões. Pelas semelhanças de aspeto, a terra utilizada é provavelmente a mesma que é encontrada na zona em que a edificação se ergue: afirmação corroborada pela atual proprietária.						
Tipologia construtiva:						
Fundações: alvenaria de xisto						
Embasamento: alvenaria de xisto, que tem uma altura de aproximadamente 1,00 m						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Linteis: em madeira sobre o qual foram assentes elementos de xisto envoltos com uma argamassa de terra						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: a construção nunca chegou a receber cobertura mas estava projetada uma cobertura inclinada apenas com uma vertente						

Descrição genérica: não existe qualquer reforço nos cunhais. Contudo, em determinadas juntas horizontais, são visíveis alguns elementos de xisto, técnica que tinha o objetivo de aumentar o atrito entre módulos de taipa. Existe apenas um único vão a assinalar, a porta principal, com 1,00 m de largura e 1,90 m de altura, que se encontra na fachada sueste. Nunca foi efetuado qualquer revestimento. A base em xisto para receber a estrutura de madeira ainda é visível no topo das paredes do alçado principal e posterior.

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura

Estrutura

Paredes: nas paredes são visíveis algumas fendas verticais e a nidificação de insetos originado orifícios na taipa. Verifica-se ainda uma taipa bastante degradada com perda de espessura a um nível bastante acentuado. Visualiza-se a contaminação por fungos/bolores.

Descrição genérica: a edificação encontra-se ao abandono. Não obstante, ainda seria possível uma intervenção de reabilitação.



Figura 75.A. À esquerda, alçados principal (sueste) e lateral direito, e à direita pormenor da parede de taipa e embasamento



Figura 76.A. À esquerda, pormenor do lintel no vão da porta, e à direita, pormenor da pedra de xisto colocada entre os blocos de taipa

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 28 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: comércio e habitação			Nome do proprietário: Sr. Mário Silva			
Morada / localidade: Monte do Pá Danado, Taliscas, Odemira						
Data e hora da visita: 10 / 06 / 2009 às 12 : 30 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: Localizado no parque natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: finais séc. XIX		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: comércio e habitação		Uso atual: devoluto/ruína		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Sul	-	Secção retangular	3	---	---	---
<p>Descrição genérica: não foi possível saber a data precisa da sua construção. A edificação além de habitação oferecia uma pequena taberna. O forno e um pequeno espaço que servia de armazém, surgem acoplados à fachada posterior, a norte. Não foi possível identificar as dimensões dos módulos de taipa dada a acentuada erosão da taipa, a edificação encontra-se em estado avançado de ruína. São visíveis 3 vãos (1 porta e 2 janelas).</p>						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra <input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura e lintéis nos vãos de porta e janelas <input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: fundação, pedra inserida na taipa e no topo das paredes de taipa <input checked="" type="checkbox"/> Tirante Localização: zona superior no interior da taipa em ferro forjado <input type="checkbox"/> Betão <input checked="" type="checkbox"/> Argamassa (juntas): não existe						
<p>Descrição genérica: a terra que dá corpo à taipa possui uma cor forte avermelhada, semelhante à do terreno circundante, de onde provavelmente foi recolhida. É visível na matéria-prima utilizada na taipa uma grande quantidade de cascalho – provavelmente elementos de calcário. Não existe embasamento nas paredes mas foi possível identificar uma fundação em alvenaria de xisto onde assentam as paredes de taipa. Do revestimento ainda existem alguns vestígios. Pode observar-se a existência de duas camadas de reboco com argamassas de cal, embora existam zonas totalmente despidas devido à queda do revestimento original. A seleção da matéria-prima utilizada na taipa não parece ter sido cuidadosa, pela utilização em grande quantidade de matéria orgânica vegetal utilizada (pequenos pedaços de madeira).</p>						
Tipologia construtiva:						
Fundações: alvenaria de xisto						
Embasamento						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input checked="" type="checkbox"/> Outro Observações: paredes de xisto						
Paredes interiores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Lintéis: vergas de porta e janelas com elementos de madeira						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						

Descrição genérica: a taipa é a técnica construtiva utilizada na maioria das paredes. Contudo, existem algumas zonas onde se verifica a utilização de alvenaria de pedra (xisto). Pequenos barrotes de madeira inseridos na taipa. Contraforte em alvenaria de pedra na fachada oeste. Identifica-se, pela geometria da parede de empena, uma cobertura de duas águas simétricas com estrutura principal em madeira que recebia as telhas canudo. Não é visível qualquer tipo de reforço na zona da parede de taipa onde o barrote da cumeeira assenta, porém foram distribuídas pedras de xisto no topo das paredes de taipa para redistribuir as cargas de cobertura.

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: a edificação não apresenta cobertura.

Estrutura

Paredes: as paredes onde já não existe revestimento encontram-se bastante degradadas com um nível de degradação bastante acentuado, em algumas zonas a perda de espessura da parede apresenta-se em mais de 50%.

Descrição genérica: a edificação encontra-se ao abandono e em estado avançado de ruína.



Figura 77.A. À esquerda, alçado principal (sul), e à direita, alçado lateral esquerdo (oeste) com a visualização de uma parede em xisto pertencente ao armazém



Figura 78.A. À esquerda, interior do alçado principal (sul), e à direita, interior do alçado posterior (norte)

FICHA TÉCNICA DE INSPEÇÃO Nº 29 - INFORMAÇÃO GERAL						
Tipo de edifício: armazém e albergue de animais			Nome do proprietário: Sr. José João da Encarnação			
Morada / localidade: Monte Val Chaim, Taliscas, Odemira						
Data e hora da visita: 17 / 04 / 2010 às 16 : 00 min						
Ambiente envolvente: <input type="checkbox"/> Zona costeira <input type="checkbox"/> Zona urbana <input checked="" type="checkbox"/> Zona interior <input checked="" type="checkbox"/> Zona rural						
Observações: Localizado no parque natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina						
DESCRIÇÃO DA OBRA						
Ano de Construção: 1940		Altura do edifício: ---		Número de pisos: 1 (um)		
Uso anterior: armazém e albergue p/ animais		Uso atual: devoluto/ruína		Ocupado em permanência: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Volumetria e orientação:						
Fachada Principal	Dimensões em planta	Geometria da edificação	N.º de corpos	Espessura das paredes de taipa	Dimensão blocos de taipa	Dimensão blocos de adobe
Sudoeste	-	Secção retangular não compartimentada	1 + telheiro	0,50 m	1,50 × 0,45 × 0,50 (m³) (comprimento×altura×espessura)	---
Descrição genérica: a edificação é geminada com uma edificação em xisto; esta destinava-se a albergar animais e proteger a sua alimentação debaixo de um telheiro.						
Materiais:						
<input checked="" type="checkbox"/> Terra						
<input checked="" type="checkbox"/> Madeira Localização: estrutura de cobertura do telheiro						
<input checked="" type="checkbox"/> Pedra Localização: fundação, embasamento, contraforte e zonas de entrega da estrutura principal da cobertura						
<input type="checkbox"/> Tirante						
<input type="checkbox"/> Betão						
<input type="checkbox"/> Argamassa (juntas)						
Descrição genérica: a terra utilizada apresenta uma grande percentagem de elementos xistosos de grandes dimensões; esta é semelhante à do terreno circundante, o que sugere que se utilizou material local para a taipa, sendo esta afirmação confirmada pelo proprietário. As paredes nunca foram revestidas.						
Tipologia construtiva:						
Fundações: alvenaria de xisto						
Embasamento: alvenaria de xisto						
Paredes exteriores <input checked="" type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Paredes interiores <input type="checkbox"/> Taipa <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Outro Observações: _____						
Linteis						
Viga bordadura						
Transição entre pisos						
Cobertura: estrutura de madeira						

Descrição genérica: visualiza-se um contraforte em alvenaria de xisto. O edifício de taipa já não apresenta cobertura. Contudo, identifica-se, pela parede de empena, uma cobertura de duas águas simétricas. A cobertura ainda subsiste na zona do telheiro observando-se a estrutura principal em barrotes de madeira e um forro em canas para suporte das telhas canudo, ainda existentes. Verifica-se na parede de taipa as zonas para entrega da estrutura principal da cobertura, onde alguns destes orifícios se apresentam envoltos em pedras de xisto: tendo como função a dissipação de cargas provenientes da cobertura. O embasamento não se apresenta uniforme, com valores de distância ao solo entre 0,15 m e 0,95 m.

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO

Cobertura: apenas se mantém a cobertura do telheiro, a restante estrutura de cobertura já ruiu.

Estrutura

Paredes: uma das paredes já ruiu. Nas restantes paredes de taipa observam-se fendas verticais na ligação entre módulos. Verificou-se ainda erosão na taipa devido a agentes climáticos.

Descrição genérica: não obstante da parede da fachada principal ter-se desmoronado, as restantes paredes ainda se encontram em razoável estado de conservação. Os filhos do proprietário pretendem fazer obras de reabilitação na edificação, mantendo a taipa.



Figura 79. Alçado principal (sudeste) em ruína



Figura 80. À esquerda, zona do telheiro, e à direita, pormenor da entrega da estrutura de cobertura na parede de taipa e visualização de uma fenda vertical

ANEXO B - Tabelas de correspondência entre as argamassas aplicadas e os blocos de taipa

Tabela B.1. Correspondência entre as argamassas aplicadas com os respectivos blocos de taipa BAv

Designação do bloco	Bloco		Aplicação da argamassa (data)	Defeito-padrão superficial		Defeito-padrão profundo			
	Execução (data)	Sala condicionada ⁽¹⁾ (data)		N.º de defeitos	Argamassa aplicada	N.º de defeitos	Aplicação com encasque	Aplicação sem encasque	Argamassa aplicada
BAV ₁	29-07-2010	30-07-2010	13-03-2012	2	AAV	4	3	1	AAV
BAV ₂	06-07-2010	07-07-2010	13-03-2012	1	AAV	2	-	2	AAV
			13-03-2012	1	ATP_CA15	2	-	2	ATP
BAV ₃	07-07-2010	08-07-2010	14-03-2012	2	ATP	4	3	1	ATP
BAV ₄	07-07-2010	08-07-2010	13-03-2012	2	ATP_CA15	4	3	1	ATP_CA15
BAV ₅	08-07-2010	09-07-2010	14-03-2012	1	ATP	2	-	2	ATP_CA15
			14-03-2012	1	ATP_CA15_Fib	2	-	2	ATP_CA15_Fib
BAV ₆	29-07-2010	30-07-2010	14-03-2012	2	ATP_CA15_Fib	4	3	1	ATP_CA15_Fib
BAV ₇	08-07-2010	09-07-2010	15-03-2012	2	ATP_CH15	4	3	1	ATP_CH15
BAV ₈	12-07-2010	13-07-2010	15-03-2012	1	ATP_CH15	2	-	2	ATP_CH15
			16-03-2012	1	ATP_CN15	2	-	2	ATP_CN15
BAV ₉	12-07-2010	13-07-2010	16-03-2012	2	ATP_CN15	4	3	1	ATP_CN15
BAV ₁₀	09-06-2010	28-06-2010	12-03-2012	2	ATP_CP15	4	3	1	ATP_CP15

(1) Sala condicionada: T = 20°C e HR = 50%

Tabela B.2. Correspondência entre as argamassas aplicadas com os respectivos blocos de taipa BPD

Designação do bloco	Bloco		Aplicação da argamassa (data)	Defeito-padrão superficial		Defeito-padrão profundo			
	Execução (data)	Sala condicionada ⁽¹⁾ (data)		N.º de defeitos	Argamassa aplicada	N.º de defeitos	Aplicação com encasque	Aplicação sem encasque	Argamassa aplicada
BPD ₁	21-07-2010	22-07-2010	13-03-2012	2	APD	4	3	1	APD
BPD ₂	22-07-2010	23-07-2010	13-03-2012	1	APD	2	-	2	APD
			14-03-2012	1	ATP	2	-	2	ATP
BPD ₃	23-07-2010	24-07-2010	14-03-2012	2	ATP	4	3	1	ATP
BPD ₄	23-07-2010	24-07-2010	13-03-2012	2	ATP_CA15	4	3	1	ATP_CA15
BPD ₅	23-07-2010	24-07-2010	13-03-2012	1	ATP_CA15	2	-	2	ATP_CA15
			15-03-2012	1	ATP_CA15_Fib	2	-	2	ATP_CA15_Fib
BPD ₆	22-07-2010	23-07-2010	15-03-2012	2	ATP_CA15_Fib	4	3	1	ATP_CA15_Fib
BPD ₇	22-07-2010	23-07-2010	15-03-2012	2	ATP_CH15	4	3	1	ATP_CH15
BPD ₈	21-07-2010	22-07-2010	15-03-2012	1	ATP_CH15	2	-	2	ATP_CH15
			16-03-2012	1	ATP_CN15	2	-	2	ATP_CN15
BPD ₉	15-07-2010	26-07-2010	16-03-2012	2	ATP_CN15	4	3	1	ATP_CN15
BPD ₁₀	15-06-2010	28-06-2010	12-03-2012	2	ATP_CP15	4	3	1	ATP_CP15

(1) Sala condicionada: T = 20°C e HR = 50%

Tabela B.3. Correspondência entre as argamassas aplicadas com os respectivos blocos de taipa BVC

Designação do bloco	Bloco		Aplicação da argamassa (data)	Defeito-padrão superficial		Defeito-padrão profundo			
	Execução (data)	Sala condicionada ⁽¹⁾ (data)		N.º de defeitos	Argamassa aplicada	N.º de defeitos	Aplicação com encasque	Aplicação sem encasque	Argamassa aplicada
BVC ₁	26-07-2010	27-07-2010	13-03-2012	2	AVC	4	3	1	AVC
BVC ₂	26-07-2010	27-07-2010	13-03-2012	1	AVC	2	-	2	AVC
			14-03-2012	1	ATP	2	-	2	ATP
BVC ₃	28-07-2010	29-07-2010	14-03-2012	2	ATP	4	3	1	ATP
BVC ₄	27-07-2010	28-07-2010	13-03-2012	2	ATP_CA15	4	3	1	ATP_CA15
BVC ₅	26-07-2010	27-07-2010	13-03-2012	1	ATP_CA15	2	-	2	ATP_CA15
			15-03-2012	1	ATP_CA15_Fib	2	-	2	ATP_CA15_Fib
BVC ₆	28-07-2010	29-07-2010	15-03-2012	2	ATP_CA15_Fib	4	3	1	ATP_CA15_Fib
BVC ₇	27-07-2010	28-07-2010	16-03-2012	2	ATP_CH15	4	3	1	ATP_CH15
BVC ₈	27-07-2010	28-07-2010	16-03-2012	1	ATP_CH15	2	-	2	ATP_CH15
			16-03-2012	1	ATP_CN15	2	-	2	ATP_CN15
BVC ₉	15-06-2010	28-06-2010	16-03-2012	2	ATP_CN15	4	3	1	ATP_CN15
BVC ₁₀	28-07-2010	29-07-2010	12-03-2012	2	ATP_CP15	4	3	1	ATP_CP15

⁽¹⁾ Sala condicionada: T = 20°C e HR = 50%

ANEXO C - Registos da temperatura e humidade relativa no Sector de Materiais Cerâmicos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

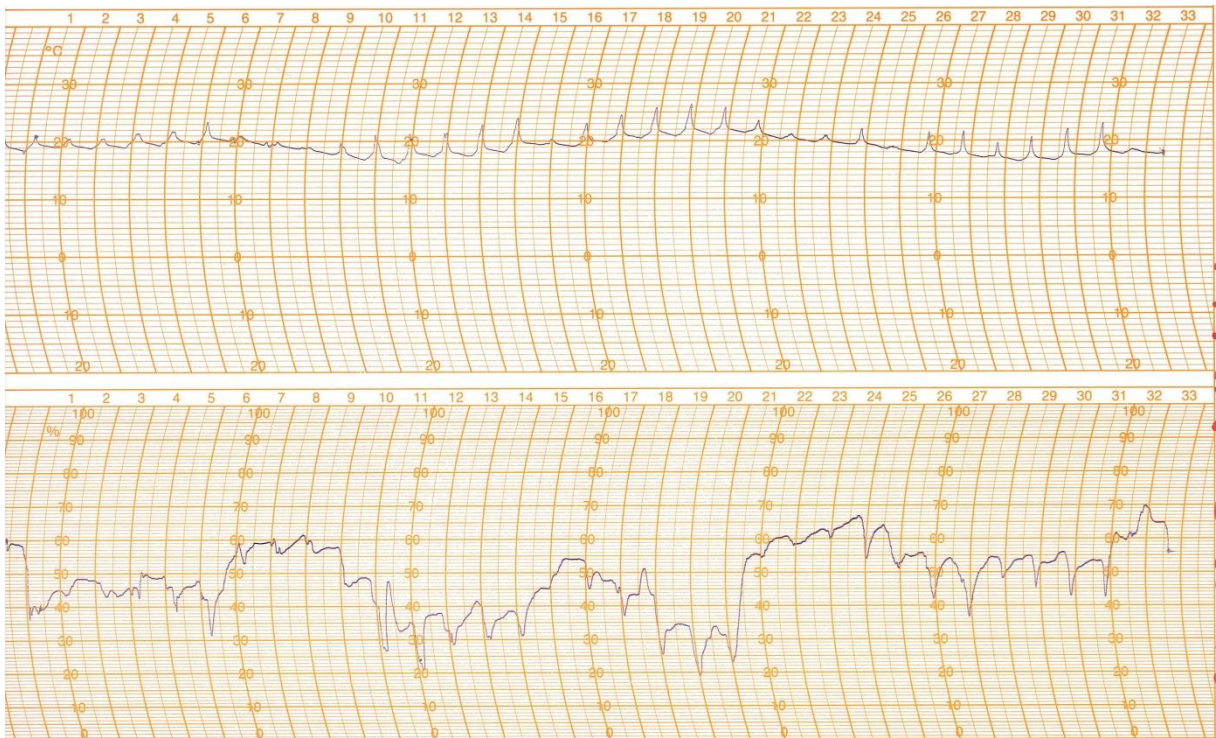


Figura C.1. Registo de temperatura e humidade relativa de 8 de março a 11 de abril de 2012

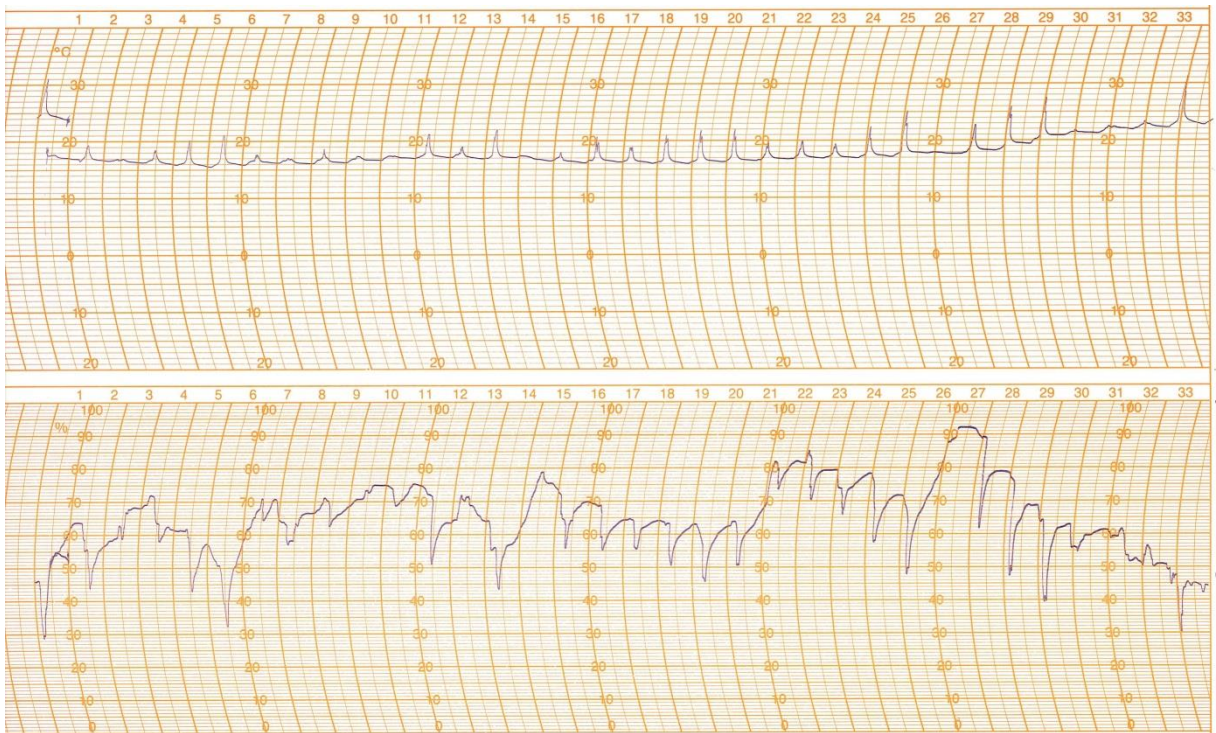


Figura C.2. Registo de temperatura e humidade relativa de 11 de abril a 17 de maio de 2012

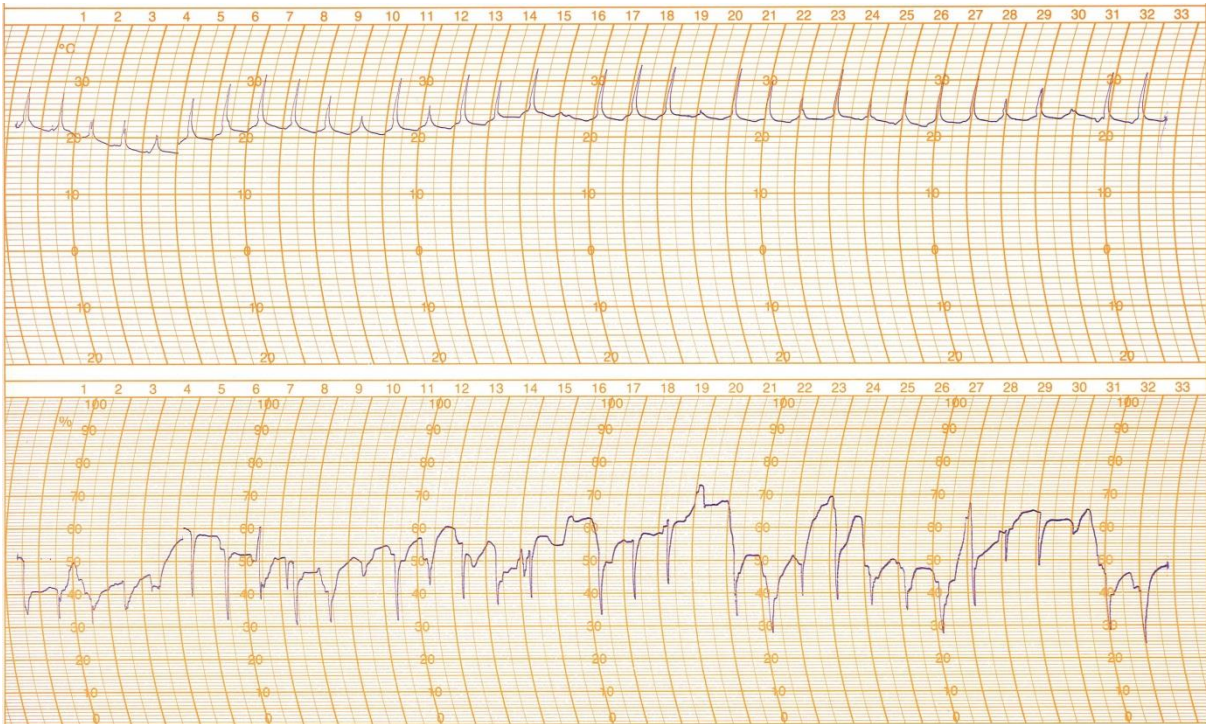


Figura C.3. Registo de temperatura e humidade relativa de 17 de maio a 20 de junho de 2012

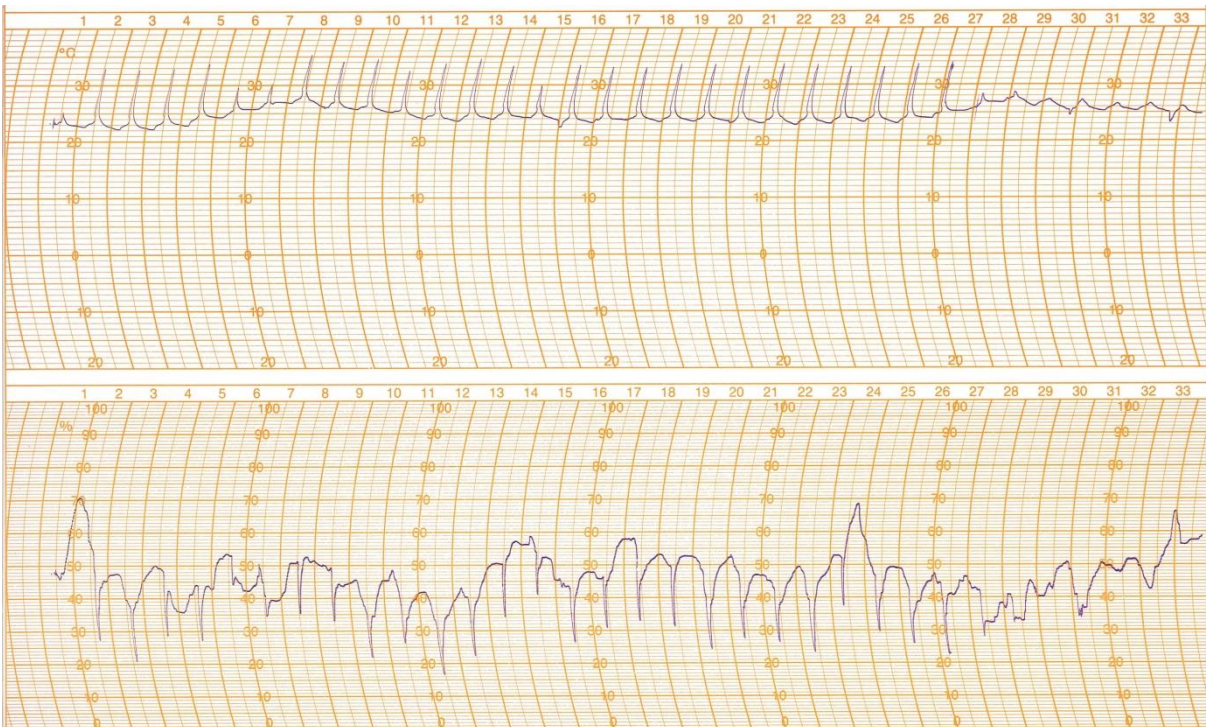


Figura C.4. Registo de temperatura e humidade relativa de 20 de junho a 24 de julho de 2012

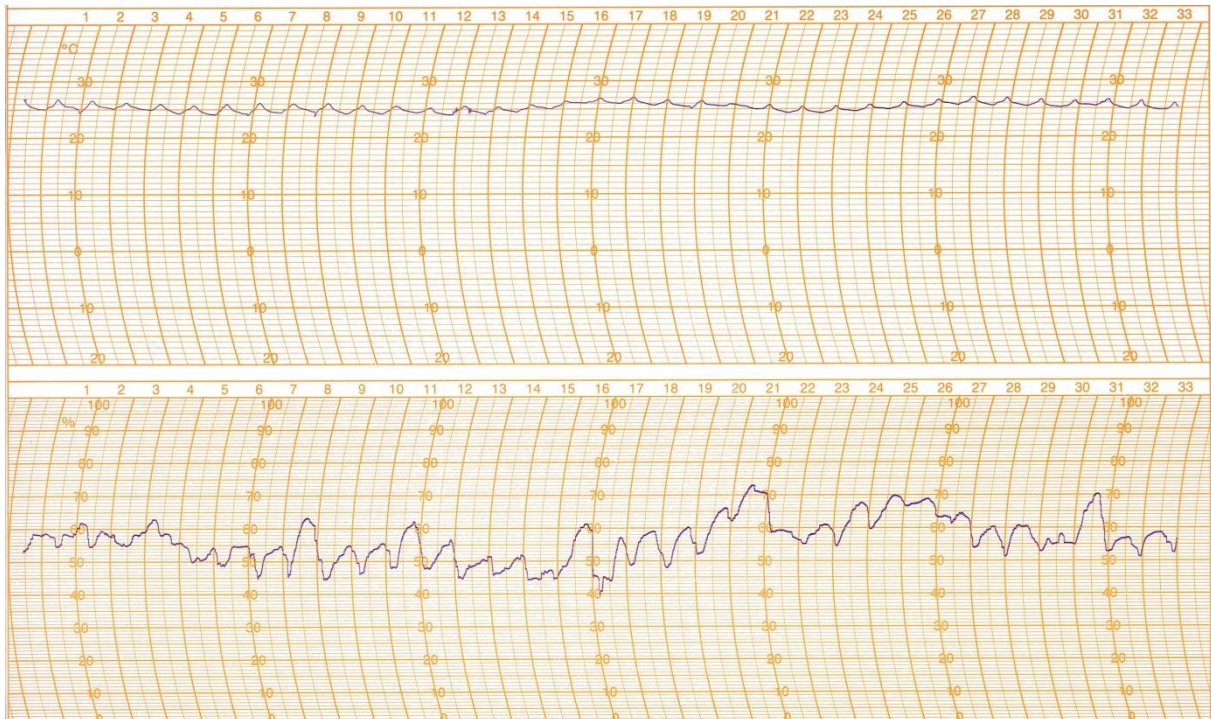


Figura C.5. Registo de temperatura e humidade relativa de 24 de julho a 28 de agosto de 2012

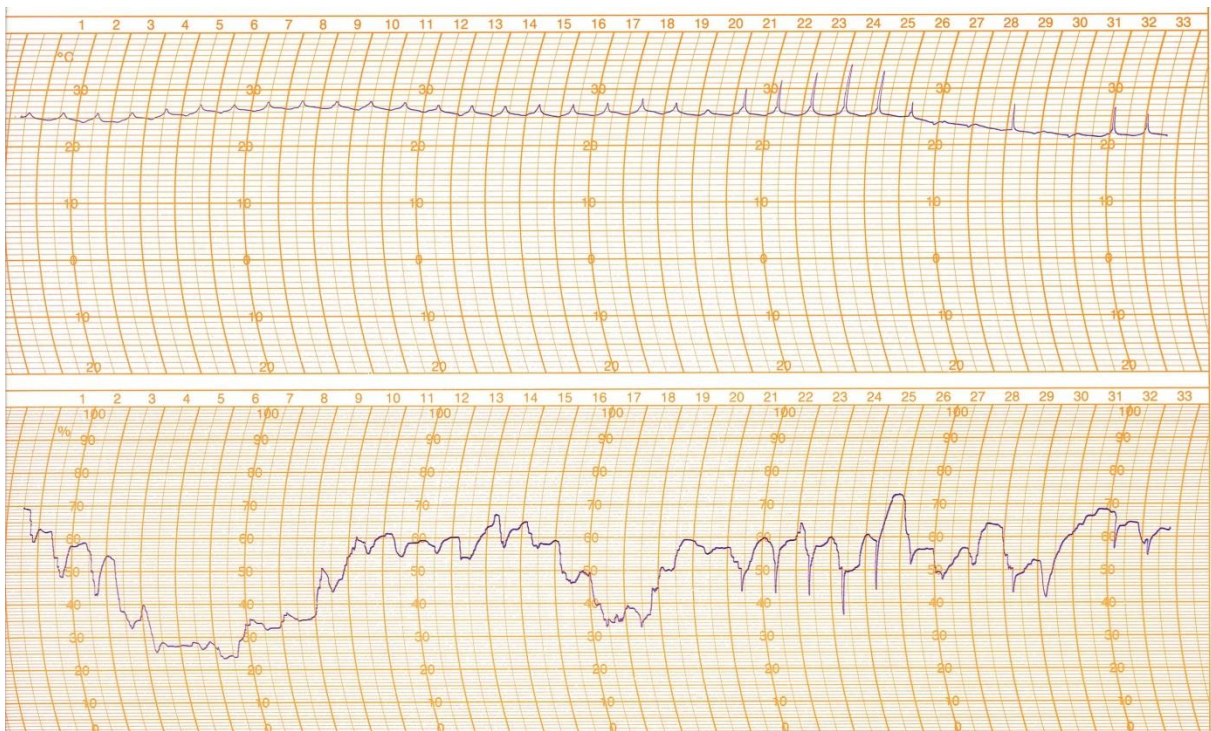


Figura C.6. Registo de temperatura e humidade relativa de 28 agosto a 1 de setembro de 2012

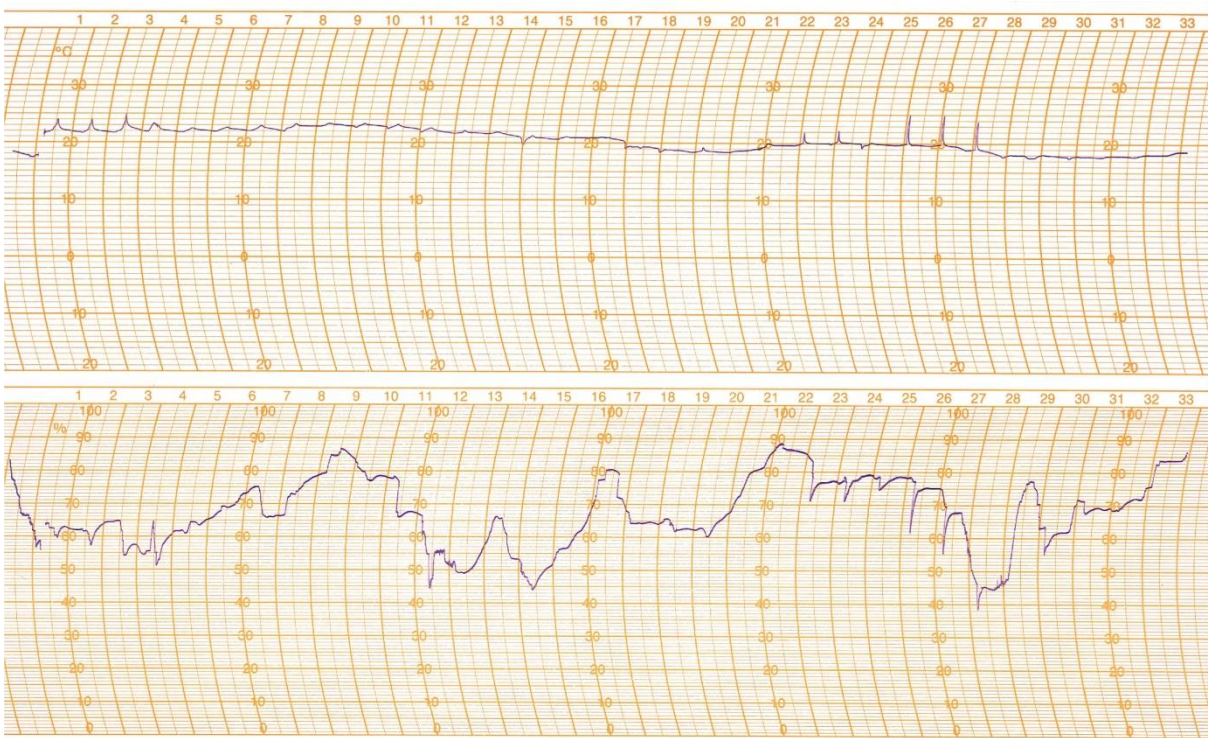


Figura C.7. Registo de temperatura e humidade relativa de 1 de setembro a 5 de outubro de 2012

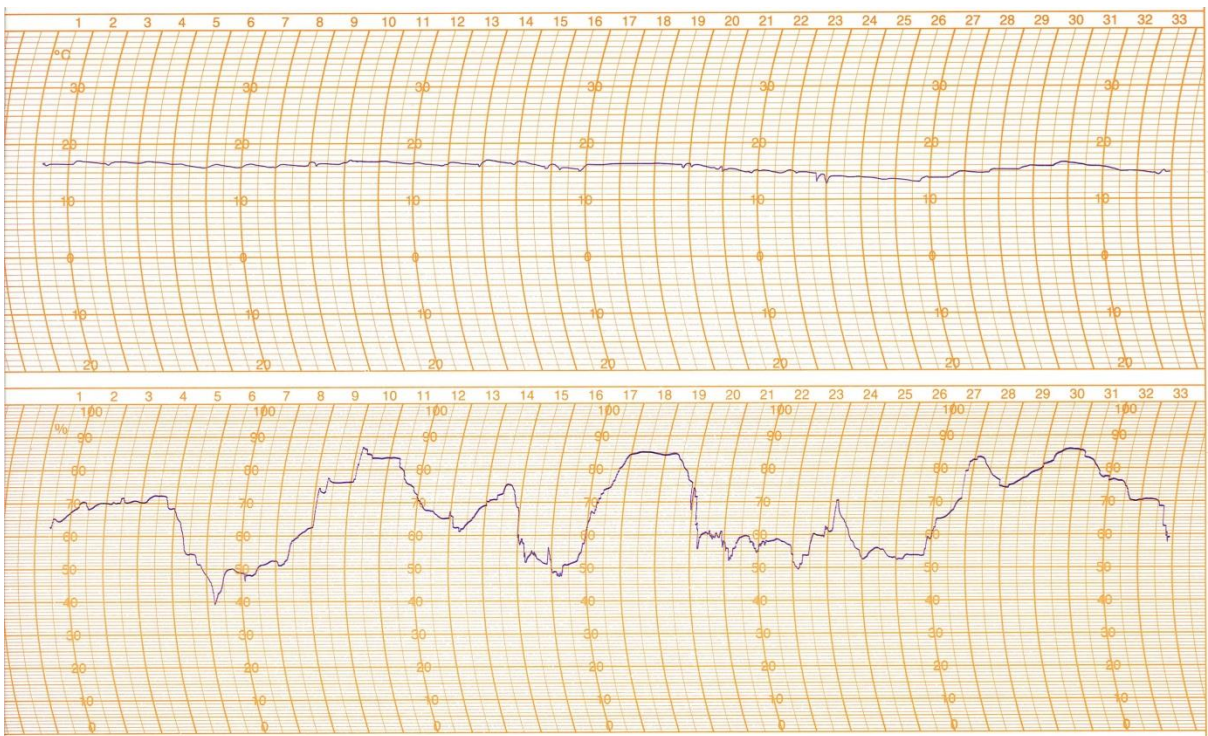


Figura C.8. Registo de temperatura e humidade relativa de 5 de outubro a 11 de dezembro de 2012

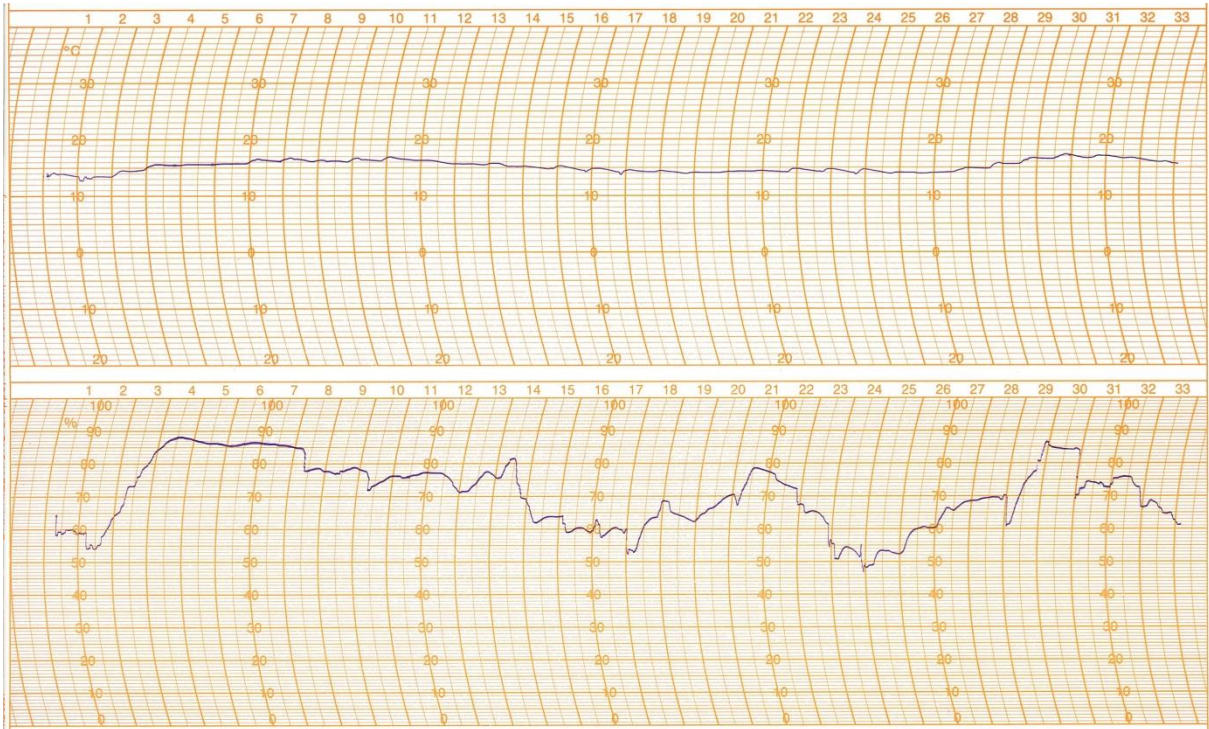


Figura C.9. Registo de temperatura e humidade relativa de 11 de dezembro a 16 de janeiro de 2012

ANEXO D - Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta

Tabela D.1. Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta nos blocos BAv

Designação do bloco	Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta (m/s)										
	Defeito-padrão superficial					Defeito-padrão profundo		Bloco taipa		Defeito-padrão profundo	
	1	2	3	4	5	6	8	7	10	9	11
BAv ₁	766,1	936,6	1244,0	1178,6	890,2	612,1	599,9	1052,8	1023,2	597,1	517,8
BAv ₂	1326,6	1151,4	1315,5	965,6	1095,7	855,4	989,9	881,6	1203,9	770,5	1125,9
BAv ₃	1359,3	509,3	1078,0	736,8	815,9	753,9	781,5	776,5	1202,2	752,5	1102,5
BAv ₄	865,1	723,6	788,4	1059,9	944,9	609,3	1102,7	1215,3	1228,5	545,8	952,2
BAv ₅	1020,8	1068,2	1139,6	1084,0	1243,8	1095,7	1087,0	1314,6	1330,1	1042,9	822,1
BAv ₆	817,4	907,7	760,0	842,3	1051,8	1003,5	741,7	977,4	1073,3	883,0	762,0
BAv ₇	982,0	929,9	802,4	969,0	793,1	1053,6	1378,0	1331,3	1221,7	741,7	1409,1
BAv ₈	666,4	566,8	835,7	837,4	1186,2	1005,0	980,1	1145,3	1130,8	1006,7	796,3
BAv ₉	*	*	*	*	*	1112,1	1190,7	1395,7	1120,4	994,0	1051,7
BAv ₁₀	978,5	373,1	1347,7	857,6	957,7	550,6	992,1	1166,9	1183,7	571,8	1237,1

*Não foi possível efetuar medição

Tabela D.2. Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta nos blocos BPD

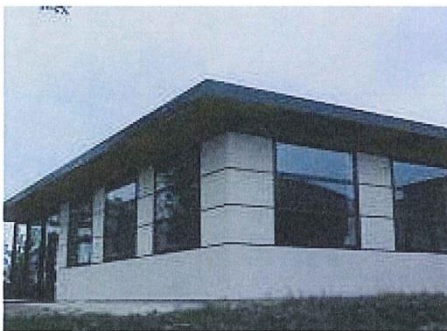
Designação do bloco	Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta (m/s)										
	Defeito-padrão superficial					Defeito-padrão profundo		Bloco taipa		Defeito-padrão profundo	
	1	2	3	4	5	6	8	7	10	9	11
BPD ₁	901,0	929,5	1127,8	1403,5	968,2	585,1	914,4	684,8	759,9	481,2	651,5
BPD ₂	734,5	1039,5	689,1	614,2	943,5	765,7	888,5	923,4	989,3	666,1	859,5
BPD ₃	873,6	717,5	892,7	807,8	803,5	645,3	695,3	642,9	893,8	839,5	815,8
BPD ₄	560,5	680,8	735,3	756,9	562,6	453,3	366,0	452,4	445,2	279,2	433,8
BPD ₅	583,0	586,6	860,3	810,0	538,5	270,2	530,3	546,4	843,8	893,7	467,0
BPD ₆	832,6	668,6	710,1	647,2	698,5	761,7	448,6	899,0	641,5	673,6	608,7
BPD ₇	863,4	707,0	629,2	825,1	814,0	623,6	776,7	881,2	783,1	679,9	646,9
BPD ₈	784,2	614,5	523,3	549,5	440,3	399,5	426,7	517,6	428,3	610,1	586,7
BPD ₉	805,2	621,2	774,2	437,7	365,4	581,6	509,4	1232,8	987,0	600,7	228,3
BPD ₁₀	616,7	749,3	760,4	608,2	768,8	362,5	345,8	899,8	466,5	593,1	421,6

Tabela D.3. Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta nos blocos BVC

Designação do bloco	Velocidade de propagação por ultrassons pelo método de transmissão direta (m/s)										
	Defeito-padrão superficial					Defeito-padrão profundo		Bloco taipa		Defeito-padrão profundo	
	1	2	3	4	5	6	8	7	10	9	11
BVC ₁	1095,7	1001,3	1112,8	1118,4	1066,9	840,6	1094,3	1185,1	741,6	825,8	806,7
BVC ₂	490,1	949,1	959,1	559,5	958,5	823,5	873,1	945,2	1140,7	1018,0	857,8
BVC ₃	497,6	652,5	939,3	823,5	674,4	1108,2	913,8	1203,9	1145,0	1029,9	1112,8
BVC ₄	1045,7	910,3	908,5	950,0	856,0	854,0	638,2	841,8	980,4	959,4	847,8
BVC ₅	914,6	935,2	851,8	825,1	674,8	883,8	595,2	1059,3	1085,6	830,2	664,6
BVC ₆	435,2	412,5	622,5	770,9	885,6	355,7	791,5	929,4	727,1	302,3	629,3
BVC ₇	854,2	843,2	781,9	878,0	766,6	798,8	857,8	1118,2	1097,3	691,3	951,0
BVC ₈	1065,3	994,9	941,8	819,9	789,2	1078,6	1019,0	1018,0	937,2	876,7	866,3
BVC ₉	750,6	819,7	807,2	900,1	779,8	768,2	742,1	792,4	867,7	845,7	842,3
BVC ₁₀	842,6	954,8	1033,4	821,1	904,3	617,0	861,6	1026,7	655,1	677,6	739,0

ANEXO F - Ficha técnica dos ligantes minerais fornecidos pelos fabricantes

Anexo F.1: **CL 90-S**



Granulometria:	
Retido a 125 microns	≤ 0%.
Teor em Água livre	≤ 1%.
Estabilidade (expansão)	≤ 0,2%.
Teor em Ca(OH) ₂	≥ 93%.
Teor em MgO	≤ 3%.
Densidade aparente na ordem de 0,5.	

Lusical H100

DESCRIÇÃO

A **Lusical H100** é uma cal de construção utilizada como ligante, individual ou incorporada nas misturas formuladas.

E aplicada principalmente nos rebocos, e numa forma geral na construção civil.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS e QUÍMICAS

Determinadas pelos métodos Laboratório Grupo em conformidade com os modos operatórios normalizados

Nos produtos formulados,

- a granulometria da **Lusical H100** otimiza a eficácia do produto acabado.

- sua brancura garante uma qualidade constante dos rebocos.

- seu forte teor em hidróxido de cálcio dá ao reboco a trabalhabilidade e sua permeabilidade ao ar

DOSAGEM e APLICAÇÃO

A **Lusical H100** é entregue sob a forma pulverulenta. Sua dosagem é feita a partir do silo de armazenamento.

Ela é extraída do silo com a ajuda de equipamentos de descolmatação como fundos vibrantes, canhões de ar, ou desagregadores rotativos.

O produto é transportado por parafusos sem fim.

Os materiais de dosagem devem ter em conta as características físicas do produto - densidade, fluidez - respondendo às exigências de precisão requeridas.

CONDICIONAMENTO

Entregue em saco, big-bag e em cisterna, a **Lusical H100** é armazenada em silos estanques.

DADOS de SEGURANÇA

Ficha de segurança: Hidróxido de Cálcio.

O produtor garante que todas as diligências são efectuadas para o respeito dos critérios definidos. No entanto, trata-se de produtos naturais que podem apresentar ligeiras variações nas características físico-químicas sem incidência notável sobre a qualidade do produto

LUSICAL

F.P. 351 - CH 01 B - 06 / 2010



01- 06-2010

Valverde—2025-201 Alcanede - Portugal
 Telefone (+351)243 409 040: - Fax (+351) 243 400 474—E-mail: info.lusical@hoist.com

Anexo F.2: **NHL 5**

1. DESCRIÇÃO

A **Secil NATURAL LIME NHL 5** é um ligante hidráulico constituído maioritariamente por silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio. Obtém-se por cozedura de calcário margoso, seguida de moagem.

A **Secil NATURAL LIME NHL 5** é classificada como NHL 5 segundo a NP EN 459-1.

A **Secil NATURAL LIME NHL 5** é um ligante singular, pois além da presa hidráulica, apresenta também presa por carbonatação.

2. DOMÍNIO DE UTILIZAÇÃO

Na fabricação de argamassas, como único ligante ou em mistura com outros ligantes hidráulicos ou aéreos, conferindo-lhes trabalhabilidade e flexibilidade, reduzindo significativamente a retração das argamassas hidráulicas (p.ex: argamassas de alvenaria, argamassa de reboco e acabamentos);

Na fabricação de argamassas de reabilitação, como único ligante, em execução de rebocos exteriores sobre suportes antigos.

Em diferentes utilizações de engenharia civil, tais como, tratamento de solos.

3. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

Características Físicas	Valor	Norma
Cor	Beje	-
Baridade (kg/dm ³)	0,65 ± 0,05	EN 459-1
Densidade (g/cm ³)	2,7	-
Finura %	90 µm ≤ 15,0 200 µm ≤ 2,0	EN 459-1
Blaine (cm ² /g)	9400	-
Expansibilidade (mm)	≤ 2,0	EN 459-1
Água livre (%)	≤ 2,0	EN 459-1
Teor de ar (%)	≤ 5	EN 459-1
Penetração (mm)	>10 e < 50	EN 459-1
Tempo de presa (h)	inicial > 1,0 final ≤ 15,0	EN 459-1

Características Mecânicas	Valor	Norma
Resistência mecânica à compressão 7 dias (MPa)	≥ 2,0	EN 459-1
Resistência mecânica à compressão 28 dias (MPa)	≥ 5,0 e ≤ 15	EN 459-1

Características Químicas	Valor	Norma
Sulfato (SO ₃) (%)	≤ 2,00	EN 459-1
Cal disponível (Ca(OH) ₂) (%)	≥ 15,00	EN 459-1

4. FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS

A dosagem de **Secil NATURAL LIME NHL 5** numa argamassa deve adequar-se ao fim a que se destina. Nas argamassas de reboco e de assentamento, a **Secil NATURAL LIME NHL 5**, tem um papel preponderante como único ligante ou conjugado com outros.

Misturar previamente a **Secil NATURAL LIME NHL 5** com o agregado e posteriormente adicionar água na quantidade adequada de forma a obter uma boa trabalhabilidade.

Para efeitos orientativos, relativamente ao traço a utilizar, aconselhamos a consulta da Tabela no ponto 5.

Secil Argamassas

Secil Martingança, S.A.
Apoio ao Cliente: Apartado 2 | 2406 – 909 – Maceira – LRA – Portugal
Tel: +351 244 770 220 | Fax: +351 244 777 997 | E-mail: comercial@secilmartinganca.pt



www.secilmartinganca.pt

Secil NATURAL LIME NHL 5

NHL 5 - CAL HIDRÁULICA NATURAL



Fábrica de Cal



Filtros de Mangas



Pedra Cozida

Conselhos complementares

- ▶ O excesso de água de amassadura é prejudicial às características físicas do reboco;
- ▶ Deve ser sempre utilizada a quantidade mínima de água que permita boa trabalhabilidade;
- ▶ A água de amassadura deve estar isenta de quaisquer impurezas (argilas, matéria orgânica), devendo, de preferência, ser utilizada água potável;
- ▶ Uma vez determinado o traço a utilizar para uma argamassa, manter as dosagens constantes e o tempo de amassadura.

Restrições

Não aplicar argamassas a temperaturas inferiores a 5° C e superiores a 30° C, evitando a aplicação em situações de elevada exposição solar e/ou sob ventos fortes.

Não utilizar argamassas amolentadas ou que tenham iniciado a sua presa.

Evitar a secagem rápida das argamassas, regando o suporte, 1 a 2 horas antes da aplicação e voltando a regar logo que a argamassa se apresente suficientemente resistente. Repetir a rega 1, 2 e 7 dias depois.

6. TRATAMENTO DE SOLOS

A adição de **Secil NATURAL LIME NHL 5** a certos solos argilosos e húmidos permite a sua estabilização, melhorando a sua resistência, pela diminuição do índice de plasticidade e de uma maior compactação, a qual permite um aumento do CBR (Califórnia Bearing Ratio, índice de capacidade de suporte).

A adição de **Secil NATURAL LIME NHL 5** reduz a humidade do solo contribuindo para a aglutinação das suas partículas e constituindo um aglomerado muito mais compacto.

5. TRAÇOS RECOMENDADOS

Traços de Argamassa Recomendados	Matérias primas (volume)			Resistência à compressão (MPa)		Módulo de Elasticidade (MPa)
	NHL 5	Areia fina (< 1,2 mm)	Areia de rio (< 4,0 mm)	7 dias	28 dias	28 dias
Argamassa de alvenaria (areia:ligante) = (2:1)	1,0	1,0	1,0	1,8	3,4	10100
Argamassa de reboco (areia:ligante) = (3:1)	1,0	1,5	1,5	0,5	1,3	5700
Argamassa de reboco (areia:ligante) = (4:1)	1,0	2,0	2,0	0,4	0,5	3100
Argamassa de betonilha (areia:ligante) = (3:1)	1,0	-	3,0	1,0	1,8	8300

Obs: Estes valores são apenas orientativos, obtidos em ensaios de laboratório. A utilização de agregados de diferentes origens ou características devem ser previamente ensaiados

Secil Argamassas

Secil Martingança, S.A.
 Apoio ao Cliente: Apartado 2 | 2406 – 909 – Maceira – LRA – Portugal
 Tel: +351 244 770 220 | Fax: +351 244 777 997 | E-mail: comercial@secilmartinganca.pt



www.secilmartinganca.pt

Secil NATURAL LIME NHL 5

NHL 5 - CAL HIDRÁULICA NATURAL

Processo de aplicação

A quantidade de **Secil NATURAL LIME NHL 5** a utilizar deve ser de 0,5 a 5 % (sendo 3% o valor típico) da massa de solo a tratar, de onde devem ser retiradas as pedras de grandes dimensões.

De seguida, espalhar a **Secil NATURAL LIME NHL 5**, misturando-a e homogeneizando-a com o solo em tratamento. Depois, compactar o solo tratado, que ficará muito mais resistente à penetração das águas pluviais e mais apto a funcionar como base de fundações.

Estes procedimentos encontram-se documentados em suporte vídeo disponibilizado em www.secilmartinganca.pt. Também poderá solicitar-se cópia aos nossos Serviços Comerciais.

7. HIGIENE E SEGURANÇA

(NÃO DISPENSA A CONSULTA DA FICHA DE SEGURANÇA DO PRODUTO)

- ▶ Provoca irritação da pele;
- ▶ Provoca danos graves nos olhos;
- ▶ Pode provocar irritação respiratória;
- ▶ Manter fora do alcance das crianças;
- ▶ Usar luvas de proteção/ vestuário de proteção/ proteção ocular/ proteção facial;
- ▶ Evitar respirar poeiras/ vapores.

8. EMBALAGEM E VALIDADE

Embalagem

- ▶ Sacos de papel de 25 kg em paletes plastificados
- ▶ Granel para sistema de silo



Validade

12 meses desde que permaneçam inalteradas as condições da embalagem originais e em condições de armazenagem ao abrigo de temperaturas extremas e de humidade.

Estando as condições de aplicação dos nossos produtos fora do nosso alcance não nos responsabilizamos pela sua incorrecta utilização. É dever do cliente verificar a idoneidade do produto para o fim previsto. Em qualquer caso a nossa responsabilidade está limitada ao valor da mercadoria por nós fornecida. A informação constante da presente ficha pode ser alterada sem aviso prévio. Em caso de dúvida, e se pretender esclarecimentos complementares solicitamos o contacto com os nossos serviços técnicos.

Revisão de Setembro de 2012
TC.E.077.2



DESIGNAÇÃO: Secil NATURAL LIME NHL 5
NORMA DE REFERÊNCIA: EN 459-1:2010

ANO: 11

UTILIZAÇÃO PREVISTA: Preparação de ligante para argamassas, produção de outros produtos da construção e utilizações em engenharia civil.

Cal Hidráulica Natural - NHL 5

CERTIFICADO: 1328-CPD-0215 de 14.11.2011

Secil Argamassas

Secil Martingança, S.A.
Apoio ao Cliente: Apartado 2 | 2406 – 909 – Maceira – LRA – Portugal
Tel: +351 244 770 220 | Fax: +351 244 777 997 | E-mail: comercial@secilmartinganca.pt



www.secilmartinganca.pt

Anexo F.3: **CEM II/B-L 32,5N**

CEM II/B-L 32,5N

Cimento Portland de Calcário



Locais de Produção

Fábrica Secil-Outão
Fábrica Cibra-Pataias
Fábrica Maceira-Liz

Principais Aplicações

Principais Características

Advertências Específicas

Informação de Segurança

Última actualização

Embalagem

Granel
Sacos de 40kg
Sacos de 25kg

Certificação

Cimento certificado segundo a NP EN 197-1.
Certificados de Conformidade 0856-CPD-0130, 0856-CPD-0131 e 0856-CPD-0132.

Composição do Produto (Núcleo Cimento)

65% a 79% Clínquer Portland
21% a 35% Calcário
0% a 5% Outros Constituintes

O Cimento Portland de Calcário CEM II/B-L 32,5N é o cimento mais utilizado nas obras de construção civil. A sua excelente trabalhabilidade e baixo calor de hidratação tornam-no especialmente adaptado a todos os trabalhos correntes da construção.

O cimento CEM II/B-L 32,5N é principalmente utilizado em:

- argamassas e betão não armado para enchimentos e regularização;
- betão estrutural, pronto ou fabricado em obra de média resistência;
- argamassas de assentamento, reboco e reparação;
- fundações directas e indirectas em ambientes moderadamente agressivos;
- estabilização de solos e solo-cimento;
- prefabricação de blocos, tubos, manilhas e outros artefactos à base de cimento;
- prefabricação ligeira em regime de baixa rotatividade de moldes.

Cimento de cor cinzenta, com menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento CEM I da mesma classe de resistência.

Desenvolvimento mais lento de resistências (menor resistência inicial).

Resistências finais dentro dos valores da classe indicada (resistências aos 28 dias).

Este cimento melhora a trabalhabilidade de betões e argamassas e permite uma redução da dosagem de água de amassadura. Porém, o correcto desenvolvimento de resistências é sensível ao processo de cura pelo qual deverão ser tomadas precauções para evitar a dissecação de peças betonadas muito expostas ao sol e ao vento (possível fendilhação).

Não se recomenda a utilização deste cimento em tempo muito frio, sem que se tomem medidas adequadas.

O manuseamento do cimento em pó pode causar irritação dos olhos e vias respiratórias. Quando misturado com água pode ainda causar sensibilização da pele. Aconselha-se o uso de máscara anti-poeiras para protecção respiratória, luvas de protecção das mãos, óculos de protecção dos olhos e fato de trabalho para protecção da pele.

Para informação detalhada consulte a Ficha de Dados de Segurança deste produto.

Setembro 2004 - Versão 3

Características Químicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado (1)
Teor de Sulfatos (em SO3)	NP EN 196-2	≤ 3,5%
Teor de Cloretos	NP EN 196-21	≤ 0,10%

(1) As percentagens são referidas à massa de cimento.

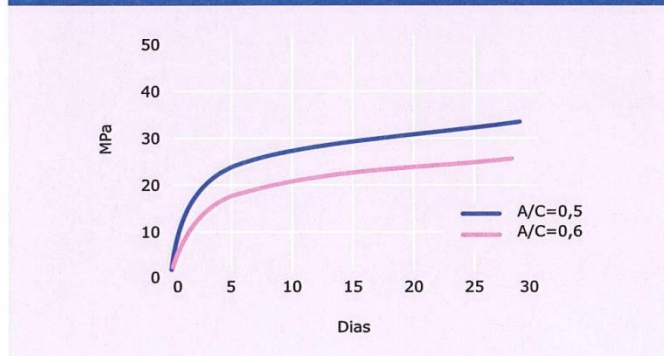
Características Mecânicas

Resistência à Compressão (MPa)		
Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência
2 dias	7 dias	28 dias
-	≥ 16	≥ 32,5 e ≤ 52,5
NP EN 196-1		

Características Físicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 75 min
Expansibilidade	NP EN 196-3	≤ 10 mm

Valores médios indicativos da resistência à compressão de betão fabricado com 350 Kg/m³ de cimento CEM II/B-L 32,5N



Habitação a custos controlados. Quinta da Cabrinha, Lisboa.



Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

Direção Comercial
Av. das Forças Armadas, 125 6º
1600-079 LISBOA
Tel. 217 927 100 . Fax. 217 936 200

Vendas Norte
Tel. 226 078 410 . Fax. 226 078 411

Vendas Centro
Tel. 244 779 500 . Fax. 244 777 455

Vendas Sul
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

Cimento Branco
Tel. 244 587 700 . Fax. 244 589 652

Departamento Técnico-Comercial
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

E-mail - comercial@secil.pt
Site - www.secil.pt