



Pedro Filipe da Silva Sousa

Licenciado em Engenharia Civil

**Caracterização de argamassas de terra e cal
para refechamento de juntas de alvenaria de
pedra no Vale das Lobas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Reabilitação de Edifícios

Orientador: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada,
Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de
Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Fernando M. A. Henriques
Arguente: Professora Doutora Maria Idália Gomes
Vogal: Professora Doutora Paulina Faria

“Copyright” Pedro Filipe da Silva Sousa, FCT/UNL e UNL

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

AGRADECIMENTOS

Concluída mais uma importante fase da minha vida, gostaria de deixar aqui um especial agradecimento as todas as pessoas que direta ou indiretamente, fizeram com que fosse possível chegar ao fim deste trabalho.

Quero assim começar por agradecer à minha orientadora, a Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues, pelo esforço, dedicação e disponibilidade manifestados ao longo do trabalho, e pela partilha de toda a sua experiência e conhecimento que lhe são reconhecidos.

Um agradecimento particular ao Engenheiro Vítor Silva, pela disponibilidade de ajuda durante a realização dos ensaios.

Ao Senhor Tony Conway, pela oportunidade que me concedeu de fazer parte do projeto de desenvolvimento da cidade da Guarda, através da “Associação Vale das Lobas”.

Aos meus colegas do curso de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, especialmente à Sara Silva, bem como ao Douglas Rocha e à Margarida Ferreira, pela ajuda prestada durante e após os ensaios, e pela partilha de experiências e conhecimentos.

Por último e não mais importante, quero agradecer à Maria Teixeira da Mota pelo apoio e pelos conselhos que me deu, principalmente nas alturas de maior dificuldade, e agradecer aos meus pais, Alfredo e Florinda Sousa. Sem o apoio deles nunca teria sido possível a concretização desta etapa.

RESUMO

A Norte de Portugal, existem vários edifícios antigos cujas paredes são feitas em alvenaria de blocos de granito, assentes e com juntas tratadas com argamassas só de terra, de terra e cal aérea ou só de cal aérea. Particularmente as do primeiro tipo, apresentavam baixa durabilidade quando aplicadas em juntas à vista e expostas aos agentes atmosféricos. No entanto, com o uso generalizado do cimento no último século, grande parte das argamassas com estes ligantes foram substituídas por argamassas de cimento, com desvantagens para a durabilidade da pedra das alvenarias. Inicialmente as preocupações relativas à compatibilidade entre materiais e, mais recentemente, à eco-eficiência da construção (e reabilitação), tornam viável nos dias de hoje dar continuidade ao estudo e à utilização destes materiais, não só como revestimento, mas também como parte integrante da alvenaria da parede.

Tendo em conta o referido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma argamassa para refechamento de juntas à base de materiais, tanto quanto possível do local (terra, areia, cal aérea e/ou pozolana artificial), para a reabilitação das alvenarias de granito de um edifício antigo de alvenaria de granito, situado no distrito da Guarda, concelho de Forno de Algodres, no Vale das Lobas. Para isso foram estudadas seis formulações de argamassas variando o tipo e proporção dos materiais referidos, que foram caracterizadas no estado fresco e no estado endurecido: três de cal, terra e areia; uma só de terra e areia; duas de cal e areia, tendo uma destas a adição de resíduos cerâmicos.

Os resultados mostram que, tal como esperado, as argamassas só de terra não apresentam resultados desejáveis quando submetidos a ensaios com ação da água, apresentando melhorias quando misturadas com cal. As resistências mecânicas, diminuem com o aumento da quantidade de terra. A adição de resíduos cerâmicos à argamassa de cal revelou melhorias em termos de resistências mecânicas, mas comprometeu a absorção de água a baixas pressões.

Palavras chave: alvenaria de granito, argamassa, junta, terra, cal aérea, resíduos de telha cerâmica

ABSTRACT

In northern Portugal there are many old buildings made of granite block masonry laid and with joints with mortars based on earth, earth and air lime or just air lime. Earth mortars durability when repointing joints was not long. With the generalized used of cement in the last century many of the mortars based on those materials were replaced by cement mortars, with disadvantages for the granite blocks durability. Concerns on old and new materials compatibility and, more recently, on eco-efficiency made feasible today to continue the study and use of these materials, not only as plasters, but also for the masonry rehabilitation.

Regarding the above mentioned, the aim of this study is to optimize a mortar for pointing based on local materials (earth, sand, air lime and artificial pozzolan) for the rehabilitation of damaged old granite masonries, using as case study a building situated in Guarda, Fornos de Algodres, Vale das Lobas. Six mortar formulations were defined varying the type and amount of materials, and characterized in fresh and hardened state: three mortars with air lime, earth and sand; one mortar only with earth and sand; two mortars with air lime and sand, having one of them an addition of ceramic waste.

Results show that, as expected, the earth mortar does not present the desirable durability when subjected to water action, but shows improvements when mixed with lime. In terms of mechanical resistance, the results decline with the increasing amount of earth. The addition of ceramic waste improves mechanical characteristics of the air lime mortar but compromise the water absorption at low pressures.

Keywords: granite ashlar masonry, mortar, joint, earth, air lime, roof tile waste

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos.....	v
Resumo	vii
Abstract.....	ix
Índice geral.....	xi
Índice de texto	xiii
Índice de figuras	xvii
Índice de quadros	xix
Lista de abreviaturas e símbolos.....	xxi
1 Introdução	1
2 Estudos sobre argamassas.....	5
3 Caracterização do caso de estudo e materiais utilizados na campanha experimental.....	19
4 Procedimentos dos ensaios realizados na campanha experimental	33
5 Resultados e discussão	51
6 Conclusões	85
Referências Bibliográficas.....	89
Anexos	95

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos e metodologia	3
1.3	Estrutura da dissertação	3
2	Estudos sobre argamassas	5
2.1	Considerações gerais	5
2.2	Materiais utilizados nas argamassas	5
2.2.1	Terra	5
2.2.2	Areia	6
2.2.3	Cal aérea	7
2.2.4	Materiais pozolânicos - resíduos cerâmicos	8
2.3	Argamassas	9
2.3.1	Introdução	9
2.3.2	Argamassas de terra	9
2.3.3	Argamassas de cal	13
2.3.4	Argamassas mistas (cal e terra)	13
2.3.5	Argamassas de cal e resíduos cerâmicos	16
2.3.6	Síntese dos trabalhos realizados	18
3	Caracterização do caso de estudo e materiais utilizados na campanha experimental	19
3.1	Introdução	19
3.2	Materiais utilizados	21
3.3	Caracterização dos materiais	22
3.3.1	Introdução	22
3.3.2	Preparação	23
3.3.3	Determinação da baridade	23
3.3.4	Curvas granulométricas e sedimentação expedita	24
3.4	Formulação das argamassas	26
3.5	Amassadura	29
3.6	Provetes	30

3.7 Condições de cura	32
4 Procedimentos dos ensaios realizados na campanha experimental	33
4.1 Ensaio no estado fresco	33
4.1.1 Espalhamento e abaixamento	33
4.1.2 Massa volúmica	34
4.1.3 Teor em ar	34
4.2 Ensaio no estado endurecido	35
4.2.1 Considerações gerais	35
4.2.2 Retração linear e volumétrica	35
4.2.3 Massa volúmica aparente	36
4.2.4 Módulo de elasticidade dinâmico	37
4.2.5 Resistência à tração por flexão	38
4.2.6 Resistência à compressão	39
4.2.7 Absorção de água por capilaridade	40
4.2.8 Ensaio de secagem	42
4.2.9 Condutibilidade térmica	44
4.2.10 Absorção de água a baixa pressão (Tubos de Karsten)	45
4.2.11 Observação visual	46
4.3 Caracterização da pedra granítica proveniente do local	46
4.3.1 Porosidade aberta e massa volúmica aparente	46
4.3.2 Absorção de água por imersão	47
4.3.3 Resistência à compressão	48
5 Resultados e discussão	51
5.1 Considerações gerais	51
5.2 Estado fresco	51
5.2.1 Consistência por espalhamento e abaixamento	51
5.2.2 Massa volúmica e teor em ar	53
5.3 Estado endurecido	56
5.3.1 Provetes prismáticos	56
5.3.1.1. Retração linear e volumétrica	56
5.3.1.2. Massa volúmica aparente	58
5.3.1.3. Módulo de elasticidade dinâmico	59
5.3.1.4. Resistência à tração por flexão e compressão	60
5.3.1.5. Absorção de água por capilaridade	63
5.3.1.6. Secagem	66
5.3.2 Provetes cilíndricos	70
5.3.2.1. Condutibilidade térmica	70
5.3.2.2. Absorção de água a baixa pressão em superfície horizontal	72

5.3.3 Provetes de argamassa sobre tijolo	73
5.3.3.1. Observação visual	73
5.3.3.2. Absorção de água a baixa pressão em superfície vertical versus horizontal.....	76
5.4 Provetes de pedra granítica	79
5.4.1. Porosidade aberta e massa volúmica aparente.....	79
5.4.2. Absorção de água por imersão	80
5.4.3. Resistência à compressão	81
5.5 Síntese de resultados	81
6 Conclusões	85
6.1 Apreciações finais	85
6.2 Trabalhos a desenvolver no futuro	87
Referências Bibliográficas.....	89
Anexos	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Localização do edifício: Latitude 40.690815; Longitude -7.451463	19
Figura 3.2 – a) Alçado principal do edifício em estudo; b) Alçado lateral esquerdo	20
Figura 3.3 – a) Modelação 3D do edifício existente; b) Proposta de alteração ao edifício	20
Figura 3.4 – a) Terra e areia proveniente do local; b) resíduos cerâmicos de telha lusa antes de serem moídos; c) cal aérea H100; d) amostra de pedra granítica	22
Figura 3.5 – Materiais organizados por granulometrias: a) Terra da floresta; b) Areia britada cinzenta; c) Resíduos cerâmicos triturados	24
Figura 3.6 – Curva granulométrica dos materiais utilizados para o estudo de argamassas	25
Figura 3.7 – Curva granulométrica da terra da floresta (via seca versus via húmida).....	26
Figura 3.8 – Sedimentação expedita: a) terra da floresta; b) terra de rio	27
Figura 3.9 – Curvas granulométricas das diferentes misturas realizadas (vs - via seca)	27
Figura 3.10 – Curvas granulométricas das diferentes misturas realizadas (vh - via húmida)....	27
Figura 3.11 – Curvas granulométricas de misturas utilizadas em argamassas de terra	28
Figura 3.12 – a) Pesagem do material; b) Homogeneização da mistura num tabuleiro; c) Máquina misturadora	30
Figura 3.13 – a) Aplicação de óleo descofrante; b) Máquina de compactação mecânica	30
Figura 3.14 – a) Humedecimento do tijolo; b) Molde de madeira	31
Figura 3.15 – Provetes: a) prismáticos; b) cilíndricos; c) argamassa sobre tijolo	31
Figura 3.16 – a) Sala de cura húmida; b) Termo-higrómetro analógico; c) Provetes prismáticos sobre a rede metálica.....	32
Figura 3.17 – a) Termo-higrógrafo; b) Provetes na sala de cura normal	32
Figura 4.1 – a) Preenchimento do cone; b) Remoção do excesso de argamassa; c) Medição do espalhamento; d) Medição do abaixamento	33
Figura 4.2 – a) Preenchimento do recipiente; b) Pesagem da argamassa e recipiente;.....	34
Figura 4.3 – Equipamento para determinação do teor em ar	35
Figura 4.4 – Esquema de provetes e respetivos ensaios	35
Figura 4.5 – a) Retração no molde; b) Medição das dimensões do provete	36
Figura 4.6 – Pesagem do provetes	37
Figura 4.7 – a) Equipamento para determinação do Ed; b) Provete durante o ensaio	37
Figura 4.8 – a) Provete a ensaiar; b) Máquina de ensaio Zwick Rowell Z050	38
Figura 4.9 – a) Provete a ensaiar; b) Provete na máquina de ensaio	39
Figura 4.10 – a) Provete cortado e impermeabilizado; b) Provete protegido com um filtro	40
Figura 4.11 – a) Pesagem do conjunto; b) Caixa de plástico com os provetes.....	41
Figura 4.12 – Curva de absorção por capilaridade	42
Figura 4.13 – Curva de secagem em função do tempo em horas	43
Figura 4.14 – Curva de secagem em função da raiz do tempo.....	43
Figura 4.15 – a) Equipamento para medição da condutibilidade térmica (λ); b) Sonda de contacto API 210412.....	44

Figura 4.16 – a) Tubos de Karsten; b) Proveta de 10 ml	45
Figura 4.17 – Provetes utilizados no ensaio de Pab e M _{Vap}	46
Figura 4.18 – Ensaio de absorção por imersão	48
Figura 4.19 – Ensaio de resistência à compressão (granito)	49
Figura 5.1 – Resultados do ensaio de espalhamento e abaixamento	51
Figura 5.2 – Comparação de resultados de espalhamento e relação água-ligante	52
Figura 5.3 – Resultados da massa volúmica versus espalhamento	53
Figura 5.4 – Resultados da massa volúmica versus teor em ar	55
Figura 5.5 – Valores de retração aos 14 dias	56
Figura 5.6 – Comparação da retração em diferentes idades	58
Figura 5.7 – Comparação da massa volúmica aparente em diferentes idades	58
Figura 5.8 – Resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico	59
Figura 5.9 – Resistência à tração por flexão e à compressão	61
Figura 5.10 – Resistência à compressão versus massa volúmica aparente	63
Figura 5.11 – Curvas de capilaridade	63
Figura 5.12 – Coeficiente de capilaridade e valor assintótico	64
Figura 5.13 – Curva de secagem (função raiz do tempo)	67
Figura 5.14 – Curva de secagem (função da raiz do tempo)	67
Figura 5.15 – Comparação das taxas de secagem TS1 e TS2	68
Figura 5.16 – Resultados do índice de secagem de cada argamassa	68
Figura 5.17 – Taxa de secagem 1 <i>versus</i> coeficiente de capilaridade	70
Figura 5.18 – Condutibilidade térmica	71
Figura 5.19 – Absorção de água a baixa pressão	72
Figura 5.20 – Absorção de água por unidade de área em função do tempo	73
Figura 5.21 – Argamassa CA aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)	73
Figura 5.22 – Argamassa CARc aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)	74
Figura 5.23 – Argamassa CTA2 aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)	74
Figura 5.24 – Argamassa CTA3 aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)	74
Figura 5.25 – Argamassa CTA4 aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)	74
Figura 5.26 – Argamassa TA aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)	75
Figura 5.27 – Destacamento da argamassa ao suporte	75
Figura 5.28 – Absorção de água (tubos de Karsten aplicados em superfície horizontal)	76
Figura 5.29 – Absorção de água das argamassas versus tipo de suporte	76
Figura 5.30 – Absorção de água aos 60 min nos vários tipos de provetes (tubos de Karsten) ..	77
Figura 5.31 – Absorção de água a baixa pressão (60 min) versus coeficiente de capilaridade ..	79
Figura 5.32 – Porosidade aberta e massa volúmica aparente do granito	80
Figura 5.33 – Absorção por imersão de provetes de granito	81
Figura 5.34 – Resistência à compressão em provetes de granito	81

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Requisitos gerais relativos a argamassas para edifícios antigos (Veiga et al, 2010).....	2
Quadro 2.1 – Estudos de argamassas de terra	11
Quadro 2.2 – Estudos de argamassas de terra com fibras naturais	12
Quadro 2.3 – Estudos de argamassas mistas de terra e cal	15
Quadro 2.4 – Estudos de argamassas de cal com resíduos cerâmicos.....	17
Quadro 3.1 – Baridade dos materiais em estudo	23
Quadro 3.2 – Série de peneiros utilizada durante a peneiração	24
Quadro 3.3 – Traços em massa e em volume das argamassas	28
Quadro 3.4 – Relação água-ligante, água-agregados e água-ligante+agregado	29
Quadro 5.1 – Resultados de espalhamento de bibliografia consultada e do presente estudo.....	53
Quadro 5.2 – Classes de massa volúmica (DIN 18946:2013).....	54
Quadro 5.3 – Resultados de MV de bibliografia.....	54
Quadro 5.4 – Resultados de MV do presente estudo	55
Quadro 5.5 – Resultados de teor em ar de bibliografia	55
Quadro 5.6 – Resultados do teor em do presente estudo	56
Quadro 5.7 – Resultados de Rl e Rv de bibliografia e do presente estudo (90 dias)	57
Quadro 5.8 – Resultados de MVap de bibliografia e presente estudo (90 dias).....	59
Quadro 5.9 – Resultados de Ed provenientes da bibliografia e do presente estudo	60
Quadro 5.10 – Resultados de resistências mecânicas de bibliografia	62
Quadro 5.11 – Valores de CC segundo EN 15801 e EN 1015-18.....	65
Quadro 5.12 – Resultados de CC e VA provenientes da bibliografia e presente estudo	66
Quadro 5.13 – Resultados da TS e do IS provenientes da bibliografia e do presente estudo	69
Quadro 5.14 – Resultados de condutibilidade térmica provenientes da bibliografia	71
Quadro 5.15 – Quantidade de água absorvida através de tubos de Karsten aos 60 minutos.....	77
Quadro 5.16 – Resultados de absorção de água a baixa pressão provenientes.....	78
Quadro 5.17 – MVap e Pab de bibliografia e presente estudo	80
Quadro 5.18 – Absorção por imersão de bibliografia e presente estudo.....	81
Quadro 5.19 – Resistência à compressão do granito de bibliografia e presente estudo	82
Quadro 5.20 – Resultados de espalhamento, abaixamento, massa volúmica e teor de ar.....	83
Quadro 5.21 – Resultados de retração linear e volumétrica, massa volúmica aparente e módulo de elasticidade dinâmico	83
Quadro 5.22 – Resultados das resistências à flexão e compressão, coeficiente de capilaridade, valor assintótico, taxa de secagem, índice de secagem e condutibilidade térmica	83
Quadro 5.23 – Resultados de porosidade aberta, massa volúmica aparente, absorção de água e resistência à compressão em provetes de pedra	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Instituições e documentos

CEN – Comité Européen de Normalisation

DEC – Departamento de Engenharia Civil

DIN – Deutsches Institut für Normung

EN – European Norm

FCT/UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ITE – Informação Técnica de Edifícios

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NP – Norma Portuguesa

RILEM – Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux

Ensaaios

ATG (em inglês TGA) – Análise termogravimétrica

CC [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{seg}^{1/2})$] ou [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$] – Coeficiente de capilaridade

DP – Desvio-padrão

Ed [N/mm^2] – Módulo de elasticidade dinâmico

IS [-] – Índice de secagem

MV [kg/dm^3] – Massa volúmica (estado fresco)

MVap [kg/dm^3] e [kg/m^3] – Massa volúmica aparente (estado endurecido e provetes de pedra)

Pab [%] – Porosidade aberta

Rl e Rv [%] – Retração linear e volumétrica

Rc [N/mm^2] – Resistência à compressão

Rt [N/mm^2] – Resistência à tração por flexão

Sd [m] – Espessura da camada de ar de difusão de vapor de água equivalente

TS/TS1 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] – Taxa de secagem/taxa de secagem da primeira fase

TS2 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2})$] – Taxa de secagem da segunda fase

VA [kg/m^2] – Valor assintótico

DRX (em inglês XRD) – Difração Raio-X

Φ – Diâmetro [mm]

λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] – Condutibilidade térmica

Materiais

Tf – Terra proveniente da floresta (Sobral Pichorro)

Tr – Terra proveniente do leito do rio Muxagata

Abc – Areia britada cinzenta

Aba – Areia britada amarela

Rc – Resíduos de telha cerâmica

Argamassas

CA – Argamassa de cal aérea e areia britada ao traço volumétrico de 1:2

CARc – Argamassa de cal aérea, areia britada e resíduos cerâmicos com traço volumétrico de 1:2:0,6

CTA2 – Argamassa de cal aérea, terra e areia britada ao traço volumétrico de 1:1,5:0,5

CTA3 – Argamassa de cal aérea, terra e areia britada ao traço volumétrico de 1:2,2:0,8

CTA4 – Argamassa de cal aérea, terra e areia britada ao traço volumétrico de 1:3:1,1

TA – Argamassa de terra e areia britada ao traço volumétrico de 1:0,4

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Antigamente e ainda nos dias de hoje é frequente encontrar edifícios de alvenaria de pedra natural, assentes com argamassas de terra, ou terra e cal, uma vez que estes materiais eram muito utilizados na construção e apresentavam boas características, principalmente financeiras e de disponibilidade, face aos materiais que existiam até à época de construção. A norte de Portugal, uma das pedras mais utilizadas na construção era o granito, dada a sua abundância no local. De forma a dar continuidade ao uso do granito como parte integrante de uma parede, é necessário ter em conta as técnicas e os materiais utilizados antigamente, principalmente no que diz respeito a uma obra de conservação ou reabilitação (Vasconcelos, 2004; Faria *et al*, 2015a).

A terra propriamente dita, é considerada um dos materiais de construção mais antigos que o ser humano conhece. Esta informação tem em conta a datação de alguns edifícios de terra antigos, cujos resultados mostram alguns casos de construções que apresentam cerca de 9000 anos de existência (Minke, 2006 citado por Emiroglu *et al*, 2015). Mesmo em Portugal a terra surge em alvenarias e revestimentos pré-históricos (Bruno e Faria, 2008). No entanto, a terra como material de construção continua a ser utilizada ainda nos dias de hoje.

Tendo em conta a importância crescente atribuída à eco-eficiência da construção e reabilitação, tem havido uma maior preocupação em desenvolver e aperfeiçoar materiais de construção que estejam em conformidade com este conceito. Reconhecidos especialmente em países desenvolvidos e industrializados, uma das razões pelas quais os materiais à base de terra têm vindo a reganhar o seu espaço, está relacionada com a capacidade que estes têm em regular o ambiente higrotérmico de um espaço interior, a contribuição que podem ter nalguns casos para a inércia térmica, e ao mesmo tempo o seu baixo impacto ambiental (Delinière *et al*, 2014; Lima *et al*, 2016b). Há ainda que ter em conta que, na conservação e na reabilitação de edifícios, é necessário garantir a compatibilidade que existe entre os materiais antigos e os que são aplicados hoje em dia, para se realizarem intervenções adequadas no património arquitetónico (Andrejkovicová *et al*, 2015).

Quanto ao referido, encontram-se hoje em dia cada vez mais casos em que este cuidado não é tido em conta, ou seja, frequentemente há uma incompatibilidade de materiais em obra, o que ao longo dos anos acaba por trazer consequências nocivas para o próprio edifício. Isto deveu-se em grande parte à massificação da utilização do cimento Portland, considerado durante décadas como um dos melhores materiais de construção, muito por causa das suas excelentes características mecânicas, pondo de parte a utilização de outros ligantes utilizados até à altura, como a terra e a cal aérea (Faria *et al*, 2008).

No geral, os materiais à base de terra podem ser utilizados de duas formas: como parte constituinte de uma parede, como por exemplo a taipa ou as alvenarias de adobe ou de blocos de terra compactada, e ainda sob a forma de argamassas, para assentamento de alvenarias, tratamento de juntas e revestimentos. Há ainda que referir que a formulação da argamassa também tem de ser realizada tendo em conta a aplicação em obra, isto é, se é utilizado em assentamento, refechamento de juntas ou revestimento exterior ou interior, tal como é sugerido no quadro 1.1, que define gamas indicativas de características de argamassas para edifícios antigos. No caso das argamassas de terra, apesar de serem mais apropriadas para ambientes interiores, também podem ser utilizadas em revestimentos exteriores, sendo que nestes casos deve prever-se a utilização de um ligante e/ou adições, ou revestimentos e/ou tratamentos superficiais que as tornem mais resistentes, nomeadamente à água da chuva (Hamard *et al*, 2013).

Quadro 1.1 – Requisitos gerais relativos a argamassas para edifícios antigos (Veiga *et al*, 2010)

Função da argamassa	Características Mecânicas (90 dias)			Comportamento à água	
	Resistência à flexão [MPa]	Resistência à compressão [MPa]	Módulo de elasticidade dinâmico [MPa]	Sd* [m]	CC [kg/(m ² .min ^{1/2})]
Reboco interior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000-5000	< 0,08	1,0 < C.C. < 1,5
Reboco exterior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000-5000	< 0,10	-
Refechamento de juntas	0,4 - 0,8	0,6 - 3,0	3000-6000	< 0,10	1,0 < C.C. < 1,5

*Sd – espessura de camada de ar de difusão equivalente; CC – coeficiente de capilaridade

As argamassas de terra podem ser aplicadas em vários tipos de suporte: tijolos cerâmicos, blocos de betão, adobe, taipa, blocos de terra compactada, (Faria *et al*, 2014b). Podem apresentar alguma melhoria térmica e acústica, quando comparada com uma argamassa de cimento. Para a formulação de argamassas, é necessário ter em conta os agregados que fazem parte da sua estrutura, normalmente de granulometria fina, os ligantes utilizados e ainda a quantidade de água.

O Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa (FCT NOVA) celebrou um protocolo com a Associação Vale da Lobas, de forma a colaborar na conservação e reabilitação de edifícios existentes e no desenvolvimento de produtos de baixa energia incorporada, formulados com o máximo de materiais locais, a serem utilizados em intervenções a realizar por esta Associação no Vale das Lobas, localizado em Fornos de Algodres, distrito da Guarda. Esta dissertação insere-se na colaboração para a reabilitação de um edifício antigo de alvenaria de granito. Foi definido pela Associação que os materiais escolhidos para a realização das argamassas a aplicar na reabilitação

do edifício “devem ser o mais possível orgânicos, biodegradáveis e não sintetizados num processo de fabrico industrial que utilize engenharia petroquímica” (requisitos recolhidos oralmente de Tony Conway, em representação da Associação). No caso, os materiais devem ser produzidos por tecnologia apropriada em pequena escala, tendo em conta a utilização viável de energia para a sua produção, e ter em conta a eco-eficiência no processo de recolha, extração e/ou exploração, de forma a não causar danos ecológicos significativos.

1.2 Objetivos e metodologia

O objetivo desta dissertação é, assim, contribuir para um mais amplo e fundamentado conhecimento do comportamento físico e mecânico de argamassas formuladas tanto quanto possível com base em recursos locais, nomeadamente terra, areia, cal aérea e resíduos cerâmicos, tendo em vista a avaliação da sua viabilidade para utilização no tratamento de juntas na reabilitação de edifícios antigos de alvenaria de granito do Norte de Portugal. Foi utilizado como caso de estudo um edifício antigo de alvenaria de granito, em fase de projeto de reabilitação, localizado no Vale das Lobas em Fornos de Algodres.

Para isso, foram recolhidos materiais provenientes da zona circundante à obra a intervencionar, de forma a serem caracterizados e utilizados na formulação de argamassas, para serem posteriormente avaliadas algumas características no âmbito de uma campanha experimental, através de provetes prismáticos, cilíndricos e aplicações sobre tijolo.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação foi dividida em seis grandes capítulos. No primeiro capítulo é feito o enquadramento sobre todo o trabalho desenvolvido, são enumerados os objetivos e as metodologias utilizadas, bem como a estruturação da dissertação. Neste capítulo pretende-se fazer uma introdução ao trabalho desenvolvido na dissertação, referindo de forma sucinta alguns aspetos sobre argamassas que contenham terra.

No segundo capítulo é feita uma apresentação detalhada sobre os estudos que têm sido feitos ao longo de vários anos, sobre o comportamento de argamassas, realizada através de pesquisa bibliográfica, nomeadamente no que diz respeito à utilização de materiais em argamassas à base de terra, areia, cal e resíduos cerâmicos. Além disto, foram feitas pesquisas em que são utilizados outros tipos de argamassas, nas quais são muitas vezes adicionadas fibras ou utilizado outro tipo de ligante. Tudo isto contribuiu para a melhor compreensão do trabalho a realizar, bem como para os objetivos a cumprir.

No terceiro capítulo é feita a caracterização e descrição do caso de estudo e dos materiais utilizados na campanha experimental, com auxílio de figuras e tabelas, bem como a formulação de argamassas com base nesses materiais. Neste capítulo são também descritos todos os provetes

realizados com as argamassas, para posteriormente serem ensaiados, bem como as condições de cura em que os provetes foram deixados.

No quarto capítulo é feita a descrição de todos os ensaios realizados durante a campanha, para o estado fresco e para o estado endurecido, com recurso aos provetes realizados e descritos no capítulo anterior. Os ensaios foram definidos tendo em conta a informação recolhida na pesquisa bibliográfica. Para a descrição dos ensaios, foram tidas em conta as normas mais recentes, utilizadas frequentemente por outros autores, bem como ensaios realizados por estudos anteriores realizados na FCT NOVA. Além dos ensaios nos provetes de argamassa, também é feita caracterização possível da pedra de granito.

Com base nos ensaios realizados, são apresentados e discutidos no quinto capítulo, os resultados que dizem respeito a cada uma das argamassas. São feitas comparações entre os vários ensaios realizados nesta campanha, bem como com resultados encontrados na bibliografia.

No sexto capítulo, é feito um resumo de todas as conclusões obtidas. São ainda feitas algumas sugestões para trabalhos futuros, que podem vir a ser realizados tendo em vista o aprofundamento do conhecimento das características das argamassas.

Nas referências bibliográficas são apresentadas todas as fontes bibliográficas utilizadas e que serviram de base para o trabalho desenvolvido.

Por último, nos anexos apresentam-se os resultados individuais de cada ensaio.

2 ESTUDOS SOBRE ARGAMASSAS

2.1 Considerações gerais

As argamassas representam nos dias de hoje uma grande parte dos produtos de construção utilizados no património construído, uma vez que podem ser aplicadas em diversas formas, desempenhando um papel importantíssimo na conservação das construções, conferindo-lhes em alguns casos proteção, durabilidade e longevidade. Assim nos edifícios antigos é possível encontrar argamassas que na sua constituição apresentam diferentes tipos de materiais, por exemplo argila, areia, cal, gesso, pó de tijolo, etc, consoante a aplicação seja para assentamento de alvenaria, tratamento de juntas, revestimentos de paredes, tetos ou mesmo pavimentos, ou de enchimento de pavimentos.

2.2 Materiais utilizados nas argamassas

2.2.1 Terra

A terra propriamente dita é um material que resulta da decomposição de rochas, devido à ação dos agentes físicos, químicos e biológicos, que naturalmente existe em toda a Terra, variando de local para local de acordo com o clima (Neves *et al*, 2010). Dos agentes físicos destaca-se a ação do gelo e degelo em que a rocha, sendo um material relativamente poroso, permite a entrada de água no seu esqueleto. Por ação de ciclos de temperaturas, o seu volume altera-se, desintegrando o interior da rocha. Em relação aos agentes químicos, normalmente transportados pela água, destaca-se a presença dos ácidos orgânicos que decompõem quimicamente as rochas. Ao mesmo tempo, há ainda a presença de organismos vegetais e animais, que também vão ajudar neste processo (Gomes, 2013 citado por Santos, 2014).

A terra é um material que, pelas suas características e pela sua abundância, apresenta algumas vantagens face aos materiais correntes utilizados na construção, nomeadamente no que diz respeito aos custos de transformação e ao acesso à matéria-prima, uma vez que pode ser recolhida no local de construção, dispensando custos de transporte. Além disso, é um material que pode ser reutilizado, quando não são utilizados estabilizantes químicos, e não consome grandes quantidades de energia nas várias fases da sua utilização, ou seja, durante a construção, nos trabalhos de manutenção e reparação e, no final da sua vida útil, na demolição. Isto faz com que a terra seja um dos materiais mais económicos e sustentáveis que se utilizam nos dias de hoje na construção (Lima *et al*, 2016a). Sendo um dos materiais de construção mais antigos e utilizados em todo o mundo, tem havido nos últimos anos um maior interesse por parte dos envolvidos na construção em conhecer e desenvolver materiais de construção que têm como base da sua constituição a terra.

No entanto persistem ainda algumas dúvidas em relação à sua utilização, nomeadamente pelo facto de requerer mão de obra especializada, que pode muitas vezes inviabilizar a sua utilização, apresentar um comportamento imprevisível, forçando muitas vezes a utilização de elementos estabilizadores, bem como a falta de normalização europeia e a escassez de normalização de cada país. Vários motivos conduziram ao longo de décadas a uma situação de abandono das técnicas de construção com terra utilizadas no passado, e ao mesmo tempo levaram ao aparecimento de novos problemas nas construções antigas (Delinière 2014; Andres *et al*, 2016a, Gomes 2012).

Muitos países com economias desenvolvidas, especialmente na Europa, têm desenvolvido estudos nesta área, movidos pelo baixo custo da matéria-prima e pelos valores reduzidos de impacto ambiental que estes materiais provocam no ambiente (Emiroglu, 2015; Lima, 2016b).

2.2.2 Areia

Segundo a EN 13139 (CEN,2002) define-se como agregado, o material granular usado na construção, que pode ser de origem natural, manufaturado ou reciclado. Ainda assim, é possível dividir os agregados de acordo com a granulometria em grosso e fino, sendo que uma areia pertence ao segundo grupo, caracterizado com o valor de máxima dimensão D (menor peneiro em que passa uma quantidade maior do que 90%), superior ou igual a 4 mm.

Estes materiais são bastantes importantes na formulação de uma argamassa, uma vez que vão funcionar como esqueleto, através da coesão entre os seus grãos e o ligante. Alguns fatores como a dureza, a forma, a granulometria, a porosidade, a origem e o estado de limpeza dos agregados, podem influenciar bastante o comportamento das argamassas. Destes fatores destaca-se a granulometria, uma vez que esta característica define a compacidade e a porosidade da argamassa, que por sua vez influencia a sua estabilidade volumétrica no que diz respeito à retração, retenção de água, durabilidade e desempenho estrutural. Vários autores sugeriram que, para se obter uma argamassa com maior compacidade e, conseqüentemente, mais resistente, deve ser usada uma areia bem graduada, incluindo uma vasta gama de partículas, com uma forma angulosa. Para isso, têm sido utilizadas, em muitos casos, areias artificiais ou britadas. Assim, podem obter-se resultados distintos para uma mesma argamassa, se apenas se alterar o tipo de agregado. Uma vez que normalmente as argamassas são preparadas com materiais locais, é fácil concluir que esses resultados serão diferentes de local para local (Margalha, 2007; Henriques e Faria, 2008).

Os romanos preferiam areias “afiadas” a arredondadas para se obterem argamassas mais resistentes. Em Portugal, o uso de areias britadas como alternativa a areias naturais tem aumentado nos últimos 25 anos, motivado pela escassez das areias naturais em determinadas

zonas, bem como pela restrição da extração de areia dos rios, devido a questões ambientais. Estes materiais são obtidos através de pedra triturada, criando partículas com diferentes formatos e tamanhos, consoante a rocha mãe, o processo de esmagamento, o período durante a qual a pedra é sujeita ao processo, e a proporção de redução de dimensão (Cortes *et al*, 2008; Pavia *et al*, 2008; Fragata e Veiga 2010; Santos e Veiga, 2012). De estudos realizados, concluiu-se que as areias britadas, devido à sua forma angulosa, possuem maior superfície para aderir ao ligante, dando origem a argamassas com maior resistência mecânica. Ao mesmo tempo, também usufruem de melhor capacidade de reorganização das partículas, reduzindo o volume de vazios entre as partículas, aumentando a compacidade e, conseqüentemente, a resistência mecânica. No entanto, uma vez que apresentam maior superfície específica do que os agregados naturais (redondos), exigem geralmente maior quantidade de água para obter a mesma trabalhabilidade, o que pode ser prejudicial (Margalha, 2007; Pavia *et al*, 2008; Santos e Veiga, 2012).

2.2.3 Cal aérea

A cal aérea é um material utilizado como ligante em argamassas em grande parte do património arquitetónico, desde os tempos pré-históricos, caracterizando-se como um material bastante duradouro (Andrejkovicová *et al*, 2015). A cal aérea cálcica é obtida através da cozedura de rochas calcárias (carbonato de cálcio com teores de impurezas até 5%), a uma temperatura de cerca de 900°C. Deste processo resulta inicialmente uma alteração química na estrutura da rocha, que promove a libertação de água e, posteriormente, a uma temperatura mais elevada, a decomposição do carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Por sua vez, o carbonato de cálcio em contacto com temperaturas na ordem dos 900°C, dá origem à formação de óxido de cálcio ou cal viva (CaO) no estado sólido, e liberta dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera, no estado gasoso. Este processo designa-se por calcinação.

Posteriormente é necessário que a cal seja extinta, por contacto com água, dando origem à cal hidratada ou hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) com produção de calor. Por sua vez, quando a cal aérea hidratada entra em contacto com a atmosfera (na presença de humidade), dá-se uma nova reação química entre o hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono, dando origem a um composto semelhante à rocha inicial, o carbonato de cálcio (Faria, 2004).

Na construção sabe-se que existem dois grupos de cais: as cais com propriedades hidráulicas e as cais aéreas (NP EN 459-1:2011). As cais com propriedades hidráulicas endurecem na presença de água, enquanto que as aéreas apenas endurecem através do processo de carbonatação, que é lento. Há ainda que referir que as cais aéreas podem ser cálcicas (CL) ou dolomíticas (DL), e as de propriedades hidráulicas dividem-se em cais hidráulicas naturais (NHL), hidráulicas (HL) ou formuladas (FL) (Faria, 2012; NP EN 459-1:2011).

A cal aérea foi muito utilizada como ligante em argamassas, no património arquitetónico, sendo dos ligantes correntes um dos mais sustentáveis devido à menor quantidade de energia gasta durante o processo de fabrico face aos cimentos e ainda a capacidade que apresenta para absorver dióxido de carbono durante a carbonatação (Aggelakopoulou *et al*, 2011 e Arizzi *et al*, 2012 citados por Andrejkovicová *et al*, 2015; Pavlík e Uzaková, 2015).

2.2.4 Materiais pozolânicos - resíduos cerâmicos

No que diz respeito aos agregados presentes numa argamassa, percebeu-se que estes poderiam ser inertes, ou seja, não reagiriam com o ligante, ou pozolânicos, isto é, quimicamente ativos e com apetência para reagir com o ligante na presença de água (Davey, 1961, citado por Budak *et al*, 2010). Assim um material pozolânico caracteriza-se como sendo um material contendo sílica e/ou alumina, e que, na presença de humidade, apresenta uma capacidade de reagir quimicamente e ajudar na formação de compostos com propriedades hidráulicas, melhorando a generalidade das suas propriedades como o tempo de cura, aumento de resistência e durabilidade a longo prazo, e redução da porosidade (Nezerka *et al*, 2014; Stefanidou *et al*, 2016).

Neste sentido, vários autores têm estudado o comportamento de alguns tipos de argamassas, nas quais é feita uma adição ou uma substituição de ligante por pozolanas (Faria, 2004; Matias *et al*, 2010; Fontes e Faria, 2012; Torres *et al*, 2014; Andrejkovicová *et al*, 2014; Nezerka *et al*, 2014/2015). Para o efeito podem ser usadas pozolanas naturais, como por exemplo cinzas de lava vulcânicas meteorizada, tufo calcários e terras diatomáceas, ou de origem artificial como por exemplo argilas calcinadas a diferentes temperaturas (caso do metacaulino, resíduos ou pó de cerâmica) ou cinzas volantes, conferindo-lhes assim propriedades hidráulicas (Budak *et al*, 2010; Fontes e Faria 2012, Vejmelková *et al*, 2012; Stefanidou *et al*, 2016).

Os resíduos cerâmicos constituem um dos materiais mais utilizados como pozolana, dados os registos que têm sido feitos sobre caracterização de argamassas em edifícios antigos. De notar que estes resíduos foram encontrados com vários tipos de granulometria, podendo assim ser considerados como agregado, quando de granulometria grosseira. Quando apresentam granulometria fina, comportam-se como um filler ou como material pozolânico, e nesse caso, ao serem misturados com a cal, podem reagir com o hidróxido de cálcio (Matias *et al*, 2014).

Existe um desperdício de cerca de 30% de material cerâmico durante a produção industrial de cerâmica de barro vermelho, material esse que não é aproveitado e muito vezes é colocado em aterros. A utilização destes materiais terá como vantagens a redução da deposição de resíduos cerâmicos em aterros, a redução da exploração de rochas utilizadas na produção de ligantes e areias, e a obtenção de argamassas com características melhoradas (Torres *et al*, 2014).

2.3 Argamassas

2.3.1 Introdução

Dada a variedade de matérias-primas utilizadas, torna-se muitas vezes complicado perceber as propriedades das argamassas, acrescentando ainda as alterações provocadas pelas condições de aplicação, bem como as condições ambientais a que foram sujeitas (Papayanni *et al*, 2012). Define-se assim uma argamassa, pela mistura de agregados com um material ligante e água, sendo possível acrescentar outros materiais que lhe confirmam outro tipo de características, de forma a serem compatíveis com a solicitação desejada, seja para assentamento de alvenarias, refechamento de juntas ou rebocos interiores e exteriores (Faria *et al*, 2015b). No contexto deste trabalho é importante referir que uma argamassa de refechamento de juntas deve ter como principais características um valor reduzido de absorção de água, elevada permeabilidade ao vapor de água, boa resistência ao corte e ainda reduzida retração. Este último aspeto diz respeito à necessidade das argamassas criarem uma boa base, de forma a distribuir melhor as tensões geradas. Além disso, como qualquer argamassa, devem ter uma resistência mecânica adequada, ainda mais por ser de uma aplicação de natureza estrutural (Henriques e Faria, 2006).

2.3.2 Argamassas de terra

Face ao que já foi referido anteriormente, as argamassas de terra têm vindo a ganhar espaço como um produto de construção. Uma vez que parte dos edifícios antigos que estão neste momento em vias de serem reabilitados são muito vezes construídos à base de terra, tem havido cada vez mais a preocupação com o tipo de materiais a utilizar, de forma a não originar problemas inexistentes antes da intervenção. O conhecimento desta realidade tem feito com que o uso de materiais como o adobe, a taipa, os blocos de terra compactada e as argamassas de terra, tenha aumentado nos últimos anos (Emiroglu *et al*, 2015; Gomes *et al*, 2016a). Além disso, a utilização de argamassas de terra em edifícios com paredes de terra indicia garantir compatibilidade entre os materiais (Stazi *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2016b).

Devido a este fenómeno, têm sido feitas várias pesquisas com o intuito de melhorar o conhecimento de materiais à base de terra, nomeadamente no que diz respeito à sua utilização como argamassas de reboco para revestimento e refechamento de juntas.

De forma a melhorar os produtos que são lançados no mercado, além de serem estudadas argamassas pré-doseadas, também são muitas vezes realizados estudos com terra argilosa e areia para perceber qual a relação ótima entre elas na formulação de uma argamassa. Isto é realizado quando se pretende utilizar materiais de uma determinada zona e obter uma argamassa com propriedades físicas e mecânicas desejadas.

Durante a formulação de uma argamassa de terra é necessário ter um cuidado especial no que diz respeito à utilização que lhe será dada, nomeadamente quando estas argamassas são sujeitas a ações de desgaste e agentes atmosféricos, tendo também como fatores essenciais à sua durabilidade a matéria-prima, as disposições construtivas e a manutenção que lhe é devida. Estes cuidados estão também associados ao clima e à composição dos solos utilizados (Gomes *et al*, 2012; Hamard, 2013).

No caso das argamassas de terra, são as argilas que vão funcionar como ligante. Tratam-se de partículas finas que, quando misturada com água, formam uma pasta que endurece, promovendo a ligação entre os agregados. No entanto, a utilização de argilas como material ligante apresenta um comportamento bastante limitado, muito por causa da sua suscetibilidade às variações de humidade, provocando assim fenómenos de retração e fendilhação (Andres *et al*, 2016b; Gomes *et al*, 2016a). Por outro lado, a argila pode conferir melhor trabalhabilidade e mais elevada resistência mecânica (Faria, 2004 e Matias, 2013, citado por Pires, 2013).

Vários autores citados por Emiroglu *et al*, (2015) concluíram que aumentando o teor de argila, aumenta a resistência à compressão, não sendo afetada a rigidez. Por outro lado, quando se aumenta o teor de água, baixa a resistência e a rigidez. O aumento de argila conduz também a um aumento da resistência à flexão, enfraquecendo, no entanto, a ligação ao suporte.

Atualmente existe uma norma alemã, a DIN 18946:2013, que é responsável por definir os requisitos e os procedimentos para os ensaios que devem ser realizados em argamassas deste tipo, tendo como base as partes diversas partes da EN 1015, para a realização de grande parte deles. Da pesquisa bibliográfica percebeu-se que quando se melhoram determinadas características, outras são penalizadas por isso. Por exemplo o aumento do teor de argila por um lado melhora as resistências mecânicas, mas por outro lado contribui para um aumento da retração. Vários autores também têm estudado a introdução de fibras naturais na formulação de argamassas de terra, com vista a melhorar as resistências físicas e mecânicas, nomeadamente a retração linear, a resistência à tração por flexão e a secagem (Ashour *et al*, 2010). Além disso, e tendo em conta a sensibilidade à presença de água, houve também quem estudasse o tratamento das superfícies com materiais que tornem as argamassas impermeáveis (Stazi *et al*, 2015).

Nos quadros 2.1 e 2.2 é possível consultar uma síntese de alguns dos artigos consultados, que se referem a estudos recentes sobre argamassas de terra, sem e com adição de fibras, respetivamente. É possível ainda observar o tipo de argamassas utilizada (pré-doseada ou não), bem como alguns dos provetes que são realizados para os respetivos ensaios. Verifica-se que são poucos os estudos que existem em argamassas de terra com ou sem fibras, comparativamente a argamassas com outros ligantes.

Quadro 2.1 – Estudos de argamassas de terra

Referência	Resumo	Tipo de argamassa	Provetes/Amostras	Ensaio/Procedimentos	Conclusões
Delinière et al, (2014)	Caracterização de 5 argamassas de argila	5 argamassas pré-doseadas, 3 delas c/ percentagens mássicas conhecidas de solo e areia (33/67; 29/71; 29/71)	- 40x40x160 mm; - Argamassas aplicadas sobre painéis de betão c/ 530x220 mm;	- Espalhamento; - MV (fresca e aparente); - Rt e Rc; - Aderência. (DIN 18947)	- Granulometria semelhante; - Natureza das argilas difere (no entanto os resultados são comparáveis e de acordo c/ a norma); - Devem ser considerados ensaios <i>in situ</i>
Emiroğlu et al, (2015)	Caracterização de argamassas de argila. Realização de ensaios <i>in situ</i> , a fim de avaliar o efeito da relação de argila/areia	9 combinações c/ diferentes proporções de argila e areia: C10S0 (amostra de referência) a C1S9 (1 unidade de argila e 9 unidades de areia, em massa).	- Moldes cúbicos 50 × 50 × 50 mm (duas camadas); - Argamassa aplicada sobre tijolos.	- XRF; - Ensaio de queda de bola; - Ensaio de corte (brilho); - Retração volumétrica e visual; - Limites de Atterberg; - Rc.	- Aumento do teor de água inicial diminui gradualmente Rc; - Aumento do teor de argila conduziu a fissuras de retração; - Redução do teor de argila conduziu a maior dificuldade na aplicação, superfície áspera e mau desempenho de ligação; - O tipo de argila também se relaciona c/ os valores de Rv; - Quando todos os ensaios foram relacionados, foi considerado um teor de água inicial adequado de 35%.
Lima et al, (2016b)	Caracterização de rebocos com terras de barro do Algarve. Influência da proporção terra:areia e propriedades físicas e mecânicas.	4 argamassas aos traços volumétricos 1:2, 1:2,5, 1:3 e 1:4 (terra argilosa:areia).	- 40x40x160 mm; - ϕ 90 mm e 20 mm de espessura; - Argamassa sobre tijolo cerâmico c/ 25 mm de espessura.	- XRD; - TGA-DTA; - Espalhamento, MV e Rl; - Rt e Rc; - Condutibilidade térmica; - Adsorção e desadsorção. (DIN 18947)	- Os rebocos apresentaram valores claramente baixos de Rl; - Boa capacidade de adsorção e desadsorção, superando a classe mais alta definida na DIN 18947; - As resistências mecânicas devem ser ligeiramente melhoradas (não alcançaram os valores mínimos da norma); - Valores bastante razoáveis de aderência.
Santos et al, (2014)	Caracterização de uma argamassa de terra	Argamassa pré-doseada preparada em laboratório e <i>in situ</i>	- 40x40x160 mm; - ϕ 90 mm e 15 e 20 mm de espessura; - Argamassa sobre tijolo cerâmico c/ 15 mm de espessura; - 500x200x15 mm	- Baridade; - Espalhamento e abaixamento; - MV e MV aparente; - Teor em ar e teor água; - Penetrómetro; - Retenção de água; - Ed, Rt e Rc; - Aderência ao suporte; - Condutibilidade térmica; - Adsorção de água. (DIN 18947)	- Excelente trabalhabilidade, tanto <i>in situ</i> como em laboratório; - Valores de consistência de acordo c/ a DIN 18947; - Classe 1,8 de MV; - Classe SI no que diz respeito à resistência (comparáveis c/ argamassas de cal); - Condutibilidade térmica dentro da média de valores conhecidos; - Nível de adsorção de classe WSIII.

Quadro 2.2 – Estudos de argamassas de terra com fibras naturais

Referência	Resumo	Tipo de argamassa	Provetes/Amostras	Ensaio/Procedimentos	Conclusões
Andres et al, (2015)	Características mecânicas de uma argamassa de terra c/ fibras de palha de trigo, saturando as fibras antes de as colocar na argamassa.	Arg. terra comercializada (TC) e palha saturada Arg TC c/ palha cortada saturada Arg. com terra extraída do solo (TE) e palha saturada Arg. TE c/ palha cortada saturada	- 40x40x160 mm	- MV; - Rt e Rc; - Ressonância magnética nuclear	- Saturar a palha tem um incremento positivo na Rt; - As heterogeneidades que surgem da colocação da palha são compensadas pela saturação das fibras; - A utilização de palha é recomendada nas camadas subjacentes da argamassa.
Ashour et al, (2010)	Adsorção e desadsorção de argamassas de terra e areia c/ 3 tipos de fibras a diferentes temperaturas.	36 argamassas variando a percentagem (em relação à massa) de terra, areia e fibras: - 25:0:75 - 25:25:50 - 25:50:25 - 25:75:0	- 50x50x50 mm	- Adsorção e desadsorção	- Argamassas reforçadas c/ fibras secam mais lentamente quando comparadas c/ aquelas que não têm fibras; - Secagem mais rápida leva a abertura de fissuras na argamassa, o que não é desejável na formulação de argamassas de revestimento.
Lima et al, (2016a)	Avaliação da adição de dois tipos de fibras em argamassas de terra. Estudo das características físicas e mecânicas, e observação da melhoria das características de retração linear e condutibilidade térmica.	Traço 1:3 em volume (terra argilosa:areia), c/ e sem adição de fibras, e variando a quantidade de água	- 40x40x160 mm - ϕ 90 mm e 20 mm de espessura; - 20 mm de argamassa sobre tijolo 300x200 mm; - 500x200x15 mm	- RI; - MV; - Rt, Rc e aderência; - Condutibilidade térmica; - Adsorção e desadsorção.	- A adição de fibras de palha de aveia pode contribuir para a diminuição da RI, mesmo quando é usada uma terra argilosa c/ baixa expansibilidade; - No entanto a partir de uma certa proporção, a fibra adicionada revela o efeito oposto, provavelmente devido ao aumento correspondente de água necessária para a formulação de argamassa.
Stazi et al, (2015)	Comportamento de argamassas de terra em relação ao suporte. Eficácia de revestimentos na proteção contra as intempéries. Procedimentos in situ, (ensaios de retração e aderência) a fim de identificar a relação ótima terra/areia para o fabrico de argamassas de terra.	Traços em massa (Terra:Areia) 1:1 (20% argila), 1:1,5 (16%), 1:2 (13%), 1:3 (10%), 1:4 (8%), 1:5 (6%)	- Arg aplicadas em paredes de taipa e palha, produzidas em laboratório (250x250 mm); - Pequenas amostras de laboratório.	- Retração (observação visual); - Cor da superfície; - Aderência e Rc; - Permeabilidade ao vapor; - Molhagem (ângulo de contacto); - Tubos de Karsten; - Ensaio de erosão (Geelong e método de "spray").	- Identifica a proporção de solo mais adequada para o fabrico de argamassas de terra e o tratamento mais eficaz contra as intempéries; - O tratamento de superfície c/ silano-siloxano é o único produto capaz de tornar eficazmente a argamassa não molhante, repelente à água, e protegê-la das intempéries.

2.3.3 Argamassas de cal

Além da terra, também a cal foi muito utilizada ao longo de vários séculos em grande parte do património que se manteve até aos dias de hoje. Apesar de mais tarde terem aparecido argamassas de cimento, que demonstram ser bastante duradouras, também as argamassas à base de cal eram conhecidas como tal, tendo em conta que ainda hoje se encontram edifícios em que estão aplicadas (Andrejkovicová *et al*, 2015).

Nos dias de hoje, e principalmente em obras de reabilitação de edifícios construídos antes do cimento ser usado correntemente, não faz sentido que sejam utilizadas argamassas de cimento, de forma a não comprometer os edifícios. Isto faz com que, seja recomendável, usar argamassas à base de cal, tendo em conta os riscos associados. A qualidade destas argamassas está relacionada com o tipo de cal utilizada (em pasta ou em pó), com os agregados e com possíveis adições. Todos estes componentes vão influenciar a argamassa, nomeadamente no que diz respeito aos tempos de cura, e se vão adquirir ou não propriedades hidráulicas (Margalha, 2011).

Através da pesquisa realizada foi possível concluir que as argamassas só de cal apresentam valores de resistência mais baixos, e uma capacidade de endurecer mais lenta, quando comparado com argamassas de cimento Portland. Além disso, as argamassas de cal apenas endurecem quando em contacto com o dióxido de carbono. Apresentam ainda uma retração inicial considerável que pode, no entanto, ser compensada pela capacidade que estas argamassas têm em ser reapertadas, horas depois da sua aplicação (Faria *et al*, 2008). Contudo, estas argamassas apresentam excelentes características no que diz respeito à permeabilidade ao vapor de água e à deformabilidade. Estas características permitem a entrada e saída de vapor de água, bem como pequenos movimentos, que são comuns em paredes de edifícios antigos (Mosquera *et al*, 2006 e Gonçalves *et al*, 2006 citado em Veiga *et al*, 2010).

Para avaliar o comportamento de argamassas mistas de terra e cal, é muitas vezes necessário compreender o comportamento de argamassas só de cal, de forma a ter um termo de comparação (Budak *et al*, 2010; Faria *et al*, 2014a; Pimenta *et al*, 2014).

2.3.4 Argamassas mistas (cal e terra)

Na construção, nem sempre houve a oportunidade de introduzir materiais sem ser à base de terra. Só mais tarde, e com o desenvolvimento de ligantes inorgânicos, começaram a aparecer nas construções, elementos que incluíam na sua constituição pequenas quantidades de ligante. Com o desenvolvimento da economia e das tecnologias, o homem foi aumentando o uso destes materiais em construções à base de terra, que teriam como objetivo melhorar as características físicas e mecânicas destes elementos (Faria, 2016).

Praticamente todos os materiais de construção, de uma forma ou de outra, necessitam de ser estabilizados para serem utilizados na construção (Heathcote, 1995; Jayasinghe and Kamaladasa, 2007; Jaquin *et al*, 2008; Hall and Allinson 2009; e Hossain and Mol 2011, citados por Gomes *et al*, 2016b). A estabilização de terras assume três formas, sendo elas a alteração da textura e plasticidade, ou seja, adicionando ou retirando argila, a compactação de solos para aumentar a sua resistência, por exemplo em blocos de terra compactada, ou através de adição de um ligante inorgânico. No entanto, apesar das distinções, apenas se considera um solo “estabilizado” quando são introduzidos ligantes que produzem reação química (Hall *et al*, 2016).

A cal aérea era muitas vezes utilizada para esse efeito sempre que existia oportunidade (mais acessível e economicamente suportável) (Faria *et al*, 2014a; Pimenta *et al*, 2014). Em Portugal, muitas construções (novas e antigas) têm aplicadas argamassas à base de uma mistura de terra e cal aérea, nomeadamente em revestimentos de paredes exteriores (Mateus, 2006).

Segundo vários autores (Gomes *et al*, 2012; Hamard, 2013; Stazi, 2015; Faria *et al*, 2015b; Faria, 2016), estas adições eram normalmente feitas para atribuir às argamassas um melhor comportamento face aos agentes atmosféricos, responsáveis pela deterioração dos revestimentos exteriores. Além disso, eram utilizadas outras técnicas como a adição de biopolímeros, ou seja, óleos de origem vegetal ou animal (Camões *et al*, 2012).

O objetivo com a utilização de ligantes, era o de obter uma argamassa com boa trabalhabilidade (devido à presença de terra), compatibilidade com o substrato (uma vez que muitas vezes se fala de um suporte também em terra ou com características semelhantes), melhor comportamento hidrófobo e resistente à erosão de água (Stazi *et al*, 2015). Embora, a caracterização mecânica, química e física de argamassas de terra e cal careça de estudos mais aprofundados, existe na literatura documentação que refere que a diminuição da resistência à tração e compressão é motivada pela substituição de cal por terra argilosa, não comprometendo, contudo, a sua utilização (Pimenta *et al*, 2014).

Da mesma forma Reddy (2012) constatou que a presença de argila provoca expansão em contacto com a água e retração durante a secagem, e que por isso, exige assim a utilização de quantidades suficientes de cal. Por sua vez, a cal reage com os minerais de argila formando silicato de cálcio e aluminato de cálcio, responsáveis pelo desenvolvimento da resistência. Por outro lado (Pimenta *et al*, 2014) também registou um aumento da resistência mecânica quando se substitui uma pequena quantidade de cal por terra.

No quadro 2.3 é possível ver de forma resumida alguns dos estudos realizados por outros autores, em que se utilizam argamassas de cal com adições/substituições de terra, ou por outro lado, argamassas de terra com adições/substituições de cal.

Quadro 2.3 – Estudos de argamassas mistas de terra e cal

Referência	Resumo	Tipo de argamassa	Provetes/Amostras	Ensaios/Procedimentos	Conclusões
Budak et al, (2010)	Estudo da composição, propriedades físicas, mineralógicas, microestruturais e hidráulicas de argamassas de cal em dois edifícios.	Argamassa ao traço 1:3 (cal:areia) e relação pozolana-agregado de 1:2, ambos em massa.	- Moldes cilíndricos c/ raio e altura de 5 cm	- XRD - SEM-EDS - Compressão uni-axial	- Os resultados mostram que as argilas comerciais podem ser utilizadas como pozolanas se eles forem aquecidos entre 500 e 700 °C.
Faria et al, (2014a)	Caracterização de argamassas de cal aérea em volume, c/ substituição parcial de cal aérea por terra, aplicada em painéis.	Argamassas ao traço volumétrico 1:2 (cal:areia c/ substituição de terra argilosa por cal aérea) e 1:3 (c/ substituição de terra argilosa por areia fina).	-40x40x160 mm; - 2 cm de argamassa sobre tijolo 30x20 cm; - Painéis c/ 2 cm de argamassa aplicados em parede de taipa.	- MV; - Ensaio de espalhamento; - Tubos de Karsten; - Ensaio de condutibilidade térmica; - Dureza superficial	- A terra oferece boa trabalhabilidade às argamassas e reduz a energia incorporada; - A caracterização mecânica e física mostrou compatibilidade entre argamassas de cal e argamassas de cal e terra de uma parede; - A argamassa c/ melhor trabalhabilidade tem 25% de terra.
Faria et al, (2015a)	Caracterização de argamassa de cal aérea, parcialmente substituída por terra argilosa.	Argamassa ao traço volumétrico 1:2 (cal aérea:areia) c/ substituição de 5, 10, 25 e 50% de cal aérea por terra, em massa da cal; - Idem para argamassa ao traço 1:3, mas c/ substituição de areia por terra.	- 1,5cm de argamassa sobre tijolo 30x20cm; - Provetes de 40x40x160 mm.	- XRD - Baridades - Mesa de espalhamento - Trabalhabilidade - Teor em ar - Observação visual - Retração - Rt e Rc	- A quantidade de água necessária é proporcional à quantidade de terra (e cal); - Melhor trabalhabilidade em argamassas só de cal aérea do que em argamassas c/ substituição de 25% de terra por cal, e 10% de terra por areia fina, quando aplicadas em paredes; - Resistências mecânicas semelhantes entre argamassas mistas e só de cal, aos 90 dias; - A melhor argamassa apresenta um traço em volume de 1:2 c/ 10% de cal aérea.
Faria (2016)	Influência da adição parcial de várias percentagens de cal aérea em argamassas de terra.	- Argamassa ao traço volumétrico 1:2 (cal aérea:areia) c/ substituição de 5, 10, 25 e 50% de cal aérea por terra, em relação à massa; - Argamassa ao traço volumétrico 1:3	- 40x40x160 mm; - 2 cm de argamassa sobre tijolo 30x20 cm.	- Ed, Rt e Rc - Pab e MV - Condutibilidade térmica - Capilaridade - Secagem - Resistência aos sulfatos.	- Ed e Rc são diretamente proporcionais; - Acréscimo positivo de Rt quando a substituição de cal por terra é de 10%.
Pimenta et al, (2014)	Caracterização aos 90 dias de argamassas de cal com terra argilosa.	4 argamassas c/ traço volumétrico cal, terra e areia de: - 1:0:2 - 1:0,04:2,2 - 1:0,1:2,7 - 1:0,3:4	- 40x40x160 mm	- XRD - ATG (Análise termogravimétrica) - Rt e Rc	- Aumento de resistência mecânica c/ substituição de 10% da cal por terra; - Argamassas c/ substituições maiores, têm redução nas resistências mecânicas (valor esperado dada a substituição de cal, por terra argilosa), não comprometendo o uso destas argamassas.

2.3.5 Argamassas de cal e resíduos cerâmicos

As desvantagens no uso da cal, como por exemplo o processo moroso de carbonatação, retração elevada e baixa resistência, levou o homem a desejar um material que pudesse compensar estes problemas. A utilização de resíduos cerâmicos em argamassas de cal foi uma realidade presente na construção desde os tempos antigos (3000 a.C.), em estruturas utilizadas para a retenção de água, nomeadamente cisternas, aquedutos e canais (Moropoulou *et al*, 2005, citado por Matias *et al*, 2014). Essencialmente eram utilizados desperdícios cerâmicos que, para serem integrados em argamassas, eram esmagados, substituindo o ligante no caso das partículas serem mais finas (em pó), ou os agregados, no caso de se tratarem de partículas mais grossas. Normalmente, as partículas finas eram mais utilizadas em argamassas de revestimento, enquanto as partículas mais grossas utilizadas em argamassas de assentamento de alvenaria de pedra, estruturas em arco e fundações (Torres *et al*, 2014; Baronio *et al*, 1997 citado por Nezerka *et al*, 2014; Konáková *et al*, 2015). Segundo alguns estudos, a utilização de materiais cerâmicos nas argamassas demonstra uma reatividade pozolânica, provocada pela presença de argilas sujeitas a tratamento térmico nestes materiais. Assim, as argamassas de cal aérea ficam com propriedades hidráulicas e capacidades de endurecer na presença de valores elevados de humidade relativa ou quando o acesso de dióxido de carbono é limitado (Navratilová e Rovnaníková, 2014; Nezerka *et al*, 2014; Charola *et al*, 2005 citado por Torres *et al*, 2014; Matias *et al*, 2014).

A caracterização do seu efeito nas argamassas tem por base vários parâmetros como a massa volúmica, porosidade aberta, resistência mecânica, coeficiente de absorção de água, resistência à difusão de vapor, condutibilidade térmica e calor específico (Konáková *et al*, 2015). Comprovado pela quantidade de argamassas que ainda hoje são encontradas, bem como pelos estudos realizados, a adição de resíduos cerâmicos confere assim uma melhoria nas resistências mecânicas, bem como na permeabilidade ao vapor de água, absorção e secagem. Vários fatores influenciam estes resultados, nomeadamente a superfície específica dos resíduos cerâmicos, a temperatura a que foram sujeitas as argilas, e a quantidade de sílica e alumina amorfa resultante, fatores estes que são responsáveis pela reação entre a cal e os resíduos cerâmicos. Assim, antes de se aplicarem em qualquer argamassa, os resíduos devem ser analisados, para avaliar de que forma podem influenciar os resultados (Navratilová e Rovnaníková, 2014; Matias *et al*, 2014).

Segundo Cáchová *et al*, (2014), o aumento do teor de resíduos cerâmicos aumenta a compacidade da matriz, a porosidade aberta e a massa volúmica. Quanto mais finos forem os resíduos, tanto menor será a resistência à difusão de vapor.

Apresenta-se no quadro 2.4 uma síntese de alguns estudos de caracterização de argamassas de cal aérea com resíduos cerâmicos, mostrando grande parte do que foi referido.

Quadro 2.4 – Estudos de argamassas de cal com resíduos cerâmicos

Referência	Resumo	Tipo de argamassa	Provetes	Ensaio/Procedimentos	Conclusões
Konáková et al, (2015)	Caracterização do efeito que o pó de cerâmica tem nas propriedades de argamassas de cal aérea	- Argamassa de ref. c/ 3,75 kg de cal e 3 tipos de areia c/ igual massa; - 3 argamassas variando a quantidade de cal e das areias (3,56kg, 3,19kg e 2,81kg) e de pó de cerâmica (0,75, 2,25 e 3,75 kg)	- 40x40x40 mm - 40x40x160 mm - 50x50x50 mm - 70x70x70 mm	- Baridade, Pab e MV; - Rt e Rc; - Capilaridade; - Resistência à difusão de vapor, condutibilidade térmica e calor específico.	- Substituição de 50% de cal por pó de cerâmica (em volume), aumenta 82 e 46% da Rc e Rt respectivamente; - Aumenta a quantidade de micróporos e consequentemente a permeabilidade ao vapor de água; - Aumentou também a condutibilidade térmica, contudo diminuiu o calor específico.
Matias et al, (2010)	Influência dos resíduos cerâmicos no comportamento de argamassas de cal	- Argamassa de cal e areia ao traço em volume 1:1,5; - Argamassa de cimento e areia ao traço em volume 1:3 e 1:4; - Argamassa de cal e areia c/ adição de tijolo (em pó, moído e de forma integral), variando a quantidade de areia.	- 40x40x160 mm - ϕ 90 mm e 20 mm de espessura	- Rt e Rc; - Capilaridade e secagem; - Permeabilidade ao vapor de água e camada de ar equivalente; - Microscopia Eletrônica de Varrimento e Microanálise EDS	- A utilização de resíduos em argamassas de cal apresenta vantagens a vários níveis, podendo ser utilizadas como argamassas de substituição; - A pozolanicidade dos constituintes do material cerâmico é condicionada pelo estado dos minerais; - O tipo de suporte, as condições ambientais e de aplicação, também são a ter em conta.
Navrátilová e Rovnaníková (2014)	Avaliação das propriedades de 3 tipos de tijolo, utilizados como pozolanas em substituição da cal em argamassas.	- Argamassa de ref. ao traço 1:4 em volume de cal e areia; - 6 argamassas (duas para cada tipo de pó) c/ substituição de 20 e 40% de cal, mantendo a quantidade de areia.	- 40x40x160 mm	- Rt e Rc aos 7, 28, 90 e 150 dias	- A adição de pó de tijolo (A e B) não conduzem a melhorias significativas na resistência; - Mostraram ter uma atividade pozolânica ou valores de superfície específica baixos; - Apenas o pó de tijolo do tipo C fez aumentar significativamente a resistência das argamassas, mostrando assim maior atividade pozolânica ou área de superfície específica.
Nezerka et al, (2014)	Características de argamassas à base de cal influenciadas pela presença de pozolanas (metacaulino e pó de cerâmica).	- Argamassa de ref., apenas de cal; - Argamassas de cal e metacaulino c/ relação de massas de 9:1, 8:2, 7:3 e 6:4; - Argamassas de cal e resíduos cerâmicos c/ relação de massas de 9:1, 8:2, 7:3 e 6:4.	- 40x40x160 mm	- Atividade pozolânica e ATG; - Porosidade; - Estudo microscópico; - Retração; - Ed, Rt e Rc.	- Provou-se que o metacaulino é uma pozolana mais reativa que os resíduos cerâmicos (resultados da atividade pozolânica); - Redução da retração pela presença de qualquer uma das pozolanas; - A adição de pozolanas também acelerou o processo de cura, refletido nas várias medições de Ed; - Rt e Rc não melhoram
Torres et al, (2014)	Análise da viabilidade da introdução de resíduos cerâmicos, provenientes de diferentes materiais (telhas, tijolos e vasos) em argamassas de cal	1 argamassa de ref. ao traço em volume 1:3 (cal aérea e areia); 11 c/ substituições de areia por resíduos; 6 c/ substituições de cal por resíduos.	- 40x40x160 mm; - ϕ 106 mm e espessura de 15 mm	- Espalhamento; - Ed, Rt e Rc; - Pab e MV aparente; - Capilaridade e secagem; - Permeabilidade ao vapor de água e camada de ar equivalente.	- Ed, porosidade e CC aumentam quando utilizados resíduos granulares ou de forma integral; - MV c/ um comportamento inverso ao de Ed e CC; - Rc e Rt superiores quando utilizados resíduos de forma integral; - A introdução de resíduos dificulta o processo de secagem (sendo menor quando o resíduo é em pó) e reduz o valor da permeabilidade ao vapor, exceto numa argamassa c/ resíduos granulares.

2.3.6 Síntese dos trabalhos realizados

Toda a bibliografia consultada tem como base a melhoria das características de argamassas à base de cal, através da introdução/adição de terra ou resíduos cerâmicos, utilizando argamassas só de cal como referência. Além disso, há um aspecto comum a estas argamassas, que está relacionado com a obtenção de produtos eco-eficientes, em que são utilizados materiais que precisam de baixas quantidades de energia durante o fabrico; os resíduos cerâmicos são preferencialmente provenientes de resíduos de construção e demolição ou da indústria cerâmica.

Percebeu-se também que, no caso de serem utilizadas terras, poderiam ser utilizadas de forma integral (areias, siltes e argilas), só a fração mais fina (argila – funcionando como aglomerante) ou ainda misturadas com outras areias, representadas por um traço volumétrico. Os materiais a utilizar nessas formulações, são avaliados através de parâmetros como a baridade e granulometria, servindo de base ao trabalho a realizar. Estes aspectos são bastante importantes, principalmente no que diz respeito à quantidade de argila utilizada, muito por causa da sua instabilidade à água, nomeadamente no que diz respeito à expansão, retração e consequente fendilhação. No caso das argamassas pré-doseadas estes fenómenos são muitas vezes controlados através da introdução de fibras naturais.

Em relação a argamassas mistas, o estudo pode ser conduzido de duas formas, ou seja, argamassas de terra com adições/substituições de cal, ou argamassas de cal com adições/substituições de terra. Na ausência de outras normas, a análise das argamassas de terra pode ser feita com base nas normas alemãs, para argamassas de revestimento (DIN 18947:2013) ou refechamento de juntas (DIN 18946:2013), com base em ensaios no estado fresco e no estado endurecido. São também utilizadas as normas EN 1015 e procedimentos específicos desenvolvidos para a caracterização destas argamassas.

A utilização dos resíduos cerâmicos além de ser uma forma eficiente de reciclar desperdícios da construção, propicia características hidráulicas às argamassas de cal aérea. Neste caso, os resíduos podem ser utilizados de três formas: sob a forma de resíduo grosseiro, (agindo essencialmente como um agregado), em pó (funcionando como pozolana), ou de forma integral (atuando das duas formas, mas obrigando a peneiração para separação das frações). Aqui torna-se bastante importante analisar os resíduos utilizados, nomeadamente a superfície específica, a temperaturas a que foram sujeitas as argilas utilizadas no fabrico dos materiais cerâmicos e a quantidade de sílica e alumina amorfa existente, uma vez que são estes que vão reagir com a cal e influenciar de forma direta no comportamento da argamassa. No entanto mesmo resíduos cerâmicos finos pouco pozolânicos podem ter um papel interessante como filler na microestrutura das argamassas.

3 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO E MATERIAIS UTILIZADOS NA CAMPANHA EXPERIMENTAL

3.1 Introdução

Como já foi referido anteriormente, esta dissertação tem como caso de estudo um edifício antigo que apresenta um elevado estado de degradação, quer a nível dos revestimentos, quer ao nível da própria estrutura das paredes. Trata-se de uma construção em alvenaria de granito de face à vista, assente com argamassas de terra (de acordo com amostras obtidas no local), localizada no distrito da Guarda, concelho de Fornos de Algodres, pertencente à união de freguesias de Sobral do Pichorro e Fuinhas. O edifício está localizado num terreno que foi adquirido pela “Associação Vale das Lobas”, e encontra-se num vale, junto ao rio Muxagata (figura 3.1). Inicialmente este edifício foi construído e utilizado como um lagar de azeite, sendo que o objetivo desta reabilitação é adaptá-lo para um edifício do tipo hoteleiro, nomeadamente de restauração.



Figura 3.1 – Localização do edifício: Latitude 40.690815;
Longitude -7.451463 [a]

Em visita efetuada ao edifício verificou-se que houve, em tempos, intervenções no edifício, muito provavelmente de forma a prolongar o seu tempo de vida. No entanto, à semelhança de muitos outros edifícios antigos, foram aplicadas argamassas à base de cimento, alterando assim as condições em que o edifício foi inicialmente construído e pondo em causa o comportamento das paredes. Por outro lado, uma vez que o edifício não tem sido utilizado há vários anos e não tem sido feita a sua manutenção, outros elementos, nomeadamente de madeira, acabaram por se deteriorar, expondo ainda mais as paredes aos agentes atmosféricos, nomeadamente o vento e a chuva, como se pode observar na figura 3.2.



Figura 3.2 – a) Alçado principal do edifício em estudo; b) Alçado lateral esquerdo

Uma vez adquirido o terreno onde se insere o edifício, por parte da Associação Vale da Lobas, e de forma a reestruturar toda a zona em que se insere, pensou-se em remover todas as argamassas à base de cimento, e substituí-las por argamassas à base de materiais mais ecológicos, nomeadamente a terra e a cal. Por outro lado, também se pretende alterar a utilização que era dada ao edifício, passando de um lugar de azeite para um edifício de restauração, com o intuito de promover o Turismo naquela zona, e atrair mais turistas à vila de Sobral Pichorro. Além disso, todo o espaço exterior também será melhorado, tal como é sugerido na figura 3.3.

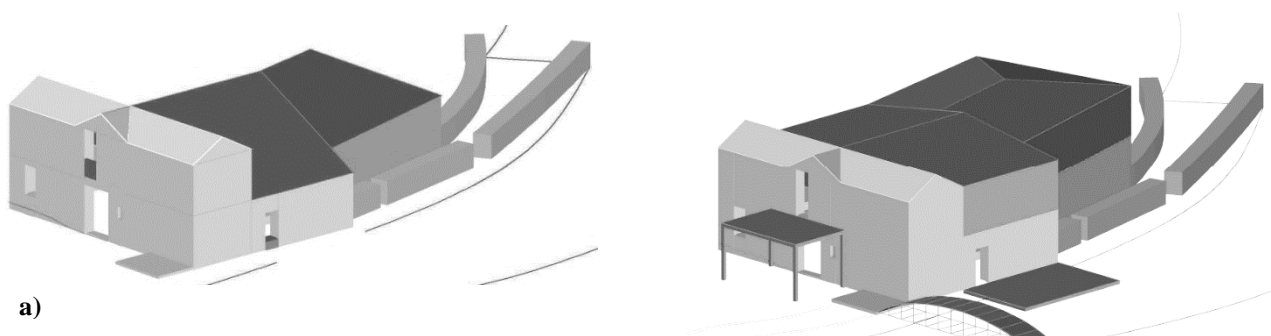


Figura 3.3 – a) Modelação 3D do edifício existente; b) Proposta de alteração ao edifício

3.2 Materiais utilizados

Para a realização das argamassas, foi necessário ter em conta todos os materiais intervenientes, nomeadamente no que diz respeito aos ligantes e agregados (constituídos por argila, silte e areia). Tendo em conta os objetivos, foram selecionados no local, dois tipos de terras, dois tipos de areias britadas, e ainda resíduos cerâmicos, para serem utilizados como pozolana. Além disso, foi ainda considerada a utilização de cal aérea como ligante, na formulação de algumas argamassas (figura 3.4 a, b e c).

Terra proveniente de uma zona florestal

Uma das terras selecionadas para a realização das argamassas foi uma terra extraída de uma zona florestal, perto do edifício a intervencionar, na freguesia de Sobral do Pichorro. Esta terra foi escolhida por se tratar de um material que à primeira vista apresenta uma grande quantidade de argilas, e que em certa medida pode ser bastante útil para a formulação de uma argamassa de terra. Além disso, por ser proveniente das redondezas do edifício, o seu transporte acarreta custos mais baixos.

Terra proveniente das margens de um rio

Outro tipo de material que foi escolhido para a realização deste estudo foi uma terra também proveniente da vizinhança do edifício a reabilitar, ou seja, das margens do rio Muxagata; no entanto esta apresenta grande quantidade de areia e siltes.

Areia de granito britado

Uma vez que a quantidade de areia utilizada numa argamassa também é muito importante, foi escolhida uma areia de granito britado, a utilizar com o propósito de aumento da resistência (uma vez que a areia britada é mais angulosa e promove uma maior ligação entre os agregados), e ao mesmo tempo ser um material de natureza semelhante à pedra utilizada no edifício (granito).

Assim, foram selecionadas numa pedreira situada na localidade de Ribamondego (perto do caso de estudo), duas areias britadas, sendo a diferença entre elas a granulometria, nomeadamente a quantidade de partículas com maior dimensão (como se pode observar mais à frente, no sub-capítulo 3.3.4) e a tonalidade (uma em tons de cinza e outra amarelada).

Cal aérea

Para a formulação de argamassas foi selecionada a cal aérea H100, classificada como CL90-S segundo a NP EN 459-1 (IPQ, 2011), disponibilizada pela LUSICAL.

Resíduos cerâmicos

Tendo em conta que edifício em estudo é bastante antigo, e parte da cobertura apresenta um elevado estado de degradação, parte do material cerâmico (telha lusa) foi guardado, para posteriormente ser triturado e utilizado como pozolana, em argamassas formuladas com cal aérea, de forma a propiciar-lhes características hidráulicas.

Pedra granítica da alvenaria

Além destes materiais, que serão utilizados na formulação das argamassas, também foram trazidas do caso de estudo, amostras de pedra granítica (figura 3.4 d)), para serem caracterizadas.



Figura 3.4 – a) Terra e areia proveniente do local; b) resíduos cerâmicos de telha lusa antes de serem moídos; c) cal aérea H100; d) amostra de pedra granítica

3.3 Caracterização dos materiais

3.3.1 Introdução

Foram analisadas algumas características dos materiais, nomeadamente a baridade e granulometria. Para isso houve necessidade de preparar previamente todo o material. Assim, foram analisados os dois tipos de terra, bem como os dois tipos de areias de granito britado. Com o intuito de otimizar a mistura de terra e areia, os materiais foram misturados e caracterizados em diferentes proporções. Posteriormente foram realizadas as curvas granulométricas de cada mistura. No caso da cal aérea, apenas foi determinada a sua baridade.

3.3.2 Preparação

Todos os materiais foram transportados para o laboratório do DEC da FCT NOVA para serem devidamente preparados, caracterizados e, em alguns casos, utilizado para a execução de argamassas. Em primeiro lugar houve necessidade de secar todo o material numa estufa a 60°C, de forma a eliminar a água nele contida.

Posteriormente procedeu-se ao destorroamento (com auxílio de um maço de borracha) dos torrões, presentes essencialmente nas terras, devido à presença de argila. Foi separado o material fino do material grosseiro, sendo que para o efeito se utilizou um peneiro de 4,76mm. Os resíduos cerâmicos foram moídos numa britadora de mandíbulas da marca RETSCH.

Tanto para o cálculo da baridade como para determinação das curvas granulométricas foi utilizado um repartidor, de forma obter uma amostra representativa em relação ao total da amostra. Do mesmo modo, apenas se utilizou a fração fina, isto porque apenas esta seria utilizada na formulação das argamassas. O material grosseiro apenas foi estudado no sentido de se perceber a percentagem que este tem em relação à amostra total.

3.3.3 Determinação da baridade

Para a determinação da baridade foi feita a relação entre a massa e o volume ocupado de cada um dos materiais. Foi utilizado para o efeito um recipiente de volume conhecido (749cm³), que foi preenchido com cada material a ensaiar. Para isso foi necessário utilizar um funil, e garantir que a distância entre o funil e o topo do recipiente é de 73 mm, garantindo que o excesso de material é rasado, com auxílio de uma colher de pedreiro. Foram feitas três medições numa balança com uma precisão de 0,1g e realizada a média, de forma a reduzir o erro associado a cada uma das pesagens.

Todos os procedimentos para a realização do ensaio foram feitos com base na NP EN 1097-3 (IPQ, 2002). No quadro 3.1 são apresentados os valores médios das baridades calculadas.

Quadro 3.1 – Baridade dos materiais em estudo

Material	Baridade [kg/m³]
Terra da floresta (Tf)	1295
Terra de rio (Tr)	1323
Areia britada cinzenta (Abc)	1508
Areia britada amarela (Aba)	1425
Resíduos cerâmicos (Rc)	1126
Cal aérea	364

3.3.4 Curvas granulométricas e sedimentação expedita

Este procedimento teve como objetivo principal determinar, em percentagem mássica, a porção de material retido em cada peneiro (ordenados por granulometria decrescente) face ao total da amostra, com base na norma EN 1015-1 (CEN, 1998a). A cada porção de material faz corresponder a sua granulometria (figura 3.5), permitindo assim observar se o material em estudo é bem ou mal graduado, se existe ou não predominância de material de uma determinada dimensão, e no caso das terras, ter uma noção da quantidade de areias, siltes e argila, bastante importante na formulação de uma argamassa.



Figura 3.5 – Materiais organizados por granulometrias: a) Terra da floresta; b) Areia britada cinzenta; c) Resíduos cerâmicos triturados

Para a realização das curvas granulométricas foi utilizada uma série de peneiros, indicada no quadro 3.2. Por avaliação da curva é possível avaliar se um solo é homogéneo (curva estreita) ou bem graduado (curva alongada).

Quadro 3.2 – Série de peneiros utilizada durante a peneiração

Peneiro	Malha [mm]
Nº 4	4,76
Nº 8	2,38
Nº 16	1,19
Nº 30	0,595
Nº 50	0,297
Nº 100	0,149
Nº 200	0,075

Depois de ter sido recolhida uma amostra representativa, com o auxílio de um repartidor de amostras, o material foi pesado, e colocado na máquina de peneiração automática, durante 10 min. Para cada material, foram recolhidas 3 amostras representativas, e feitas 3 curvas, de forma a obter uma curva média, e reduzir assim o erro associado.

Neste caso foram feitas curvas granulométricas a seco; neste método, na realidade existe uma percentagem de material fino que fica agarrado ao material de granulometria maior, e que não é contabilizada como tal. Por isso não é tão representativo para argilas.

Como já foi referido, o material utilizado para determinação da granulometria apenas contempla partículas de dimensão inferior a 4,76 mm, sendo que o restante material foi utilizado para o cálculo da percentagem de material fino e grosseiro. Conclui-se, assim, que a terra da zona florestal e da zona de rio contemplam respetivamente 20,1% e 23,84% de material igual ou superior a 4,76mm (material grosseiro), correspondendo o restante a material de granulometria fina.

Em relação às areias, não se justificou fazer essa distinção, uma vez que, por observação visual, a granulometria não aparentava material grosseiro. Ainda assim, durante a peneiração, registaram-se valores de material retido no peneiro de 4,76 mm inferiores a 1%, confirmando essa tendência. Na figura 3.6 é possível observar o desenvolvimento de cada uma das curvas granulométricas dos materiais disponíveis para a formulação das argamassas.

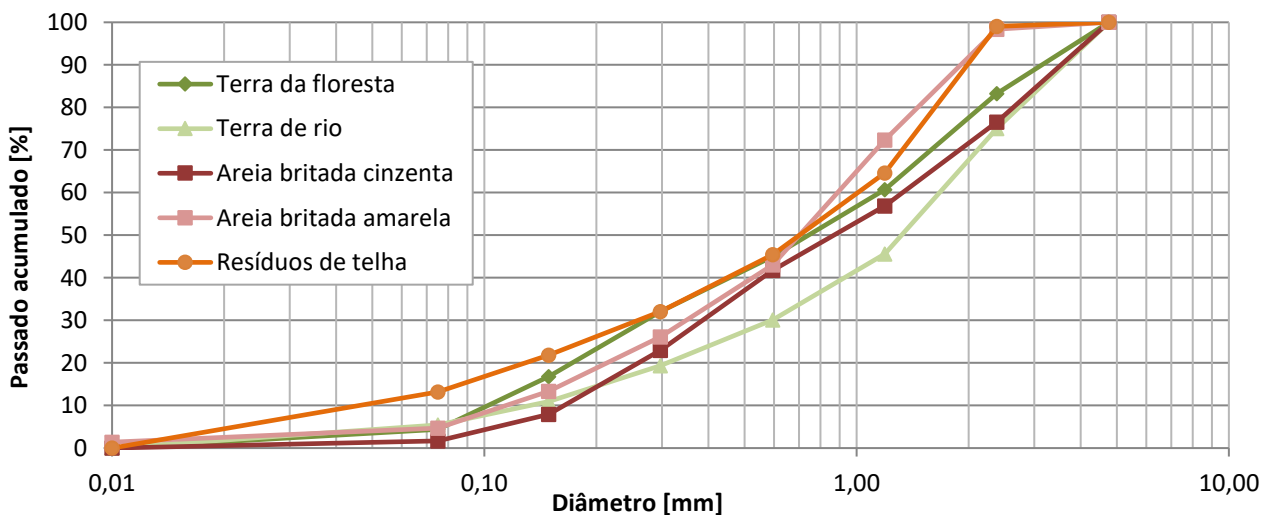


Figura 3.6 – Curva granulométrica dos materiais utilizados para o estudo de argamassas

Além da peneiração por via seca, foi também realizada peneiração por via húmida (figura 3.7), sendo que esta realizada à semelhança do que foi descrito anteriormente, com a diferença de que a peneiração é feita com lavagem do material. No entanto este ensaio foi realizado apenas para a terra de floresta, uma vez que foi esta a terra escolhida para a realização da argamassa, como vai ser explicado mais à frente. Através dos resultados foi possível observar as diferenças que existem, essencialmente ao nível da quantidade de finos, tal como era de esperar. Essa diferença entre a peneiração por via seca e por via húmida, revelou ser bastante importante, não só no que diz respeito à curva granulométrica, como também na justificação do comportamento das argamassas à retração, durante a secagem.

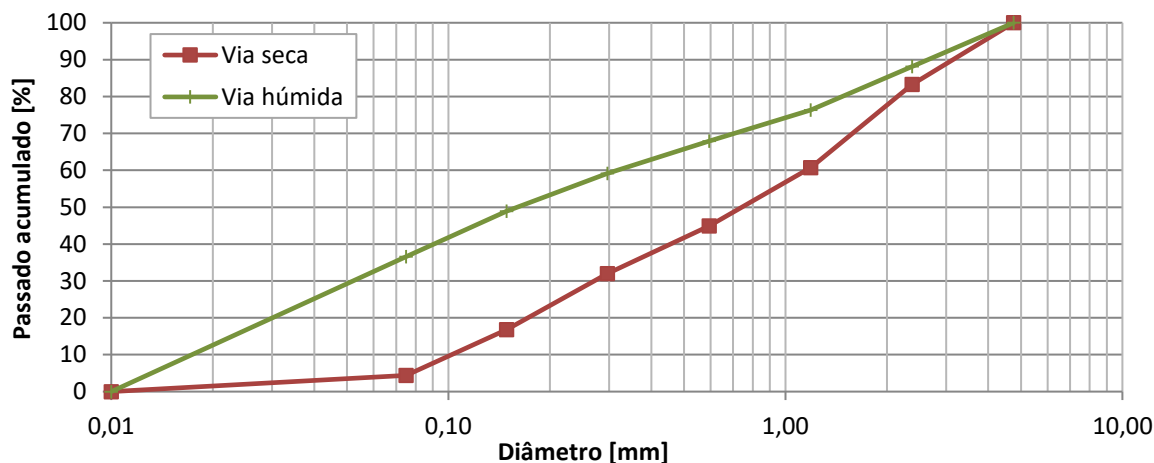


Figura 3.7 – Curva granulométrica da terra da floresta (via seca *versus* via húmida)

Foi ainda realizada a sedimentação expedita, para avaliar e comparar qualitativamente a quantidade de siltes e argilas da terra da floresta e da terra de rio (figura 3.8). Isto permitiu afirmar que a quantidade de siltes e argilas presente na terra da floresta era bem mais expressiva.

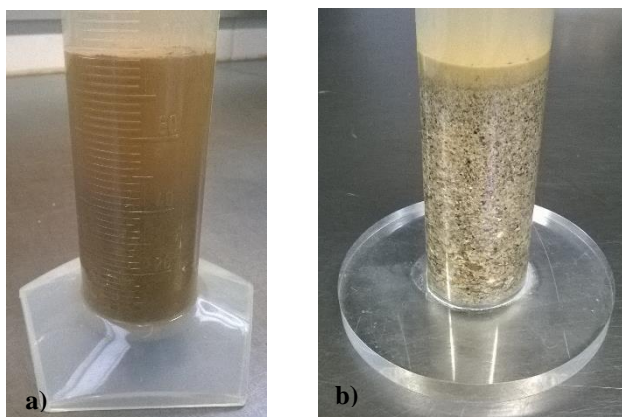


Figura 3.8 – Sedimentação expedita: a) terra da floresta; b) terra de rio

3.4 Formulação das argamassas

Tendo em conta os trabalhos realizados, e com base na bibliografia consultada (Pimenta *et al*, 2014), antes de dar seguimento à realização das amassaduras propriamente ditas é necessário determinar a quantidade de materiais (terra e areia) a utilizar na formulação da argamassa. Tendo em conta que a denominada “Terra de rio” foi extraída junto ao leito do rio Muxagata, através da observação visual e da sedimentação expedita, pôde concluir-se que se tratava praticamente de uma areia e que a quantidade de argila não seria suficiente para ser utilizada como ligante. Ao mesmo tempo, as areias britadas que foram trazidas do local apresentavam características semelhantes, pelo que acabou por se escolher apenas uma delas (no caso a areia britada cinzenta). Além disso, foram feitas misturas com diferentes percentagens de terra da floresta e areia britada cinzenta, em massa (70%/30%, 60%/40% e 50%/50%). No

entanto, percebeu-se que a variação da percentagem dos materiais utilizados não alterava significativamente a mistura em termos de curva granulométrica pela via seca (figura 3.9).

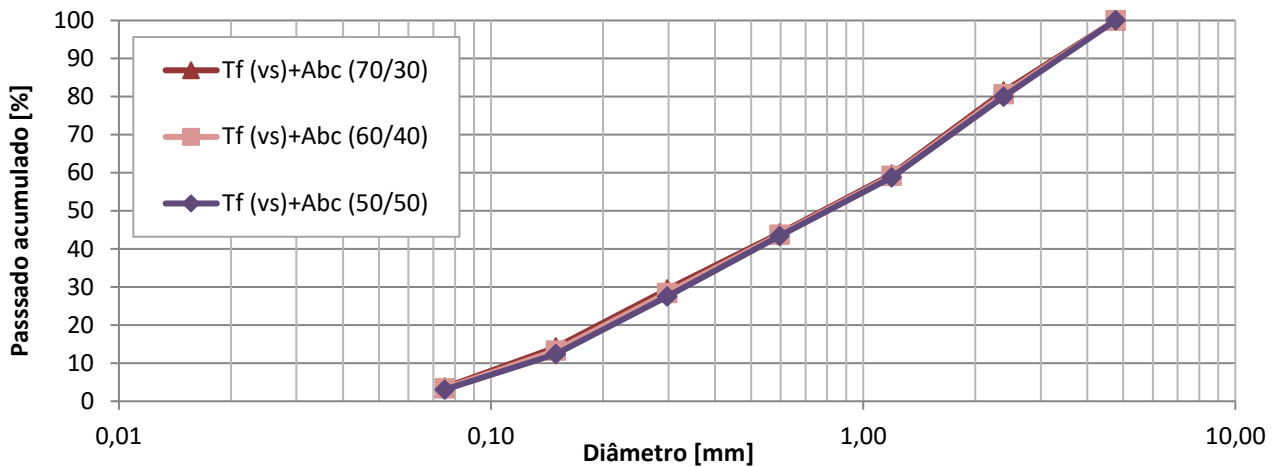


Figura 3.9 – Curvas granulométricas das diferentes misturas realizadas (vs - via seca)

Quando realizadas as misturas de terra da floresta e da areia cinzenta, utilizando a peneiração por via húmida, observou-se uma ligeira variação entre cada uma delas, nomeadamente no que diz respeito ao material de menor dimensão (figura 3.10).

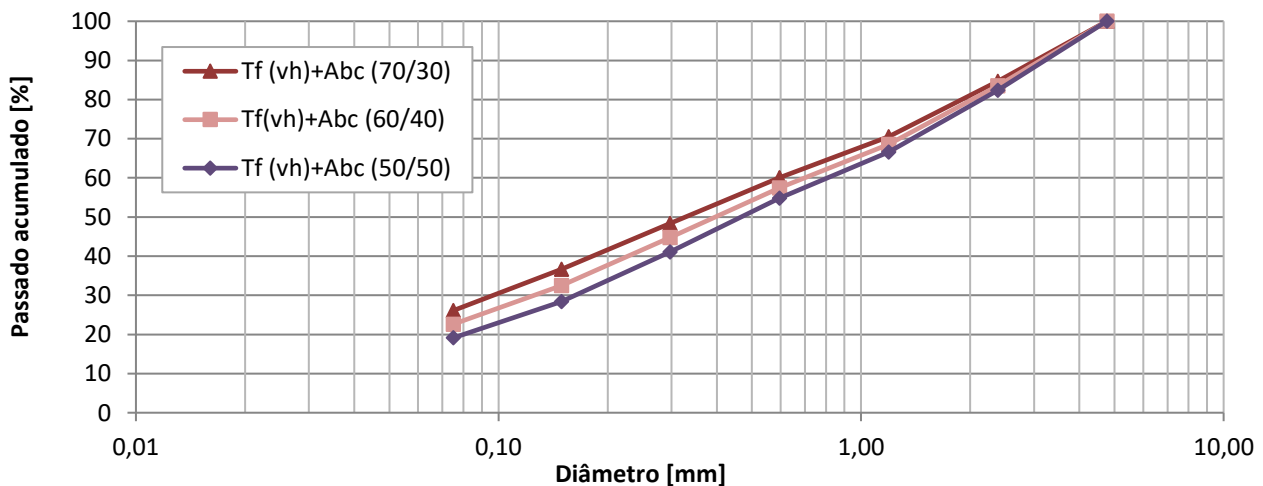


Figura 3.10 – Curvas granulométricas das diferentes misturas realizadas (vh - via húmida)

Contudo, a escolha da quantidade de material a utilizar também foi influenciada pelo custo da matéria-prima, bem como os seus custos associados, nomeadamente extração, a utilização de energia na produção e o transporte. Uma vez que o único custo associado à terra é o da extração, optou-se por escolher uma mistura que tivesse maior quantidade de terra, ou seja, 70% de terra e 30% de areia. Esta escolha foi feita, muito embora a informação encontrada na bibliografia indicasse quantidades inferiores de terra e superiores de areia. No entanto, isto verifica-se para terras que são à base de argilas, o que não é o caso.

A mistura com 30% areia serviu não só para aumentar a quantidade de areia no esqueleto da argamassa, mas também para evitar a necessidade de realização de peneiração em obra. Com isto restringiu-se a comparação desta mistura de terra e areia com algumas curvas de misturas de areias estudadas e utilizadas anteriormente por outros autores (Metacal – Grilo, 2013; Mix_Vasco – Rato, 2006; e Terra-via seca/Sorgila – Pimenta *et al*, 2014) (figura 3.11).

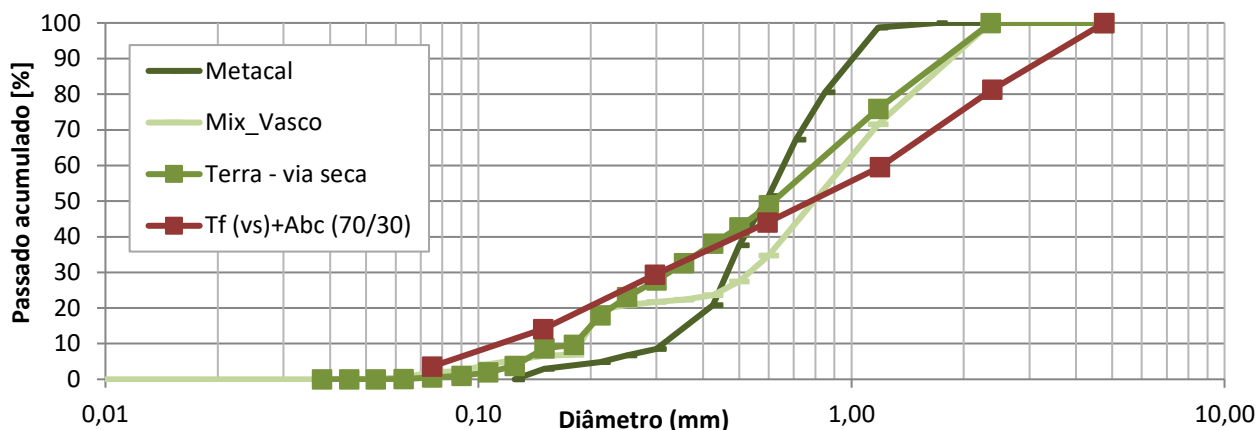


Figura 3.11 – Curvas granulométricas de misturas utilizadas em argamassas de terra

Depois de escolhidos os materiais e as proporções a utilizar na formulação das argamassas, decidiu-se formular como argamassas de referência, uma argamassa só de terra e areia e uma só de cal e areia. Para além destas, foram formuladas mais quatro argamassas de terra em que foram adicionadas diferentes quantidades de cal, bem como a introdução de resíduos cerâmicos, como se pode observar no quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Traços em massa e em volume das argamassas

Identificação	Descrição	Traço em massa (cal:terra:areia:cerâmica)	Traço volumétrico (cal:terra:areia:cerâmica)
CA	Argamassa de cal e areia britada	1:0:8,3:0	1:0:2:0
CARc	Argamassa de cal, areia britada e resíduo cerâmico	1:0:8,3:2	1:0:2:0,6
CTA2	Argamassa de cal, terra e areia	1:5,3:2,3:0	1:1,5:0,5:0
CTA3		1:8:3,4:0	1:2,2:0,8:0
CTA4		1:10,6:4,6:0	1:3:1,1:0
TA		0:1:0,4:0	0:1:0,4:0

Muito importante na formulação de uma argamassa é a quantidade de água, e por isso foi utilizada em quantidade suficiente para obter boa trabalhabilidade, aferida qualitativamente pelo operador e quantitativamente pela consistência por espalhamento. Quando usada de forma exagerada há um incremento do índice vazios, influenciando de forma negativa algumas características, nomeadamente a porosidade e a resistência mecânica; quando em falta, pode por em causa a trabalhabilidade e a aplicação em obra.

Tal como se pode observar no quadro 3.4, além da variação das quantidades de ligante e agregado, também a variação da quantidade de água utilizada na argamassa faz com que a relação água-ligante e água-agregado varie.

Quadro 3.4 – Relação água-ligante, água-agregados e água-ligante+agregado utilizada nas argamassas

Identificação	Água/Ligante [-]	Água/Agregados [-]	Água/(Ligante+Agregados) [-]
CA	1,77	0,21	0,19
CARc	2,19	0,21	0,19
CTA2	2,23	0,29	0,26
CTA3	3,17	0,28	0,26
CTA4	3,80	0,25	0,23
TA	0,29	0,67	0,20

De notar que em todas as argamassas considerou-se como ligante a cal, e como agregado a areia, a terra e os resíduos cerâmicos, exceto na argamassa de terra e areia (TA), em que se considerou como ligante a terra e como agregado só a areia. No entanto, a terra por si só também tem agregados, mostrando assim valores bastante diferentes quando comparada a relação de água com o ligante e com os agregados separadamente. Quando comparada a relação da água com o conjunto (ligante+agregado) a diferença não é tão notória, e facilmente se percebe que a quantidade de água nas argamassas mistas é maior.

3.5 Amassadura

Para a realização das amassaduras foi necessário ter em conta o quadro 3.3 de forma a utilizar as quantidades certas de material em cada uma das argamassas, bem como os procedimentos referidos na EN 1015-2+A1:2006 (CEN 1998/2006), com algumas adaptações. As quantidades de material a utilizar foram determinadas em massa, através de pesagens feitas numa balança com uma precisão de 0,1 g. Após a pesagem de cada um dos materiais, procedeu-se à sua mistura manual num tabuleiro, com o auxílio de uma colher de pedreiro, que por sua vez, foi colocada no recipiente que é acoplado à misturadora automática (figura 3.12). Para se obter sempre uma mistura homogénea, foram utilizados cerca de 4 kg de material, valor este que está relacionado com a capacidade do recipiente. A norma refere que a quantidade de água necessária é colocada no recipiente, e só depois se colocam os materiais, no entanto, uma vez que a quantidade de água a utilizar em cada amassadura não estava pré-estabelecida, esta foi sendo colocada, com o auxílio de uma proveta de 1000 ml, até a amassadura adquirir boa trabalhabilidade.



Figura 3.12 – a) Pesagem do material; b) Homogeneização da mistura num tabuleiro; c) Máquina misturadora

Posteriormente, colocou-se a misturadora em funcionamento a uma velocidade constante durante um período de 30 segundos a baixa velocidade, desligou-se e retirou-se o recipiente misturando à mão o material que estava agarrado aos bordos do recipiente. Posteriormente foi novamente colocada a funcionar durante mais 60 segundos. Os intervalos de tempo variaram ligeiramente, consoante a trabalhabilidade da argamassa estivesse adequada. Terminadas as amassaduras, procedeu-se à realização dos ensaios no estado fresco, nomeadamente a consistência e o abaixamento por espalhamento, o teor em ar e a massa volúmica.

3.6 Provetes

Realizadas as amassaduras, foram moldados os provetes para a realização de ensaios no estado endurecido. Em primeiro lugar foram moldados os provetes prismáticos com dimensões aproximadamente de 40x40x160 mm, em moldes de metal. Para a realização dos provetes, os moldes foram devidamente limpos, e aplicado óleo descofrante (figura 3.13 a)), de forma a não danificar os provetes durante o processo de desmolde. Posteriormente o molde foi colocado num compactador mecânico (figura 3.13 b)), e preenchido em duas fases, cada uma seguida de compactação através de 20 pancadas. No final o material excedente foi retirado com uma colher de pedreiro.

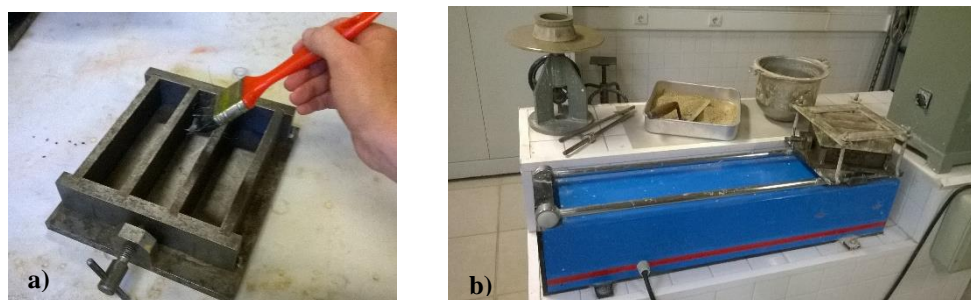


Figura 3.13 – a) Aplicação de óleo descofrante; b) Máquina de compactação mecânica

Para a realização dos provetes cilíndricos, as argamassas foram moldadas em tubos de PVC cortados, com um diâmetro de 90 mm e uma altura de 20 mm, sobre papel transparente colocado numa chapa metálica. Por último, foi aplicada uma camada de 20 mm sobre tijolo, com dimensões 300x200x70 mm. Neste caso foi utilizado um procedimento que foi desenvolvido em laboratório, que consiste em humedecer a face voltada para cima e colocar o tijolo dentro de um molde com uma altura de 90 mm (mais dois que o tijolo - figura 3.14 a)), sobre a qual é colocada um outro molde de madeira com as mesmas dimensões em planta, mas com uma altura de 700 mm (figura 3.14 b)). Isto faz com que a altura de queda da argamassa seja igual em todos os provetes, simulando a aplicação da argamassa em obra.



Figura 3.14 – a) Humedecimento do tijolo; b) Molde de madeira

De notar que para a realização de todos os provetes, bem como os ensaios no estado fresco, houve necessidade de fazer duas amassaduras por argamassa. Assim, no total foram utilizados dois moldes metálicos de três provetes prismáticos por cada argamassa (seis provetes), três moldes cilíndricos de 90 mm de diâmetro e 20 mm de espessura, e ainda um tijolo com a aplicação de uma camada de 20mm, por cada argamassa. Uma vez que foram preparadas seis argamassas, obtiveram-se 36 provetes prismáticos, 18 provetes cilíndricos e 6 tijolos revestidos com argamassa. Na figura 3.15, é possível visualizar o aspeto de um exemplar de cada molde da argamassa de terra e areia.



Figura 3.15 – Provetes: a) prismáticos; b) cilíndricos; c) argamassa sobre tijolo

Há ainda a ter em conta que, das amostras de pedra granítica foram cortados 5 provetes de dimensões 50x50x50 mm, para a caracterização do granito utilizado nas paredes de alvenaria do edifício em estudo.

3.7 Condições de cura

Uma vez que este estudo foi realizado para a caracterização de uma argamassa para refechamento de juntas na zona da Guarda, e junto ao leito de um rio, entendeu-se por bem colocar os provetes a secar numa sala de cura húmida do DEC, com condições de humidade relativa a rondar os 83% e uma temperatura de 24 °C. Esta sala caracteriza-se por um tanque com água no seu interior, sobre o qual são colocadas redes metálicas a diferentes alturas. Posteriormente é colocado um plástico por cima, para manter as condições higrotérmicas húmidas do ar, no seu interior. As condições higrotérmicas do ar foram registadas num termo-higrómetro colocado na rede onde foram colocados os provetes (figura 3.16).



Figura 3.16 – a) Sala de cura húmida; b) Termo-higrómetro analógico; c) Provetes prismáticos sobre a rede metálica

De notar que, antes dos provetes prismáticos serem sujeitos aos ensaios de resistência mecânica, foram colocados uma semana na sala de cura normal, com uma humidade relativa de 65 +/- 5% e temperatura de 24 +/- 2 °C (figura 3.17). Os restantes provetes foram colocados na mesma sala e na mesma altura, sendo que, para cada caso, o tempo de cura nesta sala corresponde ao número de dias até serem ensaiados, ou seja, os provetes não permaneceram o mesmo tempo nesta sala, uma vez que os ensaios foram feitos em dias diferentes.



Figura 3.17 – a) Termo-higrógrafo; b) Provetes na sala de cura normal

4 PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NA CAMPANHA EXPERIMENTAL

4.1 Ensaios no estado fresco

4.1.1 Espalhamento e abaixamento

Logo após a realização das amassaduras, e antes de proceder à colocação nos moldes, são avaliados alguns parâmetros importantes no que diz respeito à quantidade de água nas amassaduras, de forma a avaliar a trabalhabilidade. Para isso, foram realizados ensaios de consistência e abaixamento por espalhamento, sendo o primeiro realizado com base na norma EN 1015-3 (CEN, 1999a).

Para a realização dos ensaios foi necessário recorrer a uma mesa de espalhamento, sobre a qual foi colocada uma peça metálica troncocônica, devidamente centrada, e preenchida com argamassa em duas camadas (figura 4.1 a)), sendo feitas um mínimo de dez pancadas com um varão metálico para o acondicionamento uniforme de cada argamassa. Depois de preenchido, foi retirado o material excedente (figura 4.1 b)) com o auxílio de uma colher de pedreiro, mantendo o molde com firmeza na mesa de espalhamento.

Quando retirada a peça troncocônica, são realizadas 15 pancadas (uma a cada segundo), para que se espalhe a argamassa (figura 4.1 c)). Posteriormente foram feitas três medições do seu diâmetro em milímetros, com o auxílio de uma craveira metálica e uma régua, determinada a média e o desvio padrão. Com o auxílio da haste de uma craveira digital (figura 4.1 d)), foi possível medir a altura da argamassa e determinar o abaixamento por espalhamento.



Figura 4.1 – a) Preenchimento do cone; b) Remoção do excesso de argamassa; c) Medição do espalhamento; d) Medição do abaixamento

4.1.2 Massa volúmica

Para a determinação da massa volúmica das diferentes argamassas foi necessário ter com conta a norma EN 1015-6 (CEN, 1998b). Este ensaio, à semelhança da baridade, tem por base a relação entre a massa e o volume que a argamassa ocupa num determinado recipiente. Neste caso, a diferença está relacionada com a presença de água, que ocupa grande parte dos vazios e promove um rearranjo das partículas.

Para a realização do ensaio foi utilizada uma balança com uma precisão de 0,1g e um recipiente metálico de volume conhecido (1dm³), sendo o material colocado em duas camadas (metade de cada vez) e feita uma ligeira compactação, levantando ligeiramente um dos lados do recipiente, e deixando cair, 10 vezes e em várias direções. Mais uma vez, o excedente é retirado com o auxílio de uma colher de pedreiro, do centro para o bordo.

Como já foi referido, à semelhança da baridade, também aqui o cálculo foi realizado de forma semelhante através do quociente entre a massa e o volume. De notar que a massa, é apenas da argamassa, e não do conjunto argamassa mais recipiente. Ou seja, depois de pesado o conjunto, é necessário retirar a massa do recipiente, e só depois proceder ao cálculo (figuras 4.2 b) e c)). A alternativa teria sido tarar o recipiente.

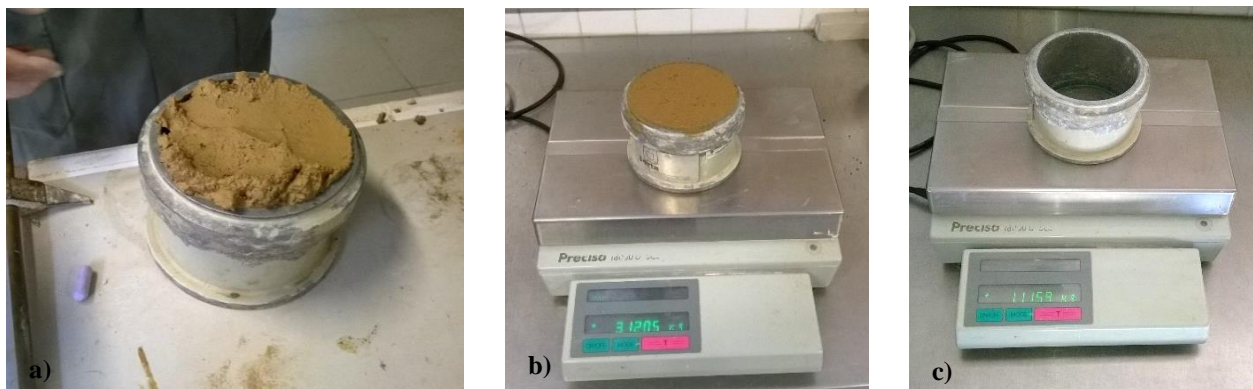


Figura 4.2 – a) Preenchimento do recipiente; b) Pesagem da argamassa e recipiente;
c) Pesagem do recipiente

4.1.3 Teor em ar

Ainda com a argamassa no estado fresco foi determinado o teor em ar com base na norma EN 1015-7 (CEN, 1998b). Uma vez determinada a massa volúmica, o bordo do recipiente foi devidamente limpo e selado com um equipamento utilizado para a determinação do teor em ar, devidamente calibrado (figura 4.3). Este equipamento, além de uma válvula para entrada de água e outra para saída, que inicialmente foram mantidas abertas, possui ainda um manómetro.

De forma a extrair todo o ar aprisionado na argamassa, começou-se por introduzir água com um esguicho, por uma das válvulas, mantendo a outra válvula aberta, até que todo o ar

aprisionado começasse a sair pela outra válvula. Ainda com as válvulas abertas, e de forma a ajustar a pressão no interior, foi bombado ar para a câmara de ar até que o manómetro estabilizasse ligeiramente abaixo de zero.

Posteriormente foram fechadas ambas as válvulas, fez-se pressão na válvula entre a câmara de ar e o recipiente até estabilizar o ponteiro do manómetro, e leu-se o valor do teor em ar, dado em percentagem.



Figura 4.3 – Equipamento para determinação do teor em ar

4.2 Ensaio no estado endurecido

4.2.1 Considerações gerais

Na figura 4.4, é possível observar quais os ensaios realizados, e quais os provetes utilizados para cada um deles.

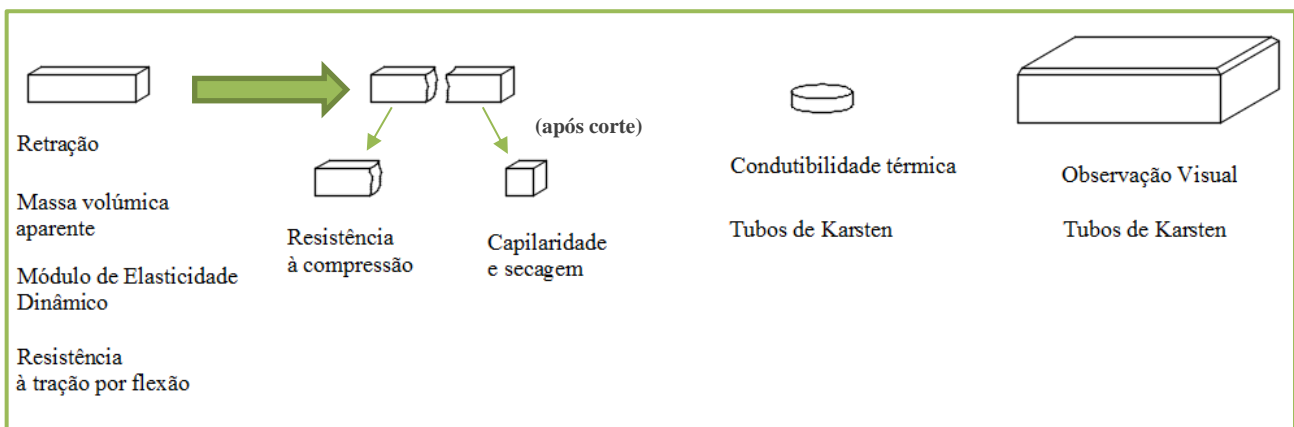


Figura 4.4 – Esquema de provetes e respetivos ensaios

4.2.2 Retração linear e volumétrica

Este parâmetro tem em conta a redução das dimensões do provete prismático, durante o processo de secagem da argamassa no molde, em condições de cura húmida referidas anteriormente

(humidade relativa 83 % e temperatura 24 °C). Para isso, foram medidos em primeiro lugar todos os moldes, e posteriormente as dimensões dos seis provetes prismáticos com dimensões aproximadas de 40x40x160 mm. A medição é feita com o auxílio de uma craveira (figura 4.5), sendo que em relação à largura foram tiradas duas medidas (esquerda e direita) e para o comprimento apenas uma (ao centro). No final foram determinados a média e o desvio-padrão para cada argamassa.

No entanto, além de se calcular a retração aos 14 dias, altura em que se fez o desmolde, também se calculou o seu valor aos 97 dias, intervalo de tempo em que os provetes estiveram na sala de cura húmida, e após 7 dias na sala de cura normal, antes de dar início aos ensaios de resistência mecânica.

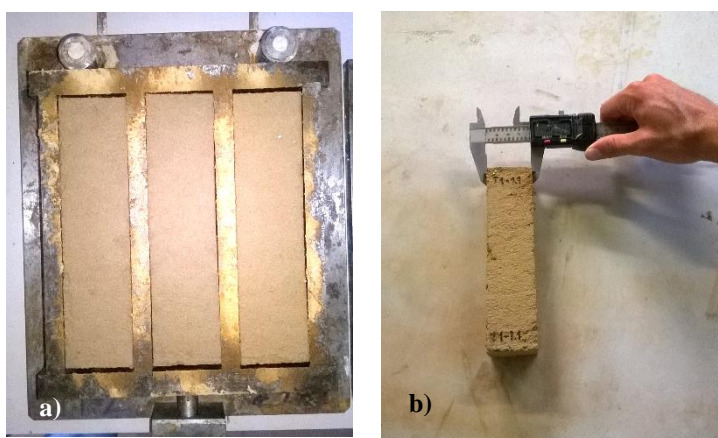


Figura 4.5 – a) Retração no molde; b) Medição das dimensões do provete

O resultado é apresentado de acordo com a percentagem da retração (redução das dimensões), face às dimensões originais do provete no molde, que segundo a norma alemã DIN 18946 (DIN,2013) para argamassas de assentamento de terra, não deve ser superior a 2,5% (no caso em que as argamassas incluíssem fibras de reforço, a retração podia ir até um valor de 4%). Esta norma define ainda que todos os resultados devem ser arredondados a uma casa decimal. Para o cálculo da retração volumétrica (R_v) foram calculados os volumes inicial e final (v_i e v_f), e aplicada a equação 4.1 com base num artigo de pesquisa bibliográfica (Emiroglu *et al*, 2015).

$$R_v = \frac{v_i - v_f}{v_i} \times 100 [\%] \quad \text{Equação 4.1}$$

4.2.3 Massa volúmica aparente

Para a determinação da massa volúmica aparente, no estado endurecido, foram tidas em conta as dimensões dos provetes, obtidas no ensaio anterior, bem como a sua massa (figura 4.6), registados aos 14 dias, isto é, logo após terem sido desmoldados. Posteriormente, e imediatamente antes de serem feitos os ensaios mecânicos, ou seja, aos 97 dias, calculou-se novamente a massa volúmica, uma vez que se registaram variações de dimensões e de massa

(por evaporação da água e conseqüente retração). As massas foram registadas numa balança com uma precisão de 0,001 g e o registo das dimensões feitas com uma craveira com uma precisão de 0,01 mm. O cálculo propriamente dito foi realizado para cada uma das argamassas através do quociente entre a massa e o volume médio dos provetes, e a classe a que pertence foi determinada com recurso à norma DIN 18946:2013.



Figura 4.6 – Pesagem do provetes

4.2.4 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico está relacionado com o comportamento elástico que determinado material apresenta, nomeadamente no que diz respeito à deformabilidade e rigidez, estando por isso diretamente ligado a fenómenos patológicos, como fissuras por deformação.

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi necessário ter em conta a norma NP EN 14146 (IPQ, 2006), que tem como base a medição, através de provetes, da frequência de ressonância longitudinal. Para tal foi utilizado um equipamento (“ZEUS Resonance Meter” – figura 4.7) próprio para o efeito, que através de vibrações provoca uma determinada frequência que é registada. Este equipamento possui um emissor e um recetor, sendo que o provete é colocado entre eles e submetido a determinada frequência.



Figura 4.7 – a) Equipamento para determinação do E_d ; b) Provetes durante o ensaio

Antes de dar início ao ensaio propriamente dito, é necessário ter em conta alguns parâmetros relacionados com o provete, nomeadamente a massa e as suas dimensões, valores esses que são introduzidos no programa do equipamento e que foram utilizados no ensaio descrito anteriormente aos 97 dias.

Foram feitas quatro leituras por provete, e registados os seus valores, para posteriormente se calcular a média e o desvio-padrão à semelhança de outros ensaios já referidos anteriormente.

No programa de cálculo automático do equipamento, o valor do módulo de elasticidade dinâmico E_d é apresentado em N/mm^2 , tendo por base o comprimento l do provete em metros, a frequência de ressonância longitudinal f_0 em Hz, o peso volúmico do material ρ em N/mm^3 e a aceleração da gravidade g em m/s^2 , de acordo com a equação 4.2.

$$E_d = (2 \times l \times f_0)^2 \times \frac{\rho}{g} \times 10^{-6} [N/mm^2] \quad \text{Equação 4.2}$$

4.2.5 Resistência à tração por flexão

Depois de determinar a retração linear por secagem, bem como o módulo de elasticidade, que são ensaios não destrutivos, fizeram-se os ensaios destrutivos, começando pelo ensaio de resistência à tração. Para o caso, foi determinada a tração por flexão, apoiando-se o provete em dois pontos e aplicada a carga a meio vão - terceiro ponto (figura 4.8 a)). É necessário ter em conta que a carga é aplicada numa face lisa do provete, a igual distância entre os apoios, ou seja, 50 mm para cada lado, uma vez que a distância entre eles é de 100 mm.

O ensaio foi conduzido segundo a norma EN 1015-11 (CEN, 1999c), com o auxílio de equipamento próprio para efeito – uma máquina universal de forças Zwick Rowell Z050 (figura 4.8 b)), que aplica uma carga pontual através de uma célula de carga de 2 kN a uma velocidade de 0,2 mm/min, para argamassas que contêm cal, e 0,7 mm/min para a argamassa só de terra. A variação da velocidade está associada ao facto da argamassa de terra ser um material mais dúctil.



Figura 4.8 – a) Provete a ensaiar; b) Máquina de ensaio Zwick Rowell Z050

O equipamento vai registando os valores da força aplicada no provete, que posteriormente são convertidos em tensões, através da equação 4.3:

$$R_t = 1,5 \frac{F_t \times l}{b \times h^2} [N/mm^2]$$

Equação 4.3

sendo R_t a resistência à tração por flexão, F_t a força de tração por flexão no momento da rotura em N, l a distância entre apoios em mm, e b e h as dimensões da base e altura provete, também em mm.

4.2.6 Resistência à compressão

À semelhança do ensaio referido anteriormente, também este é realizado com o auxílio do mesmo equipamento (Zwick Rowell Z050 – figura 4.9) e com base na norma EN 1015-11 (CEN, 1999c), sendo que neste caso a carga é aplicada num suporte metálico, e posteriormente transferida para o provete. Para o ensaio de compressão, é utilizada uma das metades do provete utilizado no ensaio de resistência à flexão, tendo em conta que são as faces lisas que estão em contacto com o suporte metálico.

Neste caso foi utilizada uma célula de carga de 50 kN, com uma velocidade de 0,7 mm/min para argamassa que contém cal, e 3 mm/min para a argamassa só de terra. À semelhança do ensaio de tração por flexão, também aqui os valores da velocidade variam consoante a argamassa apresenta ou não, na sua constituição, cal aérea.

A medição da força aplicada termina quando o provete atinge a rotura, que posteriormente também é convertida em tensão, através do quociente entre a força de compressão no momento da rotura em N, e a área da secção onde é apoiado o provete em mm². A área tem em conta a altura do provete (uma vez que ele está rodado, com a face lisa virada para cima) e a largura da peça metálica em contacto com o provete. Assim o resultado de R_c é apresentado em N/mm².

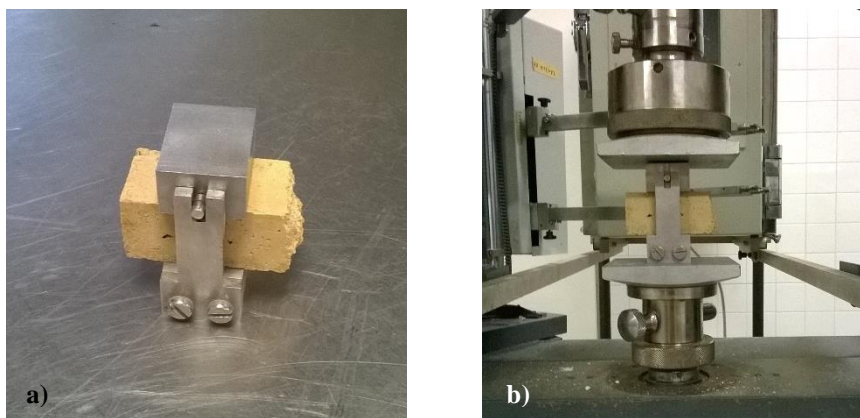


Figura 4.9 – a) Provete a ensaiar; b) Provete na máquina de ensaio

4.2.7 Absorção de água por capilaridade

“Os movimentos da água em meios porosos, contrariando frequentemente a ação da gravidade, são devidos a fenómenos designados genericamente por capilaridade, que se traduzem na ocorrência de forças de sucção que possibilitam esses movimentos” (Henriques, 2011).

O ensaio de absorção de água por capilaridade tem por base a medição da quantidade de massa de água que é absorvida por área de um provete de argamassa em contacto com a água, em determinadas condições higrotérmicas do ar (temperatura e humidade relativa). Para a realização deste ensaio foi necessário cortar as metades dos provetes que não foram ensaiadas no ensaio de compressão, de forma a que todos os provetes tivessem as mesmas dimensões e os resultados pudessem ser comparáveis (figura 4.4). Uma vez que os provetes se encontravam numa sala com o ambiente controlado, apenas foram colocados a secar durante 48 horas, numa estufa a 60 °C, até que atingissem uma massa constante, ou seja, que a variação da massa durante as pesagens fosse inferior a 0,2%, num período de 24 horas. Posteriormente foram deixados a arrefecer à temperatura ambiente, registadas as massas, e envoltos em cera quente, de forma a impermeabilizar as faces laterais e fazer com que apenas a base esteja em contacto direto com a água. De forma a que não existisse perda de massa aquando da imersão em água, foi colocada uma rede muito fina (filtro) na face em contacto com a água (figura 4.10).

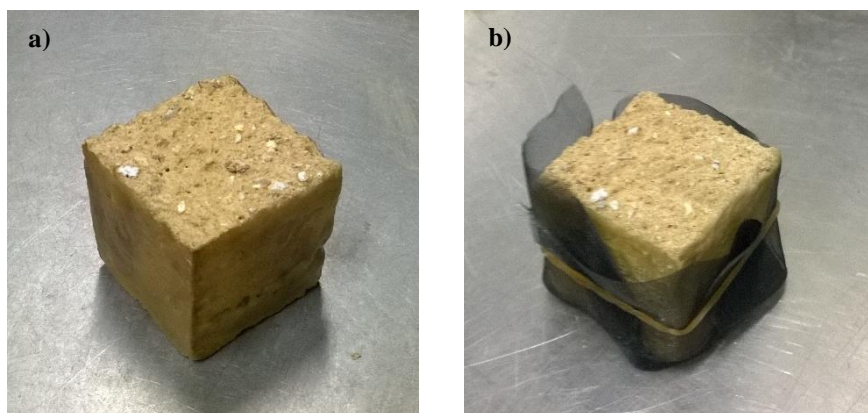


Figura 4.10 – a) Provete cortado e impermeabilizado; b) Provete protegido com um filtro

Este procedimento foi desenvolvido por uma aluna de mestrado da FCT NOVA, em parceria com um aluno de doutoramento da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa (Margarida Ferreira e José Lima), e adotado como melhoria de um procedimento utilizado anteriormente, em que era utilizado um pano de algodão. Esta alteração deve-se à grande quantidade de massa de água que é transportada no pano, influenciando de forma negativa o ensaio, especialmente em argamassas de terra.

Depois de preparados todos os provetes, estes foram colocados em pequenas caixas com uma rede de metal (com uma malha mais fechada e mais fina, que a utilizada frequentemente

neste procedimento), e com uma lâmina de água de 5mm em contacto com os provetes, que por sua vez foram colocadas numa caixa em condições de ambiente saturado. Também aqui a melhoria do procedimento foi notada, reduzindo o erro associado ao transporte de água.

Para fazer as pesagens, foi utilizada uma balança com uma precisão de 0,001 g, e para tal foi necessário tirar isoladamente cada um dos provetes da caixa de plástico, deixando pingar e secando num pano o excesso de água. Na figura 4.11 é possível observar parte do procedimento adotado.



Figura 4.11 – a) Pesagem do conjunto; b) Caixa de plástico com os provetes

Foram feitas pesagens no instante inicial (t_0), aos 5, 10, 15, 30 min, e a cada hora, até às 5 horas de ensaio. Uma vez que para as argamassas de terra este ensaio é bastante destrutivo, o tempo utilizado para o ensaio foi estipulado com base em ensaios feitos em argamassas de terra. Isto quer dizer que nem todas as argamassas chegaram a ficar completamente saturadas. Neste sentido, obviamente a argamassa que revelou pior comportamento foi a argamassa de terra.

Outro aspeto importante é a face que fica em contacto com a lâmina de água. A norma refere que a face deve ser polida a seco ou a húmido, e ligeiramente lavada. No entanto, a face escolhida para estar em contacto com a lâmina de água foi a face lisa do provete (face que fica em contacto com o molde), isto porque durante o corte dos provetes, a outra face ficou bastante irregular, dada a presença de areias com granulometria maior. No caso da argamassa só de terra, o corte foi feito a seco. Para efeitos de cálculo, a massa de água absorvida por unidade de superfície é obtida através da equação 4.4:

$$m = \frac{m_i - m_0}{A} \text{ [kg/m}^2\text{]} \quad \text{Equação 4.4}$$

sendo m a massa de água absorvida em kg/m^2 , m_i a massa do provete no instante em que é feita a medição, m_0 a massa do provete seco no início do ensaio e A a área da secção em contacto

com a água em m^2 . Todos os estes procedimentos tiveram em conta o referido nas normas EN 1015-18 (CEN, 2002) e EN 15801 (CEN, 2009).

Com os resultados obtidos, foi possível realizar uma curva de absorção capilar, através da relação entre a massa de água absorvida pela base, em kg/m^2 , e a raiz do tempo, em segundos (figura 4.12). Além disso, é determinado para cada provete o coeficiente de capilaridade (CC) através do declive da reta (1ª fase da curva), bem como o valor assintótico (VA) definido pelo total de água que a argamassa absorve (2ª fase da curva).

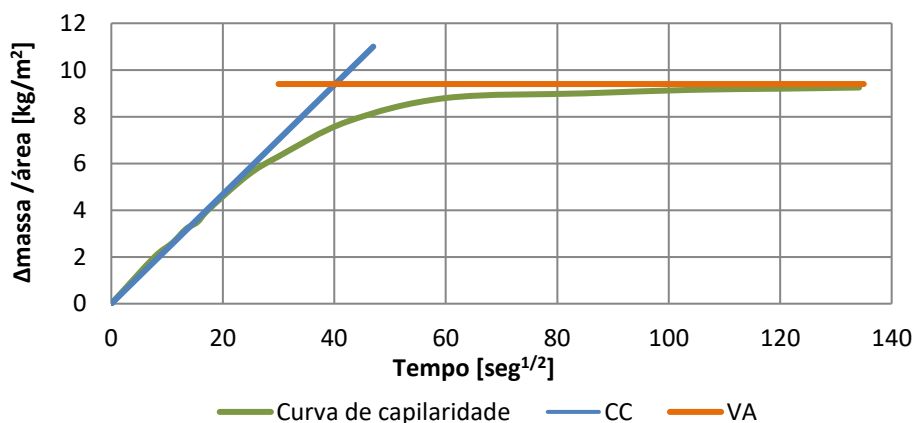


Figura 4.12 – Curva de absorção por capilaridade

4.2.8 Ensaio de secagem

Este ensaio tem como objetivo medir o tempo de secagem de um provete de argamassa, em determinadas condições de temperatura e humidade relativa, relacionando a variação de massa de água presente nos provetes, a área de secagem e o tempo do ensaio, tudo isto com base na norma EN 16322 (CEN, 2013). Neste ensaio foram utilizados os mesmos provetes que para o ensaio de capilaridade, e terminado este ensaio deu-se início ao ensaio de secagem. Para não haver perda de material, apenas se retirou o provete da caixa, e manteve-se o filtro (figura 4.10b)).

A norma refere o cálculo da taxa de secagem (TS) para duas fases distintas, 1 e 2. A taxa de secagem correspondente à primeira fase (TS1) é calculada pelo declive negativo do troço inicial da curva de secagem, calculada por regressão linear utilizando pelo menos 5 pontos, sendo que neste caso, a ordenada do gráfico é representada pelo tempo, em horas.

Na figura 4.13 é apresentada a curva de secagem e a respetiva taxa de secagem (TS1), correspondendo esta fase ao transporte de água no estado líquido até à superfície do provete, e conseqüente evaporação.

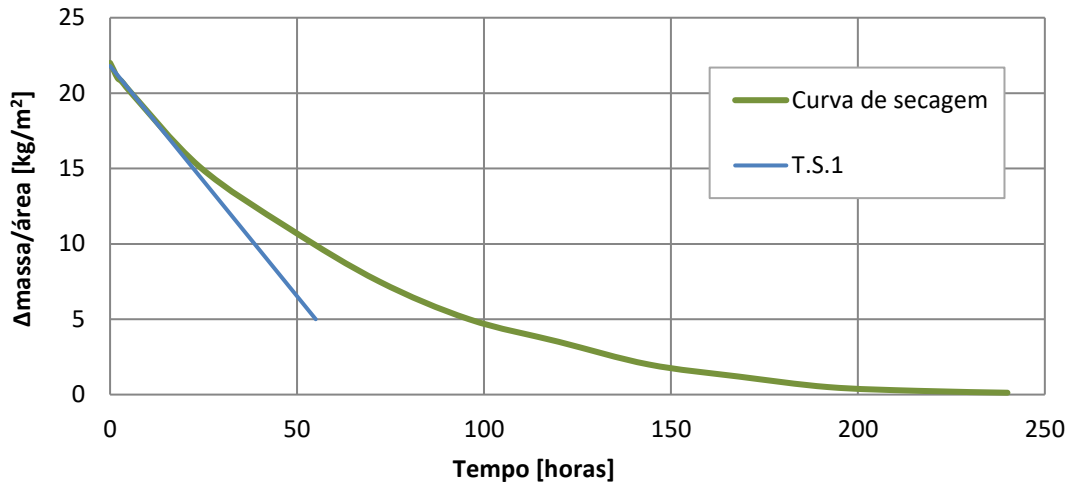


Figura 4.13 – Curva de secagem em função do tempo em horas

No entanto a superfície do provete mantém-se molhada dado que a velocidade com que a água é transportada para a superfície compensa as perdas por evaporação, permitindo que a evaporação se faça a uma velocidade constante. A taxa de secagem que ocorre numa segunda fase (TS2), é calculada pelo declive negativo da curva de secagem, no intervalo de tempo correspondente à secção linear da curva. Neste caso, as ordenadas são representadas pela raiz do tempo, em horas^{1/2} (figura 4.14). Esta fase caracteriza-se por ser a altura em que quantidade de água líquida transportada para a superfície se torna pequena e a taxa de evaporação diminui. Assim, deixa de existir o transporte água líquida à superfície e passa a haver um mecanismo de difusão de vapor (evaporação de água no estado gasoso).

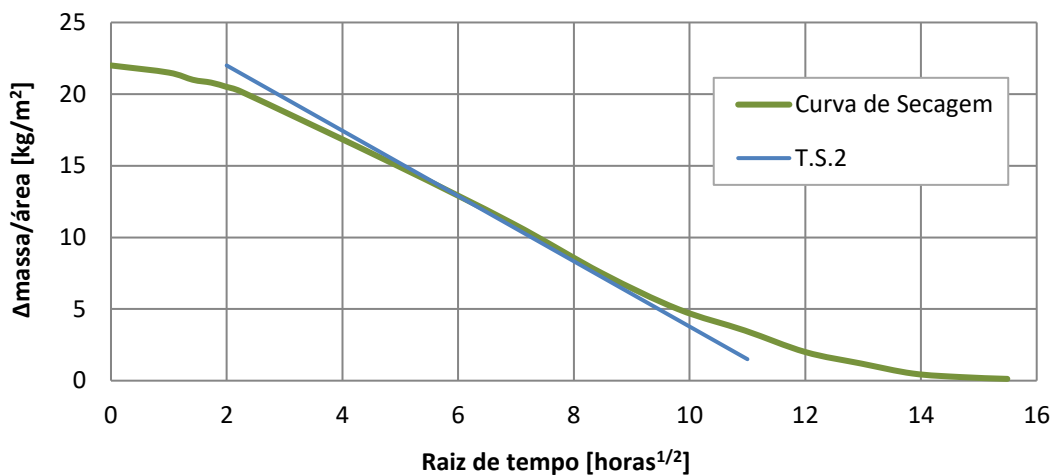


Figura 4.14 – Curva de secagem em função da raiz do tempo

Quanto às pesagens, realizadas com o auxílio da mesma balança de precisão de 0,001 g, foram feitas a cada hora, até às 5 horas, e posteriormente a cada 24 horas até atingir massa constante, altura em que os provetes atingiram uma humidade relativa semelhante à do ambiente (408 horas).

A quantidade de água nos provetes por área de superfície é dada pela seguinte expressão:

$$M_i = \frac{m_i - m_f}{A} \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Equação 4.5

sendo m_i e m_f a massa do provete no instante “i” e do provete no final do ensaio, em kg, e A a área da superfície de secagem.

Com estes resultados, é calculado o índice de secagem (IS), que representa o comportamento global da argamassa durante o processo de secagem, e que diminui de acordo com a facilidade em que se dá esse processo (Faria, 2016).

O índice de secagem é dado pela equação 4.6, que resulta de uma simplificação da equação referida na EN 16322 (Dias, 2015).

Este índice tem por base o tempo no instante “i” do ensaio (t_i) e o tempo final do ensaio (t_f) em horas, e a quantidade de água no instante “i” (M_i) e no instante inicial ($M_{m\acute{a}x}$) em kg/m^2 .

$$IS = \frac{\sum_{i=0}^{i=n} [(t_i - t_{i-1}) \times (\frac{M_{i-1} + M_i}{2})]}{M_{m\acute{a}x} \times t_f} \text{ [-]}$$

Equação 4.6

4.2.9 Condutibilidade térmica

Segundo o ITE50 do LNEC (Pina dos Santos e Matias, 2006), este parâmetro expressa a quantidade de calor que determinado material homogéneo se deixa atravessar, por unidade de espessura, quando se estabelece uma diferença unitária de temperatura, expresso em $\text{W/m}\cdot\text{K}$.

Para a realização deste ensaio seguiu-se o manual do equipamento utilizado para o efeito, ISOMET 2104 Heat Transfer Analyzer (figura 4.15). Este ensaio foi realizado nos provetes cilíndricos de diâmetro de 90mm e espessura de 20mm, de forma a que a sonda de contacto API 210412 com um diâmetro circular de 60mm ($0,04\text{-}0,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) utilizada para a realização das medições, possa estar em total contacto com o provete.

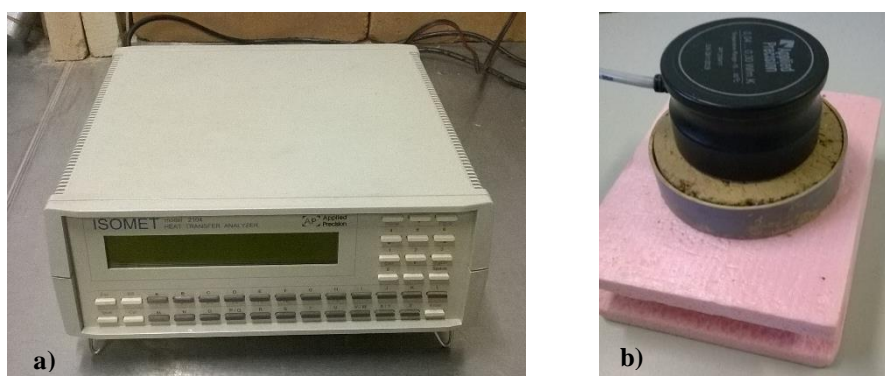


Figura 4.15 – a) Equipamento para medição da condutibilidade térmica (λ);
b) Sonda de contacto API 210412

Para tal, os provetes foram colocados em cima de uma placa de poliestireno extrudido, de forma a que não houvesse influência do material de que é feita a bancada de apoio, sendo que os provetes permaneceram pelo menos 48 h uma temperatura de 24 ± 2 °C e uma humidade relativa de 60 ± 5 %. À semelhança de outros ensaios, este é feito na superfície mais lisa do provete. As medidas foram feitas para três provetes por argamassa, e feita a média e o desvio padrão.

4.2.10 Absorção de água a baixa pressão (Tubos de Karsten)

Este ensaio permite avaliar a permeabilidade à água (capacidade de absorção de água) da argamassa, sujeita a baixas pressões, através da relação entre o volume de água absorvido e o período de tempo para o efeito, em determinada área. Este ensaio foi realizado tendo por base a RILEM n°II.4 bem como a EN 16302 (CEN, 2013).

Para a realização do ensaio foi necessário antes de mais, medir o diâmetro interno livre dos tubos, calculado através da média de três aferições. Posteriormente, tubos verticais com uma escala de 0 a 4 ml, foram colados com plasticina (não dissolúvel em água) aos provetes de argamassa cilíndricos (figura 4.16 a)), mantida livre a área de contacto.

O ensaio propriamente dito consiste em encher o tubo com água até à marca dos 0 ml, dando início à contagem do tempo. Através da pressão que água faz no provete, a água vai sendo absorvida até atingir os 4 ml. Posteriormente o tubo é cheio novamente até à marca dos 0 ml. O volume de água absorvido é registado aos 5, 10, 15, 30 e 60 minutos.

Para facilitar o procedimento, e garantir que era colocada a quantidade de água estritamente necessária no tubo de Karsten, foi utilizada uma proveta de 10 ml (figura 4.16 b)), que era cheia até à marca dos 4 ml.



Figura 4.16 – a) Tubos de Karsten; b) Proveta de 10 ml

Tendo em conta os registos feitos em cada um dos tubos, foi calculada a quantidade de água absorvida por unidade de área (W_i) através da equação 4.7, que relaciona a massa de água absorvida no “tempo i ” em ml e a área da secção do tubo utilizado em cm^2 .

$$W_i = \frac{m_i}{A} \text{ [ml/cm}^2\text{]}$$

Equação 4.7

No final obtém-se a quantidade total de água absorvida (W_f), obtida para o tempo correspondente à última pesagem (t_f).

4.2.11 Observação visual

Este procedimento foi realizado com o intuito de perceber o comportamento das argamassas quando aplicadas sobre um determinado tipo de suporte. Neste caso, foram utilizados tijolos de 300x200x70 mm, sendo que o recomendável, considerado apenas a aplicação em juntas, era fazer uma aplicação sobre junta entre pedras graníticas provenientes do local. No entanto, pela escassez de caracterização deste tipo de argamassas e pela possibilidade da argamassa poder também ser aplicada em reboco interior, considerou-se este ensaio apenas uma forma representativa de perceber o comportamento das argamassas quando aplicadas numa camada de 2 cm, nomeadamente e de uma forma qualitativa, o comportamento das argamassas no que diz respeito à fissuração e à aderência ao suporte.

4.3 Caracterização da pedra granítica proveniente do local

4.3.1 Porosidade aberta e massa volúmica aparente

Para a realização do ensaio de porosidade aberta e massa volúmica, foi tida em conta a norma EN 1936 (CEN, 2008); no entanto os provetes deviam ter no mínimo um volume de 60 ml e neste caso foram utilizados provetes de dimensões inferiores, uma vez que a pedra disponível não era suficiente para fazer um número considerável de provetes (figura 4.17). Para o ensaio foi utilizada uma balança com uma precisão 0,001g, um exsiccador com ligação a bomba de vácuo e mangueira para introdução de água.



Figura 4.17 – Provetes utilizados no ensaio de Pab e MVap

Inicialmente os provetes foram colocados numa estufa a 65°C, até atingirem massa constante, isto é, a diferença entre duas pesagens sucessivas num espaço de 24 horas for inferior a 0,1 %, e registada a sua massa seca (m_d). Posteriormente os provetes foram colocados no exsiccador que depois de fechado com a tampa, foi ligado a uma bomba de forma a criar um ambiente de vácuo no seu interior. Após 24 horas nas mesmas condições de vácuo, foi introduzida água no interior do exsiccador através de uma mangueira, até submergir todos os provetes. Isto fez com que os provetes permanecessem num ambiente de baixa pressão e totalmente imersos, durante mais 24 horas. Decorridas essas 48 horas, a bomba foi desligada, alterando assim para as condições de pressão atmosféricas, mas mantendo as condições de imersão durante mais 24 horas. Ao fim das 72 horas, os provetes foram retirados do exsiccador, para proceder à sua pesagem hidrostática (totalmente imersos), que consistiu num cesto dentro de água acoplado a uma balança que registou a massa imersa (m_h).

Posteriormente é feita a pesagem normal (fora de água) ainda com os provetes totalmente saturados, registando a massa saturada (m_s). Com os valores obtidos, são feitos os cálculos da porosidade aberta de acordo com a equação 4.8 e a massa volúmica de acordo com a equação 4.9. Para o cálculo da massa volúmica aparente é necessário ter em conta a densidade da água (ρ_{rh}), para a temperatura a que se encontra (20 +/- 5°C).

$$P_{ab} = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 [\%]$$

Equação 4.8

$$Mv_{ap} = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{rh} [kg/m^3]$$

Equação 4.9

4.3.2 Absorção de água por imersão

Este ensaio tem como objetivo a medição da quantidade de água absorvida pela pedra de granito, à pressão atmosférica, tendo em conta a norma EN 13755 (CEN, 2008). O ensaio consiste em realizar pesagens sucessivas dos provetes, iniciando-se quando estes se encontram totalmente secos, ao longo do tempo em que estão a absorver água, até ficarem totalmente saturados e atingirem massa constante. Para isso foi utilizada uma balança com uma precisão de 0,001 g, um recipiente onde são colocados os provetes e água da torneira.

Numa primeira fase, depois cortados com dimensões de 50x50x50 mm, os provetes cúbicos foram colocados numa estufa a 65 °C até atingirem massa constante. Finalizado o processo de secagem, pesaram-se os provetes e obteve-se assim a massa seca do provete (m_d).

Posteriormente, os provetes foram colocados dentro do recipiente, o qual é preenchido com água até meia altura dos provetes, e registou-se o tempo inicial (t_0). Após uma hora ($t_0+60\text{min}$), foi colocada água no recipiente, agora até $\frac{3}{4}$ da altura dos provetes. Por último, após mais uma hora, foi novamente adicionada água ao recipiente, desta vez até cobrir totalmente os provetes com uma altura acima destes de 25mm.

A terceira fase consistiu em pesar os provetes, durante o processo de absorção de água. Após 48 horas do início do ensaio ($t_0+48\text{horas}$), os provetes foram retirados, a superfície seca com um pano, e realizada a primeira pesagem, sendo que este processo não deve demorar mais de 1 min. Após a pesagem, os provetes foram novamente colocados dentro de água, e a partir daqui feitas pesagens sucessivas de 24 em 24 horas até atingirem massa constante. Na figura 4.18 é possível observar as diferentes fases do ensaio.



Figura 4.18 – Ensaio de absorção por imersão

O resultado da última pesagem designa-se por massa do provete saturado (m_s). A absorção de água à pressão atmosférica (A_b) de cada provete é calculada de acordo com a equação 4.10, sendo o resultado apresentado em percentagem e arredondado às dezenas.

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 [\%]$$

Equação 4.10

4.3.3 Resistência à compressão

Para a realização do ensaio de compressão para provetes de pedras naturais foi utilizada a norma EN 1926 (CEN, 2006), sendo que para o efeito foi utilizado o modelo BETA2-3000E de uma prensa FORM-TEST do Laboratório de Estruturas Pesadas do DEC da FCT NOVA (figura 4.19).

A velocidade de aplicação da carga foi de 1kN/s. Uma vez que este ensaio é destrutivo, e que as amostras não eram suficientes, foram utilizados os mesmos provetes utilizados para a caracterização física (absorção por imersão), sendo que para o caso foram devidamente secos em estufa, à temperatura de 60 °C até atingir massa constante.



Figura 4.19 – Ensaio de resistência à compressão (granito)

À semelhança do ensaio de compressão para os provetes de argamassa, o ensaio termina quando o provete atinge a rotura. Neste momento foi registada a força e calculada a tensão, através do quociente entre a força em N, e a área em mm^2 , à semelhança do ensaio descrito na secção 4.2.6.

É necessário referir que para este ensaio houve necessidade de ter em conta alguns aspetos importantes, nomeadamente no que diz respeito à verificação de nivelamento da máquina, bem como a colocação do provete centrado em relação ao prato superior, uma vez que este é rotulado, de forma a provocar o mínimo de excentricidade durante a aplicação da carga.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Considerações gerais

Neste capítulo são apresentados todos os resultados provenientes dos ensaios realizados durante a campanha experimental, pela mesma ordem com que foram descritos. Além disso são feitas comparações dos resultados obtidos em diferentes ensaios, bem como dos resultados provenientes da pesquisa bibliográfica. Na secção 5.5 são apresentados os valores médios e os respectivos DP (quando determinados) em quadros de síntese, sendo os resultados individuais apresentados em anexo.

5.2 Estado fresco

5.2.1 Consistência por espalhamento e abaixamento

De acordo com o que foi descrito no subcapítulo 4.1.1, foram determinados os valores de consistência por espalhamento e abaixamento por espalhamento, para cada uma das argamassas, que são apresentados na figura 5.1.

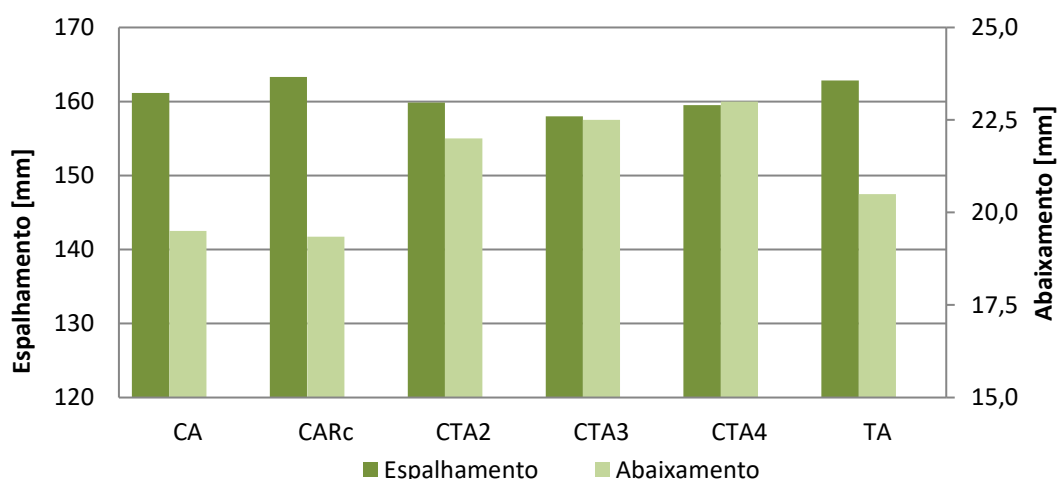


Figura 5.1 – Resultados do ensaio de espalhamento e abaixamento

De ter em conta que os valores apresentados dizem respeito à média de duas amassaduras para cada argamassa. Convém também referir que a mesa de espalhamento utilizada está de acordo com a norma EN 1015-3, mas não com aditamento A1:2004 à norma e por comparação realizada no LNEC (não publicada) entre dois equipamentos que cumprem as respectivas versões da norma, o utilizado regista valores 5 a 10 mm inferiores.

Na norma DIN 18946, para argamassas de terra sem estabilização para assentamento de alvenaria, o valor limite de referência para o espalhamento é de 175+/-5 mm. Os resultados obtidos são assim perfeitamente aceitáveis pois situam-se apenas ligeiramente abaixo do valor de referência. Observa-se que as argamassas que contêm cal, terra e areia, apresentam maior proximidade entre os valores de espalhamento e abaixamento, e que as argamassas de cal e areia

são as que apresentam menores valores de abaixamento. Tal como é esperado, isto significa que a tendência do espalhamento é inversa ao abaixamento, ou seja, quanto maior o espalhamento menor o abaixamento e vice-versa.

É de referir que a variação da quantidade de água, tendo em conta a trabalhabilidade de cada uma das argamassas, justificou-se também para garantir que os valores de espalhamento não variavam significativamente. Uma vez que a quantidade de água na amassadura tem uma grande influência no seu comportamento, na figura 5.2 apresenta-se a relação do espalhamento com a relação água/(ligante+agregado). Na argamassa com resíduo cerâmico, o resíduo foi sempre incluído na massa de agregado.

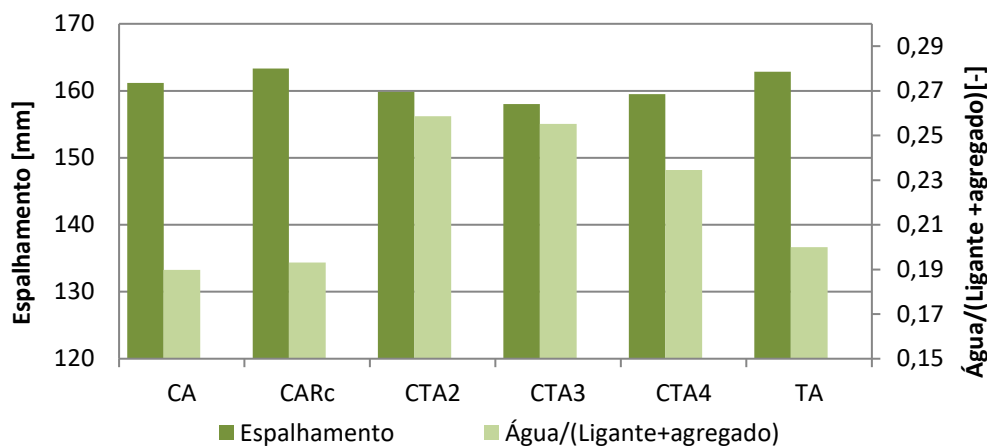


Figura 5.2 – Comparação de resultados de espalhamento e relação água-ligante

Observa-se que a argamassa de terra e areia apresenta valores semelhantes de relação água/(ligante e agregado), quando comparada com argamassas de cal e areia (sem e com resíduo). Por outro lado, nas argamassas de cal, terra e areia a relação água/(ligante e agregado) é muito superior à das restantes argamassas e, para espalhamento semelhante, diminui com o aumento da quantidade de terra e areia. Isto quer dizer que a quantidade de água necessária para obter boa trabalhabilidade diminui com o aumento da quantidade de terra e areia.

Comparando os valores obtidos com os resultados encontrados em Faria *et al*, (2014a) e Torres *et al*, (2014), relativamente às argamassas de cal e areia, é possível observar que os resultados obtidos estão ligeiramente acima. O valor do espalhamento da argamassa de terra e areia é inferior ao descrito em Santos *et al*, (2014) e Lima *et al*, (2016b).

Em relação às argamassas de cal, terra e areia, os resultados são aceitáveis uma vez que estão relativamente acima dos valores encontrados em Faria *et al*, (2014) para argamassas de cal e areia com adições de terra, e abaixo dos referidos em Gomes *et al*, (2016) para argamassas de terra e areia com adições de cal (ver quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Resultados de espalhamento de bibliografia consultada e do presente estudo

Referência	Tipo de argamassa	Esp. [mm]
Lima <i>et al.</i> , (2016b)	Terra argilosa e areia siliciosa ao traço volumétrico: 1:2	172
	1:2,5	162
	1:3	173
	1:4	171
Santos <i>et al.</i> , (2014)	Pré-doseada de terra	179
Faria <i>et al.</i> , (2014a)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	147
	Idem com adição de terra: 5%	150
	10%	155
	25%	150
	50%	149
	Traço vol. 1:3 de cal e areia	151
	Idem com adição de terra: 5%	161
	10%	149
	25%	155
	50%	147
Gomes <i>et al.</i> , (2016)	Terra e areia ao traço vol. 1:3	170
	Idem com adição de cal em relação à massa: 5%	172
	10%	172
	15%	170
Torres <i>et al.</i> , (2014)	Cal e areia ao traço 1:3 em volume	148
	Cal, resíduos de telha e areia ao traço 1:0,60:2,4 em volume	151
	Cal, resíduos de telha e areia ao traço 1:1,2:1,8 em volume	153
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	161
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	163
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	160
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	158
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	160
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	163

5.2.2 Massa volúmica e teor em ar

Para a massa volúmica, calculada de acordo com o subcapítulo 4.1.2, a norma DIN 18946 refere que o seu valor deve ser superior a $1,2 \text{ kg/dm}^3$. Neste caso, como se pode observar na figura 5.3, os valores de massa volúmica estão entre os $1,90$ e $2,01 \text{ kg/dm}^3$, que de acordo com a norma se traduz num intervalo de classes de massa volúmica de $2,0$ e $2,2$ (quadro 5.2).

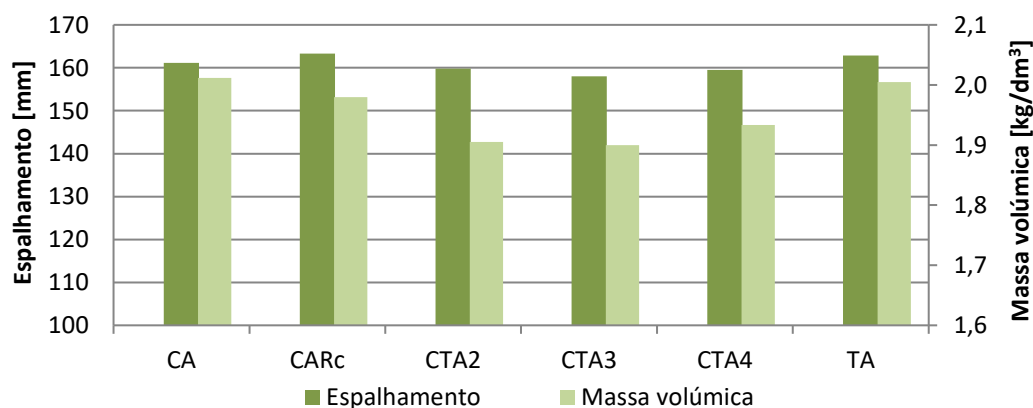


Figura 5.3 – Resultados da massa volúmica *versus* espalhamento

Quadro 5.2 – Classes de massa volúmica (DIN 18946:2013)

Classe de massa volúmica	Valores de massa volúmica [kg/dm ³]
0,9	0,80 – 0,90
1,0	0,91 – 1,00
1,2	1,01 – 1,20
1,4	1,21 – 1,40
1,6	1,41 – 1,60
1,8	1,61 – 1,80
2,0	1,81 – 2,00
2,2	2,01 – 2,20

Ainda em relação à figura 5.3, pode notar-se que as argamassas que apresentam menores valores de massa volúmica, são aquelas que apresentam na sua constituição cal, terra e areia, correspondendo também às argamassas que apresentam espalhamento um pouco menor.

Os valores de massa volúmica encontrados na bibliografia (quadro 5.3), para argamassas de terra e areia, e mistas de terra e cal, variam entre 1,85 e 2,13 kg/dm³, pelo que se pode considerar que os resultados obtidos estão dentro de valores expectáveis. Em relação à argamassa com adição de resíduo cerâmico, verificou-se uma descida da massa volúmica em relação à argamassa só de cal aérea, tal como em Matias, (2014). No quadro 5.4 são apresentados os resultados do presente estudo.

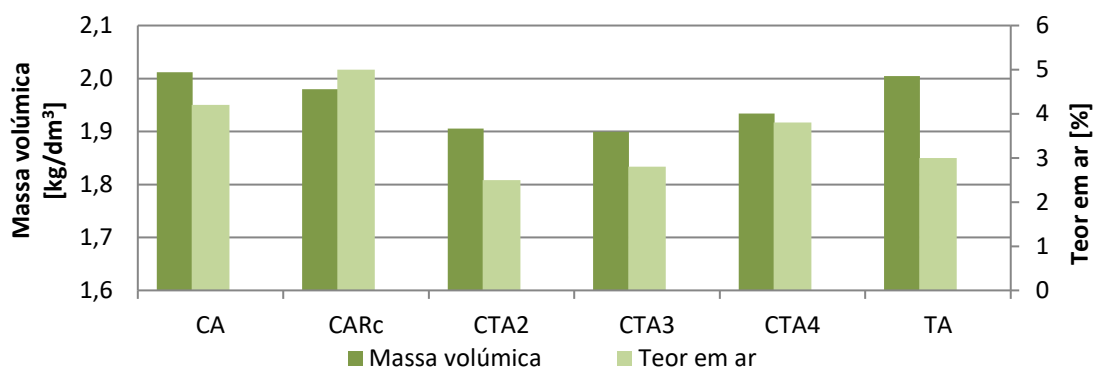
Quadro 5.3 – Resultados de MV de bibliografia

Referência	Tipo de argamassa	MV [kg/dm ³]
Lima et al, (2016b)	Terra argilosa e areia siliciosa ao traço volumétrico: 1:2	2,11
	1:2,5	2,11
	1:3	2,13
	1:4	2,09
Faria et al, (2015)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	1,92
	Idem com adição de terra: 5%	1,94
	10%	1,93
	25%	1,95
	50%	1,94
Gomes et al, (2016)	Terra e areia ao traço vol. 1:3	1,87
	Idem com adição de cal em relação à massa: 5%	1,87
	10%	1,87
	15%	1,85
Matias, (2014)	Traço 1:2 de cal e areia	1,82
	Idem com substituição de 40% resíduos de telha cerâmica	1,75

Quadro 5.4 – Resultados de MV do presente estudo

Referência	Tipo de argamassa	MV [kg/dm ³]
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	2,01
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	1,98
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	1,91
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	1,90
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	1,93
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	2,00

Os resultados relativamente ao teor em ar, que estão de acordo com o ensaio descrito no subcapítulo 4.1.3, são apresentados na figura 5.4.

Figura 5.4 – Resultados da massa volúmica *versus* teor em ar

De seguinte são feitas comparações entre o trabalho em estudo e a bibliografia, através dos quadros 5.5 e 5.6. Nas argamassas que contêm cal, terra e areia, conclui-se que, quanto maior a quantidade de terra, maior o teor em ar. Este comportamento é semelhante ao observado em Faria *et al.*, (2015a), em que a adição de terra faz aumentar o teor em ar. A argamassa só de terra apresenta um valor mais baixo quando comparado com as argamassas à base de cal e areia (CA e CARc). Por outro lado, a adição de resíduo cerâmico à argamassa de cal aumentou o teor em ar, e no sentido contrário, diminuiu a massa volúmica.

Quadro 5.5 – Resultados de teor em ar de bibliografia

Referência	Tipo de argamassa	Teor em ar [%]
Faria <i>et al.</i> , (2015a)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	4,2
	Idem com adição de terra: 5%	4,5
	10%	4,6
	25%	4,5
	50%	5,1
	Traço vol. 1:3 de cal e areia	4,3
	Idem com adição de terra: 5%	4,0
	10%	4,6
	15%	4,1
	25%	3,6

Quadro 5.6 – Resultados do teor em do presente estudo

Referência	Tipo de argamassa	Teor em ar [%]
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	4,2
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	5,0
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	2,5
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	2,8
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	3,8
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	3,0

5.3 Estado endurecido

5.3.1 Provetes prismáticos

5.3.1.1. Retração linear e volumétrica

De acordo com o descrito no subcapítulo 4.2.2, foi possível obter os valores de retração linear e volumétrica, para os 14 dias, altura em que foi realizada a desmoldagem dos provetes prismáticos, para os 97 dias, altura em que se passaram os provetes de cura húmida para cura normal, e aos 121 dias (figura 5.5), imediatamente antes de proceder aos ensaios de resistência mecânica.

Segundo a norma DIN 18946:2013, a argamassa apenas de terra e areia (TA) não se encontra dentro dos parâmetros, uma vez que apresenta um valor de retração linear superior a 2,5%. Apesar de não serem argamassas só de terra, todas as outras se encontram abaixo desse valor.

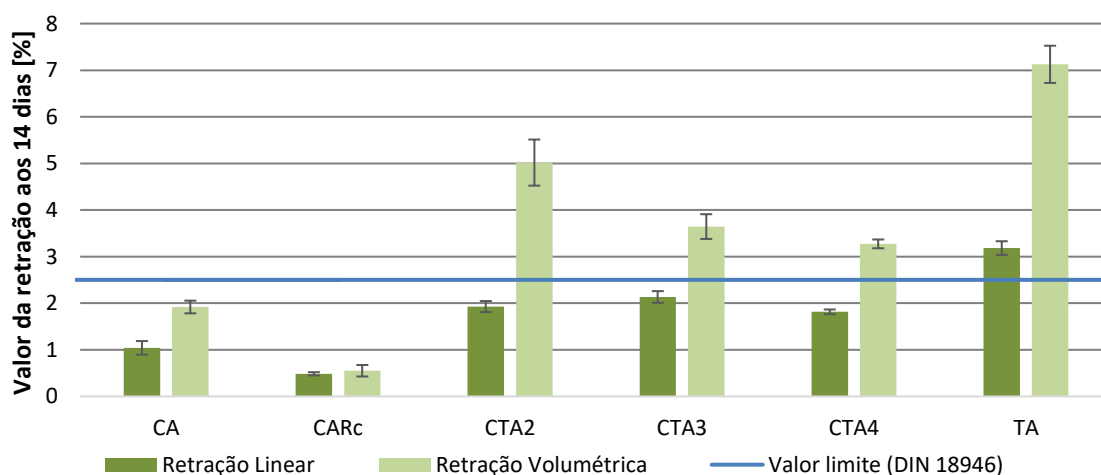


Figura 5.5 – Valores de retração aos 14 dias

De acordo com os resultados obtidos (quadro 5.7), pode concluir-se que tanto a retração linear como a retração volumétrica apresentam valores com a mesma tendência, exceto na argamassa CTA2, uma vez que apresenta um valor de Rv superior a CTA3, mas por outro lado

apresenta um valor de RI inferior, o que é natural uma vez que a Rv depende de três dimensões e pode apresentar maiores variações. Significa assim que ambos os resultados caracterizam bem o comportamento a que se referem.

Quadro 5.7 – Resultados de RI e Rv de bibliografia e do presente estudo (90 dias)

Referência	Tipo de argamassa	RI [%]	Rv [%]
Lima et al, (2016b)	Terra argilosa e areia siliciosa ao traço volumétrico: 1:2	1,43	
	1:2,5	1,12	
	1:3	0,85	
	1:4	0,34	
Gomes et al, (2012)	Argamassa de terra (MRE)	1,15	4,06
	MRE com adição de fibras (MRE_F)	0,9	0,95
	MRE com adição de 5% de cal aérea hidratada (MRE_AL5)	1,59	7,83
	MRE com adição de 10% de cal aérea hidratada (MRE_AL10)	1,77	6,39
	MRE com adição de 15% de cal aérea hidratada (MRE_AL15)	1,36	6,21
Gomes et al, (2016)	Terra e areia ao traço vol. 1:3	1,0	4,00
	Idem com adição de cal em relação à massa: 5%	1,6	5,80
	10%	1,7	6,00
	15%	1,4	6,10
	Terra e areia ao traço vol. 1:3	1,0	4,00
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	1,47	3,06
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	0,84	1,20
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	2,28	5,40
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	2,44	4,98
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	2,15	3,90
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	3,52	7,45

De notar que os valores de retração linear são relativamente altos, quando comparados com os valores encontrados na bibliografia. Por exemplo a retração linear de uma argamassa de terra e areia analisada por Lima *et al*, (2016b) está entre 0,34 e 1,43%. Ao mesmo tempo, o valor da retração volumétrica para o mesmo tipo de argamassa (terra e areia) é bastante elevado, quando comparado com o resultado obtido por Gomes *et al*, (2016). Isto explica-se não só pela quantidade de argila presente na terra, como também pelo tipo de argila, aspeto que não foi estudado com muito detalhe neste trabalho, e ainda pela proporção dos constituintes das argamassas. No entanto, argamassas mistas de terra e cal apresentam valores mais baixos, comportamento inverso ao encontrado em Gomes *et al*, (2012) e Gomes *et al*, (2016), em que os valores de retração aumentam com a adição de pequenas quantidades de cal. Ao longo do tempo, apesar de haver variações no valor da retração, esse comportamento é semelhante em todas as argamassas como se pode ver na figura 5.6.

Aos 97 dias é quando se verificam um maior valor de retração em todas as argamassas, altura em que as argamassas que contêm cal já carbonataram. Essa variação deve-se com certeza ao efeito da humidade resultante da cura húmida. Dos 97 para os 121 dias existem ligeiras

alterações motivadas pela alteração das condições de cura. Nota ainda para o aumento exponencial da retração volumétrica em relação à retração linear, uma vez que no primeiro caso temos em conta a retração de três dimensões, e não apenas uma delas como acontece na retração linear.

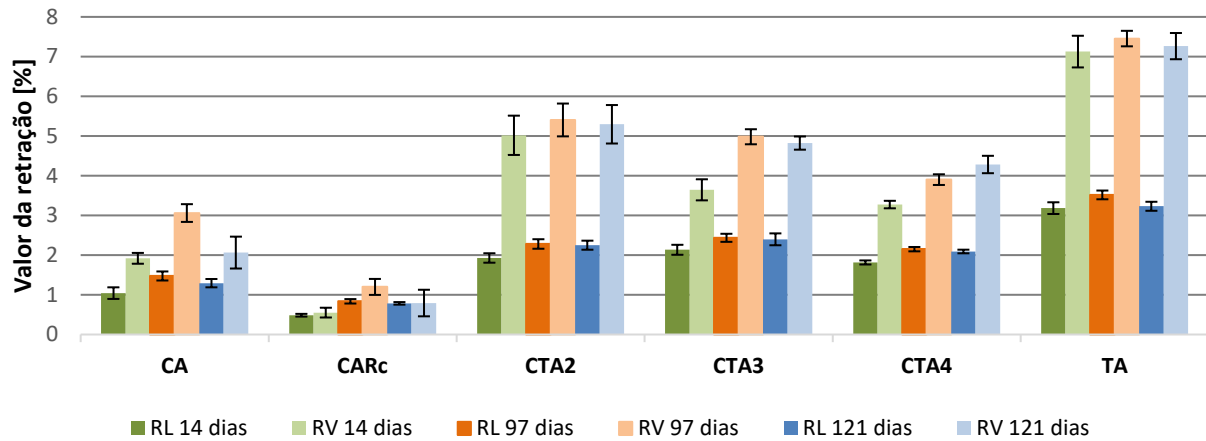


Figura 5.6 – Comparação da retração em diferentes idades

5.3.1.2. Massa volúmica aparente

Do mesmo modo que para a retração linear e volumétrica, também a massa volúmica aparente foi calculada para os 14, 97 e 121 dias. Os resultados obtidos de acordo com o descrito no subcapítulo 4.2.3, são apresentados na figura 5.7.

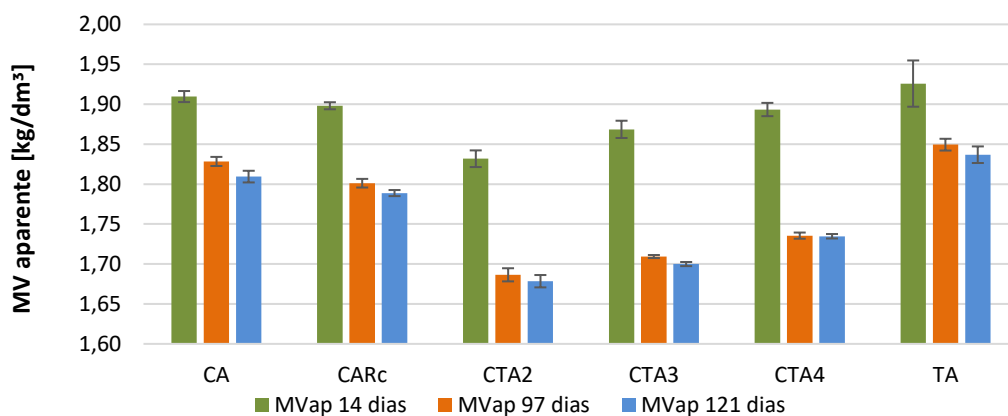


Figura 5.7 – Comparação da massa volúmica aparente em diferentes idades

De acordo com os resultados apresentados, é possível perceber que a diminuição da massa volúmica dos 14 para os 97 dias, resulta da perda de massa durante o processo de secagem, motivado essencialmente pela evaporação de água. Dos 97 para os 121 dias, os valores diminuem devido à perda de humidade, ao mudarem de condições de cura (cura húmida para cura normal).

Tendo em conta os valores obtidos (quadro 5.8), e feitas comparações aos 97 dias, apenas a argamassa de terra e areia (TA) tem um resultado semelhante ao valor encontrado em Lima *et*

al, (2016a), para uma argamassa só de terra e areia. As restantes argamassas (CA, CARc e CTA2 a CTA4) apresentam valores um pouco superiores ao que foi encontrado na bibliografia, apesar de não serem argamassas exatamente com as mesmas formulações.

Quadro 5.8 – Resultados de MVap de bibliografia e presente estudo (90 dias)

Referência	Tipo de argamassa	MVap [kg/dm ³]
Lima <i>et al</i> , (2016a)	Argamassa traço em volume 1:3 de terra e areia	1,91
Faria (2016)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	1,59
	Idem com adição de terra: 5%	1,55
	10%	1,56
	25%	1,58
Konáková <i>et al</i> , (2015)	Traço em massa de 1:3 de cal e areia	1,70
	Idem c/ adição de pó cerâmico (massa): 5%	1,68
	15%	1,62
	25%	1,60
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	1,83
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	1,80
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	1,69
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	1,71
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	1,74
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	1,85

5.3.1.3. Módulo de elasticidade dinâmico

Tal como foi referido na descrição do ensaio (secção 4.2.4), o módulo de elasticidade dinâmico foi determinado antes de se proceder aos ensaios de resistência mecânica. Na figura 5.8, é possível observar a grande diferença que existe da argamassa apenas de terra e areia, para as restantes argamassas. Contudo não se encontrou uma explicação lógica para este comportamento. Ainda assim, e de acordo com os resultados, a argamassa de terra e areia é aquela que apresenta menor deformabilidade, quando comparada com as restantes argamassas.

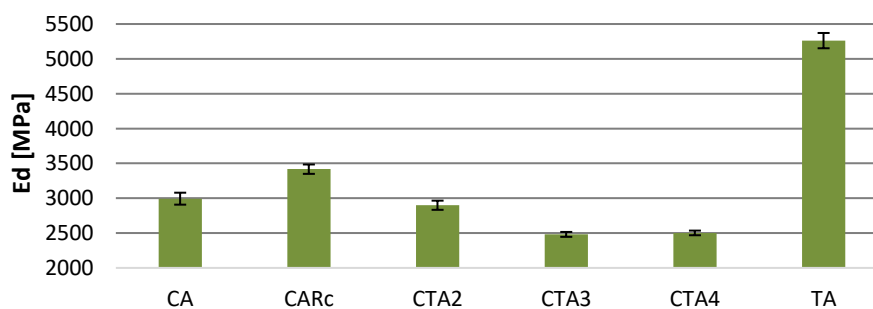


Figura 5.8 – Resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico

As argamassas CTA3 e CTA4, são aquelas que apresentam menores valores de E_d , ou seja, maior deformabilidade. Isto significa que quanto menor for o valor de E_d , maior será a capacidade que a argamassas tem em deformar-se. No entanto, como se tratam de argamassas para refechamento de juntas, este valor pode ser relativamente baixo, tendo em conta o intervalo de valores do quadro 1.1 em que $3000 < E_d < 6000$ MPa.

Comparando com os valores encontrados na bibliografia (quadro 5.9), pode observar-se que a argamassa de cal apresenta um resultado (2993 MPa) semelhante ao encontrado em Faria, (2016). Ao mesmo tempo, aquando da adição de resíduo cerâmico de forma integral, verifica-se um aumento de E_d em relação à argamassa de cal, comportamento semelhante ao encontrado em Torres *et al*, (2014), no entanto com um resultado final bastante inferior (cerca de metade do valor obtido nesta campanha). A utilização de diferentes equipamentos por parte de outros autores, para a determinação do E_d , podem justificar a diferença de valores.

Quadro 5.9 – Resultados de E_d provenientes da bibliografia e do presente estudo

Referência	Tipo de argamassa	E_d [MPa]
Santos <i>et al.</i> (2014)	Pré-doseada de terra	3610
Faria (2016)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	2902
	Idem com adição de terra: 5%	2880
	10%	2914
	25%	2662
	50%	2229
Gomes <i>et al.</i> (2012)	Argamassa de terra (MRE)	1065
	MRE com adição de fibras (MRE_F)	967
	MRE com adição de 5% de cal aérea hidratada (MRE_AL5)	576
	MRE com adição de 10% de cal aérea hidratada (MRE_AL10)	609
	MRE com adição de 15% de cal aérea hidratada (MRE_AL15)	683
Torres <i>et al.</i> (2014)	Cal e areia ao traço 1:3 em volume	1375
	Cal, resíduos de telha e areia ao traço 1:0,60:2,4 em volume	1200
	Cal, resíduos de telha e areia ao traço 1:1,2:1,8 em volume	1750
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	2993
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	3417
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	2899
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	2481
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	2502
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	5262

5.3.1.4. Resistência à tração por flexão e compressão

Através da figura 5.9, é possível observar os resultados do ensaio de resistência à tração por flexão e compressão.

É possível concluir que, em relação às argamassas de cal (CA e CARc), a adição de resíduos cerâmicos melhora sensivelmente a resistência à flexão. A argamassa apenas de terra e

areia mostra um valor de R_t bastante semelhante à argamassa CTA2, que apresenta menores quantidades de terra e areia, e maior quantidade de cal (traço volumétrico 1:1,5:0,5). Isto mostra que, em argamassas mistas de terra e cal, nem sempre é prejudicial a junção dos dois materiais (depende das quantidades).

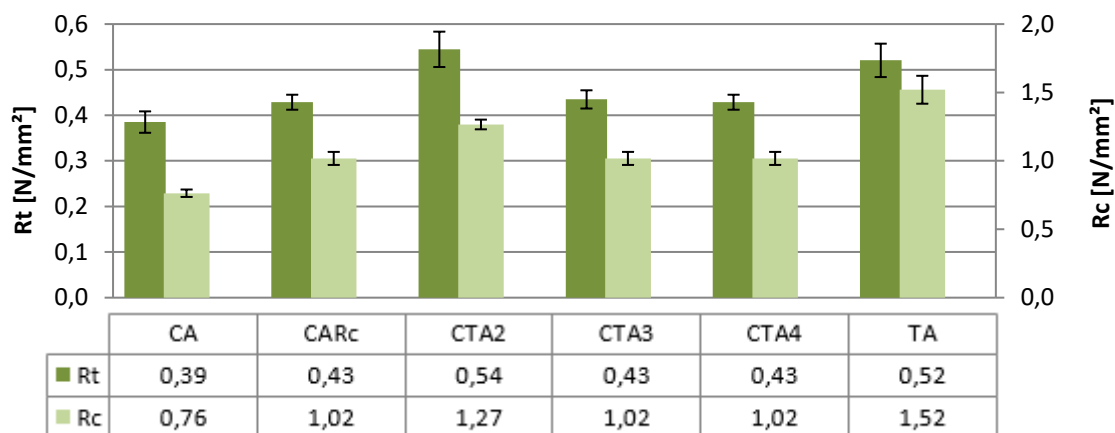


Figura 5.9 – Resistência à tração por flexão e à compressão

No que diz respeito à resistência à compressão, é possível observar que a argamassa apenas de cal e areia foi a que apresentou o valor mais baixo ($0,76 \text{ N/mm}^2$), face à argamassa de terra que apresentou o melhor valor ($1,52 \text{ N/mm}^2$). De acordo com a norma DIN 18946, para os valores de resistência à compressão obtidos, as argamassas têm uma classe de resistência de M0, uma vez que o seu valor é inferior a $2,0 \text{ N/mm}^2$. De uma forma geral, é possível concluir que a variação dos resultados em relação à resistência à compressão é semelhante daquilo que foi observado nos resultados do ensaio de resistência à flexão.

A argamassa que no seu conjunto apresenta melhores resultados de resistência mecânica é a argamassa TA, mostrando apenas um valor de R_t ligeiramente mais baixo que a argamassa CTA2. Por outro lado, a argamassa CA é que apresenta piores resultados. Em relação às argamassas mistas de terra e cal concluiu-se que o aumento da quantidade de terra e areia mostra que a tendência é para que os valores de resistência mecânica diminuam, sendo a argamassa CTA2 a melhor. Além disso as argamassas CTA3 e CTA4 apresentam as mesmas resistências.

Quando comparadas as argamassas CA e CTA2, percebeu-se que a mistura de terra e cal melhorou as resistências; contudo, quando comparadas as argamassas CTA2 e TA, pode concluir-se que a mistura não altera significativamente os resultados da argamassa TA.

Face aos resultados encontrados (ver no quadro 5.10) em Delinère *et al*, (2014) e Santos *et al*, (2014), a argamassa de terra TA apresenta resultados bastante bons, tanto de R_t como de R_c . Para a argamassa de cal, os resultados encontram-se dentro dos valores esperados (Faria, 2016; Faria *et al*, 2015; Pimenta *et al*, 2014). Quando comparadas as argamassas mistas de terra e cal (Faria *et al*, 2015; Pimenta *et al*, 2014) com os resultados obtidos, verifica-se a mesma tendência, ou seja, quanto maior a quantidade de terra, menores os valores de resistência.

Quadro 5.10 – Resultados de resistências mecânicas de bibliografia

Referência	Tipo de argamassa	Rt [N/mm ²]	Rc [N/mm ²]
Delinère et al, (2014)	Pré-doseada de terra	0,61	1,80
	Terra/areia (relação massa 33/67%)	0,49	1,30
	Terra/areia (relação massa 29/71%)	0,57	1,70
Santos et al, (2014)	Pré-doseada de terra	0,30	1,10
Faria (2016)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	0,33	0,70
Faria et al, (2015)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	0,33	0,70
	Idem com adição de terra:		
	5%	0,32	0,64
	10%	0,35	0,72
	25%	0,31	0,57
Pimenta et al, (2014)	4 argamassas com traço volumétrico cal, terra e areia de:		
	- CL2 (1:0:2)	0,34	0,70
	- CL2_10t (1:0,04:2,2)	0,35	0,72
	- CL2_25t (1:0,1:2,7)	0,31	0,56
	- CL2_50t (1:0,3:4)	0,24	0,51
Konáková et al, (2015)	Traço em massa de 1:3 de cal e areia	0,25	0,62
	Idem c/ adição de pó cerâmico (massa):		
	5%	0,36	1,33
	15%	0,42	1,90
Torres et al, (2014)	Cal e areia ao traço 1:3 em volume	0,22	0,20
	Cal, resíduos de telha cerâmica e areia ao traço 1:0,60:2,4 em volume	0,17	0,40
	Cal, resíduos de telha cerâmica e areia ao traço 1:1,2:1,8 em volume	0,32	1,40

Neste caso, comparando a argamassa só de cal (CA) com a argamassa de terra e cal, em que existe menor quantidade de terra (CTA2), existe uma melhoria considerável, o que nem sempre é verificado por outros autores. Este fenómeno está relacionado com as quantidades de materiais utilizadas na formulação das argamassas, e com o tipo de argila que a terra apresenta.

À semelhança do que foi observado em Konáková *et al*, (2015), a adição de resíduos cerâmicos à argamassa de cal, também revelou melhorias nas resistências mecânicas, isto apesar de não terem sido utilizados os mesmos traços na formulação das argamassas.

Em Torres *et al*, (2014), apesar da semelhança que existe entre a segunda argamassa e a argamassa CARc (traços volumétricos de 1:0,6:2,4 e 1:0,6:2 de cal:resíduos cerâmicos:areia), os valores são bastantes distintos, devido à diferença que pode existir nos resíduos utilizados, nomeadamente no que diz respeito à reatividade pozolânica dos minerais de argila utilizados no fabrico desses materiais (por exemplo através da sua superfície específica). Na figura 5.10 é feita uma comparação entre a resistência à compressão e a massa volúmica aparente. Em relação às

argamassas mistas é possível concluir que, o aumento da quantidade de terra faz diminuir a R_c mas por outro lado faz aumentar a MV_{ap} . No caso das argamassas de cal, verifica-se o comportamento inverso, ou seja, se por um lado a adição de resíduos faz aumentar a R_c , por outro lado faz diminuir a MV_{ap} , mostrando que a resistência pode nem sempre estar associada só à compactidade. A argamassa só de terra, não só apresentou o melhor resultado de R_c como também de MV_{ap} .

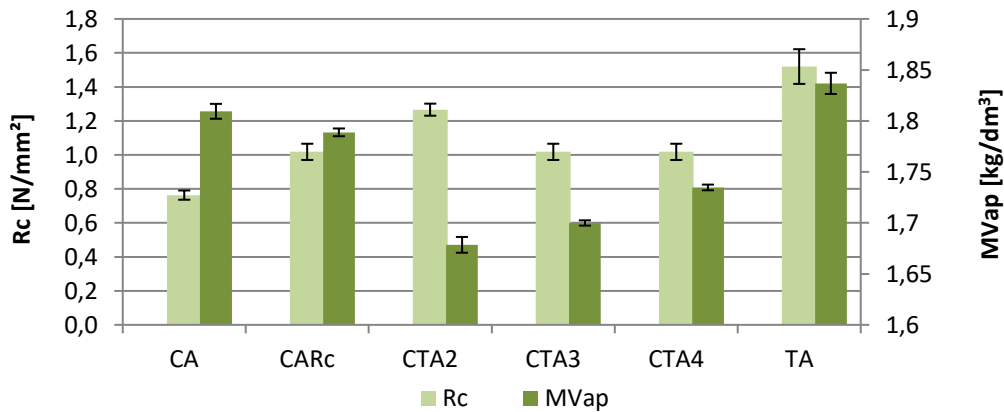


Figura 5.10 – Resistência à compressão *versus* massa volúmica aparente

5.3.1.5. Absorção de água por capilaridade

No que diz respeito ao ensaio de absorção capilar, descrito no 4.2.7, são analisados essencialmente dois valores, o coeficiente de capilaridade (CC) e o valor assintótico (VA).

Uma vez que o objetivo é ter uma argamassa que absorva quantidades de água pequenas e a baixas velocidades, quanto menores forem os resultados do VA e CC, tanto melhor. Como é possível ver na figura 5.11, a argamassa de terra e areia (TA) não atingiu o VA. No entanto é a que absorve mais lentamente, dada a inclinação da reta. Assim, seria interessante prolongar o ensaio para perceber o comportamento da curva, e quanto tempo seria necessário para atingir o VA.

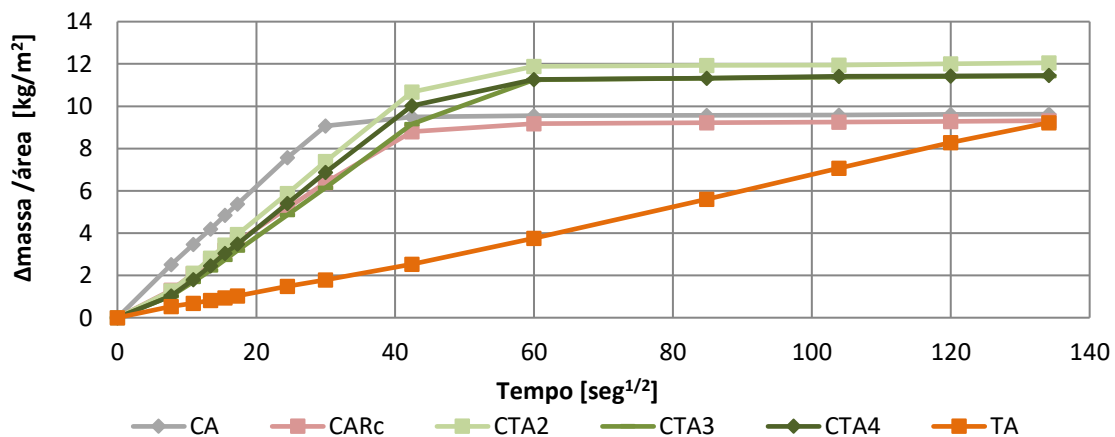


Figura 5.11 – Curvas de capilaridade

Ao mesmo tempo, é de referir que durante a preparação para o ensaio, foram realizados testes em metades de provetes em que a face em contacto com a água estava irregular, mostrando valores superiores de CC, nomeadamente na argamassa de terra. Este aspeto mostra que a rugosidade da face do provete altera ligeiramente os resultados, consequência do aumento da área em contacto com a água, e consequentemente a rapidez com que o provete absorve água.

Ainda na figura 5.11 observa-se que o CC da argamassa só de terra é o mais baixo e o da argamassa só de cal é o mais elevado. Observa-se ainda que o VA das argamassas de cal com terra e areia é o mais elevado, sendo o das argamassas de cal o mais baixo. Pela tendência, o da argamassa só de terra poderá vir a ser o mais elevado de todos. Na figura 5.12 é apresentado um gráfico de barras com os valores do CC e VA, que quantifica estes valores. Não se apresenta o VA para a argamassa de terra por não ter sido atingido.

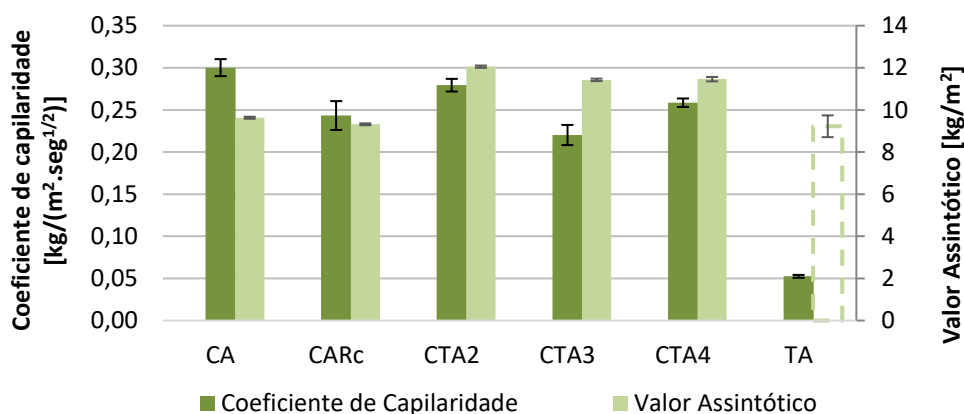


Figura 5.12 – Coeficiente de capilaridade e valor assintótico

Conclui-se que a argamassa de terra e areia apresenta um valor de CC bastante inferior em relação às restantes argamassas, com um declive da reta menos acentuado. Nas argamassas de cal, o valor diminuiu com a adição de resíduos cerâmicos, e nas argamassas mistas de terra e cal, os resultados não apresentam sempre a mesma tendência, no entanto pode observar-se que a argamassa com maior quantidade de cal (CTA2) apresenta o maior valor, ou seja, absorve água a maior velocidade. Nenhum dos valores de CC obtidos se encontra dentro do intervalo referido por Veiga et al, (2010) no quadro 1.1, para argamassas de refechamento de juntas.

No que diz respeito ao VA, não existe grande diferença entre aos resultados obtidos, limitados pelo intervalo de 9,3 a 12,1 kg/m², correspondendo às argamassas CARc e CTA2, respetivamente. Isto demonstra que as argamassas formuladas absorvem quantidades de água semelhantes, sendo que a diferença é menos notória entre as argamassas de cal (CA e CARc) e as argamassas mistas (CTA3 a CTA4).

De forma a facilitar a comparação dos resultados obtidos com os valores encontrados na bibliografia são apresentados no quadro 5.11, os valores do CC em função do tempo em segundos

e em minutos, isto porque alguns artigos ainda estão de acordo com EN 1015-18 (CEN, 2002) e não com a EN 15801 (CEN, 2009). No entanto como se pode observar no quadro, a variação dos valores é mais notória quando o tempo vem em função dos minutos.

Quadro 5.11 – Valores de CC segundo EN 15801 e EN 1015-18

	CC [kg/(m ² .seg ^{1/2})]	CC [kg/(m ² .min ^{1/2})]
Norma	EN 15801	EN 1015-18
CA	0,30	2,33
CARc	0,24	1,88
CTA2	0,28	2,16
CTA3	0,22	1,71
CTA4	0,26	2,00
TA	0,05	0,41

No que diz respeito a argamassas de cal quando lhe são adicionados resíduos cerâmicos, Torres *et al*, (2014) demonstra um comportamento diferente do que foi obtido, ou seja, quanto maior a percentagem de resíduos utilizados, maior o valor do CC, face à argamassa de referência. No entanto este comportamento também não é linear, visto que o tamanho das partículas também influencia este comportamento, uma vez que os fenómenos de capilaridade estão diretamente relacionados com o diâmetro e a forma dos poros (Henriques, 2011). Além disso, há ainda que referir que o tipo de resíduos utilizados e o traço das argamassas são diferentes, e por isso influenciam de forma distinta. Para as argamassas mistas de terra e cal, os resultados obtidos são ligeiramente inferiores aos encontrados em Faria, (2016) e Gomes *et al*, (2016), no entanto demonstram o mesmo comportamento aleatório. A argamassa de terra apresenta um valor de CC semelhante ao descrito em Santos, (2014).

No que diz respeito aos resultados do VA, observa-se que estão bastante mais abaixo dos valores encontrados na bibliografia. Este resultado pode estar relacionado com o facto de o ensaio ter sido feito apenas para as 5 horas, tempo necessário para os provetes de argamassa de terra ficarem saturados sem se desintegrarem. De acordo com o referido anteriormente, a argamassa só de terra não apresenta valores que possam ser comparados uma vez que os provetes não têm resistência suficiente (ensaio destrutivo). Para as argamassas mistas de terra e cal, observa-se que à semelhança do que é observado em Faria, (2016), a adição de terra a uma argamassa de cal faz subir ligeiramente o VA. Em Gina Matias, (2014), VA aumentou ligeiramente aquando da adição de resíduos, contrariamente ao que aconteceu na argamassa CARc em relação a CA. Esta diferença pode estar associada aos aspetos referidos anteriormente, para o mesmo tipo de argamassas, em relação ao comportamento do CC (quadro 5.12).

Quadro 5.12 – Resultados de CC e VA provenientes da bibliografia e presente estudo

Referência	Tipo de argamassa	CC [kg/(m ² .min ^{1/2})]	VA [kg/m ²]
Santos (2014)	Argamassa pré doseada de terra (P)	0,41	
	Argamassas ao traço 1:3 de argila e areia fina (FS)	0,31	
	Argamassas ao traço 1:3 de argila e areia grossa (CS)	0,74	
	Argamassas ao traço 1:3 de argila e agregado (45% grosso e 30% fino CS45_FS30)	0,50	
	Argamassas ao traço 1:3 de argila e agregado (30% grosso e 45% fino CS30_FS45)	0,40	
Faria (2016)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	3,78	19,7
	Substituição da massa de cal por terra:		
	5%	3,53	20,0
	10%	3,24	20,2
	25%	3,70	20,9
	50%	4,42	19,5
Gomes et al, (2016)*	Terra e areia ao traço vol. 1:3 (MRE)	0,77	11,0
	Idem com adição de cal em relação à massa:		
	5%	1,55	14,5
	10%	3,87	15,0
	15%	3,87	15,0
Torres et al, (2014)	Cal e areia ao traço 1:3 em volume	1,70	
	Cal, resíduos de telha cerâmica e areia ao traço 1:0,60:2,4 em volume	2,40	
	Cal, resíduos de telha cerâmica e areia ao traço 1:1,2:1,8 em volume	2,30	
Matias, (2014)	Cal aérea e areia traço 1:2 em volume		16,4
	Cal aérea, resíduo de telha cerâmica e areia ao traço 1:0,8:1,2		20,1
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	2,33	9,6
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	1,88	9,3
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	2,16	12,1
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	1,71	11,4
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	2,00	11,5
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	0,41	-

* VA aproximados (retirados de um gráfico)

5.3.1.6. Secagem

Tal como foi descrito na secção 4.2.8, através deste ensaio é possível obter os valores da taxa de secagem para as duas fases (TS1 e TS2) e do índice de secagem (IS). Através da figura 5.13, onde estão representadas as curvas de secagem em função do tempo, é possível observar que o declive do troço inicial das curvas de secagem de cada uma das argamassas é semelhante, à exceção de CTA2. Significa assim que as argamassas apresentam um comportamento de secagem inicial (TS1) semelhante, isto é, a velocidade com que perdem água no estado líquido é idêntica. Quanto maior for o declive tanto mais rápida se processa a secagem inicial, sendo que isto se verifica para as argamassas CTA4 e TA, com um valor de TS1 igual a 0,11 kg/(m².h).

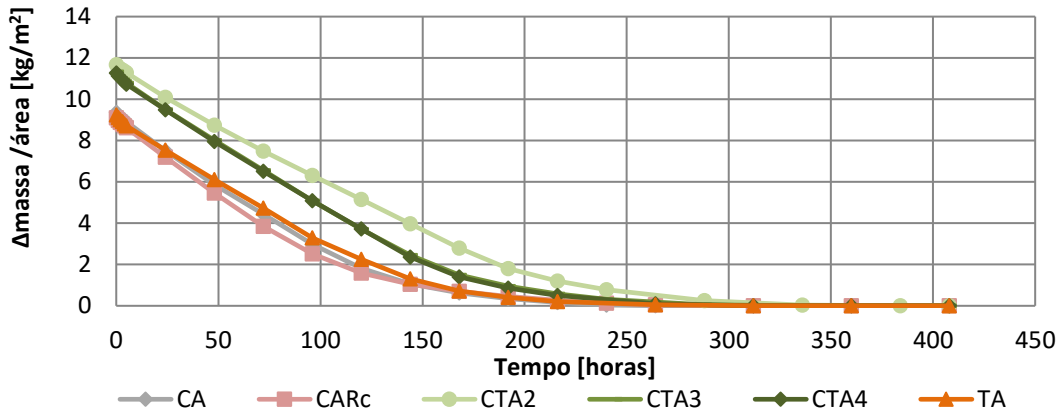


Figura 5.13 – Curva de secagem (função do tempo)

Na figura 5.14, é possível observar as curvas de secagem em função da raiz do tempo, de onde se retira, através do declive do trecho reto, a taxa de secagem TS2 de cada argamassa. Os intervalos de tempo para o qual é retirado o declive do trecho reto de cada argamassa, variam entre elas, e podem observar-se também na mesma figura (em baixo).

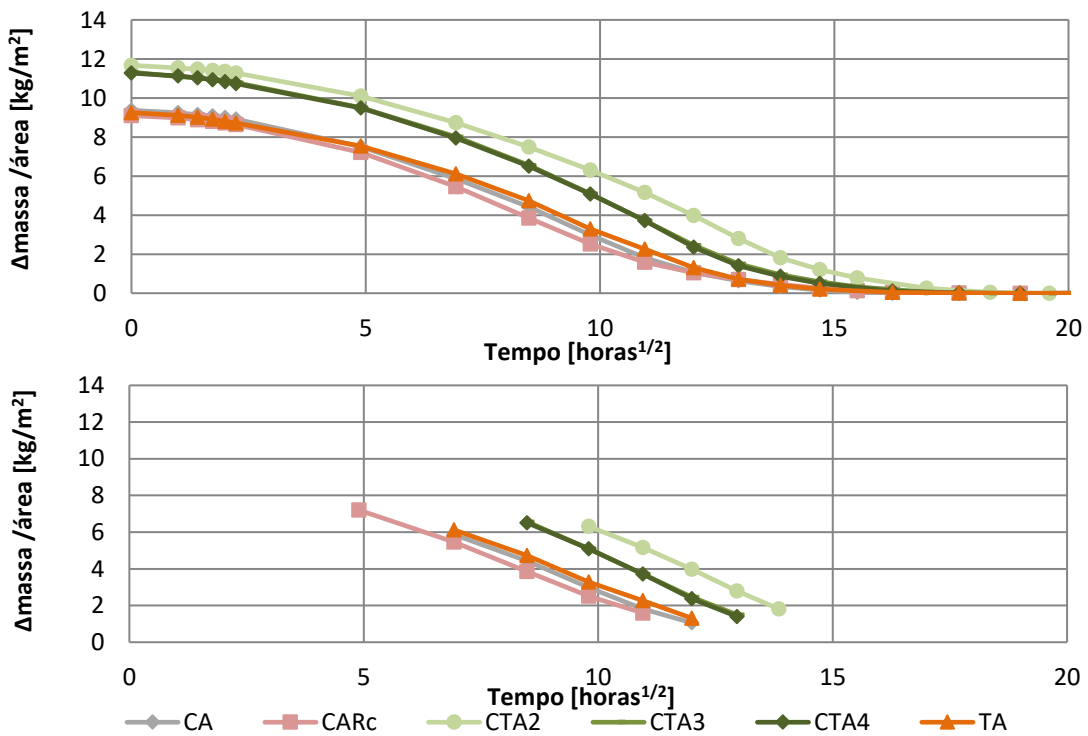


Figura 5.14 – Curva de secagem (função da raiz do tempo)

Também aqui, quanto maior o declive do trecho reto, tanto mais rápida se processa a secagem na 2ª fase. Aqui, a argamassa CTA4 apresenta o melhor valor, com TS2 igual a 1,16 kg/(m².h^{1/2}). As argamassas CTA3 e CTA4 apresentam um comportamento idêntico, e isso traduz-se pela sobreposição das curvas de secagem.

De forma a facilitar a comparação entre as diferentes taxas de secagem TS1 e TS2, é apresentado na figura 5.15 um gráfico de barras, no qual também se confirmam algumas das

conclusões já referidas. Em relação às argamassas mistas de terra e cal, é possível observar que o aumento da quantidade de terra nas argamassas faz aumentar o TS1, ou seja, a velocidade inicial de secagem é maior.

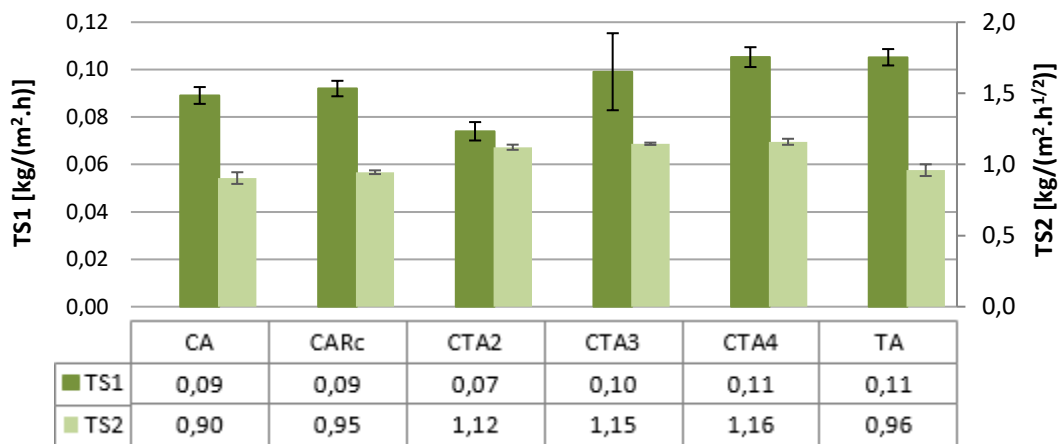


Figura 5.15 – Comparação das taxas de secagem TS1 e TS2

No entanto, o desvio padrão elevado que a argamassa CTA3 apresenta pode induzir em erro. Há ainda que referir que, comparando a argamassa TA com as argamassas mistas, esta apresenta uma secagem inicial semelhante (TS1), no entanto a perda de vapor de água (TS2) é ligeiramente inferior. Além disso esta argamassa muito provavelmente não iniciou o ensaio completamente saturada, uma vez que o VA não tinha sido atingido, contrariamente a todas as outras. As argamassas CA e CARc apresentam valores muito semelhantes entre si, em ambas as fases.

Na figura 5.16, são apresentados os valores do índice de secagem de cada uma das argamassas sobre a forma de gráfico onde é possível observar que, em termos globais, a argamassa CTA2 tem maior dificuldade em secar, e pelo contrário, a argamassa TA seca mais rapidamente (contudo, como se referiu, os valores da argamassa TA não foram obtidos nas mesmas situações e não são conclusivos).

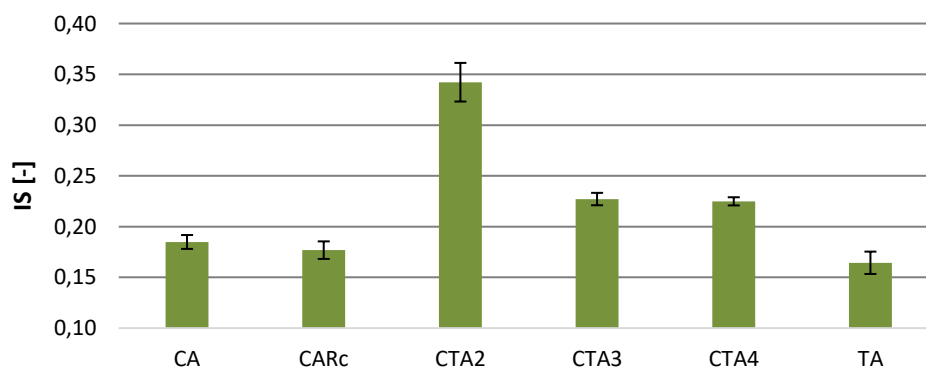


Figura 5.16 – Resultados do índice de secagem de cada

Na mesma figura também se observa que as argamassas CTA3 e CTA4 têm comportamentos semelhantes, e que comparando as argamassas CA e CARc pode concluir-se que a adição de resíduos cerâmicos não alterou significativamente o comportamento global de secagem. Estes resultados eram de esperar tendo em conta os valores de TS1 e TS2.

Apesar da argamassa CTA4 apresentar melhores valores de TS1 e TS2, as argamassas CA e CARc apresentaram melhor valores de secagem através deste índice, demonstrando que a secagem global das argamassas não se relaciona diretamente com as taxas de secagem (1 e 2).

No quadro 5.13 é possível observar os valores retirados da bibliografia correspondentes à taxa de secagem (primeira fase – TS1), bem como do índice de secagem. Comparando os resultados da taxa de secagem, é possível concluir que os valores são ligeiramente inferiores aos que foram encontrados na bibliografia. Isto significa que os resultados obtidos na campanha demonstram uma velocidade de secagem inferior. No entanto, este comportamento pode estar relacionado com as condições de secagem (temperatura e humidade relativa); no caso do IS com o período total do ensaio (só será comparável para cálculos com o mesmo tempo final) e ainda com eventuais simplificações efetuadas no cálculo do integral.

Quadro 5.13 – Resultados da TS e do IS provenientes da bibliografia e do presente estudo

Referência	Tipo de argamassa	TS [kg/(m ² .h)]	IS [-]	
Santos (2014)	Argamassa pré doseada de terra (P)	0,18	0,23	
	Argamassas ao traço 1:3 de argila e areia fina (FS)	0,19	0,23	
	Argamassas ao traço 1:3 de argila e areia grossa (CS)	0,17	0,20	
	Argamassas ao traço 1:3 de argila e agregado (45% grosso e 30% fino CS45_FS30)	0,18	0,20	
	Argamassas ao traço 1:3 de argila e agregado (30% grosso e 45% fino CS30_FS45)	0,23	0,15	
Faria (2016)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	0,26	0,19	
	Idem com adição de terra:	5%	0,26	0,17
		10%	0,24	0,16
		25%	0,23	0,18
		50%	0,28	0,15
Torres et al, (2014)	Cal e areia ao traço 1:3 em volume		0,10	
	Cal, resíduos de telha e areia ao traço 1:0,60:2,4 em volume		0,21	
	Cal, resíduos de telha e areia ao traço 1:1,2:1,8 em volume		0,37	
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	0,09	0,18	
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	0,09	0,18	
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	0,07	0,34	
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	0,10	0,23	
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	0,11	0,22	
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	0,11	0,16	

No que diz respeito aos valores da taxa de secagem correspondente à segunda fase (TS2), não foram comparados com a bibliografia por não se encontrarem referidos em nenhum dos artigos. Em relação aos resultados obtidos para o índice de secagem, temos um valor bastante semelhante para a argamassa CA, quando comparado com a argamassa de cal e areia, em Faria, (2016). No que diz respeito às argamassas com resíduos cerâmicos presente em Torres *et al*, (2014), há um aumento do IS quanto maior a quantidade de resíduos, ou seja, a introdução de resíduos dificulta o processo de secagem.

Neste caso, CARc manteve o mesmo valor em relação a CA, resultado da granulometria fina dos resíduos utilizados Torres *et al*, (2014). As argamassas mistas (CTA) apresentam um aumento do IS em relação à argamassa de cal e areia. Este comportamento é diferente do que foi encontrado em Faria, (2016), no entanto as quantidades de terra utilizadas são diferentes. Para a argamassa só de terra, temos um valor semelhante em Santos, (2014) para uma argamassa de argila e agregado ao traço 1:3 em volume.

Através da figura 5.17 é possível concluir que nas argamassas de cal, a adição de resíduos revelou um comportamento positivo, isto porque não só diminuiu o CC como também aumentou a taxa de secagem. Isto confirma a importância que tem a incorporação de resíduos em argamassas de cal também no que diz respeito ao processo de cura. A argamassa de terra e areia foi a que apresentou maior amplitude entre estes valores, demonstrando assim excelente comportamento durante a absorção de água e na secagem (muito embora se saiba que o contacto direto com a água é destrutivo).

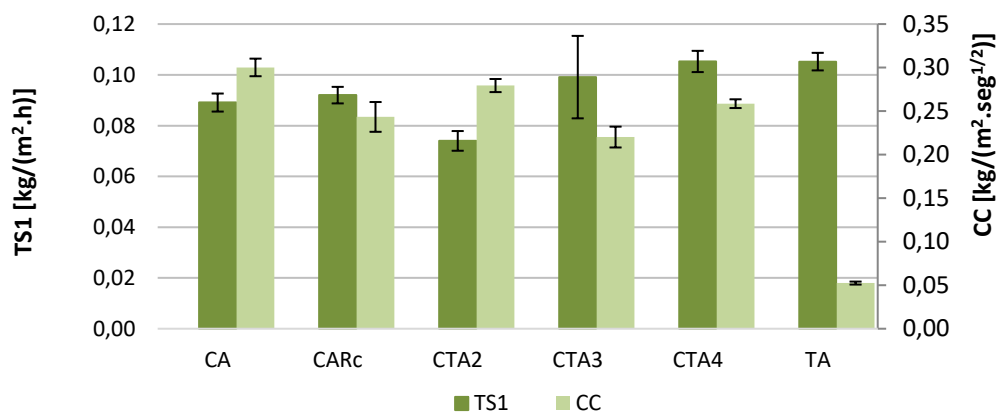


Figura 5.17 – Taxa de secagem 1 *versus* coeficiente de capilaridade

5.3.2 Provetes cilíndricos

5.3.2.1. Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica determinada de acordo com a secção 4.2.9, é apresentada na figura 5.18, em que é possível observar a variação que existe entre cada uma das argamassas, sendo que os valores variam entre 0,70 e 1,1 W/(m.K).

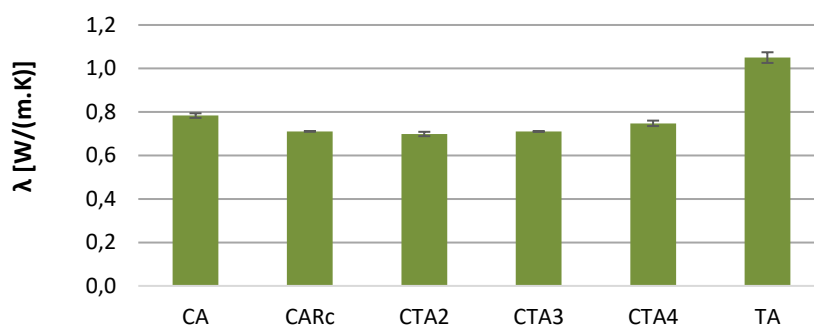


Figura 5.18 – Condutibilidade térmica

Quanto maior o valor de condutibilidade térmica, maior será a transmissão do calor do interior para o exterior no Inverno e inversamente no Verão, ou seja, menos isolante é o material. Assim, as argamassas são ordenadas por ordem de isolamento da seguinte forma: CTA2; CTA3; CARc; CTA4; CA e TA. Esta ordem mostra que as argamassas quando utilizam misturas de terra e cal apresentam melhores resultados do que quando utilizados em separado, ou seja, argamassas só de cal ou só de terra. A adição de resíduos cerâmicos também mostra uma melhoria neste comportamento, tal como é observado em Konáková *et al*, (2015).

Quando comparados com valores encontrados na bibliografia (quadro 5.14), os resultados são bastante semelhantes. As argamassas de terra de Lima *et al*, (2016b) apresentam valores entre 1,0 e 1,3 W/(m.K), enquanto a argamassa TA apresenta um valor de 1,1 W/(m.K).

Quadro 5.14 – Resultados de condutibilidade térmica provenientes da bibliografia

Referência	Tipo de argamassa	λ [W/(m.K)]
Lima <i>et al</i> , (2016b)	Terra argilosa e areia siliciosa ao traço volumétrico: 1:2	1,30
	1:2,5	1,20
	1:3	1,10
	1:4	1,00
Santos <i>et al</i> , (2014)	Pré-doseada de terra	0,90
Faria (2016)	Traço vol. 1:2 de cal e areia	0,74
	Idem com adição de terra: 5%	0,73
	10%	0,77
	25%	0,73
	50%	0,69
Konáková <i>et al</i> , (2015) *	Traço em massa de 1:3 de cal e areia	1,20
	Idem c/ adição de pó cerâmico (massa): 5%	0,95
	15%	0,75
	25%	0,65
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	0,78
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	0,71
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	0,70
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	0,71
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	0,75
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	1,10

* Valores aproximados (retirados de um gráfico para teor de humidade volumétrica de 0%)

As argamassas mistas CTA2, CTA3 e CTA4 apresentam valores de 0,70, 0,71 e 0,75 W/(m.K) respetivamente, muito semelhantes aos valores encontrados em Faria, (2016) que variam entre 0,69 e 0,77 W/(m.K). As restantes argamassas CA e CARc, apresentam valores de 0,78 e 0,71 W/(m.K) respetivamente, valores relativamente próximos ao apresentado pelo ITE50 para uma argamassa de cal e areia com 0,80 W/(m.C°), e ao valor de Konáková *et al*, (2015) para 15% de adição de pó cerâmico com 0,78 W/(m.K).

5.3.2.2. Absorção de água a baixa pressão em superfície horizontal

Depois de realizado o ensaio de condutibilidade térmica, foi realizado o ensaio de tubos de Karsten, que avalia a absorção de água a baixa pressão de acordo com a secção 4.2.2.2.

Deste ensaio resultou um gráfico de curvas que demonstra o comportamento das argamassas durante o ensaio, como sugere a figura 5.19.

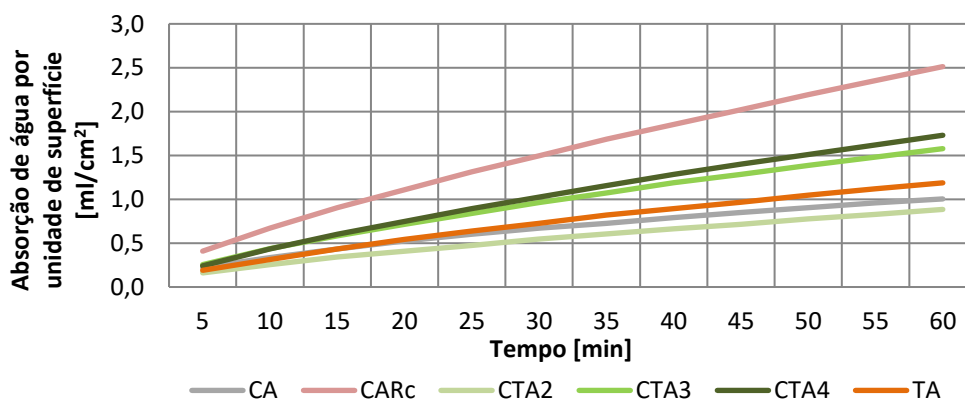


Figura 5.19 – Absorção de água a baixa pressão

É possível observar que argamassa CARc é que absorve água mais rapidamente, uma vez que o seu declive é maior, bem como em maior quantidade, visto que atinge o maior valor de absorção de água por unidade de superfície. No outro extremo temos a argamassa CTA2 que apresenta um declive menos acentuado, bem como o menor valor de absorção de água.

À semelhança dos ensaios de capilaridade e secagem, também aqui as argamassas CTA3 e CTA4 têm comportamento semelhantes, com diferenças notáveis a partir dos 30 minutos. Neste sentido é apresentado também um gráfico de barras na figura 5.20, que confirma este comportamento através da absorção de água por unidade de área, para cada intervalo de tempo. Contrariamente ao que se passa com o valor assintótico no ensaio de capilaridade, aqui é possível concluir que o aumento de quantidade de terra e areia nas argamassas mistas de terra e cal faz com que a quantidade de água absorvida aumente. A adição de resíduos cerâmicos revelou ser bastante comprometedor neste ensaio, aumentando significativamente o coeficiente de absorção da argamassa CA para a argamassa CARc.

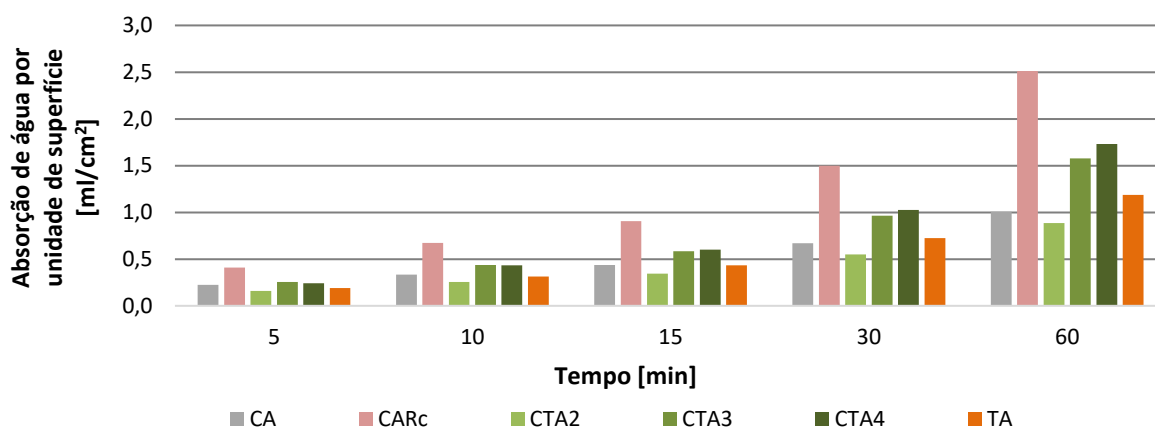


Figura 5.20 – Absorção de água por unidade de área em função do tempo

Uma vez que na bibliografia não se encontravam valores de absorção de água em superfícies horizontais de provetes cilíndricos e para este tipo de argamassas, foram realizados numa fase posterior os mesmos ensaios, mas nos provetes de argamassa aplicada sobre tijolo. No entanto admitiu-se que neste caso poderia haver influência do tijolo, na absorção de água, o que não seria desejável tendo em conta que no caso de estudo o suporte será a pedra de granito. Esta análise é feita no subcapítulo 5.3.3.2.

5.3.3 Provetes de argamassa sobre tijolo

5.3.3.1. Observação visual

Imediatamente após a aplicação das argamassas sobre tijolo, foi possível notar desde logo, a retração em algumas argamassas. Ainda no estado fresco, foi possível fazer um reaperto de todas as argamassas, de forma a reduzir os efeitos causados pela retração, nomeadamente o aparecimento de fissuras, bem como o destaque do suporte. Contudo, mesmo realizando este procedimento de correção na aplicação das argamassas, não foi possível corrigir completamente estes fenómenos.

Nas figuras 5.21 a 5.26 são apresentados os provetes alguns instantes após a aplicação da argamassa sobre o tijolo (esquerda) e com 90 dias numa sala de cura húmida (direita).



Figura 5.38 – Argamassa CA aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)



Figura 5.22– Argamassa CARc aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)



Figura 5.23 – Argamassa CTA2 aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)



Figura 5.24 – Argamassa CTA3 aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)



Figura 5.25 – Argamassa CTA4 aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)



Figura 5.26 – Argamassa TA aos 14 dias (esq.) e aos 90 dias (dir.)

No que diz respeito ao aspeto, em relação às argamassas de cal e areia, pode observar-se que a adição de resíduos cerâmicos altera ligeiramente a cor para um tom salmão. Em relação às argamassas de cal, terra e areia, quando maior a adição de terra, maior a tendência para um tom acastanhado. É possível observar que ao longo do tempo de cura, a sua cor tende a ficar mais clara. Por último, a argamassa só de terra apresenta naturalmente um tom castanho, de acordo com o tom da terra utilizada.

No que diz respeito à ocorrência de fissuras, estas são apenas notáveis nas argamassas de cal, terra e areia. Este fenómeno está associado ao facto de se juntar terra à cal, e sendo a terra um material bastante heterogéneo, é muitas vezes complicado perceber de que forma a mistura entre ambos reage, quer fisicamente, quer mecanicamente (Pimenta *et al*, 2014). De acordo com os resultados de retração e com a observação visual, conclui-se que a argamassa CTA4 é aquela que apresenta menor retração e conseqüentemente, menor fendilhação. A argamassa de terra não apresenta fissuras, no entanto apresenta um elevado valor de E_d , podendo comprometer a sua utilização como revestimento.

Na figura 5.27, também é possível observar a falta de aderência na interface entre o suporte e a argamassa, principalmente na zona dos cantos, traduzindo-se assim em valores de aderência bastante baixos. Esta conclusão foi obtida durante a tentativa de execução do ensaio de aderência, uma vez que não foi possível fazer as carotagens sem que a argamassa se partisse e soltasse do suporte.

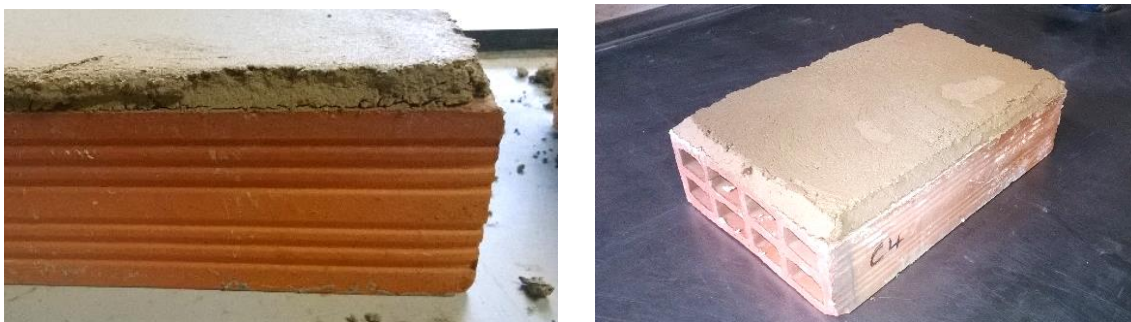


Figura 5.27 – Destacamento da argamassa ao suporte

No entanto relembra-se que, sendo o foco das argamassas a sua aplicação no assentamento e tratamento de juntas, a ocorrência de fissuração numa superfície não é condicionante. Por outro lado, para aplicação por exemplo em rebocos interiores poderia partir-se para uma otimização da formulação com base na argamassa TA.

5.3.3.2. Absorção de água a baixa pressão em superfície vertical versus horizontal

Em primeiro lugar fez-se uma comparação em relação ao tipo suporte e ao que cada um poderia absorver, para perceber até que ponto influenciariam o comportamento das argamassas ensaiadas (figura 5.28).

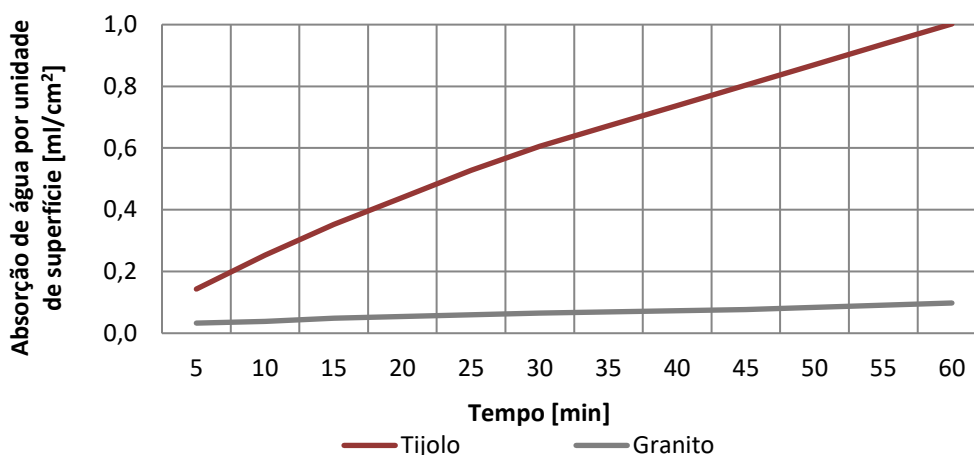


Figura 5.28 – Absorção de água (tubos de Karsten aplicados em superfície horizontal)

Para se ter uma noção da quantidade de água absorvida por cada um dos suportes, face à quantidade de água absorvida pelas argamassas, é apresentada na figura 5.29 um gráfico de barras com a quantidade de água absorvida a baixa pressão, em superfícies horizontais, ao fim de 60 minutos.

Através dos ensaios é possível perceber que o granito é praticamente impermeável à ação da água a baixas pressões, e que o tijolo absorve mais água, confirmando assim os pressupostos que se admitiram inicialmente. Pode concluir-se ainda que o tijolo absorve tanta água como uma argamassa de cal, e como é de esperar, o valor mais baixo diz respeito à pedra granítica.

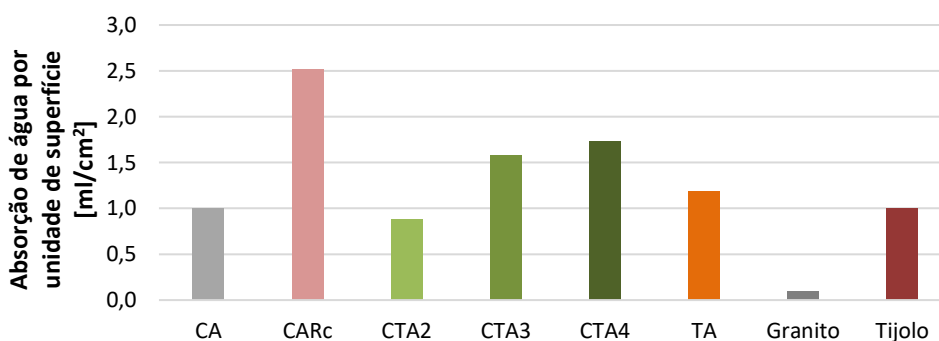


Figura 5.29 – Absorção de água das argamassas versus tipo de suporte

No entanto, quando comparados os ensaios feitos nos provetes cilíndricos, e nos tijolos com a face na horizontal (ver figura 5.30), percebeu-se que a diferença não era considerável para grande parte das argamassas; apenas as argamassas de cal CA e CARc, apresentam valores significativamente diferentes. Isto justifica-se pelo facto dos provetes cilíndricos ficarem completamente saturados e não conseguirem absorver mais água, enquanto que nos provetes de argamassa aplicada sobre tijolo, a quantidade de material permitiu absorver maior quantidade.

Além de se avaliar o suporte, também foi avaliada a forma como o ensaio é conduzido, ou seja, se o paramento é horizontal (provetes cilíndricos e tijolo “deitado) ou vertical (tijolo “ao alto”), muito embora esta escolha deva ser feita consoante a argamassa seja para ser aplicada num paramento vertical (ex: revestimento de uma parede) ou horizontal (ex: revestimento de piso).

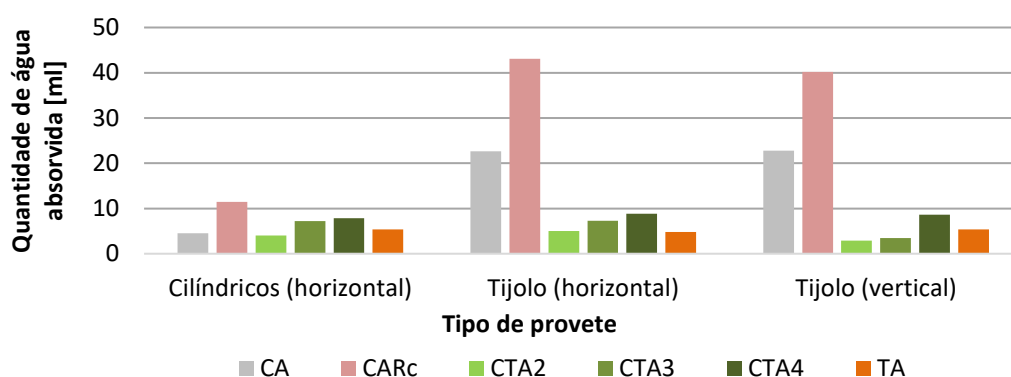


Figura 5.30 – Absorção de água aos 60 min nos vários tipos de provetes (tubos de Karsten)

Esta análise permitiu concluir que, em termos qualitativos as argamassas tiveram sempre um comportamento semelhante, qualquer que fosse o provete e a forma como o ensaio fosse conduzido, à exceção das argamassas CA e CARc pelo motivo já referido (quadro 5.15). Em qualquer argamassa o ensaio mostrou ser mais condicionante com o tijolo colocado na horizontal, à exceção da argamassa de terra que mostrou valores mais altos quando o tijolo é colocado na vertical. Este aspeto está associado ao facto de haver um fenómeno de “lavagem” da superfície do revestimento aumentando a superfície de contacto, e consequentemente um incremento de água absorvida, muito embora pouco significativo.

Quadro 5.15 – Quantidade de água absorvida através de tubos de Karsten aos 60 minutos

	Cilíndricos	Tijolo (face vertical)	Tijolo (face horizontal)	Média	DP
CA	4,5	22,8	22,6	16,6	8,6
CARc	11,5	40,2	43,1	31,6	14,3
CTA2	4,0	2,9	5,1	4,0	0,9
CTA3	7,2	3,5	7,3	6,0	1,8
CTA4	7,9	8,6	8,9	8,4	0,4
TA	5,4	5,4	4,8	5,2	0,3

Existem outros aspectos que influenciam estes ensaios, nomeadamente a existência de microfissuras à superfície do revestimento e que incrementa a quantidade de água absorvida, o tipo de acabamento e a existência de irregularidades, o material utilizado para fixar o tubo à argamassa, a leitura dos valores de volume de água absorvida, bem como as condições climáticas em que são executados os ensaios (Flores-Colen, 2009 e Duarte, 2009 citados por Gonçalves, 2010). Isto pode também explicar a diferença que existe em relação ao ensaio de capilaridade, em que as argamassas mistas de terra e cal absorvem maior quantidade de água que as restantes.

Para comparar com os resultados obtidos na bibliografia (quadro 5.16) foram utilizados os valores obtidos nos provetes de argamassa sobre tijolo na vertical, sendo os resultados apresentados em ml/min, e escolhidos intervalos de comparação semelhantes.

Quadro 5.16 – Resultados de absorção de água a baixa pressão provenientes da bibliografia e do presente estudo

Referência	Argamassa (Traços em volume)	ml/min
Santos <i>et al</i>, (n.d.)*	Terra:areia:Cal aérea - 1:2:0,05-0,08	1,55
	- 1:2:0	1,15
	- 1:3:0	1,00
Faria <i>et al</i>, (2013)	Cal aérea:areia - 1:2	0,16
	Cal aérea:terra:areia - 1:0,3:10,3	0,88
Pimenta, 2014	Cal aérea:areia - 1:2	0,40
	Cal aérea:terra:areia - 1:0,04:2,2	1,26
	- 1:0,1:2,7	0,96
	- 1:0,3:4	1,47
Matias, (2014)	Cal aérea:areia - 1:2	4,00
	Cal aérea:resíduo de telha cerâmica:areia - 1:0,8:1,2	0,82
Presente estudo	Traço vol. 1:2 de cal e areia	0,76
	Traço vol. 1:2:0,6 de cal, areia e resíduos cerâmicos	1,65
	Traço vol. 1:1,5:0,5 de cal, terra e areia	0,14
	Traço vol. 1:2,2:0,8 de cal, terra e areia	0,10
	Traço vol. 1:3:1,1 de cal, terra e areia	0,28
	Traço vol. 1:0,4 de terra e areia	0,10

*Artigo não publicado, utilizado apenas como termo de comparação

Por exemplo, Faria *et al*, (2013) para uma argamassa de cal e areia, obteve o valor através da quantidade de água absorvida num intervalo de 5 minutos. Logicamente, o resultado obtido para o cálculo da argamassa CA, foi também com base num intervalo de tempo semelhante, isto porque o comportamento das argamassas não é completamente linear ao longo do tempo.

Muito embora a resposta das argamassas tenha sido semelhante nos três ensaios realizados, quando comparados com a bibliografia, tal não se verifica. A argamassa TA apresenta um valor

bastante inferior aos que foram obtidos em Santos et al, (n.d.) para as argamassas de terra e areia. A argamassa de cal (CA) apresenta um valor de absorção relativamente superior, quando comparado com Faria *et al*, (2013), no entanto bastante inferior ao que foi obtido em Matias, (2014). Tanto em Faria *et al*, (2013) como em Pimenta *et al*, (2014), a mistura de cal com a terra, faz aumentar a velocidade de água absorvida, comportamento que é inverso ao obtido neste trabalho. Por outro lado, de acordo com Matias, (2014), a adição de resíduos a uma argamassa de cal diminui a velocidade de absorção, contrariamente ao que se verificou quando se comparam os valores de absorção de CA e CARc.

Na figura 5.31 é feita a comparação entre a quantidade de água absorvida a baixa pressão em superfícies verticais (Ab), e o coeficiente de capilaridade. É possível concluir que o ensaio de absorção de água a baixa pressão seja bastante mais condicionante para as argamassas CA e CARc. Ou seja, se por um lado, a adição de resíduos melhorou o CC (uma vez que diminuiu face a CA) por outro lado Ab aumentou significativamente, demonstrado que a forma como a argamassa se comporta à ação da água é diferente. Nas argamassas mistas, a diferença entre os resultados dos ensaios é tanto menor, quanto maior a quantidade de terra.

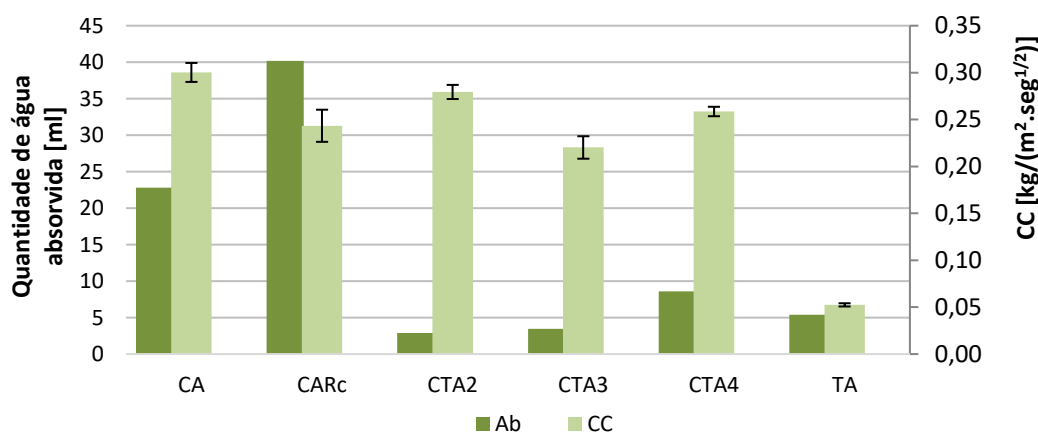


Figura 5.31 – Absorção de água a baixa pressão (60 min) *versus* coeficiente de capilaridade

5.4 Provetes de pedra granítica

5.4.1 Porosidade aberta e massa volúmica aparente

Os ensaios para determinação destes valores (figura 5.32) foram realizados em simultâneo, com base no que foi descrito na secção 4.3.1, de forma a caracterizar a pedra proveniente do local e perceber se as suas características são semelhantes quando comparadas com a bibliografia. Dado que os provetes foram recolhidos de dois blocos de pedra distintos do caso de estudo, é possível observar a diferença que existe nos seus resultados. Os provetes 1, 2, 4, 5 e 7, pertencem a um bloco, enquanto os provetes 3, 6 e 8, pertencem a outro bloco.

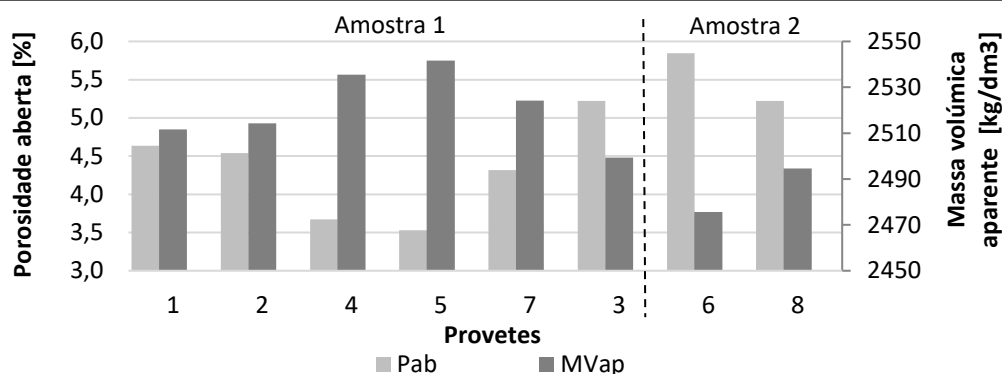


Figura 5.32 – Porosidade aberta e massa volúmica aparente do granito

No entanto os resultados são satisfatórios, tendo em conta a média e o desvio padrão obtidos. Relembra-se que estas propriedades têm um comportamento inverso, ou seja, quando aumenta a porosidade aberta diminui a massa volúmica aparente, e vice-versa.

Tendo em conta alguns valores encontrados na bibliografia para pedra de granito, presentes no quadro 5.17, é possível concluir que em termos globais os resultados de MVap e Pab embora respeitando uma das gamas (Vasconcelos, 2005), denota uma grande degradação da pedra.

Ainda assim, é de referir que a massa volúmica aparente se encontra relativamente abaixo do valor referido por grande parte dos autores, e que a porosidade aberta é bastante elevada. Uma vez que a pedra esteve sujeita aos agentes atmosféricos, é natural que tenha havido uma alteração da sua estrutura interna, levando assim ao aumento da porosidade e a redução da massa volúmica aparente.

Quadro 5.17 – MVap e Pab de bibliografia e presente estudo

Referência	MVap [kg/m ³]	Pab [%]
Carvalho <i>et al</i> , 2013	2610 - 2870	0,1 - 1,2
Casal Moura <i>et al</i> , 2000 citado por Carvalho, 2010	2516 - 2711	0,26 - 3,82
Vasconcelos, 2005	2466 - 2663	0,47 - 7,24
Vários autores citados por Alves, 2016	2600 - 2800	0,4 - 1,5
Presente estudo	2512	4,62

5.4.2 Absorção de água por imersão

Em relação ao ensaio de absorção de água por imersão à pressão atmosférica normal, realizado de acordo com a secção 4.3.1.2. e à semelhança do ensaio anterior, foi possível distinguir dois grupos de valores de absorção (figura 5.34).

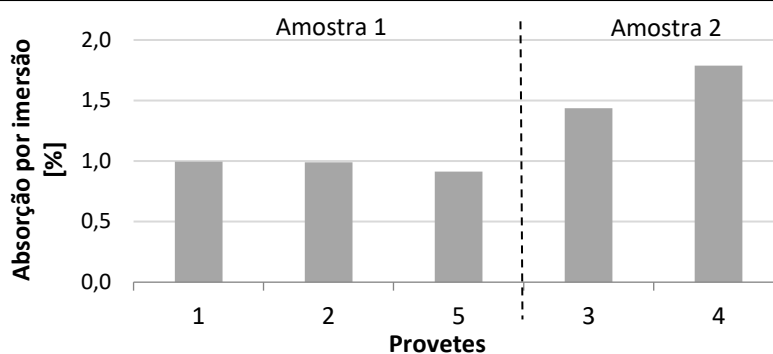


Figura 5.33 – Absorção por imersão de provetes de granito

Durante a primeira hora do ensaio foi possível perceber logo à partida esse fenómeno, uma vez que, após uma hora da colocação da água até metade da altura dos provetes, dois deles (3 e 4) já se encontravam parcialmente saturados (figura 4.19 b) devido à capilaridade. Pode concluir-se que os provetes 1, 2 e 5, pertencem à pedra com menor percentagem de porosidade aberta, ao contrário dos provetes 3 e 4 que pertencem à mais porosa. Em relação ao total das amostras, o granito apresenta um valor médio de absorção de 1,2% com desvio padrão de 0,3%.

De acordo com os valores encontrados na bibliografia (quadro 5.18), pode concluir-se que os resultados obtidos para a percentagem de absorção de água são relativamente elevados, e apenas em concordância com os valores referidos por Casal Moura *et al*, (2000).

À semelhança daquilo que foi observado nos resultados dos ensaios anteriores, também aqui a influência dos agentes atmosféricos e as alterações que a pedra sofreu, está associada à grande percentagem de absorção de água.

Quadro 5.18 – Absorção por imersão de bibliografia e presente estudo

Referência	Ab [%]
Carvalho <i>et al</i> , 2013	0,10 - 0,40
Casal Moura <i>et al</i> , 2000 citado por Carvalho, 2010	0,10 - 1,42
Vários autores citados por Alves, 2016	0,20 - 0,50
Presente estudo	1,20

5.4.3 Resistência à compressão

De acordo com a secção 4.3.2.1 foi determinado para cada provete, a resistência à compressão, e calculada a média e o desvio-padrão, sendo os resultados apresentados na figura 5.34, na forma de gráfico.

Durante o corte das pedras não foi possível obter provetes completamente cúbicos e com as faces ortogonais, pelo que o intervalo de valores obtido tenha sido relativamente alto.

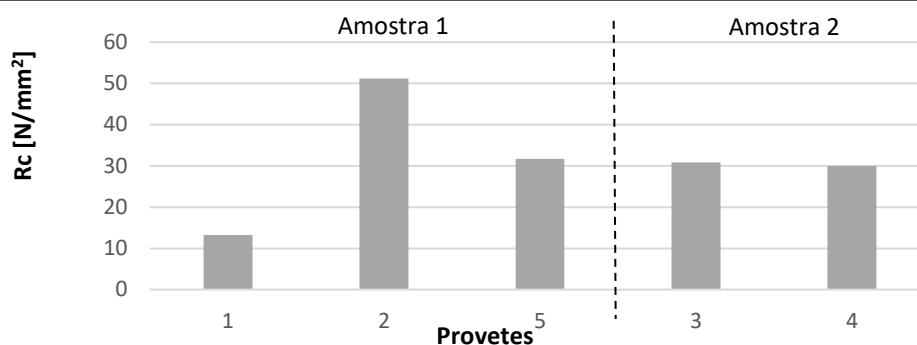


Figura 5.34 – Resistência à compressão em provetes de granito

Acrescentado a tudo isso, temos a heterogeneidade dos provetes, característica própria dos materiais. Assim, tal como era esperado, foram obtidos valores de resistências à compressão bastante distintos. Uma vez que a porosidade dos provetes 3 e 4 é superior aos restantes provetes, era esperado que obtivessem valores mais baixos. No entanto, o provete 1 apresenta um valor bastante baixo uma vez que a aplicação da carga foi feita numa face que não estava nivelada, apesar de se ter procurado ao máximo eliminar este erro. Por este motivo, não se considerou este provete nos cálculos da média. Apesar da média do valor obtido se encontrar no intervalo de valores citado por Alves, (2016) (quadro 5.19), o valor de resistência é muito baixo, confirmando assim o elevado estado de degradação em que se encontra a pedra encontrada nas paredes do edifício analisado.

Quadro 5.19 – Resistência à compressão do granito de bibliografia e presente estudo

Referência	Rc [N/mm ²]
Carvalho <i>et al</i> , 2013	131 - 262
Vários autores citados por Alves, 2016	26 - 310
Presente estudo	36

5.5 Síntese dos resultados

Para facilidade de consulta dos resultados obtidos, são apresentados a seguir, quadros de síntese com a caracterização das argamassas com as respetivas médias e desvios-padrão no estado fresco e no estado endurecido, bem como os resultados obtidos para os provetes de pedra da alvenaria. No quadro 5.20 sintetizam-se os resultados dos ensaios de espalhamento, abaixamento, massa volúmica e teor de ar, sendo estes ensaios relativos ao estado fresco.

Nos quadros 5.21 e 5.22 sintetizam-se os resultados dos ensaios que dizem respeito ao estado endurecido. Por último são sintetizados os ensaios realizados nos provetes da pedra proveniente da alvenaria.

Quadro 5.20 – Resultados de espalhamento, abaixamento, massa volúmica e teor de ar

Argamassa	Esp. [mm]		Abaix. [mm]		MV [kg/dm ³]		Teor de ar [%]	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
CA	161	2	20	1	2,0	-	4,2	-
CARc	163	1	19	0	2,0	-	5,0	-
CTA2	160	1	22	0	1,9	-	2,5	-
CTA3	158	2	23	1	1,9	-	2,8	-
CTA4	160	1	23	0	1,9	-	3,8	-
TA	163	1	21	1	2,0	-	3,0	-

Quadro 5.21 – Resultados de retração linear e volumétrica, massa volúmica aparente e módulo de elasticidade dinâmico

Argamassa	RL (97 dias) [%]		RL (121 dias) [%]		RV (97 dias) [%]		RV (121 dias) [%]		MV aparente [kg/dm ³]		Ed. [MPa]	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
CA	1,47	0,23	1,29	0,21	3,06	0,45	2,06	0,80	1,81	0,01	2993	171
CARc	0,84	0,11	0,78	0,06	1,20	0,40	0,79	0,67	1,79	0,01	3417	135
CTA2	2,28	0,24	2,25	0,23	5,40	0,83	5,30	0,97	1,68	0,02	2899	132
CTA3	2,44	0,20	2,40	0,30	4,98	0,38	4,82	0,33	1,70	0,01	2481	70
CTA4	2,15	0,11	2,09	0,09	3,90	0,27	4,28	0,44	1,73	0,01	2502	67
TA	3,52	0,22	3,23	0,23	7,45	0,39	7,26	0,66	1,84	0,02	5262	219

Quadro 5.22 – Resultados das resistências à flexão e compressão, coeficiente de capilaridade, valor assintótico, taxa de secagem, índice de secagem e condutibilidade térmica

Argamassa	Rf [MPa]		Rc [MPa]		CC [kg/(m ² .seg ^{1/2})]		VA [kg/m ²]		TS1 [kg/(m ² .h)]		IS [-]		λ [W/(m.K)]	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
CA	0,39	0,05	0,76	0,05	0,30	0,02	9,63	0,10	0,09	0,01	0,18	0,01	0,78	0,02
CARc	0,43	0,06	1,02	0,09	0,24	0,03	9,32	0,09	0,09	0,01	0,18	0,02	0,71	0,00
CTA2	0,54	0,08	1,27	0,07	0,28	0,02	12,05	0,11	0,07	0,01	0,34	0,04	0,70	0,02
CTA3	0,43	0,04	1,02	0,10	0,22	0,02	11,43	0,12	0,10	0,03	0,22	0,01	0,71	0,00
CTA4	0,43	0,03	1,02	0,03	0,26	0,01	11,46	0,21	0,11	0,01	0,22	0,01	0,75	0,02
TA	0,52	0,07	1,52	0,20	0,05	0,00	9,23	1,04	0,11	0,01	0,16	0,02	1,05	0,05

Quadro 5.23 – Resultados de porosidade aberta, massa volúmica aparente, absorção de água e resistência à compressão em provetes de pedra

	Pab [%]		Mvap [kg/m ³]		Ab [%]		Rc [N/mm ²]	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Granito	4,62	0,74	2512	21	1,2	0,3	35,92	8,82

6 CONCLUSÕES

6.1 Apreciações finais

A conservação e a reabilitação de edifícios em Portugal é um assunto cada vez mais premente na área da Engenharia Civil, não só pela carência que existe em conservar e reabilitar o edificado que se encontra num elevado estado de degradação, como também pela necessidade que existe em melhorar as técnicas e os materiais utilizados durante todo o processo de intervenção. Entre os vários tipos de edifícios existentes encontram-se as construções em terra, que eram muito utilizadas no passado, que durante umas décadas foram abandonadas e que hoje têm vindo a ser de novo intervencionadas – muitas vezes de forma errada.

Todo o trabalho realizado durante a campanha, teve como base uma pesquisa bibliográfica, de forma a perceber a evolução das técnicas utilizadas, nomeadamente no que diz respeito à caracterização da utilização da terra como material de construção. Foram abordados alguns aspetos no que diz respeito às características dos materiais propriamente ditos, bem como a forma como são utilizados na formulação de argamassas. Ao mesmo tempo, este trabalho procura ser um contributo para o melhor conhecimento das argamassas mistas de terra e cal, reforçando assim a importância que estes materiais têm no presente, e a possibilidade que têm de vir a ser utilizados no futuro.

Esta situação foi despoletada em virtude deste trabalho utilizar como caso de estudo um edifício antigo de alvenaria de granito situado no Vale das Lobas, Fornos de Algodres, distrito da Guarda, que foi construído com argamassa de assentamento de terra, ainda existente em parte da alvenaria, e ter sido incorretamente intervencionado com argamassas de cimento para refechamento de juntas.

Com base em materiais tanto quanto possíveis locais e semelhantes aos utilizados originalmente, a campanha experimental propriamente dita permitiu perceber de que forma a variação do tipo e da proporção dos constituintes das argamassas pode alterar significativamente as suas características, nomeadamente no que diz respeito ao comportamento mecânico, ao comportamento quando em contacto com a água, bem como o seu aspeto visual. Nesta fase do trabalho foi possível avaliar o comportamento das argamassas em dois estados distintos – estado fresco e estado endurecido através de provetes prismáticos, cilíndricos e aplicações sobre tijolo.

Inicialmente foi avaliada a trabalhabilidade através do ensaio de consistência por espalhamento, que mostrou que todas as argamassas à base de terra estão de acordo com a norma DIN 18946 para argamassas de assentamento (embora dedicada apenas a argamassas de terra não estabilizadas, mas que se utilizou como referência) uma vez que os valores se situam perto valor de referência, e que com variações da quantidade de água, os valores de espalhamento não

variam significativamente para trabalhabilidades comparáveis. Ainda no estado fresco foi possível concluir que todas as argamassas apresentam classes altas de massa volúmica.

No que diz respeito à avaliação das argamassas no estado endurecido com recurso aos provetes realizados, foi possível perceber durante a desmoldagem (após 14 dias) que se iriam obter valores relativamente altos de retração linear. No entanto, à exceção da argamassa de terra e areia, revelaram estar dentro dos limites colocados pela norma já referida.

Estes valores mostraram que apesar da utilização de uma grande quantidade de terra, em que a presença de argila é notória, e faz com que os valores de retração sejam maiores, quando misturados com cal é possível obter uma argamassa com valores aceitáveis.

Os valores de módulo de elasticidade dinâmico encontram-se dentro dos parâmetros sugeridos em Veiga et al, (2010), uma vez que se tratam de argamassas para refechamento de juntas.

Quando avaliadas as resistências mecânicas (compressão e tração por flexão), percebeu-se que a argamassa TA é a que apresenta melhor comportamento em termos globais, e que o aumento da quantidade de terra e areia nas argamassas mistas piora as resistências mecânicas. A argamassa CTA2 apresentou uma ligeira melhoria de R_f em relação à argamassa só de terra, no entanto com redução da R_c . A adição de resíduos cerâmicos à argamassa de cal também revelou ser benéfica, melhorando tanto a resistência à tração por flexão como à compressão.

No que diz respeito ao comportamento face à água, foi possível concluir que estes ensaios são destrutivos para as argamassas só de terra, e que a rugosidade da face de qualquer argamassa que está em contacto com a água, pode ser determinante para os resultados do ensaio. Concluiu-se também que as argamassas mistas de cal com terra apresentam um ligeiro decréscimo do VA, à medida que se aumenta a quantidade de terra e areia, ainda assim com valores superiores às restantes argamassas. Em relação ao CC, a argamassa de terra e areia apresentou um valor muito inferior às restantes argamassas; a adição de resíduos à argamassa de cal fez diminuir este valor e nas argamassas mistas de cal com terra não se verificou sempre a mesma tendência. Durante o processo de secagem, o aumento da quantidade de terra e areia nas argamassas mistas revelou um aumento da taxa de secagem TS1 e TS2, ou seja, maior facilidade na secagem. Da mesma forma, houve uma redução no índice de secagem destas argamassas, que denota uma maior capacidade de secagem global. Nas argamassas CA e CARc, pode concluir-se que adição de pó cerâmico não foi importante na alteração do comportamento de secagem.

Há ainda que referir que em vários ensaios (E_d , R_c , R_f , VA, IS) o comportamento das argamassas CTA3 e CTA4 revelou ser bastante semelhante, o que pode mostrar que a partir de uma determinada proporção de terra as argamassas mantêm as suas características.

Em termos de condutibilidade térmica, as argamassas mistas de terra e cal revelaram um melhor comportamento do que as argamassas só de cal ou só de terra. Assim, torna-se vantajoso utilizar argamassas mistas para obter materiais elementos construtivos mais isolantes. Da mesma forma, a adição de resíduo cerâmico à argamassa só de cal apresentou melhores resultados.

No entanto, esse constituinte revelou ser penalizante no ensaio de absorção a baixa pressão. Qualitativamente foram obtidos os mesmos resultados para os diversos ensaios de absorção de água a baixa pressão.

A análise da pedra proveniente do local, revelou resultados bastante insatisfatórios, tendo em conta o estado em que a construção se encontra, e a duração da exposição dos materiais aos agentes atmosféricos.

Tendo em conta todos os resultados obtidos nos ensaios realizados, bem como o objetivo do trabalho em encontrar uma argamassa de assentamento simultaneamente eco-eficiente e com boas características físicas e mecânicas, é possível concluir que argamassa CTA2, de cal aérea, terra local e areia britada ao traço volumétrico 1:2 de cal e agregado, apresenta no geral melhores resultados face às argamassas de referência. No entanto considera-se bastante importante a avaliação da aderência ao suporte, nomeadamente na alvenaria de pedra do caso de estudo. Ao mesmo tempo pode concluir-se que as argamassas mistas de terra e cal podem muitas vezes ser mais eficientes no campo da construção e da reabilitação, quando comparadas com argamassas só de terra ou só de cal, tornando-as argamassas mais rentáveis do ponto de vista económico e ambiental.

6.2 Trabalhos a desenvolver no futuro

Tendo em conta todos os ensaios realizados durante a presente dissertação, foi possível concluir que a realização de alguns ensaios poderia ser bastante importante de forma a eliminar algumas lacunas do ponto de vista da caracterização química, física e mecânica, das argamassas estudadas. Neste sentido, são propostos alguns trabalhos para desenvolver no futuro nomeadamente a formulação de uma argamassa com menor quantidade de terra e maior quantidade de areia (50/50 ou mesmo 30/70), bem como a introdução de fibras naturais de forma a reduzir a retração e conseqüente fendilhação. No caso de se utilizarem fibras naturais, a realização do ensaio ao fogo seria recomendável. Por outro lado, a realização dos ensaios de sedimentação e o ensaio de análise por difração raio-X (XRD) forneceriam informação mais detalhada sobre a granulometria (fina) e sobre os minerais presentes na terra, nomeadamente o tipo de argila. A norma DIN 18946 sugere ainda a avaliação da resistência ao corte das

argamassas de refechamento de juntas, que não foi realizada neste trabalho dadas as condições de aderência ao suporte.

Uma vez que o edifício se situa numa zona bastante fria, é recomendável o estudo do comportamento das argamassas aos ciclos de gelo-degelo. Para complementar o estudo realizado seria desejável a realização de ensaios *in situ* no caso de estudo, para avaliar em que medida o comportamento das argamassas que mostraram características mais promissoras mantem as tendências apresentadas em condições do laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R. (2016) – Argamassas no Arquipélago da Madeira; Caracterização da “Brita Lavada”. Dissertação de mestrado, FCT NOVA.
- ANDREJKOVICOVÁ, S.; VELOSA, A. L.; FERRAZ, E.; ROCHA, F. (2014) – Influence of clay minerals addition on mechanical properties of air lime-metakaolin mortars. *Construction and Building Materials*, 65, 132–139.
- ANDREJKOVICOVÁ, S.; ALVES, C.; VELOSA, A.; ROCHA, F. (2015) – Bentonite as a natural additive for lime and lime-metakaolin mortars used for restoration of adobe buildings. *Cement and Concrete Composites*, 60, 99–110.
- ANDRES, D. M.; MANEA, D. L.; FECHETE, R.; JUMATE, E. (2016a) – Clay mortar performance improvement by modifying the physical characteristics of wheat straw. *Procedia Technology*, 22, 335–342.
- ANDRES, D. M.; MANEA, D. L.; FECHETE, R.; JUMATE, E. (2016b) – Green plastering mortars based on clay and wheat straw. *Procedia Technology*, 22, 327–334.
- ASHOUR, T.; BAHNASAWY, A.; ALI, S. (2010) – Absorption and desorption behavior of some clay-sandy plasters reinforced with natural fibers used for straw bale buildings. *Journal of Building Appraisal*, 6, 171–181.
- BRUNO, P.; FARIA, P. (2008), Earth mortars use on neolithic domestic structures. Some case studies in Alentejo, Portugal. *Conservar Património*, 8, 5-12
- BUDAK, M.; AKKURT, S.; BOKE, H. (2010) – Evaluation of heat treated clay for potential use in intervention mortars. *Applied Clay Science*, 49(4), 414–419.
- CAMÕES, A.; EIRES, R.; JALALI, S. (2012) – Old materials and techniques to improve the durability of earth buildings. *CIAV-Icomos 2012*, 14.
- CARVALHO, J. (2010) – Estudo da fracturação de um maciço rochoso granítico para uma possível implementação de pedreira de rocha ornamental. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- CARVALHO, J.; CARVALHO, C.; LISBOA, J.; MOURA, A.; LEITE, M. (2013) – Portuguese Ornamental Stones, *GEONOVAS*, 26,15–22.
- CEN (1998a) – EN 1015-1: 1998 – Methods of test for mortars for masonry. Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis). Brussels.
- CEN (1998b) – EN 1015-7:1998 – Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar. Brussels.
- CEN (1998/2006) – EN 1015-2: 1998/A1:2006 – Methods of test for mortars for masonry. Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. Brussels.

- CEN (1999a) – EN 1015-3:1999 – Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels.
- CEN (1999b) – EN 1015-6:1999 – Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. Brussels.
- CEN (1999c) – EN 1015-11: 1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels.
- CEN (2002) – EN 1015-18:2002 – Methods of test for mortars for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels.
- CEN (2009) – EN 15801 – Conservation of cultural property. Test methods. Determination of water absorption by capillarity. Brussels.
- CEN (2013) – EN 16302:2013 – Conservation of cultural heritage - Test methods - Measurement of water absorption by pipe method. Brussels: CEN.
- CEN (2013) – EN 16322:2013 – Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties. Brussels, CEN.
- CORTES, D.; KIM, H.; PALOMINO, A.; SANTAMARINA, J. C. (2008) – Rheological and mechanical properties of mortars prepared with natural and manufactured sands. *Cement and Concrete Research*, 38(10), 1142–1147. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.03.020>
- DELINIÈRE, R.; AUBERT, J. E.; ROJAT, F.; GASC-BARBIER, M. (2014) – Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster. *Building and Environment*, 80, 11–17.
- DIN (2013) – DIN 18946:2013 – Earth masonry mortar – Terms and definitions, requirements, test methods. Berlin.
- EMIROĞLU, M.; YALAMA, A.; ERDOĞDU, Y. (2015) – Performance of ready-mixed clay plasters produced with different clay/sand ratios. *Applied Clay Science*, 115, 221–229.
- FARIA, P. (2004) – Argamassas de revestimento para alvenarias antigas: Contributo para o estudo da influência dos ligantes. Tese de Doutoramento, FCT NOVA.
- FARIA, P.; HENRIQUES, F.; RATO, V. (2008) – Comparative valuation of lime mortars for architectural conservation, *Journal of Cultural Heritage* 9, (3), 338-346.
- FARIA, P.; SILVA, V.; JAMÚ, N.; DIAS, I.; GOMES, M. I. (2014a) – Evaluation of air lime and clayish earth mortars for earthen wall renders. *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*, M. Correia, G. Carlos, S. Rocha (eds.), CRC Press / Taylor & Francis Group, 407–413.
- FARIA, P.; SANTOS, T.; SILVA, V. (2014b) – Earth-based mortars for masonry plastering. 9th International Masonry Conference, 7-9 July 2014, Univ. Minho, Guimarães. *Proceeding of International Masonry Society*, P. Lourenço, B. Haseltine, G. Vasconcelos (eds.) (CD)

- FARIA, P.; DIAS, I.; JAMÚ, N.; SILVA, V. (2015a) – Air lime-earth blended mortars — assessment on fresh state and workability. *Versus2014 - Earthen Architecture, – Past, Present and Future*. C. Mileto, F. Vegas, L. Garcia Soriano, V. Cristini (Eds.), 2015 Taylor & Francis Group, London, 133–138.
- FARIA, P., SANTOS, T.; AUBERT, J. (2015b) – Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar. *Materials in Civil Engineering*, 28 (1), 04015085.
- FARIA, P. (2016) – Argamassas de terra e cal - características e campos de aplicação, V FICAL – Fórum Ibérico da Cal, 277-286.
- FONTES, T.; FARIA, P. (2012) – Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural com metacaulino e resíduo cerâmicos. 4º Congresso Nacional CONSTRUÇÃO 2012.
- FRAGATA, A.; VEIGA, M. (2010) – Air lime mortars: The influence of calcareous aggregate and filler addition. *Materials Science Forum*. January 2010
- GOMES, M.; GONÇALVES, T; FARIA, P. (2012) – Earth-based repair mortars : experimental analysis with different binders and natural fibers. *Rammed Earth Conservation*, Mileto, Vegas & Cristini (eds.), 2012, Taylor & Francis Group, London, 661-668.
- GOMES, I.; GONÇALVES, T; FARIA, P. (2016a) – Characterization of earth-based mortars for rammed earth repair. *Earth Construction and Tradition*. Vol. 1 (Hubert Feiglstorfer, ed.). Institute of History of Art, Building Archaeology and Restoration at the Vienna University of Technology and IVA–ICRA (Institute for Comparative Research in Architecture), Vienna, Austria, 259-276.
- GOMES, I., GONÇALVES, T; FARIA, P. (2016b) – Hydric behavior of earth materials and the effects of their stabilization with cement or lime: Study on repair mortars for historical rammed earth structures, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (7), 04016041.
- GONÇALVES, A. (2010) – Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio in-situ. Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico.
- GRILO, J. (2013) – Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural NHL 3.5 de fabrico nacional. Dissertação de mestrado, FCT NOVA
- HALL, M.; NAJIM, K. (2016) – Soil stabilization: materials, properties, and techniques, Woodhead Publishing Limited, 222-255
- HAMARD, E.; MOREL, J. C.; SALGADO, F.; MARCOM, A.; MEUNIER, N. (2013) – A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture. *Journal of Cultural Heritage*, 14(2), 109–115.
- HENRIQUES, F.; FARIA, P. (2006) – Argamassas de substituição na conservação do património. *Construção Magazine*, 16, 2º Trimestre, 38–44
- HENRIQUES, F.; FARIA, P. (2008) – O papel da investigação no estudo das argamassas de substituição na conservação do património, *Engenharia Civil – Universidade do Minho*, 31, 29–37

- HENRIQUES, F. (2011) – Comportamento higrotérmico de edifícios; FCT NOVA.
- IPQ (2002) – NP EN 1097-3:2002 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios. Caparica.
- IPQ (2006) – NP EN 14146:2006- Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental). Caparica.
- IPQ (2011) – NP EN 459-1:2011 – Cal de construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade. Caparica.
- KONÁKOVÁ, D.; VEJMELOVÁ, E.; CÁCHOVÁ, M.; REITERMAN, P.; KEPPERT, M.; CERNY, R. (2015) – Characterization of the effect of brick-powder application in lime-based plasters, 59, 291–301.
- LIMA, J.; FARIA, P. (2016a) – Eco-efficient earthen plasters. The influence of the addition of natural fibers. *Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications. From Science to Markets*, Figueiro, Raul, Rana, Sohel (Eds.). Springer, RILEM Book Series 12, 315-327.
- LIMA, J.; FARIA, P.; SILVA, A. S. (2016b) – Earthen plasters based on illitic soils from barrocal region of Algarve: Contributions for building performance and sustainability. *Key Engineering Materials*, 678, 64–77.
- MARGALHA, M. G.; VEIGA, R.; BRITO, J. (2007) – Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção.
- MARGALHA, M. G.; SILVA, A. S.; VEIGA, R. (2011) – The influence of slaking time on lime putty. International conference on durability of building materials and componentes.
- MATEUS, L. (2006) – Caracterização de revestimentos usados em construções de taipa no barlavento Algarvio. Dissertação de mestrado integrado em construção, Instituto superior técnico.
- MATIAS, G. (2014) – Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra.
- MATIAS, G.; FARIA, P.; TORRES, I. (2014) – Lime mortars with heat treated clays and ceramic waste: A review. *Construction and Building Materials*, 73, 125–136.
- NAVRÁTILOVÁ, E.; ROVNANÍKOVÁ, P. (2014) – Reactivity of brick powder in lime mortars. *Advanced Materials Research*, 897, 135–138.
- NEVES, C.; FARIA, O.; ROTONDARO, R.; SALAS, P.; HOFFMANN, M. (2010) – Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra - práticas de campo, Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento.

-
- NEŽERKA, V.; SLÍŽKOVÁ, Z.; TESÁREK, P.; PLACHÝ, T.; FRANKEOVÁ, D.; PETRANOVÁ, V. (2014) – Comprehensive study on mechanical properties of lime-based pastes with additions of metakaolin and brick dust. *Cement and Concrete Research*, 64, 17–29.
- NEŽERKA, V.; NĚMEČEK, J.; SLÍŽKOVÁ, Z.; TESÁREK, P. (2015) – Investigation of crushed brick-matrix interface in lime-based ancient mortar by microscopy and nanoindentation. *Cement and Concrete Composites*, 55, 122–128.
- PAPAYIANNI, I.; PACHTA, V.; STEFANIDOU, M. (2013) – Analysis of ancient mortars and design of compatible repair mortars: The case study of Odeion of the archaeological site of Dion. *Construction and Building Materials*, 40, 84–92.
- PAVIA, S.; TOOMEY, B. (2008) – Influence of the aggregate quality on the physical properties of natural feebly-hydraulic lime mortars. *Materials and Structures*, 41, 559–569.
- PIMENTA, P. (2014) – Argamassas de cal aérea e terra caulinítica; Caracterização física e química. Dissertação de mestrado, FCT NOVA
- PIMENTA, P.; FARIA, P.; SILVA, A.; JAMÚ, N. (2014) – Caracterização de argamassas de cal aérea e terra. Argamassas 2014 - I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Univ. Coimbra, 5-6 Junho de 2014 (CD, ID06).
- PINA DOS SANTOS, C.; MATÍAS, L. (2006) – Informação técnica de edifícios, ITE 50 – Coeficiente de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, Versão atualizada 2006, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- PINHO, F.; BAIÃO, M.; LÚCIO, V.; FARIA, P. (2008) – Experimental research on rubble stone masonry walls. HMC 2008 - Historical mortars conference. Lisbon, LNEC.
- REDDY, B. (2012) – Stabilised soil blocks for structural masonry in earth construction. *Modern earth buildings: Materials, engineering, construction and applications*. Woodhead Publishing Limited.
- RILEM (1980) – Water absorption under low pressure. Pipe method. Test n.ºII.4. Recommendations provisoires. Paris.
- SANTOS, A.; VEIGA, R. (2012) – Argamassas compatíveis para edifícios antigos. Engenharia para a sociedade. Investigação e inovação. Jornadas LNEC, 2012
- SANTOS, T. (2014) – Argamassas de terra para rebocos interiores; Ensaio de caracterização e influência da formulação. Dissertação de mestrado, FCT NOVA
- SANTOS, T.; FARIA, P.; SILVA, V. (2014) – Caracterização de argamassa pré-doseada de terra. I Simpósio de argamassas e soluções térmicas de revestimento, 1–12.
- STAZI, F.; NACCI, A.; TITTARELLI, F.; PASQUALINI, E.; MUNAFÒ, P. (2015) – An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments. *Journal of Cultural Heritage*, 17, 27–41.
- STEFANIDOU, M. (2016) – Use of natural pozzolans with lime for producing repair mortars. *Environmental Earth Sciences*, 75(9), 758.
-

TORRES, I.; FARIA, P.; MATIAS, G. (2014) – Incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de cal aérea. *Revista Internacional TECH ITT – Estruturas e Construção*, 35 (12), 25–36.

VASCONCELOS, G. (2005) – Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: Characterization of granites and behavior of ancient masonry shear walls. Tese de Doutorado, Universidade do Minho

VEIGA, M.; FRAGATA, A.; VELOSA, A. L.; ROSA, M.; MARGALHA, A. C. (2010) – Lime-based mortars: Viability for use as substitution renders in historical buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 4, 177–195.

VEJMELKOVÁ, E.; KEPPERT, M.; ROVNANÍKOVÁ, P.; KERŠNER, Z.; ČERNÝ, R. (2012) – Application of burnt clay shale as pozzolan addition to lime mortar. *Cement and Concrete Composites*, 34(4), 486–492.

[a] <http://maps.google.com> (consultado no dia 09 de maio de 2016)

ANEXOS

RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS

Caracterização dos materiais

- A.3 – Baridades
- A.3 e A.4 – Análise granulométrica
- A.5 – Traço em massa
- A.5 – Traço em volume

Estado fresco

- A.6 – Espalhamento e abaixamento na mesa de espalhamento
- A.6 – Relação mássica da água com ligante, agregado e o conjunto ligante e agregado

Estado endurecido

Provetes Prismáticos

- A.7 – Retração linear e volumétrica
- A.8 – Massa volúmica aparente
- A.9 – Módulo de Elasticidade Dinâmico
- A.10 – Resistência à tração por flexão e compressão simples
- A.11 – Absorção de água por capilaridade
- A.11 – Secagem

Provetes cilíndricos

- A.12 – Condutibilidade Térmica
- A.12 e 13 – Tubos de Karsten

Argamassa sobre tijolos

- A.13 e 14 – Absorção de água a baixa pressão – Tubos de Karsten (superfície vertical)
- A.14 – Absorção de água a baixa pressão – Tubos de Karsten (superfície horizontal)

Caracterização da pedra

- A.15 – Porosidade aberta
- A.15 – Massa volúmica aparente
- A.15 – Absorção por imersão
- A.19 – Resistência à compressão

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS
Baridades [g/dm³]

Material	Aferição 1	Aferição 2	Aferição 3	Média
Tf	1,302	1,290	1,294	1,295
Tr	1,318	1,319	1,331	1,323
Abc	1,501	1,499	1,523	1,508
Aba	1,416	1,426	1,434	1,425
Rc	1,118	1,134	1,126	1,126
Cal	0,365	0,364	0,364	0,364

Análise granulométrica*Terra da floresta*

Peneiro	Malha [mm]	Retido								Passado acumulado [%]
		Provete 1 (998,2g)		Provete 2 (1062,9g)		Provete 3 (1076,9g)		Média do retido [%]	Média retido acumulado [%]	
		Massa [g]	%	Massa [g]	%	Massa [g]	%			
Nº 4	4,76	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0	100,0
Nº 8	2,38	179,3	17,96	185,6	17,46	158,5	14,72	16,7	16,7	83,3
Nº 16	1,19	233,5	23,39	239,9	22,57	235,3	21,85	22,6	39,3	60,7
Nº 30	0,595	146,8	14,71	165,5	15,57	181,9	16,89	15,7	55,0	45,0
Nº 50	0,297	121,1	12,13	133,1	12,52	152,3	14,14	12,9	68,0	32,0
Nº 100	0,149	147,1	14,74	160,3	15,08	171,6	15,93	15,3	83,2	16,8
Nº 200	0,075	118,5	11,87	138,2	13,00	131,5	12,21	12,4	95,6	4,4
Refugo	0,01	51,8	5,19	40,1	3,77	45,5	4,23	4,4	99,9	0,1
Total		998,1	100,0	1062,7	100,0	1076,6	100,0	100,0		

Terra proveniente de margens do rio

Peneiro	Malha [mm]	Retido								Passado acumulado [%]
		Provete 1 (1179,9g)		Provete 2 (1085,5g)		Provete 3 (1170,9g)		Média do retido [%]	Média retido acumulado [%]	
		Massa [g]	%	Massa [g]	%	Massa [g]	%			
Nº 4	4,76	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0	100,0
Nº 8	2,38	274,5	23,26	282,7	26,04	298,8	25,52	24,9	24,9	75,1
Nº 16	1,19	345,7	29,30	324,6	29,90	342,3	29,23	29,5	54,4	45,6
Nº 30	0,595	192,4	16,31	164,6	15,16	174,3	14,89	15,5	69,9	30,1
Nº 50	0,297	132,9	11,26	110,0	10,13	127,0	10,85	10,7	80,6	19,4
Nº 100	0,149	105,7	8,96	84,4	7,78	101,8	8,69	8,5	89,1	10,9
Nº 200	0,075	69,1	5,86	57,4	5,29	60,8	5,19	5,4	94,5	5,5
Refugo	0,01	59,4	5,03	61,5	5,67	65,6	5,60	5,4	100,0	0,0
Total		1179,7	99,98	1085,2	99,97	1170,6	99,97	100,0		

Areia britada cinzenta

Peneiro	Malha [mm]	Retido							Passado acumulado [%]	
		Provete 1 (1088,6g)		Provete 2 (1026,2g)		Provete 3 (1097,4g)		Média do retido [%]		Média retido acumulado [%]
		Massa [g]	%	Massa [g]	%	Massa [g]	%			
Nº 4	4,76	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0	100,0
Nº 8	2,38	242,4	22,29	245,9	23,96	264,8	24,13	23,5	23,5	76,5
Nº 16	1,19	213,5	19,63	200,4	19,53	218,1	19,87	19,7	43,1	56,9
Nº 30	0,595	165,8	15,24	155,6	15,16	163,3	14,88	15,1	58,2	41,8
Nº 50	0,297	206,1	18,95	193,7	18,88	203,1	18,51	18,8	77,0	23,0
Nº 100	0,149	167,6	15,41	153,5	14,96	163,0	14,85	15,1	92,1	7,9
Nº 200	0,075	73,2	6,73	61,2	5,96	67,0	6,11	6,3	98,4	1,6
Refugo	0,01	19,5	1,79	15,8	1,54	17,9	1,63	1,7	100,0	0,0
Total		1088,1	100,0	1026,1	100,0	1097,2	100,0	100,0		

Areia britada amarela

Peneiro	Malha [mm]	Retido							Passado acumulado [%]	
		Provete 1 (1079,6g)		Provete 2 (1091,2g)		Provete 3 (1011,2g)		Média do retido [%]		Média retido acumulado [%]
		Massa [g]	%	Massa [g]	%	Massa [g]	%			
3/8"	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Nº 4	4,76	17,3	1,6	19,1	1,8	16,0	1,6	1,6	1,6	98,4
Nº 8	2,38	240,9	22,3	294,7	27,0	288,9	28,6	26,0	27,6	72,4
Nº 16	1,19	310,2	28,7	316,0	29,0	307,9	30,4	29,4	57,0	43,0
Nº 30	0,595	192,8	17,9	181,7	16,7	164,2	16,2	16,9	73,9	26,1
Nº 50	0,297	154,0	14,3	137,0	12,6	116,5	11,5	12,8	86,7	13,3
Nº 100	0,149	107,3	9,9	90,3	8,3	76,3	7,5	8,6	95,3	4,7
Nº 200	0,075	41,8	3,9	36,0	3,3	28,6	2,8	3,3	98,6	1,4
Refugo	0,01	15,1	1,4	16,3	1,5	12,5	1,2	1,4	100,0	0,0
Total		1079,4	99,98	1091,1	99,99	1010,9	99,97	99,98		

Resíduos de telha cerâmica moída

Peneiro	Malha (mm)	Retido							Passado acumulado [%]	
		Provete 1 (1012,4g)		Provete 2 (1058,2g)		Provete 3 (1001,0g)		Média do retido [%]		Média retido acumulado [%]
		Massa [g]	%	Massa [g]	%	Massa [g]	%			
Nº 4	4,76	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Nº 8	2,38	8,0	0,8	9,4	0,9	10,6	1,1	0,9	0,9	99,1
Nº 16	1,19	328,3	32,4	389,7	36,8	341,2	34,1	34,4	35,4	64,6
Nº 30	0,595	206,6	20,4	193,1	18,2	188,8	18,9	19,2	54,5	45,5
Nº 50	0,297	159,5	15,8	129,0	12,2	122,5	12,2	13,4	67,9	32,1
Nº 100	0,149	113,1	11,2	103,5	9,8	98,4	9,8	10,3	78,2	21,8
Nº 200	0,075	87,3	8,6	91,7	8,7	86,2	8,6	8,6	86,8	13,2
Refugo	0,01	109,1	10,8	141,7	13,4	152,9	15,3	13,1	100,0	0,0
Total		1011,9	100,0	1058,1	100,0	1000,6	100,0	100,0		

Traço em massa

Identificação	Quantidades [g]				% em relação à massa				Traço em massa [C:T:A:Rc]
	Cal	T	A	Rc	Cal	Terra	Areia	Rc	
CA	480	0	4000	0	11	0	89	0	1:0:8,3:0
CARc	480	0	4000	960	9	0	74	18	1:0:8,3:2
CTA2	525	2800	1200	0	12	62	27	0	1:5,3:2,3:0
CTA3	350	2800	1200	0	8	64	28	0	1:8:3,4:0
CTA4	263	2800	1200	0	6	66	28	0	1:10,6:4,6:0
TA	0	2800	1200	0	0	70	30	0	0:1:0,4:0

Traço volumétrico

Identificação	Quantidades [cm ³]				% em relação ao volume				Traço volumétrico [C:T:A:Rc]
	Cal	T	A	Rc	Cal	Terra	Areia	Rc	
CA	1319	0	2653	0	33	0	67	0	1:0:2:0
CARc	1319	0	2653	853	27	0	55	18	1:0:2:0,6
CTA2	1442	2162	796	0	33	49	18	0	1:1,5:0,5:0
CTA3	962	2162	796	0	25	55	20	0	1:2,2:0,8:0
CTA4	723	2162	796	0	20	59	22	0	1:3:1,1:0
TA	0	2162	796	0	0	73	27	0	0:1:0,4:0

ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Espalhamento

Identificação	Água [g]	Consistência por espalhamento [mm]						
		1	2	3	Média relativa	DP relativo	Média	DP
CA	850	158	160	162	160	2	161	2
		162	162	163	162	1		
CARc	1050	163	164	162	163	1	163	1
		162	164	165	164	2		
CTA2	1170	159	158	160	159	1	160	1
		160	162	160	161	1		
CTA3	1110	156	158	158	157	1	158	1
		160	159	158	159	1		
CTA4	1000	160	160	161	160	1	160	1
		158	160	158	159	1		
TA	800	161	162	164	162	2	163	1
		162	164	164	163	1		

Abaixamento na mesa de espalhamento

Identificação	Abaixamento [mm]		Massa volúmica [kg/dm ³]	Teor em ar [%]
	Unitário	Média		
CA	20	20	2,01	4,2
	19			
CARc	19	19	1,98	5,0
	19			
CTA2	22	22	1,91	2,5
	22			
CTA3	23	23	1,90	2,8
	22			
CTA4	23	23	1,93	3,8
	23			
TA	21	21	2,00	3,0
	20			

Relação mássica da água com ligante, agregado e ligante e agregado

Identificação	Cal [g]	T [g]	A [g]	Rc [g]	Água [g]	Relação da água com:		
						Ligante [-]	Agregados [-]	Ligante e agregados [-]
CA	480	0	4000	0	850	1,77	0,21	0,19
CARc	480	0	4000	960	1050	2,19	0,21	0,19
CTA2	525	2800	1200	0	1170	2,23	0,29	0,26
CTA3	350	2800	1200	0	1110	3,17	0,28	0,26
CTA4	263	2800	1200	0	1000	3,80	0,25	0,23
TA	0	2800	1200	0	800	0,29	0,67	0,20

ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Provetes prismáticos

Retração linear e volumétrica (14 e 121 dias)

Identificação	Provete	Rl (14 dias) [%]		Rv (14 dias) [%]		Rl (121 dias) [%]		Rv (121 dias) [%]	
		Provete	Média	Provete	Média	Provete	Média	Unitária	Média
CA_1	1	0,51	1,04	1,41	1,92	0,89	1,29	0,42	2,06
	2	0,93		2,08		1,15		2,04	
	3	1,20		1,95		1,42		2,64	
CA_2	1	1,12	1,04	2,18	1,92	1,41	1,29	2,76	2,06
	2	1,18		2,02		1,48		2,63	
	3	1,32		1,87		1,42		1,89	
CARc_1	1	0,40	0,49	0,43	0,55	0,72	0,78	0,50	0,79
	2	0,40		0,40		0,68		-0,19	
	3	0,55		0,34		0,86		0,60	
CARc_2	1	0,54	0,49	0,45	0,55	0,79	0,78	1,13	0,79
	2	0,53		0,69		0,81		0,71	
	3	0,50		0,99		0,85		2,01	
CTA2_1	1	1,69	1,93	4,38	5,02	2,02	2,25	5,00	5,30
	2	1,68		4,04		2,03		4,12	
	3	1,82		4,02		2,12		4,22	
CTA2_2	1	2,00	1,93	5,60	5,02	2,25	2,25	5,39	5,30
	2	2,08		5,82		2,43		6,45	
	3	2,28		6,26		2,65		6,59	
CTA3_1	1	1,93	2,13	3,37	3,64	2,24	2,40	4,80	4,82
	2	1,96		3,24		1,87		4,34	
	3	1,99		3,27		2,34		4,99	
CTA3_2	1	2,59	2,13	4,58	3,64	2,82	2,40	5,03	4,82
	2	2,23		3,43		2,60		4,47	
	3	2,11		3,98		2,51		5,31	
CTA4_1	1	1,80	1,81	3,14	3,27	-	2,09	-	4,28
	2	1,79		3,11		2,09		5,03	
	3	1,92		3,42		2,09		3,80	
CTA4_2	1	1,79	1,81	3,45	3,27	2,06	2,09	4,34	4,28
	2	1,66		3,46		1,96		4,36	
	3	1,94		3,07		2,25		3,88	
TA_1	1	3,54	3,18	6,61	7,13	3,70	3,23	8,02	7,26
	2	3,15		8,04		3,10		8,13	
	3	3,36		7,13		3,09		7,51	
TA_2	1	3,36	3,18	7,97	7,13	3,13	3,23	6,57	7,26
	2	2,75		7,04		3,05		6,51	
	3	2,94		5,96		3,33		6,83	

Massa volúmica aparente (14 e 121 dias)

Identificação	Provete	MV ap (14 dias) [kg/m ³]			MV ap (121 dias) [kg/m ³]		
		Provete	Média	DP	Provete	Média	DP
CA_1	1	1,89	1,91	0,01	1,79	1,81	0,01
	2	1,92			1,80		
	3	1,90			1,81		
CA_2	1	1,91	1,91	0,01	1,82	1,81	0,01
	2	1,90			1,81		
	3	1,94			1,83		
CARc_1	1	1,89	1,90	0,01	1,78	1,79	0,01
	2	1,91			1,78		
	3	1,89			1,79		
CARc_2	1	1,91	1,90	0,01	1,80	1,79	0,01
	2	1,89			1,79		
	3	1,89			1,79		
CTA2_1	1	1,83	1,83	0,02	1,70	1,68	0,02
	2	1,86			1,68		
	3	1,82			1,70		
CTA2_2	1	1,84	1,83	0,02	1,66	1,68	0,02
	2	1,84			1,67		
	3	1,79			1,67		
CTA3_1	1	1,85	1,87	0,02	1,70	1,70	0,01
	2	1,89			1,70		
	3	1,89			1,71		
CTA3_2	1	1,83	1,87	0,02	1,70	1,70	0,01
	2	1,86			1,69		
	3	1,89			1,70		
CTA4_1	1	1,90	1,89	0,02	-	1,73	0,01
	2	1,89			1,74		
	3	1,87			1,73		
CTA4_2	1	1,89	1,89	0,02	1,74	1,73	0,01
	2	1,92			1,74		
	3	1,89			1,73		
TA_1	1	1,93	1,93	0,06	1,85	1,84	0,02
	2	1,96			1,86		
	3	1,92			1,86		
TA_2	1	2,00	1,93	0,06	1,83	1,84	0,02
	2	1,94			1,80		
	3	1,81			1,83		

Módulo de elasticidade dinâmico

Identificação	Provete	Massa do provete [g]	Módulo de Elasticidade [MPa]						
			Medição				Média por provete	Média	DP
			1	2	3	4			
CA_1	1	458,528	3190	3301	3521	3249	3315	2993	171
	2	457,292	3041	3035	3350	3035	3115		
	3	461,081	2961	2881	2887	2875	2901		
CA_2	1	459,216	2941	2834	2825	2831	2858		
	2	458,164	2838	2826	2807	2821	2823		
	3	466,713	2955	2954	2942	2941	2948		
CARc_1	1	454,761	3596	3598	3584	3610	3597	3417	135
	2	461,076	3602	3511	3514	3618	3561		
	3	462,169	3643	3339	3350	3567	3475		
CARc_2	1	458,798	3243	3241	3245	3261	3248		
	2	459,674	3336	3318	3318	3355	3332		
	3	456,95	3315	3285	3276	3282	3290		
CTA2_1	1	419,71	2806	2798	2786	2798	2797	2899	132
	2	415,643	2683	2673	2718	2671	2686		
	3	422,421	3068	3058	3060	3056	3061		
CTA2_2	1	408,203	2808	2879	2917	2911	2879		
	2	405,464	2937	2947	2916	2923	2931		
	3	404,645	3043	3093	2989	3047	3043		
CTA3_1	1	420,033	2582	2605	2572	2587	2587	2481	70
	2	422,675	2458	2451	2453	2483	2461		
	3	421,609	2401	2367	2388	2407	2391		
CTA3_2	1	419,887	2618	2605	2476	2534	2558		
	2	419,444	2439	2404	2432	2402	2419		
	3	415,053	2466	2468	2458	2483	2469		
CTA4_1	1	-	-	-	-	-	-	2502	67
	2	447,033	2484	2328	2472	2476	2440		
	3	449	2582	2586	2585	2580	2583		
CTA4_2	1	449,647	2585	2568	2581	2583	2579		
	2	451,443	2491	2471	2473	2475	2478		
	3	447,112	2364	2441	2479	2436	2430		
TA_1	1	438,607	5492	5475	5474	5501	5486	5262	219
	2	441,326	5517	5520	5511	5514	5516		
	3	439,536	5324	5347	5540	5324	5384		
TA_2	1	443,382	5189	5183	5198	5217	5197		
	2	435,105	4927	4924	4902	4919	4918		
	3	438,65	5064	5075	5064	5078	5070		

Resistência à tração por flexão e compressão simples

Identificação	Provete	Ft (N)	Resistência à tração por flexão [N/mm ²]			Fc (N)	Resistência à compressão [N/mm ²]		
			Provete	Média	DP		Provete	Média	DP
CA_1	1	200,14	0,48	0,39	0,05	1290,56	0,81	0,76	0,05
	2	166,67	0,39			1081,73	0,67		
	3	153,61	0,37			1152,37	0,72		
CA_2	1	154,17	0,36			1203,39	0,75		
	2	139,04	0,32			1260,01	0,78		
	3	167,35	0,39			1356,44	0,84		
CARc_1	1	200,40	0,46	0,54	0,06	2278,39	1,41	1,25	0,09
	2	259,01	0,60			2061,43	1,28		
	3	264,90	0,61			2039,28	1,27		
CARc_2	1	211,08	0,49			1805,22	1,12		
	2	246,12	0,57			1974,81	1,23		
	3	220,89	0,52			1878,38	1,17		
CTA2_1	1	236,02	0,57	0,54	0,08	2129,54	1,33	1,27	0,07
	2	169,03	0,40			1988,82	1,24		
	3	230,14	0,55			1848,11	1,16		
CTA2_2	1	221,45	0,53			2017,70	1,26		
	2	224,53	0,55			1949,30	1,23		
	3	274,99	0,67			2183,92	1,38		
CTA3_1	1	176,88	0,42	0,43	0,04	1689,45	1,06	1,02	0,10
	2	206,03	0,49			1327,28	0,82		
	3	205,19	0,48			1588,26	0,98		
CTA3_2	1	168,47	0,40			1688,89	1,05		
	2	184,73	0,44			1788,68	1,11		
	3	154,17	0,38			1708,23	1,08		
CTA4_1	1	-	-	0,43	0,03	-	-	0,95	0,03
	2	159,50	0,37			1532,47	0,96		
	3	185,85	0,43			1578,73	0,99		
CTA4_2	1	181,64	0,42			1425,67	0,89		
	2	186,41	0,44			1563,03	0,98		
	3	202,39	0,47			1511,45	0,95		
TA_1	1	232,94	0,58	0,52	0,07	2662,42	1,68	1,52	0,20
	2	256,49	0,64			2654,57	1,68		
	3	205,75	0,52			2670,27	1,70		
TA_2	1	199,02	0,48			2366,97	1,49		
	2	163,70	0,40			1784,76	1,13		
	3	204,91	0,51			2254,84	1,43		

Absorção de água por capilaridade

Tempo [min ^{1/2}]	Média da massa absorvida [kg/m ²]					
	CA	CARc	CTA2	CTA3	CTA4	TA
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,00	2,5	1,3	1,3	1,0	1,0	0,5
1,41	3,5	2,1	2,1	1,7	1,8	0,7
1,73	4,2	2,7	2,8	2,2	2,5	0,8
2,00	4,8	3,2	3,4	2,7	3,0	0,9
2,24	5,4	3,6	3,9	3,2	3,5	1,0
3,16	7,6	5,2	5,9	4,9	5,4	1,5
3,87	9,1	6,4	7,4	6,2	6,9	1,8
5,48	9,5	8,8	10,7	9,2	10,0	2,5
7,75	9,5	9,2	11,9	11,3	11,3	3,8
10,95	9,6	9,2	11,9	11,3	11,3	5,6
13,42	9,6	9,3	11,9	11,4	11,4	7,1
15,49	9,6	9,3	12,0	11,4	11,4	8,3
17,32	9,6	9,3	12,1	11,4	11,5	9,2
CC [kg/m ² .seg ^{1/2}]	0,30	0,24	0,28	0,22	0,26	0,05
VA [kg/m ²]	9,6	9,3	12,1	11,4	11,5	9,2

Ensaio de secagem

Tempo [horas]	Média das pesagens [kg/m ²]					
	CA	CARc	CTA2	CTA3	CTA4	TA
0	9,4	9,1	11,7	11,3	11,3	9,2
1	9,2	9,0	11,5	11,1	11,1	9,1
2	9,2	8,9	11,5	11,0	11,0	9,0
3	9,1	8,8	11,4	10,9	10,9	8,9
4	9,0	8,7	11,4	10,9	10,8	8,8
5	8,9	8,6	11,3	10,8	10,7	8,7
24	7,5	7,2	10,1	9,5	9,5	7,5
48	5,9	5,5	8,7	8,0	8,0	6,1
72	4,4	3,8	7,5	6,6	6,5	4,7
96	3,0	2,5	6,3	5,1	5,1	3,3
120	1,8	1,6	5,2	3,7	3,7	2,3
144	1,1	1,0	4,0	2,5	2,4	1,3
168	0,6	0,7	2,8	1,5	1,4	0,7
192	0,3	0,5	1,8	0,9	0,9	0,4
216	0,2	0,3	1,2	0,6	0,5	0,2
240	0,0	0,1	0,8	0,3	-	-
264	0,0	0,0	-	-	0,1	0,0
288	-	-	0,3	0,1	-	-
312	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0
336	-	-	0,0	0,0	-	-
360	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0
384	-	-	0,0	0,0	-	-
408	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TS1 [kg/(m ² .h)]	0,09	0,09	0,07	0,10	0,11	0,11
TS2 [kg/(m ² .h)]	0,9	0,95	1,12	1,15	1,16	0,96
IS [-]	0,18	0,18	0,34	0,23	0,22	0,16

Provetes cilíndricos*Condutibilidade térmica*

Identificação	Provete	Condutibilidade Térmica λ [W/(m.K)]		
		Unitário	Média	DP
CA	1	0,76	0,78	0,02
	2	0,81		
	3	0,78		
CARc	1	0,71	0,71	0,00
	2	0,71		
	3	0,71		
CTA2	1	0,71	0,70	0,02
	2	0,67		
	3	0,72		
CTA3	1	0,71	0,71	0,00
	2	0,71		
	3	0,71		
CTA4	1	0,75	0,75	0,02
	2	0,72		
	3	0,78		
TA	1	1,1	1,1	0,05
	2	0,99		
	3	1,1		

Absorção de água a baixa pressão – Tubos de Karsten

Identificação	Tubo	Intervalos de tempo [min]					
		5	10	15	30	45	60
		Absorção de água por unidade de superfície (W_i) [ml/cm²]					
CA	1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7
	2	-	-	-	-	-	-
	3	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,3
	<i>Média</i>	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	1,0
	<i>DP</i>	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
CARc	1	0,4	0,7	0,9	1,4	1,9	2,4
	2	0,5	0,9	1,2	1,9	2,6	3,1
	3	0,3	0,5	0,7	1,1	1,6	2,0
	<i>Média</i>	0,4	0,7	0,9	1,5	2,0	2,5
	<i>DP</i>	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
CTA2	1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	1,1
	2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9
	3	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,7
	<i>Média</i>	0,2	0,3	0,3	0,5	0,7	0,9
	<i>DP</i>	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
CTA3	1	0,3	0,5	0,6	1,0	1,3	1,6
	2	0,3	0,5	0,7	1,1	1,5	1,9
	3	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,2
	<i>Média</i>	0,3	0,4	0,6	1,0	1,3	1,6
	<i>DP</i>	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3

(continuação)

Identificação	Tubo	Intervalos de tempo [min]					
		5	10	15	30	45	60
		Absorção de água por unidade de superfície (W _i) [ml/cm ²]					
CTA4	1	0,2	0,4	0,6	1,1	1,6	2,0
	2	0,3	0,4	0,6	1,0	1,3	1,6
	3	0,2	0,4	0,6	1,0	1,3	1,6
	<i>Média</i>	0,2	0,4	0,6	1,0	1,4	1,7
	<i>DP</i>	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2
TA	1	0,2	0,4	0,5	0,8	1,0	1,3
	2	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	1,1
	3	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	1,2
	<i>Média</i>	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,2
	<i>DP</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Granito	1	0,04	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11
	2	0,02	0,04	0,04	0,06	0,06	0,09
	<i>Média</i>	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10
	<i>DP</i>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Tijolo	1	0,15	0,26	0,37	0,61	0,80	0,99
	2	0,13	0,25	0,34	0,61	0,81	1,01
	<i>Média</i>	0,14	0,25	0,35	0,61	0,80	1,00
	<i>DP</i>	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01

Provetes de argamassa sobre tijolo*Absorção de água a baixa pressão – Tubos de Karsten (superfície vertical)*

Identificação	Tubo	Intervalos de tempo [min]					
		5	10	15	30	45	60
		Absorção de água por unidade de superfície (W _i) [ml/cm ²]					
CA	1	0,9	1,4	1,9	3,2	4,3	5,4
	2	0,7	1,2	1,6	2,6	3,5	4,5
	<i>Média</i>	0,8	1,3	1,7	2,9	3,9	4,9
	<i>DP</i>	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
CARc	1	1,8	2,8	3,5	5,6	7,2	8,7
	2	1,7	2,6	3,4	5,4	7,1	8,6
	<i>Média</i>	1,8	2,7	3,5	5,5	7,2	8,7
	<i>DP</i>	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
CTA2	1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5
	2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
	<i>Média</i>	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	<i>DP</i>	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
CTA3	1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6
	<i>Média</i>	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7
	<i>DP</i>	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3

(continuação)

Identificação	Tubo	Intervalos de tempo [min]					
		5	10	15	30	45	60
		Absorção de água por unidade de superfície (W _i) [ml/cm ²]					
CTA4	1	0,3	0,5	0,6	1,1	1,6	2,0
	2	0,3	0,5	0,7	1,1	1,5	1,7
	<i>Média</i>	0,3	0,5	0,7	1,1	1,5	1,9
	<i>DP</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
TA	1	0,2	0,3	0,3	0,6	0,9	1,2
	2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,1
	<i>Média</i>	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,2
	<i>DP</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1

Absorção de água a baixa pressão – Tubos de Karsten (superfície horizontal)

Identificação	Tubo	Intervalos de tempo [min]					
		5	10	15	30	45	60
		Absorção de água por unidade de superfície (W _i) [ml/cm ²]					
CA	1	0,7	1,2	1,6	2,7	3,8	4,9
	2	0,8	1,3	1,7	2,9	4,0	5,1
	<i>Média</i>	0,7	1,2	1,7	2,8	3,9	5,0
	<i>DP</i>	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CARc	1	1,9	2,9	3,7	5,9	7,7	9,3
	2	1,9	2,9	3,8	6,0	8,0	9,7
	<i>Média</i>	1,9	2,9	3,7	5,9	7,8	9,5
	<i>DP</i>	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2
CTA2	1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	1,1
	2	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	1,1
	<i>Média</i>	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	1,1
	<i>DP</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CTA3	1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,0
	2	0,3	0,5	0,7	1,3	1,8	2,2
	<i>Média</i>	0,2	0,4	0,5	1,0	1,3	1,6
	<i>DP</i>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
CTA4	1	0,3	0,5	0,7	1,3	1,7	2,2
	2	0,3	0,4	0,6	1,0	1,4	1,7
	<i>Média</i>	0,3	0,5	0,7	1,1	1,6	1,9
	<i>DP</i>	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
TA	1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,1
	2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,1
	<i>Média</i>	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,1
	<i>DP</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

CARACTERIZAÇÃO DO GRANITO

Porosidade aberta e massa volúmica

Identificação	Provete	Massa seca [g]	Massa imersa [g]	Massa saturada [g]	MV aparente (V_b) [kg/m ³]			Porosidade aberta (P_o) [%]		
					Unitário	Média	DP	Unitário	Média	DP
Granito	1	112,50	69,87	114,57	2512	2512	21	4,64	4,62	0,74
	2	133,28	82,78	135,69	2514			4,54		
	3	94,88	58,97	96,86	2499			5,22		
	4	82,52	51,24	83,72	2536			3,67		
	5	71,48	44,40	72,47	2542			3,53		
	6	87,82	54,49	89,89	2476			5,84		
	7	100,07	62,22	101,78	2524			4,32		
	8	113,58	70,51	115,95	2495			5,22		

Absorção de água por imersão

Identificação	Provete	Massa seca m_a [g]	Pesagens [g]				Massa saturada m_s [g]	Ab [%]		
			0 horas	48 horas	72 horas	216 horas		Unitário	Média	DP
Granito	1	385,69	385,69	387,48	388,33	389,53	389,53	1,0	1,0	0,0
	2	334,16	334,16	336,13	336,71	337,47	337,47	1,0		
	5	359,24	359,24	360,79	361,40	362,52	362,52	0,9		
	3	371,67	371,67	376,37	376,47	377,02	377,02	1,4	1,6	0,2
	4	342,31	342,31	347,63	347,59	348,43	348,43	1,8		

Resistência à compressão

Identificação	Provete	Média das áreas ⁽¹⁾ [mm ²]	Força [kN]	Resistência à compressão [N/mm ²]		
				Provete	Média	DP
Granito	1	2874,3	38	13,22	⁽²⁾	
	2	2580,1	132	51,16	35,92	8,82
	3	2721,7	84	30,86		
	4	2735,8	82	29,97		
	5	2807,8	89	31,70		

⁽¹⁾ Uma vez que os provetes são irregulares, foi determinada a média das áreas em contacto com os pratos da máquina

⁽²⁾ Tendo em conta que o resultado do provete 1 foi muito inferior em relação aos restantes, este não foi tido em conta para o cálculo da média e do desvio padrão.