



Diogo Daniel Duarte Val

Licenciado em Engenharia Civil

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

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

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

Júri:

Presidente: Doutora Teresa Santana

Arguente: Doutor Vasco Rato

Vogal: Doutora Paulina Faria



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Maio de 2015

“Copyright” Diogo Daniel Duarte Val, 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

Ao terminar esta dissertação, é meu desejo expressar todo o meu agradecimento aos que contribuíram para a sua realização:

Primeiramente à Professora Doutora Paulina Faria, orientadora deste trabalho, pela disponibilidade desde o primeiro momento para a orientação deste trabalho, por todo o apoio prestado, conhecimentos e sugestões partilhadas e pelo interesse transmitido ao longo da elaboração da dissertação.

Ao Eng.º Vítor Silva pela ajuda em toda a campanha experimental desta dissertação, pelas sugestões construtivas, discussões de pontos de vista e por toda a simpatia e amizade demonstradas.

À FRADICAL - Fábrica de Transformação de Cal, Lda e em particular ao Eng. Fernando Cartaxo, aos Arq. Alina Jerónimo e Paulo Fernandes pela colaboração no desenvolvimento da solução construtiva e na execução de grande parte dos provetes ensaiados.

Aos meus colegas Davide Malheiro, João Nabais, Ana Lobato e Rui Piteira pela ajuda concedida ao longo da campanha experimental.

Desejo ainda expressar o meu agradecimento a todos aqueles que foram essenciais neste percurso:

Aos meus colegas e amigos Telma Henriques, André Moreno, André Dias, Marli Silva, Joana Guerreiro, Diogo Ferreira, Davide Malheiro, Fábio Isidro, Joana Isidro, Fábio Nunes, Sara Figueiredo e Joana Caleço por todos os momentos passados juntos ao longo desta experiência.

Ao meu irmão Hugo Val, pelo apoio e por todas as conversas, trocas de ideias ao longo do meu curso e pela grande amizade.

À minha família em especial aos meus pais, Rui do Val e Belmira Duarte, por me terem dado a oportunidade de percorrer todo este percurso académico e me apoiarem em todos os momentos e decisões da minha vida.

RESUMO

Nas últimas décadas, a construção em terra tem atraído bastante interesse por todo o mundo devido às suas características de eco-eficiência no contexto da construção sustentável. Tal deve-se ao facto da terra ser geralmente um material abundantemente disponível no local de construção, por exigir pouca energia e recursos para ser utilizada como material de construção mas também por, quando utilizada nos elementos construtivos, contribuir para um ambiente interior saudável e confortável devido à sua elevada massa, inércia térmica e capacidade de regulação natural da humidade relativa. Tradicionalmente e por todo o mundo, as técnicas utilizadas para a construção de paredes de terra são variadas e adaptadas de acordo com o tipo de terra existente, o clima e a cultura das populações. Contudo é notória a escassez de conhecimento científico relativo às tecnologias de paredes de terra, pelo que se torna necessário aprofundá-lo. Interessa ainda racionalizar processos e técnicas construtivas tornando-as competitivas para a indústria da construção atual.

Neste contexto foi desenvolvida uma solução construtiva de paredes monolíticas com base em terra com cal aérea, canas e fibras de canas. Esta solução é particularmente interessante pela facilidade de construção, que permite a sua execução por mão-de-obra pouco especializada, podendo dessa forma promover a criação de emprego e resolver carências habitacionais em determinadas regiões.

Nesta dissertação pretende-se contribuir para a otimização desta solução construtiva através da caracterização de provetes dos materiais utilizados, nos quais se variaram as proporções e alguns dos constituintes. Verificou-se que as resistências mecânicas podem ser particularmente controladas através da proporção (e tipo) de constituintes e que a solução apresenta menor massa volúmica e maior resistência térmica comparativamente a outras soluções de paredes de terra.

Termos chave: Terra, construção sustentável, cal aérea, fibra vegetal, caracterização.

ABSTRACT

In the last decades, earth construction has attracted considerable interest worldwide due to their eco-efficiency features in the context of sustainable construction. That is because earth is generally an abundantly available material on the construction site, by requiring low energy and resources to be used as a building material but also because when used in constructive elements it allows an healthy and comfortable indoor climate because of its high mass, thermal inertia and natural ability to control relative humidity. Traditionally and throughout the world, techniques used to build earth walls are varied and adapted according to the type of existing earth, climate and culture of the people. However it is notorious the lack of scientific knowledge relating to earth wall technologies, and it is therefore necessary to deepen it. It is also important to streamline processes and construction techniques to make earth walls competitive for the current construction industry.

In this context a constructive solution of monolithic walls based on land with air lime, reeds and reeds fibers was developed. This solution is particularly interesting for its ease of implementation, which allows walls to be built by non-specialized hand labor and can thus promote job creation and address housing needs in certain regions.

This thesis aims to contribute to the optimization of this constructive solution through the characterization of samples of the materials used, in which the proportions and type of constituents was varied. It was found that mechanical strength may be particularly controlled through the proportion (and type) of the constituents and that the presented solution has lower density and higher heat resistance compared to other earth wall solutions.

Key words: Earth, sustainable construction, air lime, vegetal fiber, characterization.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE QUADROS	xi
SIMBOLOGIA	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e metodologia	2
1.3 Organização da dissertação.....	3
2 TERRA NA CONSTRUÇÃO	5
2.1 Estabilização da terra	5
2.2 Terra com adição de fibras.....	22
2.3 Soluções construtivas alternativas	28
2.4 Síntese.....	32
3 CAMPANHA EXPERIMENTAL.....	35
3.1 Materiais, provetes e cura	35
3.2 Caracterização experimental – Procedimentos e resultados	38
3.2.1 Análise granulométrica.....	38
3.2.2 Baridade.....	39
3.2.3 Massa volúmica aparente dos provetes.....	40
3.2.4 Condutibilidade térmica e resistência térmica	42
3.2.5 Módulo de elasticidade dinâmico e resistências à tração por flexão e à compressão.....	46
3.2.6 Absorção de água por capilaridade e secagem	50
3.2.7 Permeabilidade ao vapor de água	54
3.2.8 Adsorção de vapor de água.....	56
3.3 Síntese dos resultados	58
3.4 Discussão dos resultados	63
3.4.1 Características físicas	63
3.4.2 Características mecânicas	65
4 CONCLUSÕES.....	67
4.1 Conclusões gerais	67
4.2 Desenvolvimentos futuros	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXO – Resultados individuais da campanha experimental	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Resistência à compressão e à flexão das amostras em função da percentagem de estabilizador adicionado (Degirmenci, 2008).....	7
Figura 2.2 - Resistência à compressão em cubos de 5 cm de aresta de amostras a 53 dias com 6% de cal, 6% de cimento Portland, 6% de gesso, 2% de mucilagem de nopal desidratado e amostra natural (Molina et al., 2012)	11
Figura 2.3 - Resistência à flexão em prismas de 4 x 4 x 16 cm de amostras a 53 dias com 6% de cal, 6% de cimento Portland, 6% de gesso, 2% de mucilagem de nopal desidratado e amostra natural (Molina et al., 2012).....	11
Figura 2.4 - Resistência à tração simples de amostras a 28 dias com 6% de cal, 6% de cimento Portland, 6% de gesso, 2% de mucilagem de nopal desidratado e amostra natural (Molina et al., 2012)	11
Figura 2.5 - Curvas granulométricas da terra, areia, mistura de 60% de terra e 40% de areia e ideal (Pekmezci et al., 2012).....	13
Figura 2.6 - Humidade interior (Inner) e exterior (Outer) no edifício experimental 1 (1983) (Pekmezci et al., 2012)	13
Figura 2.7 - Temperaturas interiores e exteriores no edifício experimental 1 (1983) (Pekmezci et al., 2012)	14
Figura 2.8 - Absorção capilar (Pekmezci et al., 2012)	14
Figura 2.9 - Altura de água atingida por absorção capilar (Pekmezci et al., 2012).....	14
Figura 2.10 - Retração linear (Pekmezci et al., 2012)	15
Figura 2.11 - Porosimetria por intrusão de mercúrio (Pekmezci et al., 2012).....	15
Figura 2.12 - Resistência à compressão (Pekmezci et al., 2012).....	16
Figura 2.13 - Resistência ao corte e módulo de rigidez (Pekmezci et al., 2012).....	16
Figura 2.14 - Granulometria da terra usada (Mattone e Bignamini, 2012)	17
Figura 2.15 - Absorção de água por capilaridade (Mattone e Bignamini, 2012)	17
Figura 2.16 - Teste de erosão por spray (Mattone e Bignamini, 2012)	18
Figura 2.17 - Resultados do teste de espectrofotometria (ΔL – Variação de brilho; Δa e Δb – coordenadas cromáticas) (Mattone e Bignamini, 2012)	18
Figura 2.18 - Resultados do teste de espectrofotometria (ΔE – diferença de cor total) (Mattone e Bignamini, 2012)	19
Figura 2.19 - Tensão na interface amostra-adobe em função da espessura da amostra (Vargas et al., 2008)	19
Figura 2.20 - Resultados dos testes de tensão indireta em blocos de adobe com diferentes solos estabilizados (Vargas et al., 2008)	20
Figura 2.21 - Resultados do ensaio de compressão diagonal (coeficiente de recuperação) (Vargas et al., 2008)	20

Figura 2.22 - Ensaio à compressão para as misturas A1 (cimo, esquerda), A2 (cimo, direita), A3 (meio, esquerda), A4 (meio direita) e A5 (baixo, centro) (Yetgin et al., 2008)	23
Figura 2.23 - Ensaio à compressão das misturas sem fibras (Yetgin et al., 2008)	23
Figura 2.24 - Ensaio à tração para as amostras com 0,6% de fibras (esquerda) e sem fibras (direita) (Yetgin et al., 2008)	24
Figura 2.25 - Condutibilidade térmica das amostras (Faria e Santos, 2014)	25
Figura 2.26 - Curvas de capilaridade (Faria e Santos, 2014).....	26
Figura 2.27 - Curva de secagem (Faria e Santos, 2014).....	27
Figura 2.28 - Fatores de resistência ao vapor de água (μ) e a espessura da camada de ar de difusão ao vapor de água equivalente (S_d) (Faria e Santos, 2014).....	27
Figura 2.29 - Adsorção e desadsorção das amostras (Faria e Santos, 2014)	28
Figura 2.30 - Exemplos da aplicação de canas e argamassa na conceção de coberturas (Martínez-Gabarrón et al., 2014)	29
Figura 2.31 - Exemplos de modificações usando canas com 8-10 mm de diâmetro e diferentes arranjos de arame (a), canas com 10-12 mm de diâmetro com ranhuras (b) e incorporação de fibras de esparto na argamassa (c) (Martínez-Gabarrón et al., 2014)	29
Figura 2.32 - Esquemas dos modelos estudados (Angulo-Ibáñez et al., 2012)	31
Figura 2.33 - Cargas de colapso (a) e valores de referência (b) (Angulo-Ibáñez et al., 2012).....	32
Figura 3.1 – Provetes e ensaios realizados	37
Figura 3.2 - Curva granulométrica a seco das terras e do areão	39
Figura 3.3 - Medição das dimensões dos provetes com recurso a craveira digital de precisão 0,01 mm.....	40
Figura 3.4 - Massa volúmica dos provetes	41
Figura 3.5 - Ensaio de condutibilidade térmica nos provetes 3 e equipamento ISOMET 2104.....	42
Figura 3.6 - Condutibilidade térmica dos provetes.....	43
Figura 3.7 - Aproximação adoptada para cálculo da resistência térmica	44
Figura 3.8 - Resistência térmica para paredes de 30 cm de espessura com base na condutibilidade térmica dos provetes com as diferentes argamassas	46
Figura 3.9 - Equipamento “ZEUS Resonance Meter” e provete em ensaio	47
Figura 3.10 - Equipamento Zwick/Rowell Z050 em ensaio de resistência à tração por flexão dos provetes do tipo R_3 (esq.) e tipo R_4 (dir.)	48
Figura 3.11 - Ensaio de resistência à compressão	48
Figura 3.12 - Módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão R_t e resistência à compressão R_c	49
Figura 3.13 - Patamares no ensaio de resistência à flexão de um provete W_3	50
Figura 3.14 - Provelte do tipo R_3_SE impermeabilizado	51
Figura 3.15 - Curvas de capilaridade.....	51

Figura 3.16 - Provetes do tipo 3 durante o ensaio de secagem.....	53
Figura 3.17 - Curvas de secagem	53
Figura 3.18 - Representação dos dois métodos possíveis para realizar o ensaio de resistência à difusão ao vapor de água: método da tina seca ou método da tina húmida	54
Figura 3.19 - Preparação da cápsula com água e algodão (à esquerda); conjunto de ensaio (à direita)	54
Figura 3.20 - Ensaio de permeabilidade ao vapor de água	56
Figura 3.21 - Provetes da tipologia 1 (à esquerda) e da tipologia 2 (ao centro); provetes na câmara climática para ensaio de adsorção do vapor de água (à direita)	57
Figura 3.22 - Curva de adsorção.....	57

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Caracterização de paredes de betão e de terra estabilizada com gesso (adaptado de Isik e Tulbentci, 2008).....	5
Quadro 2.2 - Características do solo em estudo (adaptado de Degirmenci, 2008).....	6
Quadro 2.3 - Composição química do fosfogesso e do gesso natural (adaptado de Degirmenci, 2008).....	6
Quadro 2.4 - Caracterização das amostras de adobe estabilizado com fosfogesso (adaptado de Degirmenci, 2008)	7
Quadro 2.5 - Efeito da adição de gesso nos limites de Atterberg (adaptado de W. Martínez-Molina et al., 2010).....	8
Quadro 2.6 - Condições dos ensaios realizados (adaptado de W. Martínez-Molina et al., 2010).....	8
Quadro 2.7 - Resistências mecânicas obtidas, convertidas em unidades SI (adaptado de W. Martínez-Molina et al., 2010).....	8
Quadro 2.8 - Relações entre as resistências mecânicas, para o caso do betão hidráulico, segundo bibliografia recolhida na execução do estudo (adaptado de W. Martínez-Molina et al., 2010).....	9
Quadro 2.9 - Relações entre as resistências mecânicas, para o caso de adobe estabilizado com gesso, obtidas na execução do estudo (adaptado de W. Martínez-Molina et al., 2010)	9
Quadro 2.10 - Valores de potencial de hidrogénio obtidos (adaptado de Molina et al., 2012)	9
Quadro 2.11 - Limites de Atterberg e classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) para adição de gesso (adaptado de Molina et al., 2012).....	10
Quadro 2.12 - Limites de Atterberg e classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) para adição de nopal (adaptado de Molina et al., 2012).....	10
Quadro 2.13 - Limites de Atterberg e classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) para adição de cal (adaptado de Molina et al., 2012).....	10
Quadro 2.14 - Limites de Atterberg e classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) para adição de cimento (adaptado de Molina et al., 2012).....	10
Quadro 2.15 - Resistência à compressão aos 28 dias (adaptado de Fopossi, Mutuku e Ngapgue, 2014)	12
Quadro 2.16 - Condutibilidade térmica (adaptado de Pekmezci, Kafesçioğlu e Agahzadeh, 2012).....	14
Quadro 2.17 - Módulo de elasticidade (adaptado de Pekmezci, Kafesçioğlu e Agahzadeh, 2012)	16
Quadro 2.18 - Composição das amostras estudadas (adaptado de Mattone e Bignamini, 2012)	17
Quadro 2.19 - Origem da mucilagem, região de uso e tipo de uso (adaptado de Kita, 2013).....	21
Quadro 2.20 - Propriedades e mais-valias da mucilagem vegetal enquanto modificador ou consolidante em argamassas de cal ou terra (adaptado de Kita, 2013).....	22
Quadro 2.21 - Caracterização da argamassa de cada mistura (adaptado de Yetgin, ÇAVDAR e Çavdar 2008).....	22
Quadro 2.22 - Composição volumétrica das amostras (adaptado de Faria e Santos, 2014).....	24
Quadro 2.23 - Caracterização das argamassas no estado fresco (adaptado de Faria e Santos, 2014)	25

Quadro 2.24 - Coeficiente de capilaridade, taxa de secagem e índice de secagem (adaptado de Faria e Santos, 2014).....	26
Quadro 2.25 - Resistência à flexão dos provetes em MPa (adaptado de Martínez Gabarrón et al., 2014)	30
Quadro 2.26 - Cargas de colapso e valores de referência (adaptado de Angulo-Ibáñez et al., 2012)	31
Quadro 3.1 - Traços volumétricos das argamassas em estudo	35
Quadro 3.2 - Provetes, dimensões e ensaios realizados.....	36
Quadro 3.3 - Peneiros utilizados e respectivas dimensões	38
Quadro 3.4 - Baridade	40
Quadro 3.5 - Valores de todo o cálculo da resistência térmica do provete R_4_C	45
Quadro 3.6 - Coeficiente de capilaridade CC, taxa de secagem TS e índice de secagem IS às 200 horas.....	52
Quadro 3.7 - Pressão de saturação em função da temperatura	55
Quadro 3.8 - Síntese dos resultados obtidos para os provetes R e B.....	59
Quadro 3.9 - Síntese dos resultados obtidos para os provetes W e Y	61
Quadro 3.10 - Síntese dos resultados obtidos para os provetes G e P	61
Quadro 4.1 - Comparação com resultados mecânicos de bibliografia	65

SIMBOLOGIA

Provetes:

R - Provetes de argamassa R, constituída por terra T1, areão, cal aérea, pozolana e fibras de cana

B - Provetes de argamassa B, constituída por terra T1, o dobro do areão, cal aérea, pozolana e mais fibras de cana

W - Provetes de argamassa W, constituída por terra T1, cal aérea, pozolana e fibras de cana

Y - Provetes de argamassa Y, constituída por terra T1, o triplo da cal aérea, pozolana e metade das fibras de cana

G - Provetes de argamassa G, constituída por terra T1, cal aérea, pozolana e o dobro das fibras de cana face aos provetes Y

P - Provetes de argamassa P, constituída por terra T2, areão, cal aérea, pozolana e fibras de cana

_1 - Provetes circulares com 90 mm de diâmetro e 20 mm de espessura

_2 - Provetes prismáticos com 30x100x200 [mm³]

_3 - Provetes prismáticos com 40x40x160 [mm³]

_4 - Provetes prismáticos com 100x100x200 [mm³]

_5 - Provetes prismáticos com 150x150x150 [mm³]

_SE - Provetes de argamassa com secante

_SF - Provetes de argamassa sem fibras (todos os restantes têm fibras)

_C - Provetes de argamassa com canas

Ensaio/propriedades:

MV - Massa volúmica

λ - Condutibilidade térmica

RT - Resistência térmica

MED - Módulo de elasticidade dinâmico

Rt - Resistências à tração por flexão

Rc - Resistência à compressão

CC - Coeficiente de capilaridade

TS - Taxa de secagem

IS - Índice de secagem

Pva - Permeabilidade ao vapor de água

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A preocupação, cada vez mais evidente, com o ambiente e os recursos energéticos, e a legislação recente neste sentido, leva à necessidade do desenvolvimento de soluções construtivas que permitam minorar o impacto ambiental e o consumo de materiais transformados, a energia utilizada para a construção e para a manutenção de condições de conforto. Segundo Joseph e Tretsiakova-McNally (2010) a indústria da construção e a utilização dos edifícios são os maiores consumidores de energia e emissores de gases de efeito estufa, tanto nos países desenvolvidos como em desenvolvimento. Na Europa, o uso global de energia gasta pelos edifícios é responsável por até 50% das emissões de dióxido de carbono. No entanto, diferentes materiais e elementos construtivos apresentam energias incorporadas muito distintas. Para se ter uma ideia, a taipa tem uma energia incorporada de 450 MJ/ton e uma concentração de carbono de 24 kg/ton, ao passo que o betão tem uma energia de 990 MJ/ton e uma concentração de carbono de 134 kg/ton.

A terra e materiais semelhantes são dos mais antigos materiais de construção. De acordo com Angulo-Ibáñez et al. (2012) estes materiais são utilizados na construção há mais de 11.000 anos servindo como exemplos a cidade de Jericó, os Zigurates da Mesopotâmia, a cidade de Atenas, a Grande Muralha da China e as cidades Andinas. No entanto, existem vestígios que provam que mesmo no território atual de Portugal a terra já era utilizada como material de construção aplicado através de diversas técnicas pelo menos desde o período calcolítico (Bruno e Faria, 2008; Bruno et al., 2010).

No entanto o uso de terra enquanto material de construção tem sido rejeitado por várias ideias pré-concebidas a seu respeito. Uma dessas ideias reside no facto de a viabilidade da terra se limitar a climas quentes e áridos. Outra ideia pré-concebida depreende-se com as suas fracas características mecânicas, o que é verdade quando comparada com materiais como o betão.

Na 2ª metade do século XX, a arquitetura e construção de edifícios com terra foram praticamente abandonadas e subvalorizadas em Portugal. A falta de conhecimento das propriedades deste material e a rejeição desta arquitetura por parte da sociedade, associando-a a situações de pobreza, estão entre as principais causas do abandono e substituição da arquitetura com terra vernacular em Portugal (Fernandes e Varum, 2011). No entanto a situação tem-se vindo a alterar, por um lado devido a um maior conhecimento de tecnologias construtivas que, associadas à construção em terra, podem contribuir para controlar as condicionantes mecânicas e face à ação da água; por outro lado, por um maior conhecimento de aspetos de eco-eficiência.

Nesse sentido têm vindo a ser desenvolvidas diversas tecnologias construtivas eco-eficientes de paredes, algumas recuperando tecnologias vernaculares, como as paredes monolíticas de taipa ou terra empilhada (*cob*) e de alvenarias de adobe ou de outros blocos de terra (Miccoli et al., 2014), e outras mais alternativas, como sejam as alvenarias de fardos de palha (Thomson e Walker, 2014).

Numa parceria entre a Fradical – Fábrica de Transformação de Cal, Lda e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa foi desenvolvida uma solução construtiva de paredes monolíticas com base em terra com cal aérea, fibras de canas e as próprias canas.

Embora não faça parte integrante do presente trabalho, refere-se que para a execução destas paredes é realizada uma fundação direta constituindo um soco de betão. Este pode ser executado com cal aérea hidrofugada, em substituição de cimento, ou exigir a aplicação de um corte hídrico colocado antes do arranque da parede. Por forma a conferir contraventamento, são inseridos prumos verticais, não recuperáveis, de madeira a meia espessura do soco. A disposição destes prumos será espaçada, sendo contudo necessários prumos nas esquinas e sempre que seja espectável o término do comprimento das canas dispostas no interior das paredes. Lateralmente à fundação e de cada lado, espaçados de cerca de 2 m, são colocados outros prumos de madeira, estes provisórios e apenas destinados à fase construtiva. Colhem-se e preparam-se canas (*arundo donax*, vulgo cana-do-reino), sendo algumas deixadas secar integras enquanto outras são estraçalhadas para serem reduzidas a fibras de dimensões variáveis. É também preparada uma argamassa maioritariamente de terra mas com uma pequena percentagem de cal aérea em pasta, pozolana artificial (com base em metacaulino e pó de tijolo), por vezes uma areia grossa e fibras das canas. Para a execução da alvenaria começa-se por colocar uma camada de argamassa de terra e fibras sobre o soco da fundação, dispendo-se em seguida canas lado a lado, no sentido longitudinal da parede, confinadas lateralmente pelos prumos laterais. Esta aplicação de camadas é repetida sucessivamente ao longo de todo o alinhamento da parede, até se atingir a sua altura final.

Numa etapa preliminar deste desenvolvimento procedeu-se à formulação de diversas argamassas de terra, com distintas proporções dos constituintes. Para além dos constituintes mencionados, nalgumas formulações foi ainda incluído um secante, para avaliar o seu contributo para o comportamento da argamassa, no sentido de acelerar o endurecimento da parede na fase de obra.

1.2 Objetivos e metodologia

O presente estudo tem como objetivo contribuir para um melhor conhecimento das características do material utilizado na execução de uma solução construtiva de paredes monolíticas de terra empilhada, tipo cob aligeirado, realizada com base em argamassa de terra estabilizada com pequena percentagem de cal aérea e grande percentagem de fibras de canas, eventualmente ainda com areia grossa e secante, e que em obra é aplicada juntamente com canas.

Para tal foi executada uma campanha experimental por forma a caracterizar os materiais utilizados e provetes só de argamassa de terra (com e/ou sem fibras de canas) e provetes de argamassa de terra com fibras e com canas. A caracterização efetuada abrangeu a determinação de propriedades físicas, mecânicas e higroscópicas dos provetes em estudo.

Com base nos resultados da caracterização obtidos é possível otimizar a solução construtiva desenvolvida.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação foi dividida em 5 capítulos, constituindo a bibliografia e os anexos capítulos independentes.

No primeiro e presente capítulo encontra-se a introdução, que inclui o enquadramento do tema, os objetivos que se pretendem atingir com a realização deste trabalho e a organização da presente dissertação.

Num segundo capítulo encontra-se o estado atual dos conhecimentos no âmbito do tema da dissertação que abrange a bibliografia pesquisada, dividida por tópicos relacionados com as diferentes utilizações da terra na construção, tais como a estabilização de terra e introdução de fibras em argamassas de terra.

No terceiro capítulo são identificados o tipo de provetes que vão ser caracterizados ao longo da dissertação, os ensaios experimentais que foram realizados a apresentação e análise dos resultados obtidos e a discussão dos mesmos cruzando os resultados dos vários ensaios realizados para a caracterização dos provetes, comparando-os com resultados e gamas de valores obtidos em referências bibliográficas consultadas.

No quarto e último capítulo, apresenta-se uma síntese dos principais resultados tratados ao longo do trabalho, bem como temas de trabalhos futuros passíveis de serem realizados no âmbito do tema desta dissertação.

No anexo apresenta-se um trabalho aceite para publicação em congresso internacional para disseminação de parte dos resultados obtidos no âmbito desta dissertação.

2 TERRA NA CONSTRUÇÃO

2.1 Estabilização da terra

A terra para utilização na construção pode ser estabilizada através da adição de diversos constituintes, tais como ligantes minerais como o gesso, a cal aérea e o cimento, pozolanas naturais ou artificiais, areias naturais ou artificiais, ou produtos naturais como os casos das fibras ou de mucilagens. O caso das fibras vai ser analisado num sub-capítulo distinto. Pode-se também optar pelo uso de soluções construtivas alternativas (como é o caso da presente dissertação) com recurso a materiais como as canas ou perfis de madeira, utilizados das mais diversas maneiras para os fins desejados.

Existem vários estudos relativos à estabilização da terra para utilização na construção, um dos quais efetuado para um clima de ilha mediterrânico (no caso Chipre) (Isik e Tulbentci, 2008). Segundo os investigadores, a mistura de gesso e terra, também chamada de “Alker”, trás melhorias às propriedades mecânicas, facto também referido por Kafesçioğlu et al. (1980), trabalhabilidade e resistência à água, endurecendo em 3-5 minutos. Este tempo de endurecimento é reduzido, pelo que foram adicionados 2% (em peso seco de terra) de cal (CaCO_3) à terra antes de adicionar o gesso, com o intuito de retardar esse endurecimento em 20 minutos.

Os resultados obtidos para uma parede de 45 cm de espessura construída com esta terra e para uma parede de 20 cm de espessura em betão são apresentados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Caracterização de paredes de betão e de terra estabilizada com gesso (adaptado de Isik e Tulbentci, 2008)

Material da parede	Coef. de transmissão térmica U [W/m ² .K]	Condução térmica λ [W/m.K]	Massa volúmica [kg/m ³]	Emissões poluentes [kg/ano]	Custo [dólares/m ² à data de 1995]
Bloco de terra estabilizada	0,70	0,40	1600	CO ₂ : 5151 SO ₂ : 29 CO: 25,5	4.4
Betão	3,23	2,09	2400	-	11 (para garantir o mesmo valor de “U” com recurso a isolante térmico de 5 cm e lamina de ar de 9 cm)

Este estudo mostra que a construção com recurso a terra estabilizada é viável dos pontos de vista económico e ambiental, não só pelo reduzido custo de construção mas também pelos recursos energéticos necessários à climatização da construção. Assim sendo, o uso de terra estabilizada pode fazer face a estes dois problemas da atualidade, sendo que a indústria da construção civil tem um impacto ambiental significativo e os custos associados à mesma podem ser determinantes para a estagnação do sector. É necessário salientar também a grande diferença entre o valor de condutibilidade térmica dos blocos de terra estabilizada e do betão.

Um outro estudo foi efetuado, de um ponto de vista mecânico, sobre estabilização de adobes com recurso a fosfogesso e a gesso natural (Degirmenci, 2008) que virá complementar os resultados conseguidos anteriormente. O fosfogesso refere-se ao gesso formado como um subproduto da transformação do minério de fosfato em fertilizante e ácido sulfúrico.

A terra constituinte do adobe em estudo tem as características apresentadas no Quadro 2.2 e as composições do fosfogesso (PG) e o gesso natural (NG) utilizados apresentam-se no Quadro 2.3.

Quadro 2.2 - Características do solo em estudo (adaptado de Degirmenci, 2008)

Propriedades		Solo
Classificação	AASHTO	A-7-5
	USCS	MH
Limites de Atterberg	Limite de liquidez LL [%]	56,41
	Limite de plasticidade LP [%]	35,71
	Índice de plasticidade IP [%]	20,70
Granulometria	Cascalho [%]	1,00
	Areia [%]	18,00
	Silte [%]	81,00
Ensaio Proctor	Teor em água ótimo w_{opt} [%]	37,70
	Peso volúmico seco máximo $\gamma_{dm\acute{a}x}$ [kN/m ³]	13,64
Densidade		2,44

Quadro 2.3 - Composição química do fosfogesso e do gesso natural (adaptado de Degirmenci, 2008)

Constituinte	Quantidade (%)	
	PG	NG
SiO ₂	3,44	0,61
Al ₂ O ₃	0,88	0,10
Fe ₂ O ₃	0,32	0,10
CaO	32,04	37,00
MgO	-	-
SO ₃	44,67	46,18
K ₂ O	-	-
Na ₂ O	0,13	0,30
P ₂ O ₅	0,50	-
F	0,79	-
CaO _{livre}	0,81	-

As quantidades necessárias de fosfogesso (PG) e de gesso natural (NG) foram medidas como uma percentagem de massa de solo seco e adicionados ao solo. Os materiais (NG + solo e PG + solo) foram primeiro misturados em estado seco durante 3 minutos, sendo em seguida adicionada uma quantidade controlada de água, misturada mecanicamente durante 2 minutos.

Os ensaios levados a cabo pretenderam medir a retração linear do material (apenas para o uso de fosfogesso) e, aos 28 dias, a massa volúmica, a resistência à compressão (prismas de 5 x 5 x 5 cm a 28 dias), a resistência à flexão (prismas de 4 x 4 x 16 cm a 28 dias) e resistência à degradação do material em água (prismas de 10 x 10 x 10 cm apenas para o uso de fosfogesso). Neste último ensaio os provetes foram secos ao ar durante 4 semanas, colocados de seguida numa tina com 5 cm de altura de água e mediu-se o tempo entre a colocação dos provetes na tina e a degradação dos provetes. Os resultados obtidos com a estabilização por fosfogesso são apresentados no Quadro 2.4 e as resistências mecânicas na Figura 2.1.

Quadro 2.4 - Caracterização das amostras de adobe estabilizado com fosfogesso (adaptado de Degirmenci, 2008)

Fosfogesso [%]	Retração [%]	Degradação em água [min]	Peso volúmico [kN/m ³]
0	4,20	35	13,04
5	3,39	57	13,13
10	3,15	76	13,37
15	3,06	11	13,51
20	2,88	163	13,68
25	2,49	201	13,69

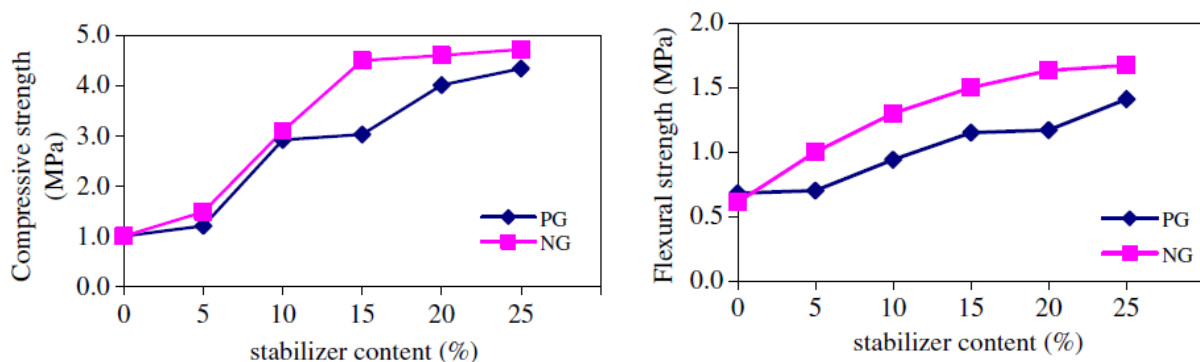


Figura 2.1 - Resistência à compressão e à flexão das amostras em função da percentagem de estabilizador adicionado (Degirmenci, 2008)

É de referir que a retração do adobe estabilizado diminui e a degradação em presença de água é mais morosa à medida que a quantidade de fosfogesso adicionado aumenta. Assim, é possível afirmar que a durabilidade de uma construção de adobe pode ser controlada pela dosagem de estabilizante. A resistência à compressão de amostras de adobe feitas com ou sem estabilizadores são sempre maiores do que os valores indicados na norma Turca (norma seguida nos ensaios) que referem um limite mínimo para a resistência à compressão de blocos de adobe de 0,981 MPa e de blocos de qualquer outro material de 0,784 MPa. De facto, para 25% de estabilizante adicionado, esta resistência supera o quádruplo do valor mínimo normalizado. Salienta-se também que as amostras com 25% de fosfogesso adicionado no ensaio de degradação em água resistem 45 minutos mais do que a norma referida sugere, embora tal período de tempo não seja atingido para blocos de adobe não estabilizados.

Um outro estudo sobre a estabilização de adobe com gesso foi efetuado com o objetivo de melhorar as características físicas e mecânicas de adobe estabilizado com gesso, alargar a sua vida útil, diminuir a sua manutenção e promover a sua utilização (W. Martínez-Molina et al., 2010). A estabilização dos solos foi efetuada para quantidades, em massa, de 2%, 4%, 6%, 8% e 10% de gesso adicionado e em todos os casos a água foi adicionada até se obter uma trabalhabilidade de aproximadamente 90% quantificada numa mesa de fluidez. Os limites de Atterberg apresentam-se no Quadro 2.5, as condições de cada ensaio no Quadro 2.6 e os valores de resistência à tração simples, compressão simples, flexão e módulo de elasticidade dinâmico nos Quadros 2.7, 2.8 e 2.9 respetivamente.

Quadro 2.5 - Efeito da adição de gesso nos limites de Atterberg (adaptado de Martínez-Molina et al., 2010)

Limites de Atterberg	Base	Gesso adicionado				
		2%	4%	6%	8%	10%
LL	49,94	52,97	55,2	47,5	54,9	55,7
LP	15	15,5	13,3	19,8	18,3	25,8
IP	34,9	37,5	41,9	27,7	36,6	29,9
LC	11,99	9,75	14,98	16,05	12,56	14,18
CL	13,1	15,3	15,8	15	14,5	16,1

Quadro 2.6 - Condições dos ensaios realizados (adaptado de Martínez-Molina et al., 2010)

Ensaio	Norma	Dimensões
Compressão (Rc)	ASTM C109-63-2000	5 cm x 5 cm x 5 cm
Tração (Rt)	ASTM C190-59-2000	¾" x 1 ½" x 4"
Flexão (Rf)	ASTM C78-2000	4 cm x 4 cm x 20 cm

Quadro 2.7 - Resistências mecânicas obtidas, convertidas em unidades SI (adaptado de Martínez-Molina et al., 2010)

Estabilizante	Compressão Rc [MPa]		
	Máximo	Mínimo	Média
Base	0,301	0,252	0,287
4%	0,495	0,379	0,457
6%	0,787	0,125	0,473
	Tração Rt [MPa]		
Base	0,046	0,039	0,041
4%	0,145	0,083	0,088
6%	0,113	0,004	0,083
	Flexão Rf [MPa]		
Base	0,356	0,044	0,191
4%	0,644	0,108	0,398
6%	0,582	0,037	0,422
	Módulo de elasticidade Ed [MPa]		
Base	57,453	22,904	30,940
4%	41,670	36,762	38,932
6%	233,132	48,311	159,139

Quadro 2.8 - Relações entre as resistências mecânicas para o caso do betão corrente (adaptado de Martínez-Molina et al., 2010)

Rt	0,1 x Rc
Rf	0,15-0,20 x Rc
Ed	10000 x Rc ^{0,5}

Quadro 2.9 - Relações entre as resistências mecânicas, para o caso de adobe estabilizado com gesso (adaptado de Martínez-Molina et al., 2010)

Rt	0,14-0,175 x Rc
Rf	0,66-0,90 x Rc
Ed	1,2-1,6 x Rc ^{0,5}

Embora não seja possível afirmar que o aumento de estabilizante adicionado conduza ao aumento das características mecânicas, estas podem ser controladas através da adição de estabilizantes. Os Quadros 2.8 e 2.9 mostram que a resistência à compressão é a característica mecânica de maior valor tanto do betão corrente como do adobe estabilizado com gesso sendo dez vezes superior à resistência à tração no primeiro material. Contudo a diferença entre a resistência à flexão e a resistência à compressão do adobe estabilizado com gesso é pequena, podendo ser de apenas 10%.

Um outro estudo foi realizado, em tudo semelhante ao anterior (Molina et al., 2012), mas em que a estabilização, embora com gesso, cal, mucilagem de nopal e cimento, foi levada a cabo segundo a norma ASTM D-6276 (1999) para estabilizações com cal, até se obter um potencial de hidrogénio (pH) de 12,4. A norma ASTM D-6276 (1999) indica que se considera que se chega à estabilização se se conseguir que o material se conserve a temperatura constante durante o período de adição do estabilizante em estudo, mas dever-se-á garantir que o estabilizante produz um pH de 12,4 no líquido em que está dissolvido antes de ser incorporado no solo.

As percentagens de estabilizante adicionado, em massa de argilas da terra, foram de 0, 2, 4, 6, 8 e 10% e os ensaios realizados mediram o pH do estabilizante, os limites de Atterberg e as resistências à compressão, flexão e tração simples. Os resultados obtidos neste estudo são apresentados nos Quadros 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 e 2.14 e Figuras 2.2, 2.3 e 2.4.

Quadro 2.10 - Valores de potencial de hidrogénio obtidos (adaptado de Molina et al., 2012)

Estabilizante [%]	pH [-]			
	Gesso	Nopal	Cal	Cimento
2	5,6	5,8	11,3	10,8
4	5,8	5,9	12,0	11,5
6	5,9	6,2	12,3	11,7
8	6,2	6,5	12,6	12,1
10	6,6	7,8	13,2	12,9

Em nenhum caso de adição de gesso ou de mucilagem de nopal o valor de pH atingiu o valor desejado mas os ensaios mecânicos foram efetuados em todo o caso. Contudo é de notar que para adições de 8 e 10% de cal e adições de 10% de cimento, o valor de pH satisfaz o requisito da norma.

Quadro 2.11 - Limites de Atterberg e classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) para adição de gesso (adaptado de Molina et al., 2012)

Limites de Atterberg	Natural	Gesso adicionado				
		2%	4%	6%	8%	10%
Limite Liquidez	66	60,8	57,5	57,5	57,127	49,832
Limite Plasticidade	24,8	22,32	17,43	25,44	16,08	19,91
Índice Plasticidade	41,2	38,48	40,07	32,06	41,04	29,92
Limite Contração	14,12	14,95	15,45	19,53	27,45	16,06
Limite Contração Linear	17,5	15,9	15,5	14,55	15,6	20,27
SUCS	CH	CH	CH	CH	CH	CL

Quadro 2.12 - Limites de Atterberg e classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) para adição de nopal (adaptado de Molina et al., 2012)

Limites de Atterberg	Natural	Nopal adicionado				
		2%	4%	6%	8%	10%
Limite Liquidez	66	68	68,8	73,5	82	91,345
Limite Plasticidade	24,8	22,31	19,94	15,22	19,26	19,66
Índice Plasticidade	41,2	45,69	48,86	58,28	62,89	71,68
Limite Contração	14,12	20,61	7,43	14,28	28,82	16,82
Limite Contração Linear	17,5	16,1	16,4	16,2	17,9	19,3
SUCS	CH	CH	CH	CH	CH	CH

Quadro 2.13 - Limites de Atterberg e classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) para adição de cal (adaptado de Molina et al., 2012)

Limites de Atterberg	Natural	Cal adicionada				
		2%	4%	6%	8%	10%
Limite Liquidez	66	51,2	44,8	43,9	43,64	43,2827
Limite Plasticidade	24,8	25,8	35,38	39,47	30,18	36,46
Índice Plasticidade	41,2	25,4	9,42	4,43	13,46	6,82
Limite Contração	14,12	17,43	27,21	27,67	28,56	40,46
Limite Contração Linear	17,5	13,1	7,9	6,2	6,01	4,2
SUCS	CH	CH	ML	ML	CL	ML

Quadro 2.14 - Limites de Atterberg e classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) para adição de cimento (adaptado de Molina et al., 2012)

Limites de Atterberg	Natural	Cimento adicionado				
		2%	4%	6%	8%	10%
Limite Liquidez	66	50,5	49	47,8	47,17	50,16
Limite Plasticidade	24,8	29,69	22,82	30,5	30,9	39,57
Índice Plasticidade	41,2	20,81	26,18	17,3	10,27	10,59
Limite Contração	14,12	15,34	20,67	28,04	35,32	35,77
Limite Contração Linear	17,5	13	12,3	7	5,6	4,9
SUCS	CH	MH	CL	CL	ML	ML

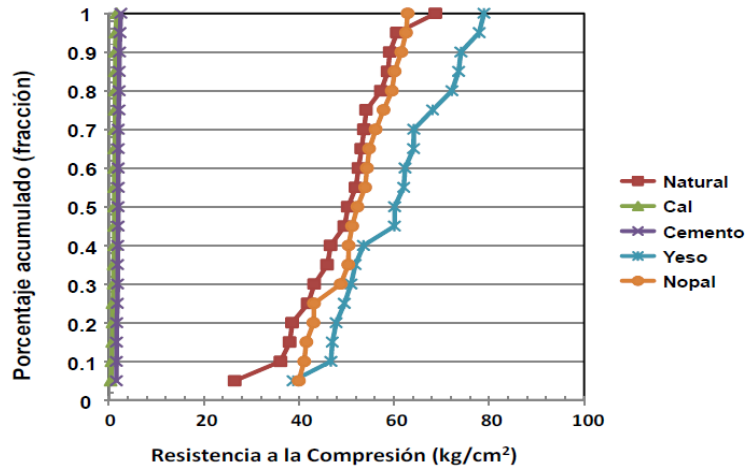


Figura 2.2 - Resistência à compressão em cubos de 5 cm de aresta de amostras a 53 dias com 6% de cal, 6% de cimento Portland, 6% de gesso, 2% de mucilagem de nopal desidratado, adicionados de forma fracionada, e amostra natural (Molina et al., 2012)

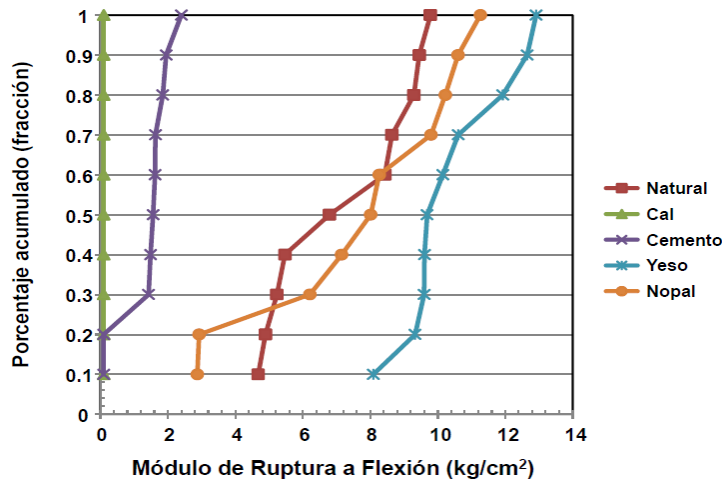


Figura 2.3 - Resistência à flexão em prismas de 4 x 4 x 16 cm de amostras a 53 dias com 6% de cal, 6% de cimento Portland, 6% de gesso, 2% de mucilagem de nopal desidratado, adicionados de forma fracionada, e amostra natural (Molina et al., 2012)

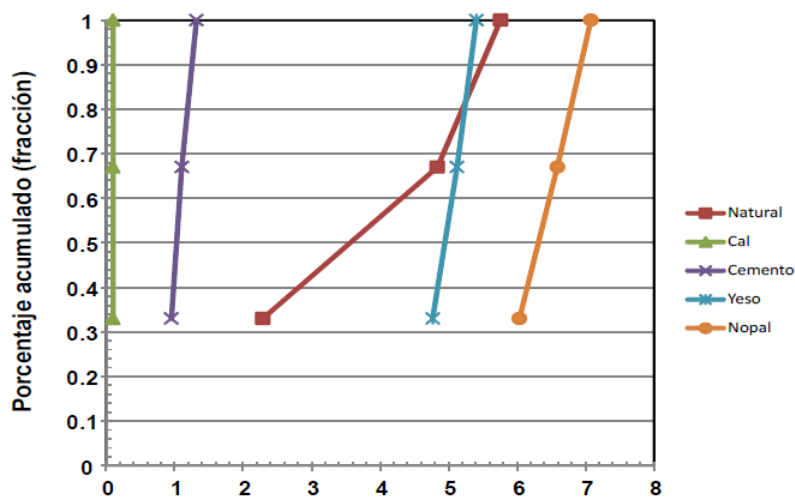


Figura 2.4 - Resistência à tração simples de amostras a 28 dias com 6% de cal, 6% de cimento Portland, 6% de gesso, 2% de mucilagem de nopal desidratado, adicionados de forma fracionada, e amostra natural (Molina et al., 2012)

A estabilização através da quantificação do pH não é consistente com os resultados mecânicos obtidos pois os melhores resultados foram obtidos para a adição de gesso e de mucilagem de nopal, que não verificam o valor mínimo de pH de 12,4 requerido pela norma utilizada. Os dados obtidos para este estudo não revelam vantagens na adição de estabilizantes como a cal ou o cimento, contrariamente aos estudos anteriormente referidos.

Foi também levada a cabo uma pesquisa que avalia os efeitos do uso de cimento Portland comum e cal como estabilizadores de argila na resistência à compressão dos blocos de terra comprimidos com recomendações para o uso dos mesmos na indústria da construção (Fopossi et al., 2014).

As amostras de argila foram misturadas com 50% de areia, várias proporções de ligantes (cimento ou cal) e água. Os rácios de estabilizadores (cimento e cal) foram adicionados em diferentes percentagens que variam de 3% a 14%. O Quadro 2.15 mostra a resistência à compressão aos 28 dias de várias composições de blocos de argila com diferentes percentagens de estabilizadores.

Quadro 2.15 - Resistência à compressão aos 28 dias (adaptado de Fopossi et al., 2014)

% estabilizantes	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14
Composição	Resistência à compressão aos 28 dias [Mpa]											
Terra	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Terra + areia	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Terra + areia + cimento	-	2,4	2,4	2,4	3,1	3,9	4,4	4,6	5,3	5,5	5,7	5,4
Terra + areia + cal	-	2,2	2,1	2,4	2,8	3,1	3,3	4,3	3,5	3,7	2,6	4,4

É visível que blocos de argila sem qualquer tipo de estabilizador não são os mais recomendados para obras de construção uma vez que a sua resistência à compressão é de apenas 2 MPa. É de notar que a máxima resistência à compressão é alcançada para adições de 12% de cimento e 14% de cal mas os autores revelam que o melhor desempenho para os blocos de argila submetidos a cargas de compressão foi obtido na mistura de areia com 6% a 8% de cimento e 7% a 9% de cal para construções comuns não estruturais.

Um outro estudo encontrado sobre esta vertente das aplicações de gesso em terra foca-se na análise do material de construção chamado “Alker” (Pekmezci et al., 2012). Segundo Kafesçioğlu (1980), citado por Pekmezci et al. (2012), este material é composto por 8-10% de gesso, 2,5-5% de cal e 15-20% de água (massa seca), que são adicionados à terra com estrutura granulométrica melhorada.

Este estudo foi levado a cabo através da análise de vários edifícios experimentais dos quais se escolheram dois para serem reproduzidos em laboratório (edifício experimental I e edifício experimental II). O edifício experimental I foi construído como parte de um estudo realizado por Tanriverdi (1984) e contém três salas, uma cozinha e uma casa de banho. O edifício experimental II foi construído na sequência do primeiro no âmbito de um estudo realizado no campus de Ayazağa. Adianta-se que nenhum dos edifícios apresentou qualquer dano estrutural mesmo após o terramoto de Marmara (1999).

Neste estudo foram efetuadas amostras de “Alker” e terra natural. Procedeu-se à análise granulométrica da terra com o objetivo de obter a curva ideal para a composição de um adobe. A terra foi misturada com areia

para alcançar a composição ideal. As curvas granulométricas da terra, areia, mistura de 60% terra com 40% de areia e a curva ideal são mostradas na Figura 2.5.

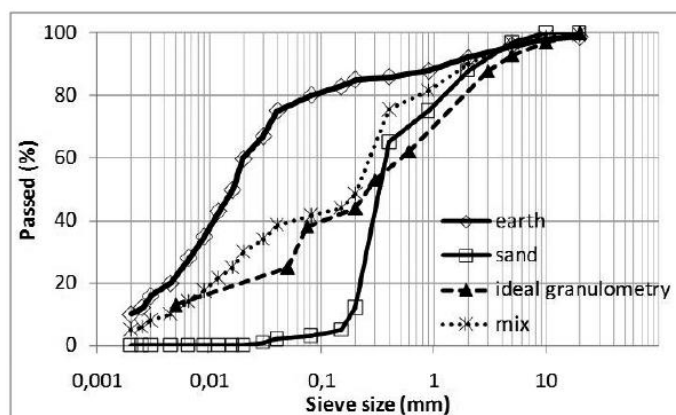


Figura 2.5 - Curvas granulométricas da terra, areia, mistura de 60% de terra e 40% de areia e ideal (Pekmezci et al., 2012)

Foram produzidos quatro espécimes diferentes: uma mistura de terra comum (PL), uma mistura de 10% de gesso e terra (G10), outra com 10% de gesso com 2,5% de cal e terra (G10 L2.5) e uma mistura com 10% de gesso, 5% de cal e terra (G10 L5).

A proporção de água para material seco foi de 0,20 para garantir trabalhabilidade. Após a adição de água à mistura seca, esta foi colocada rapidamente dentro dos moldes num período de 1-2 minutos, os quais foram mantidos numa mesa vibratória durante 1-3 minutos.

As amostras foram mantidas em condições de laboratório por 28 dias, período após o qual deu-se início aos ensaios físicos e mecânicos às amostras. Os ensaios físicos incluíram condutibilidade térmica (provetes de 30 x 30 x 3 cm de acordo com a norma ISO 8301), absorção capilar (provetes com secção quadrada com 7 cm), retração linear (provetes de 50 x 10 x 10 cm medidos durante 50 dias a uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e uma humidade relativa de $65 \pm 5\%$) e porosimetria por intrusão de mercúrio. As condições de humidade exterior e interior e temperatura exterior e interior dos edifícios experimentais 1 e 2 são apresentadas nas figuras 7 e 8 respetivamente. Os ensaios mecânicos consistiram na determinação da resistência à compressão, módulo de elasticidade estático (ambos em provetes cilíndricos de diâmetro de 10cm e 20 cm de altura), resistência ao corte e módulo de rigidez (ambos em provetes de 50 x 50 x 20 cm segundo a norma ASTM E519-10), sendo que os testes de resistência à compressão foram realizados a 1, 6 e 24 horas, bem como a 7, 14 e 180 dias. Os resultados obtidos apresentam-se nos Quadros 2.16 e 2.17 e Figuras 2.6 a 2.13.

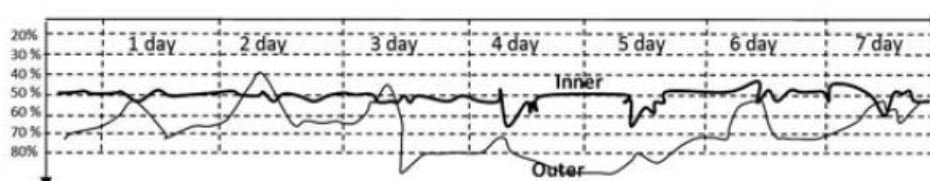


Figura 2.6 - Humidade interior (Inner) e exterior (Outer) no edifício experimental 1 (1983) (Pekmezci et al., 2012)

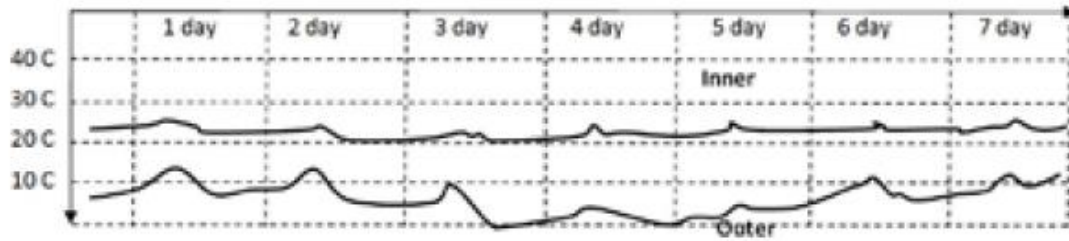


Figura 2.7 - Temperaturas interiores e exteriores no edifício experimental 1 (1983) (Pekmezci et al., 2012)

Quadro 2.16 - Condutibilidade térmica (adaptado de Pekmezci et al., 2012)

Amostra	Condutibilidade térmica λ [W/m.K]
Natural	0,390
G10 L	0,290
G10 L2.5	0,250
G10 L5	0,216

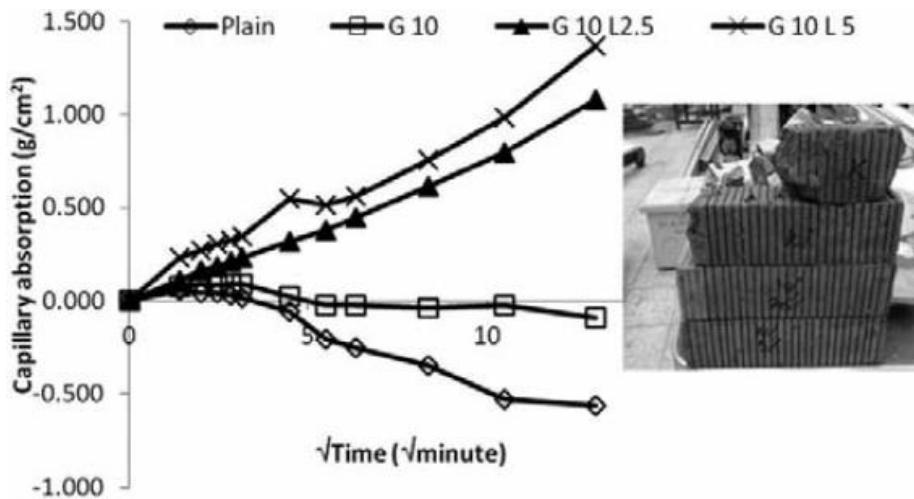


Figura 2.8 - Absorção capilar (Pekmezci et al., 2012)

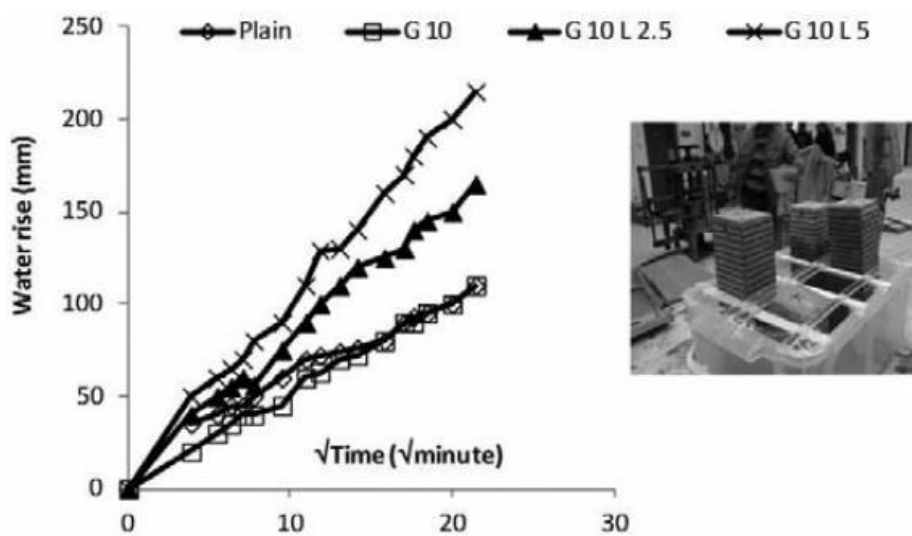


Figura 2.9 - Altura de água atingida por absorção capilar (Pekmezci et al., 2012)

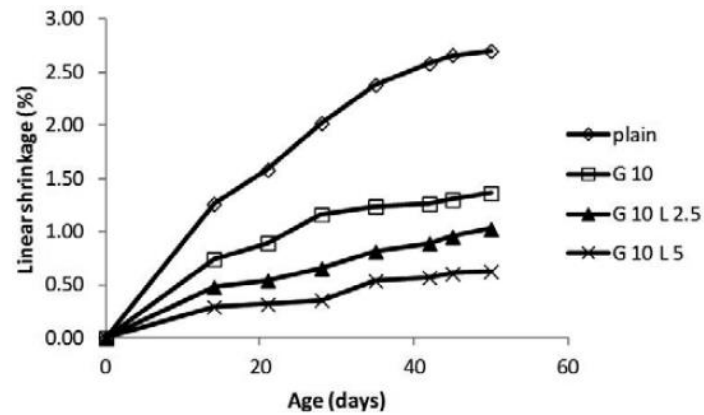


Figura 2.10 - Retração linear (Pekmezci et al., 2012)

Através destes ensaios podemos observar que as amostras com gesso têm uma menor condutibilidade térmica do que as de terra comum. As amostras com cal têm uma condutibilidade térmica ainda menor, pelo que a estabilização da terra com estes dois materiais contribuem para o isolamento térmico. A absorção de água por capilaridade é aumentada com a utilização de cal na mistura. Embora o nível de água absorvida por capilaridade seja menor nas misturas simples e G10, os provetes de ambas as estabilizações foram danificados na base pela água, o que justificará os valores negativos apresentados neste ensaio para estas amostras. O valor de retração para a amostra com maior quantidade de cal (G10 L5) ao fim de 28 dias é 4 vezes menor do que o mesmo valor para a amostra de terra natural (PL). Este dado é importante na medida em que um baixo valor de retração previne o aparecimento de fissuras.

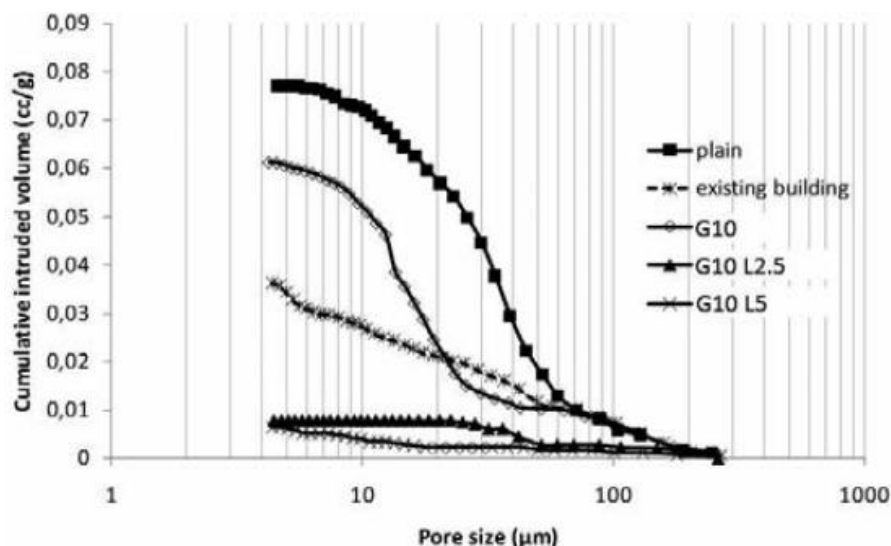


Figura 2.11 - Porosimetria por intrusão de mercúrio (Pekmezci et al., 2012)

O volume total de poros das amostras com 10% de gesso é menor do que as de terra normal, mas maior do que terra com gesso e cal. Este resultado deve-se ao preenchimento dos poros por gesso e cal. A quantidade de mercúrio penetrada em amostras de terra é maior do que a das amostras de gesso e cal. Também foram ensaiadas amostras do edifício experimental II (“existing building” na Figura 11) e apresentaram o menor volume de poros entre todas as amostras.

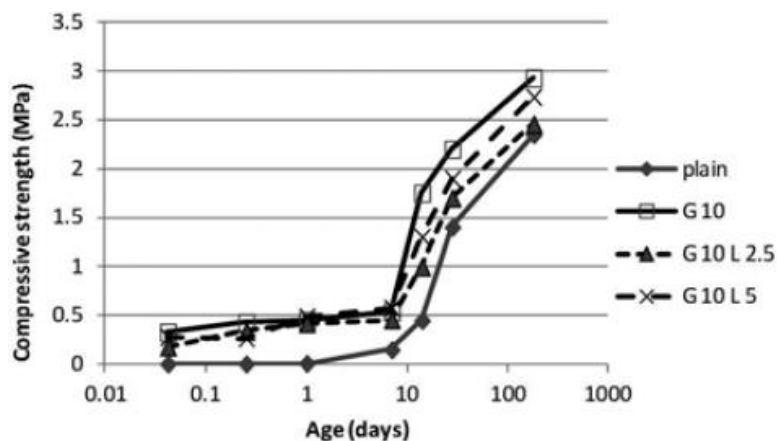


Figura 2.12 - Resistência à compressão (Pekmezci et al., 2012)

Quadro 2.17 - Módulo de elasticidade (adaptado de Pekmezci et al., 2012)

Amostra	Módulo de elasticidade [Mpa]
Natural	880
G10 L	851
G10 L2.5	831
G10 L5	762

É visível que o módulo de elasticidade não é influenciado significativamente pela adição de gesso ou cal.

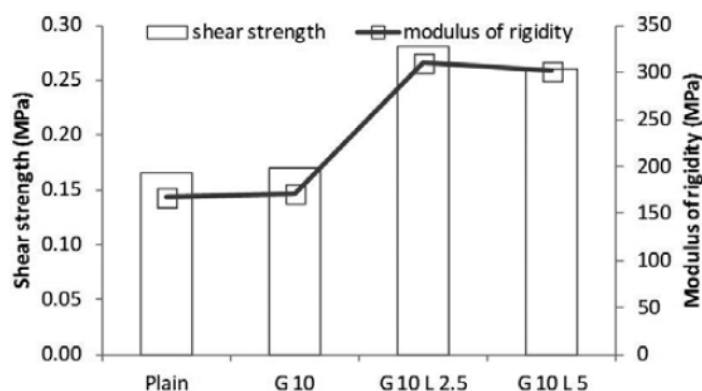


Figura 2.13 - Resistência ao corte e módulo de rigidez (Pekmezci et al., 2012)

A mistura G10 L2.5 mostrou a maior resistência ao corte e o maior módulo de rigidez. A resistência ao corte e o módulo de rigidez de amostras simples e amostras com gesso são muito próximos uns dos outros. Foi verificada uma diferença dramática em ambos os valores entre as amostras com e sem cal. Este resultado pode estar relacionado com a presença de produtos de reação pozolânicos e de cristais de calcite formados na estrutura de adobe com a adição de cal.

Apresentam-se agora os resultados de um estudo que recorre a diversos aditivos às argamassas (Mattone e Bignamini, 2012). Este estudo debruça-se sobre a absorção por capilaridade, erosão superficial (testes de Geelong e de erosão por spray, de acordo com a legislação Neozelandesa NZD 4298) e colorimetria (por 16

espectrofotometria) das amostras. Na Figura 2.14 encontra-se a granulometria da terra usada, a composição das amostras estudadas no Quadro 2.18 e os resultados obtidos nas Figuras 2.15, 2.16, 2.17 e 2.18.

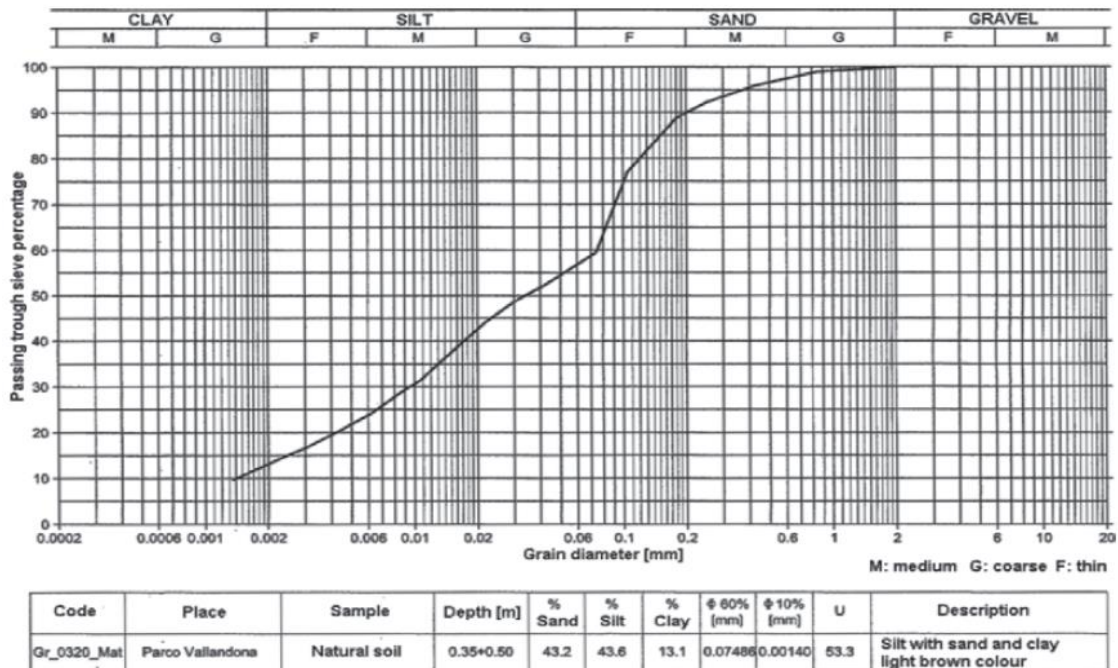


Figura 2.14 - Granulometria da terra usada (Mattone e Bignamini, 2012)

Quadro 2.18 - Composição das amostras estudadas (adaptado de Mattone e Bignamini, 2012)

Mistura	Composição
A	Terra + 20% gesso
B	Terra + 20% gesso + 6% óleo de linhaça
C	Terra + 20% gesso + 2% glúten de trigo
D	Terra + 20% gesso + 9,6% caseína
E	Terra + 20% gesso + 3% cera de abelha + 3% óleo de linhaça
F	Terra + 20% gesso + mucilagem de cacto
G	Terra + 20% gesso + 4,8% emulsão acrílica
H	Terra + 20% gesso + 1,8% pó vínlico

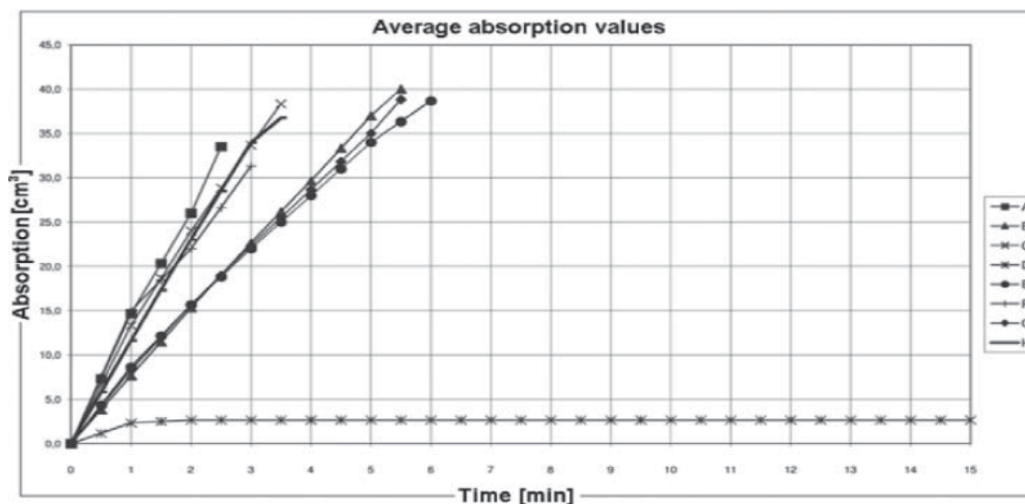


Figura 2.15 - Absorção de água por capilaridade (Mattone e Bignamini, 2012)

Todos os produtos revelaram uma diminuição na absorção de água por capilaridade, sendo que o produto com redução mais acentuada foi a caseína.

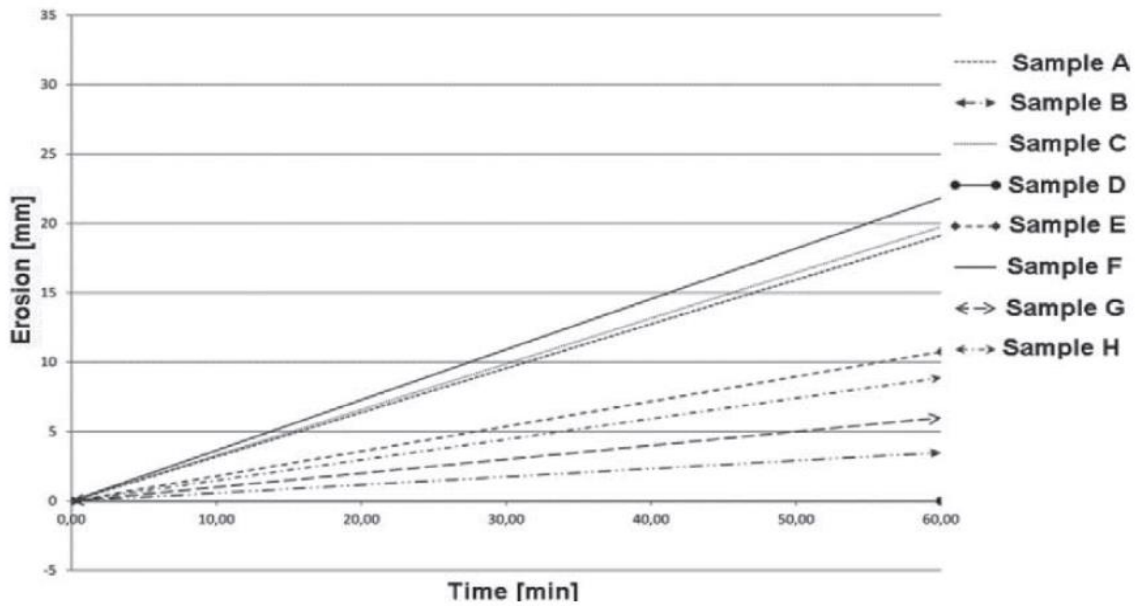


Figura 2.16 - Teste de erosão por spray (Mattone e Bignamini, 2012)

O teste de erosão de Geelong revelou que as argamassas sofreram nenhuma ou muito pouca erosão, correspondendo a um índice de erosão de 2 de acordo com a legislação Neozelandesa referida anteriormente. Os produtos como óleo de linhaça e principalmente a caseína conferem um significativo aumento na resistência à erosão das argamassas estudadas.

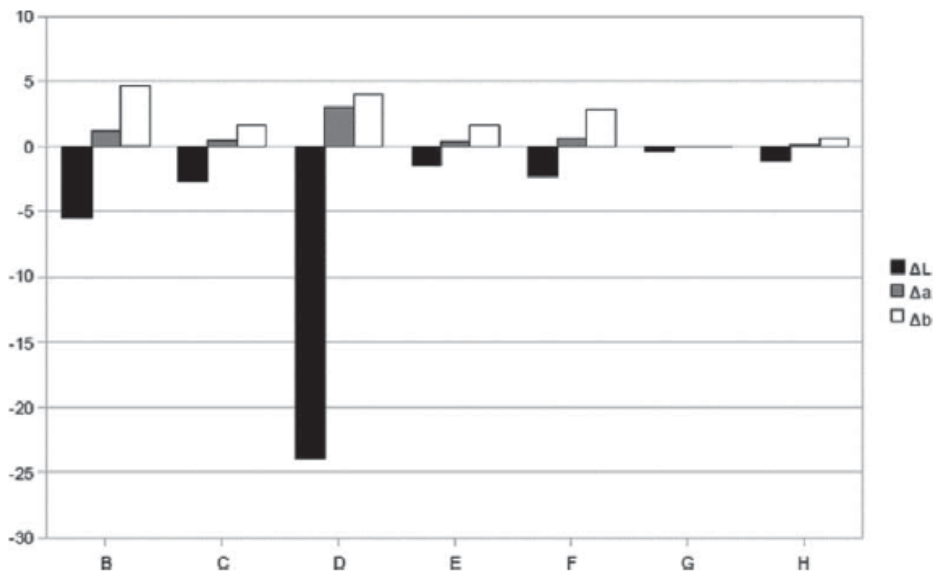


Figura 2.17 - Resultados do teste de espectrofotometria (ΔL – Variação de brilho; Δa e Δb – coordenadas cromáticas) (Mattone e Bignamini, 2012)

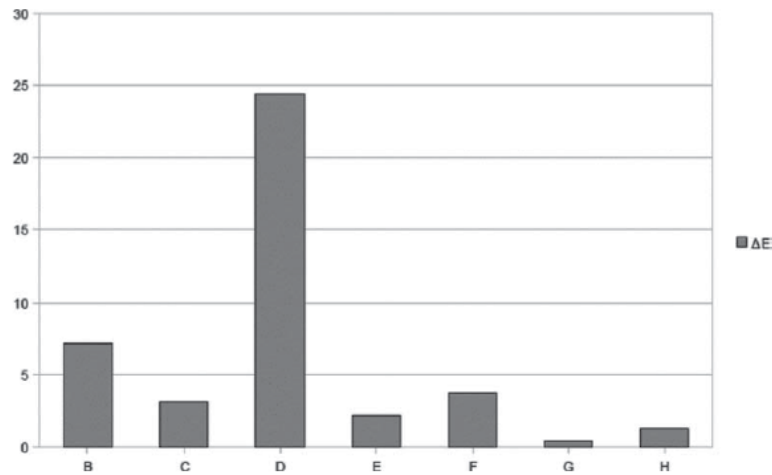


Figura 2.18 - Resultados do teste de espectrofotometria (ΔE – diferença de cor total) (Mattone e Bignamini, 2012)

Embora a caseína confira os melhores resultados em relação aos ensaios de erosão, os seus resultados nos ensaios de colorimetria revelam uma grande variação de cor, o que é penalizador no caso de reabilitação de estruturas históricas.

Um outro estudo foi realizado sobre a estabilização de um mosteiro budista com recurso a injeção de grouts à base de terra (Vargas et al., 2008). A composição da terra usada para as caldas de injeção foi de 52% de areia e cascalho e 48% de argila e silte, sendo classificado como CL (argila magra) pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (USCS) (ASTM-1990).

Segundo os investigadores, as características mecânicas das amostras preparadas com argamassas feitas com terra e gesso foram geralmente mais elevadas do que aquelas obtidas com cal ou cimento adicionados. Este resultado pode ser atribuído ao aumento de volume do gesso, evitando assim a retração por secagem e a fendilhação da argamassa de terra. Reduções nas microfissuras podem resultar em melhorias na resistência das argamassas.

Os ensaios físicos foram efetuados com as injeções em forma de argamassa com adições de gesso de 5%, 10%, e 20% em massa de solo. Nas Figuras 2.19, 2.20 e 2.21 apresentam-se os resultados obtidos.

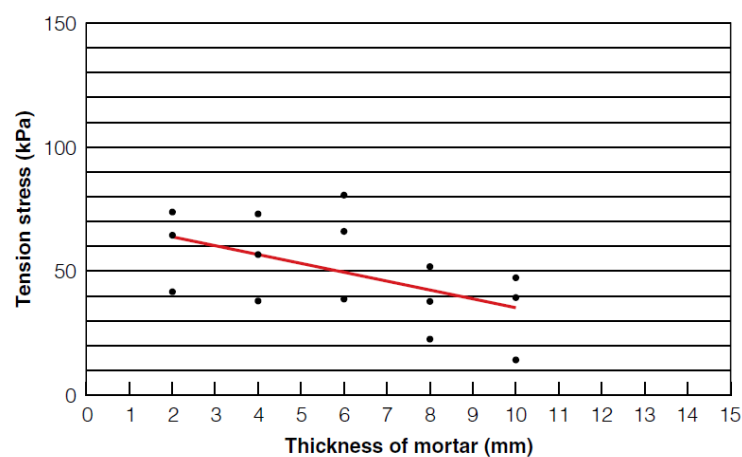


Figura 2.19 - Tensão na interface amostra-adobe em função da espessura da amostra (Vargas et al., 2008)

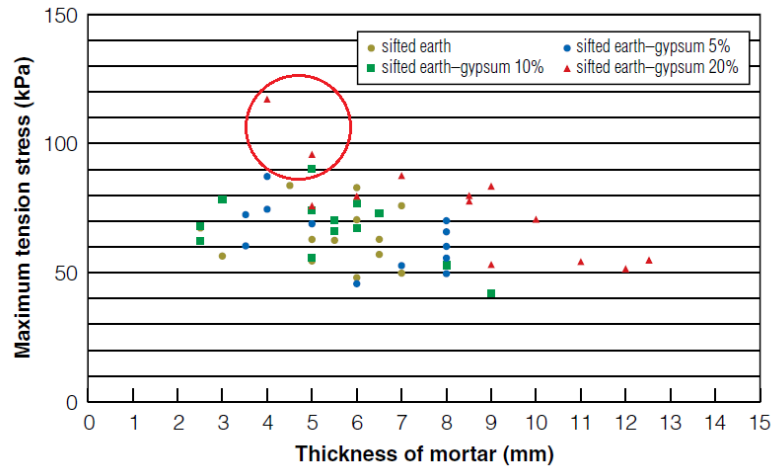


Figura 2.20 - Resultados dos testes de tensão indireta em blocos de adobe com diferentes solos estabilizados (Vargas et al., 2008)

De notar que apenas as argamassas com 20% de gesso alcançam uma maior resistência do que as de solo não estabilizado.

Para investigar se as argamassas que produziram ligações mais fortes também seriam adequadas como caldas de injeção para reparar alvenaria de adobe, uma série de espécimes de alvenaria de adobe, reparados por injeção de argamassas à base de solo, foram ensaiados em compressão diagonal e ensaiados novamente para medir o grau de recuperação de resistência.

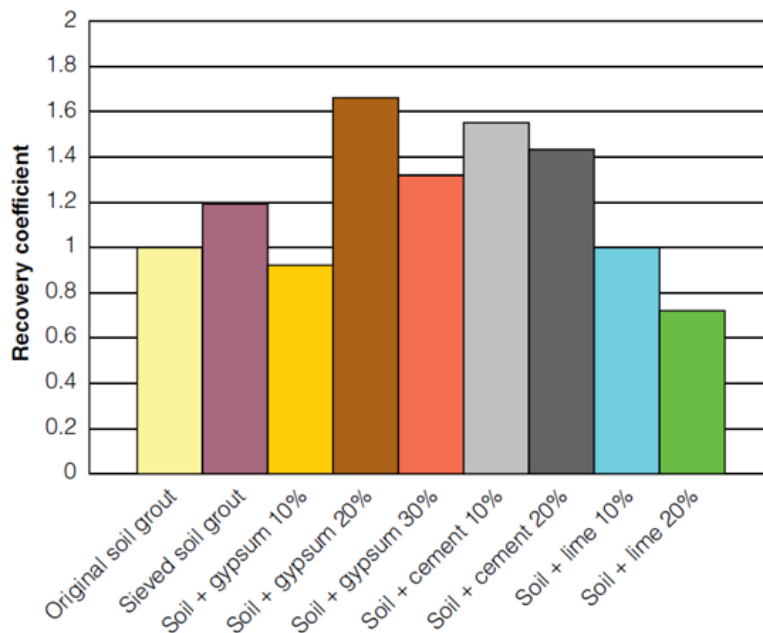


Figura 2.21 - Resultados do ensaio de compressão diagonal (coeficiente de recuperação) (Vargas et al., 2008)

De notar que o solo com adição de 20% de gesso obteve o melhor resultado. Alvenaria de adobe construída com juntas de argamassa mais finas é mais forte, o que pode sugerir que a reparação de fissuras mais finas com caldas à base de solo pode ser eficaz na recuperação da resistência.

Para finalizar o estado de conhecimentos sobre este campo de aplicação um estudo com a finalidade de perceber qual a função da mucilagem vegetal quando adicionada a uma argamassa antes que possa ser usada apropriadamente no restauro de edifícios enquanto modificador e/ou consolidante (Kita, 2013). Neste estudo o autor afere as propriedades da mucilagem do cladódio de várias espécies de catos, da casca de várias espécies de plantas e das folhas e caule de malva (*Sida rhombifolia*). O Quadro 2.19 apresenta o resumo da origem da mucilagem, região em que é utilizada e tipo de uso (modificador de argamassa ou material de consolidação).

Quadro 2.19 - Origem da mucilagem, região de uso e tipo de uso (adaptado de Kita, 2013)

Origem da mucilagem		Região de uso	Argamassa de cal		Adobe / Argamassa de terra	
			Mod.	Cons.	Mod.	Cons.
Cladódio de cato	Nopal	América do Norte	X	X	X	X
		Norte do Perú			X	X
	Cholla	Norte e Centro do México	X		X	
	Cardon	Norte e Centro do México	X		X	
	San Pedro	Norte do Perú			X	
	Monstruoso	Bolívia			X	
Casca	Guacima	Sudeste do México	X			
		El Salvador			X	
	Chucúm	Sudeste do México	X			
	Chacté	Sudeste do México	X			
	Jabín	Sudeste do México	X			
	Chacá	Sudeste do México	X			
	Jolol	Sudeste do México	X			
Folhas e caule	Malva	El Salvador			X	X

As principais funções da mucilagem de nopal é a retenção de água, que inibe uma secagem excessivamente rápida e previne a fissuração do material. Adicionalmente, a viscosidade desta mucilagem confere plasticidade à argamassa, que permite a aplicação de camadas finas de material e facilita o acabamento. Contudo a durabilidade da mucilagem de nopal face à ação de agentes climáticos tais como ciclos de gelo-degelo e cristalização de sais, não foi ainda testada.

A mucilagem de malva confere plasticidade à argamassa de terra e o seu tempo de presa não sofre alterações. Adicionalmente esta mucilagem contém saponina que reduz a tensão superficial e confere plasticidade à argamassa.

O Quadro 2.20 apresenta as propriedades da aplicação de mucilagem vegetal (viscosidade e pH) e mais-valias enquanto modificador de argamassa (retenção de água, plasticidade e absorção de água) ou material de consolidação (penetração) em argamassas de cal ou de terra.

Quadro 2.20 - Propriedades e mais-valias da mucilagem vegetal enquanto modificador ou consolidante em argamassas de cal ou terra (adaptado de Kita, 2013)

Mucilagem vegetal	Método de extração	Propriedades físico-químicas		Modificador			Consolidação
		Visc.*	pH	Ret. de água*	Plast.*	Absorção de água	Penetração*
Cladódio de nopal	1-2 dias em água	Elevada	3-4	Elevada	Elevada	Elevada	Má
	Queima e ferm. em água com cal	Baixa	13-14	Baixa	Elevada	Elevada	Boa
Casca de guacima	1-2 dias em água	Elevada	7	Elevada	Elevada	Não muda	Má
Folhas e caule de malva	1-2 dias em água	Baixa	7	Baixa	Elevada	-	Boa

* - Avaliações visuais e/ou táteis

Neste trabalho de pesquisa é salientado que a função mais apreciada deste material é a retenção de água mas refere que o uso de mucilagem com baixa viscosidade e alto teor de água pode causar deterioração de estruturas devido à constante humidade elevada.

2.2 Terra com adição de fibras

No âmbito de um estudo realizado por Yetgin et al. (2008) foram realizados testes de compressão e de tração para cinco misturas diferentes (A1 a A5) de adobe feitos com fibras de palha. Além disso, as propriedades mecânicas foram relacionadas com o teor de água para avaliar a trabalhabilidade, peso e quantidade de fibras. Cada mistura tem 4 séries de provetes que se distinguem pela quantidade crescente de fibras, sendo a série 1 a que contém menos fibras. A caracterização da argamassa de cada mistura é apresentada no Quadro 2.21.

Quadro 2.21 - Caracterização da argamassa de cada mistura (adaptado de Yetgin et al., 2008)

Adobe	Massa volúmica ρ [kg/dm ³]	Argila [% massa]	Silte [% massa]	Areia [% massa]
A1	2,67	14	20	66
A2	2,68	19	28	53
A3	2,68	26	23	51
A4	2,67	12	16	72
A5	2,69	33	20	47

Para o ensaio de compressão foram feitos provetes cúbicos com 10 cm de lado, ensaiados de acordo com as normas DIN 1045, DIN 1048, DIN 18952 e deixados a secar em condições normais de laboratório (19 a 21°C). As Figuras 2.22 e 2.23 mostram as curvas resultantes do ensaio de compressão para as cinco misturas com e sem fibras respetivamente.

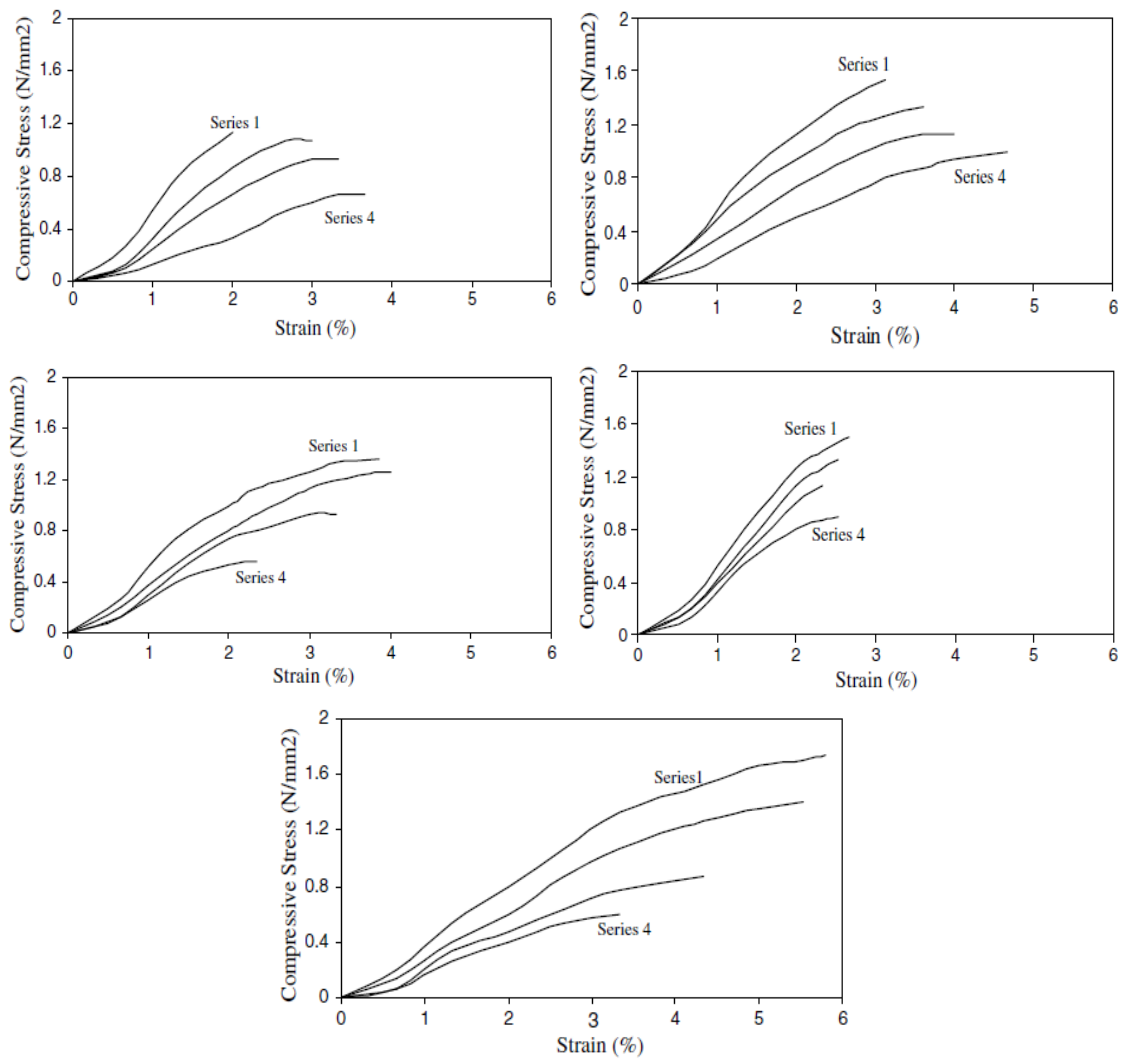


Figura 2.22 - Ensaio à compressão para as misturas A1 (cimo, esquerda), A2 (cimo, direita), A3 (meio, esquerda), A4 (meio direita) e A5 (baixo, centro) (Yetgin et al., 2008)

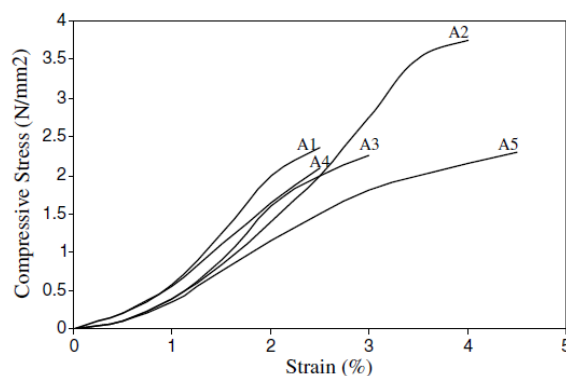


Figura 2.23 - Ensaio à compressão das misturas sem fibras (Yetgin et al., 2008)

Para o ensaio de resistência à tração simples foram preparados prismas com dimensões 16x4x2 [cm] com e sem fibras mas apenas são mostrados resultados para as misturas com 0,6% em massa de fibras. A Figura 2.24 apresenta os resultados dos ensaios à tração para as amostras com e sem fibras respetivamente.

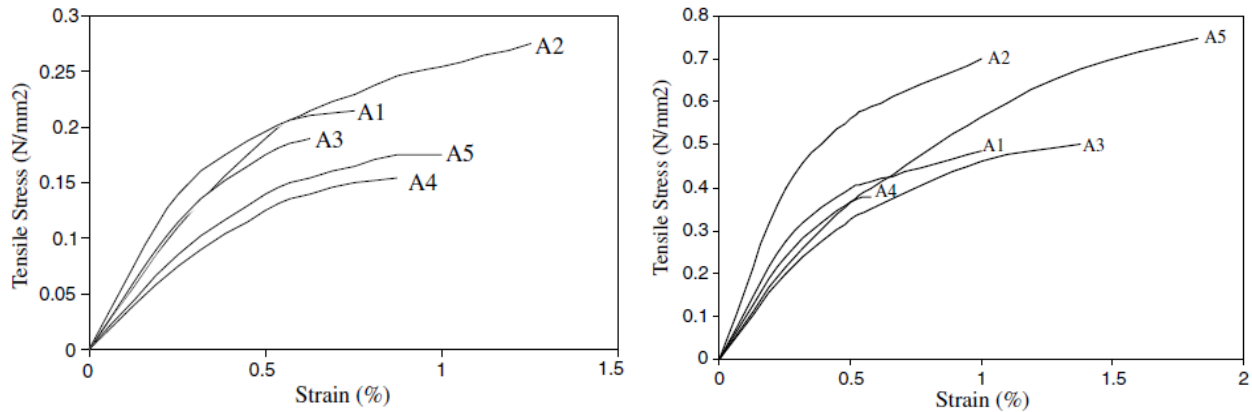


Figura 2.24 - Ensaio à tração para as amostras com 0,6% de fibras (esquerda) e sem fibras (direita) (Yetgin et al., 2008)

Os autores referem ainda que para todas as misturas, as séries com maior quantidade de fibras apresentam menor resistência á compressão e menor retração volumétrica. Os ensaios à tração revelam que, ao contrário do que seria de esperar, a introdução de fibras reduz a resistência à tração de um material. Este facto resulta da falta de aderência na interface fibra-argamassa.

Mais um estudo foi realizado, desta vez com o intuito de analisar as características higrotérmicas de argamassas de terra com e sem fibras e com materiais de mudança de fase (PCM), no caso, Micronal DS 5040 X da BASF, (Faria e Santos, 2014). As fibras de palha de aveia utilizadas como aditivo têm um comprimento de 1-2 cm e o material de mudança de fase foi usado como substituto para as areias siliciosas fina (FS) e grossa (CS), utilizadas em simultâneo ou separadamente. O Quadro 2.22 apresenta a composição volumétrica das amostras estudadas.

Quadro 2.22 - Composição volumétrica das amostras (adaptado de Faria e Santos, 2014)

Argamassa	Terra	Areia CS	Areia FS	Fibras	PCM	Água
P	1	-	-	-	-	0,2
FS	1	-	3	-	-	0,2
FS_PCM20	1	-	2,4	-	0,6	0,2
CS45_FS30	1	1,8	1,2	-	-	0,2
CS30_FS45	1	1,2	1,8	-	-	0,2
CS30_FS25_PCM20	1	1,2	1	-	0,8	0,2
CS30_FS15_PCM30	1	1,2	0,6	-	1,2	0,2
CS30_FS45_F5	1	1,2	1,8	0,2	-	0,25

Com as argamassas apresentadas, foram realizados provetes circulares com 0,9 cm de diâmetro e 0,2 cm de espessura e provetes prismáticos com dimensões 4x4x16 [cm³], tendo os mesmos sido deixados a secar em condições estáveis de laboratório de 65% de humidade relativa e 20°C de temperatura.

As argamassas foram analisadas no estado fresco, cuja caracterização inclui a consistência na mesa de espalhamento, baseado na norma EN 1015-3, e densidade, com base na norma EN 1015-6, cujos resultados se apresentam no Quadro 2.23.

Quadro 2.23 - Caracterização das argamassas no estado fresco (adaptado de Faria e Santos, 2014)

Argamassa	Mesa de fluxo [mm]	Densidade [kg/dm ³]
P	161,5	2,00
FS	168,0	2,04
FS_PCM20	171,5	1,44
CS45_FS30	168,0	2,06
CS30_FS45	167,5	2,06
CS30_FS25_PCM20	167,0	1,46
CS30_FS15_PCM30	151,5	1,43
CS30_FS45_F5	192,5	2,00

Os autores referem que todas as argamassas apresentam muito boa trabalhabilidade e que a introdução de materiais de mudança de fase muda significativamente, de forma positiva, esta propriedade embora tal mudança não se tenha verificado na consistência da mesa de espalhamento.

Este estudo engloba ainda os ensaios de condutibilidade térmica, capilaridade e secagem, permeabilidade ao vapor de água e aferição da espessura da camada de ar de difusão ao vapor de água equivalente e capacidade de adsorção-desadsorção.

Para o ensaio de condutibilidade térmica foram utilizados os provetes circulares e foi efetuado no equipamento Heat Transfer Analyser Isomet 2104 com uma sonda de contato de 6 cm de diâmetro. Os resultados deste ensaio apresentam-se na Figura 2.25.

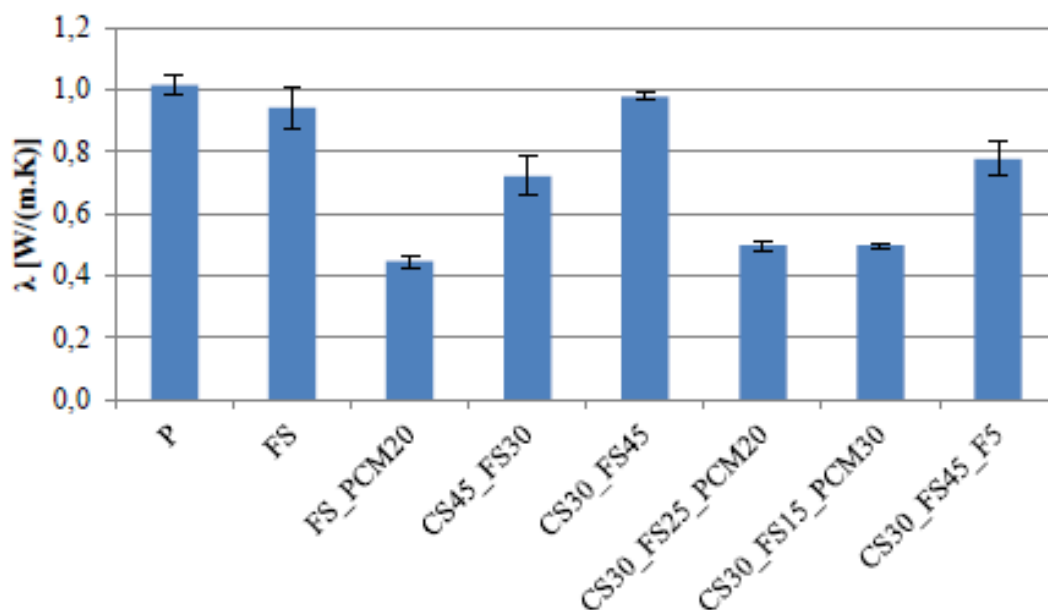


Figura 2.25 - Condutibilidade térmica das amostras (Faria e Santos, 2014)

Verifica-se que as argamassas com mais areia grossa (CS), fibras e materiais de mudança de fase têm uma condutibilidade térmica menor que as restantes argamassas, sendo os materiais de mudança de fase que mais salientam esse efeito.

Para os ensaios de capilaridade e secagem foram cortados os provetes de 4x4x16 [cm³] por forma a resultarem provetes de 4x4x4 [cm³]. A capilaridade das argamassas foi aferida com base nas normas EN 15801 e EN 1015-18. As faces laterais dos provetes resultantes do corte foram impermeabilizadas com uma resina epóxi e foi aplicado um tecido fino de algodão na base sustido por elásticos, por forma a impedir a perda de massa resultante da degradação dos provetes em contacto com a água. O coeficiente de capilaridade (CC), a taxa de secagem (DR) e o índice de secagem (DI) são apresentados no Quadro 2.24 e as curvas de capilaridade na Figura 2.26.

Quadro 2.24 - Coeficiente de capilaridade, taxa de secagem e índice de secagem (adaptado de Faria e Santos, 2014)

Argamassa	CC [kg/(m ² .min ^{0,5})]	DR [kg/(m ² .h)]	DI [-]
P	2,52 ± 0,12	0,18 ± 0,02	0,23 ± 0,02
FS	2,62 ± 0,17	0,19 ± 0,01	0,23 ± 0,01
FS_PCM20	7,33 ± 1,90	0,27 ± 0,01	0,21 ± 0,00
CS45_FS30	2,59 ± 0,05	0,18 ± 0,00	0,20 ± 0,01
CS30_FS45	2,27 ± 0,11	0,23 ± 0,04	0,15 ± 0,03
CS30_FS25_PCM20	5,00 ± 0,27	0,33 ± 0,01	0,23 ± 0,14
CS30_FS15_PCM30	4,28 ± 1,55	0,25 ± 0,07	0,22 ± 0,01
CS30_FS45_F5	2,56 ± 0,14	0,23 ± 0,01	0,17 ± 0,01

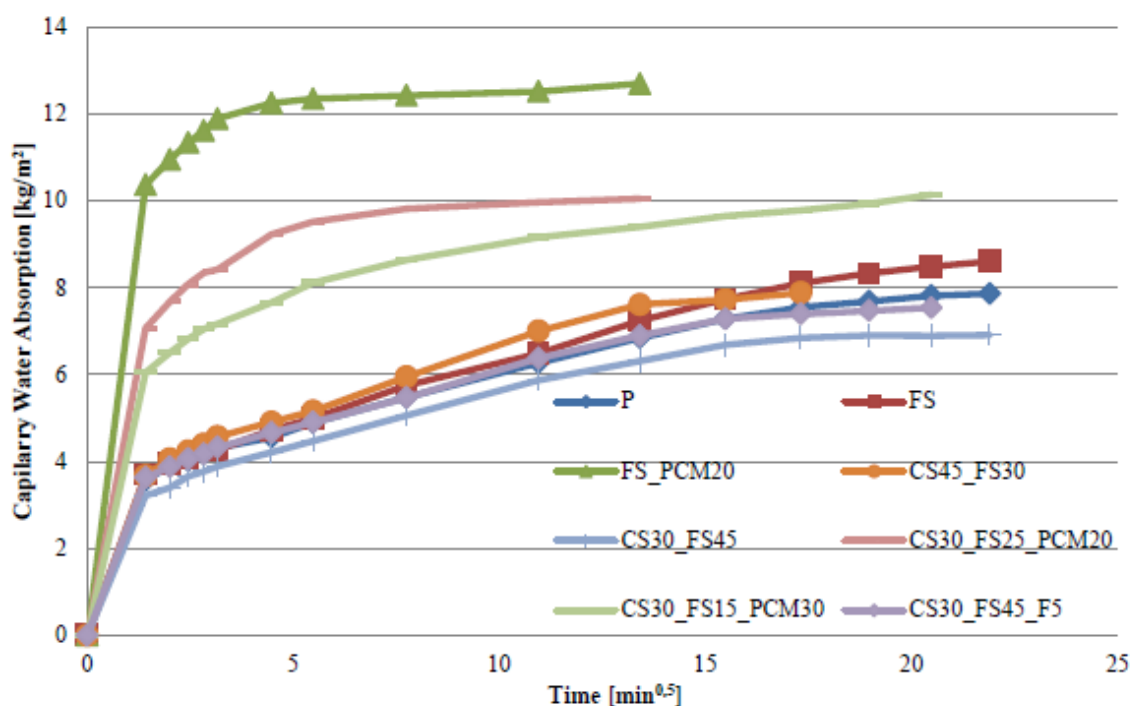


Figura 2.26 - Curvas de capilaridade (Faria e Santos, 2014)

O ensaio de secagem foi efetuado no seguimento do de capilaridade com base no teste No. II.5 da RILEM. Contudo, neste estudo, alguns dos provetes não estavam totalmente saturados aquando do início do ensaio de secagem devido à degradação deste tipo de materiais quando em contacto com a água. A curva de secagem é apresentada na Figura 2.27.

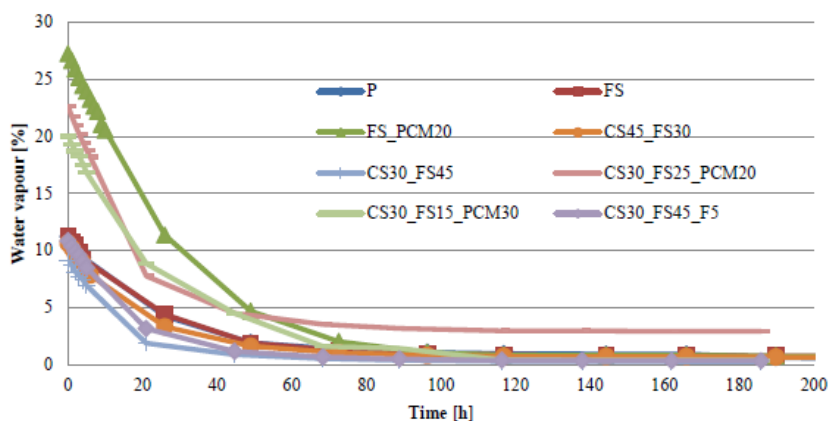


Figura 2.27 - Curva de secagem (Faria e Santos, 2014)

É visível que o coeficiente de capilaridade é mais elevado para as argamassas com materiais de mudança de fase, sendo que todas as outras argamassas apresentam resultados semelhantes. Os autores referem que as argamassas com materiais de mudança de fase ficam saturados muito depressa. O índice de secagem é similar para todas as amostras testadas. A taxa de secagem é especialmente alta para a amostra CS30_FS25_PCM20, com 20% de PCM, o que revela uma elevada secagem inicial.

A permeabilidade ao vapor de água das argamassas foi determinada segundo as normas DIN 18947, EN 1015-19, EN ISO 12572 e EN 15803, utilizando os provetes circulares, usando o método da cura húmida. Após preparados, os provetes foram colocados numa câmara climática a 23°C de temperatura e 40% de humidade relativa. Os fatores de resistência ao vapor de água (μ) e a espessura da camada de ar de difusão ao vapor de água equivalente (S_d) são apresentados na Figura 2.28.

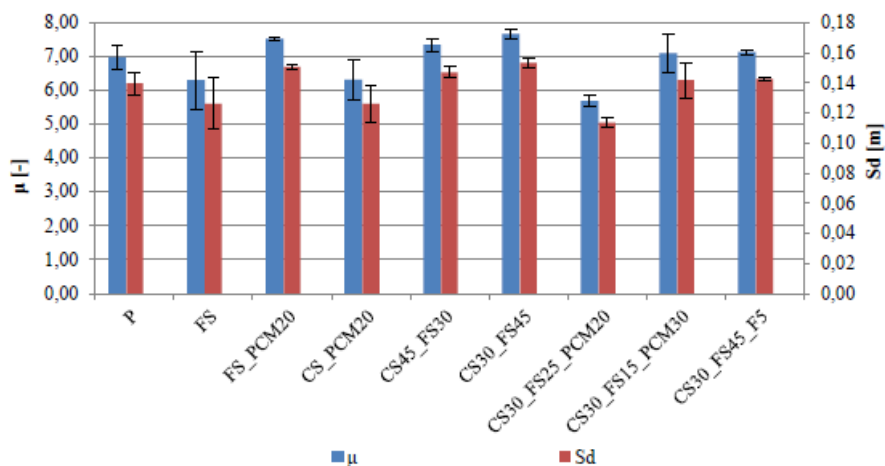


Figura 2.28 - Fatores de resistência ao vapor de água (μ) e a espessura da camada de ar de difusão ao vapor de água equivalente (S_d) (Faria e Santos, 2014)

O ensaio de adsorção (ou ensaio de higroscopicidade) foi realizado para os provetes circulares segundo a norma DIN 18947, embora com uma área muito inferior à referida na norma. Os provetes foram revestidos com uma película de polietileno em todas as faces menos a superior. As amostras foram então estabilizadas a 50% de humidade relativa numa câmara climática, seguindo-se o aumento deste valor para 80%, medindo-se o ganho de vapor de água aos instantes de tempo 0,5 h, 1h, 3h, 6h e 12h. Para o ensaio de desadsorção foi efetuado o mesmo procedimento, sendo que a mudança de humidade relativa foi efetuado dos 80% para os 50%. Os resultados deste ensaio encontram-se na Figura 2.29, com a adsorção representada por linhas contínuas e a desadsorção representada por linhas interrompidas.

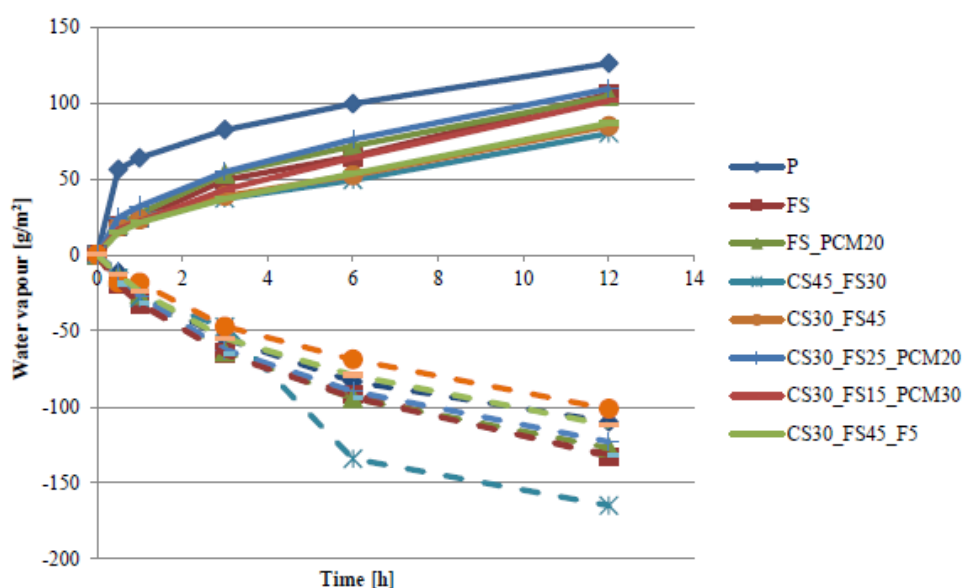


Figura 2.29 - Adsorção e desadsorção das amostras (Faria e Santos, 2014)

Segundo os autores, embora a área das amostras ensaiadas seja muito inferior à da norma seguida, os resultados indicam que todas as amostras poderiam ser classificadas na classe superior WS III. Será então espectável que argamassas feitas com estes materiais conseguirão adsorver vapor de água do ambiente interior sempre que este apresentar valores de humidade relativa altos e libertar esse vapor de água quando o ambiente interior seca.

2.3 Soluções construtivas alternativas

Com o intuito de trazer de volta o uso de canas comuns (no caso *Arundo donax L.*) para realização de coberturas, de forma a seguir uma construção sustentável para o ambiente, foi realizado um estudo em que se utilizaram argamassas à base de gesso, (Martínez-Gabarrón et al., 2014).

Na conceção tradicional a aderência entre as canas e a argamassa é baixa, pelo que foram estudadas modificações às lajes deste material por forma a aumentar a sua resistência à flexão. Na Figura 2.30 são mostrados alguns exemplos desta aplicação.



Figura 2.30 - Exemplos da aplicação de canas e argamassa na concepção de coberturas (Martínez-Gabarrón et al., 2014)

Os ensaios foram levados a cabo em provetes de dimensões 4x4x16 [cm³], utilizando gesso castanho como agente de cimentação ou matriz para conduzir os testes e água para misturar, um retardador orgânico de cura para melhorar a trabalhabilidade do gesso (relação água/gesso = 0,5) e para não comprometer a sua resistência. Foi utilizada também cana comum com diâmetros diferentes (8-10 mm e 10-12 mm), diferentes arranjos e configurações, a fim de estudar o efeito de aderência entra a cana e o gesso e assim, a resistência à flexão. Além disso, em alguns testes foram utilizados outros materiais, como por exemplo agregado e resina epóxi, arame, malha de aço, malha de plástico (polietileno de alta densidade - PEAD), e fibras de esparto (*Stipa tenacissima*). A Figura 2.31 ilustra algumas das modificações efetuadas e os resultados dos ensaios apresentam-se no Quadro 2.25.



Figura 2.31 - Exemplos de modificações usando canas com 8-10 mm de diâmetro e diferentes arranjos de arame (a), canas com 10-12 mm de diâmetro com ranhuras (b) e incorporação de fibras de esparto na argamassa (c) (Martínez-Gabarrón et al., 2014)

Quadro 2.22 - Resistência à flexão dos provetes em MPa (adaptado de Martínez Gabarrón et al., 2014)

Amostra	Alterações efetuadas							
	Tradicional	Agregado	Arame	Meia cana	Cana c/ ranhuras	Malha de aço	Malha de plástico	Fibra de esparto
1	2,26	3,11	4,17	4,71	8,91	3,19	2,49	6,27
2	2,30	4,25	3,42	4,42	7,78	3,82	3,20	7,19
3	2,33	3,87	2,20	5,21	5,94	2,31	2,45	6,47
4	2,04	5,01	3,10	4,04	6,35	3,58	2,81	5,81
5	2,45	2,79	-	3,98	6,54	3,87	2,67	6,15
6	2,57	3,22	3,85	3,87	5,40	5,41	2,85	6,80
7	2,22	2,97	3,30	4,96	5,55	5,38	3,01	7,01
8	2,78	3,46	4,31	3,97	5,60	5,50	2,10	7,04
9	2,98	2,77	3,46	4,27	3,10	5,33	2,31	5,12
10	2,30	3,56	3,13	4,37	3,12	3,25	2,52	6,40
11	2,76	2,75	4,25	5,24	2,82	5,54	2,52	6,90
12	2,60	2,53	3,80	4,77	2,96	4,53	2,38	6,95
Média	2,47	3,36	3,55	4,48	5,34	4,31	2,61	6,51
DP	0,28	0,73	0,62	0,49	1,99	1,12	0,31	0,61

De acordo com os resultados, a melhor alteração corresponde à introdução de fibras vegetais de esparto sem canas, conferindo um aumento à resistência à flexão de 163,5% em relação à amostra tradicional, o que mostra que a introdução de fibras vegetais poderá ser uma mais-valia na construção com argamassas de terra. Contudo esta introdução conferiu um comportamento mais frágil às argamassas pois, segundo os autores, os provetes colapsaram à primeira fissura.

Um último estudo sobre esta vertente de utilização de argamassas de terra com canas será referido (Angulo-Ibáñez et al., 2012). Este estudo foca o desempenho estrutural de várias soluções tradicionais de reforço de paredes.

Para compreender as melhores soluções, foram concebidos 9 modelos de reforço destas paredes. O Modelo 1 consiste em paredes de adobe sem qualquer reforço, dividindo-se em dois submodelos (Modelo 1A com uma espessura de parede de 40 cm e Modelo 1B com uma espessura de 60 cm), com a finalidade de avaliar a influência da espessura no comportamento estrutural da construção. O Modelo 2 consiste em paredes de terra com 40 cm de espessura (à semelhança dos restantes modelos), com vigas de madeira de 15 cm de diâmetro e 2 m de comprimento, embutidos nos cantos superiores. O Modelo 3 contempla escoras de madeira enroscadas com 15 cm de diâmetro embutidas na parte superior dos cunhais. O Modelo 4 consiste na colocação de vigas de madeira com 15 cm de diâmetro na parte superior das paredes. O Modelo 5 assemelha-se ao anterior mas incorpora um reforço na zona de cunhais. Para o Modelo 6 optou-se pelo recurso ao prolongamento das paredes de cunhal em 80 cm. O Modelo 7 consiste na suavização dos cunhais das paredes. O Modelo 8 recorre ao uso de blocos de adobe com 80 cm de comprimento nos cunhais. Finalmente, o Modelo 9, sendo o mais elaborado, utiliza um sistema de reforço interno feito por canas com 6 cm de diâmetro a cada 40 centímetros verticalmente e horizontalmente. Na Figura 2.32 (a) a (i) são apresentados os esquemas dos modelos 1 a 9 respetivamente.

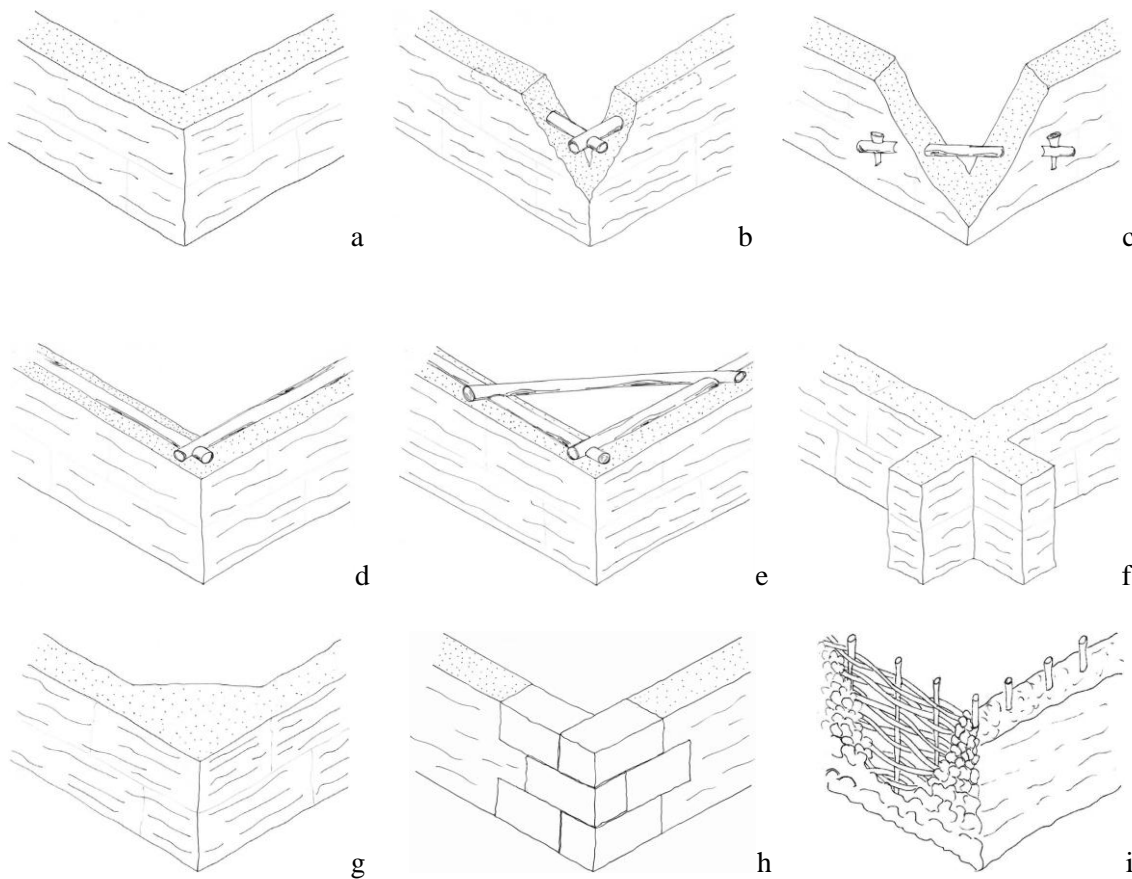


Figura 2.32 - Esquemas dos modelos estudados (Angulo-Ibáñez et al., 2012)

Após a simulação de carregamento através de software informático foi possível estimar os valores das cargas de colapso (para as ações do peso próprio da estrutura e desta ação em simultâneo com o vento) que se apresentam no Quadro 2.26 e na Figura 2.33, de cada uma das soluções estudadas.

Quadro 2.23 - Cargas de colapso e valores de referência (adaptado de Angulo-Ibáñez et al., 2012)

Modelo	Peso próprio		Peso próprio e vento	
	Carga de colapso [%]	Valor de referência [%]	Carga de colapso [%]	Valor de referência [%]
1A	600	100	280	100
1B	750	125	390	139
2	600	100	415	148
3	600	100	460	164
4	640	107	610	218
5	685	114	610	218
6	600	100	325	116
7	600	100	305	109
8	660	110	595	213
9	600	100	595	213

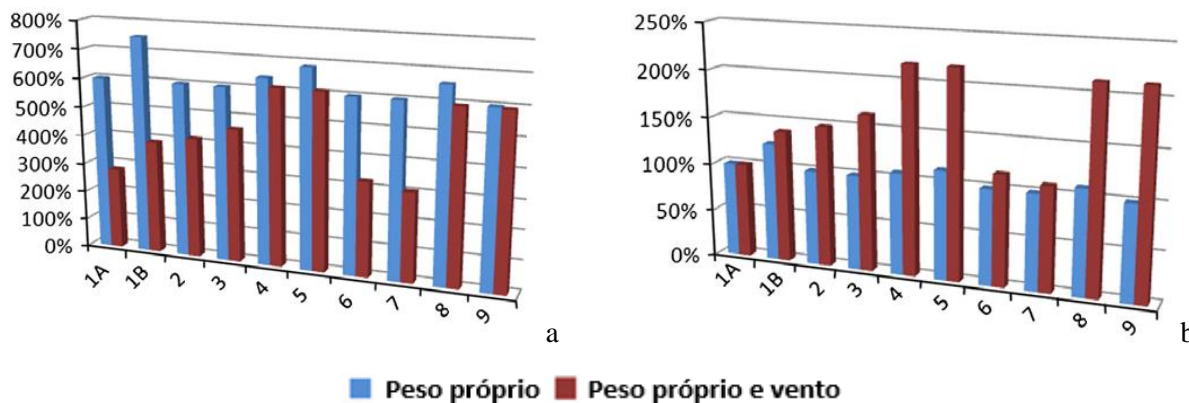


Figura 2.33 - Cargas de colapso (a) e valores de referência (b) (Angulo-Ibáñez et al., 2012)

Os Modelos 4 e 5 apresentam o melhor comportamento face às ações analisadas uma vez que, segundo os autores, estes modelos atuam em toda a estrutura, o que promove a colaboração de todas as paredes, conduzindo a uma melhor distribuição do peso. Os autores referem ainda que o Modelo 9 é altamente resistente devido ao reforço induzido pelas canas, mas alertam para o possível apodrecimento das mesmas caso a humidade no interior das paredes não seja controlada.

2.4 Síntese

O uso de materiais como a terra é importante uma vez que esta usa uma menor energia incorporada do que a maioria dos materiais de construção, está disponível na zona de construção e promove uma boa qualidade do ar interior. Além disso a bibliografia pesquisada fornece dados encorajadores tais como os de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.K) (Isik e Tulbentci, 2008) para blocos de terra estabilizada com gesso e o mesmo valor para provetes de argamassas de terra sem fibras com recurso a materiais de mudança de fase segundo Faria e Santos (2014). Contudo Pekmezci et al. (2012) apresentam resultados com metade deste valor com 0,22 W/(m.K) para provetes estabilizados com 10% de gesso e 5% de cal. Estes resultados revelam que, do ponto de vista térmico, a terra é um material com bom desempenho, sendo as suas características térmicas controláveis com as proporções dos constituintes.

Embora a bibliografia consultada não ofereça resultados para comparação, Faria e Santos (2014) obtiveram valores de coeficiente de capilaridade de 2,56 kg/(m².min^{0.5}), valores de taxa de secagem de 0,23 kg/(m².h) e índices de secagem de 0,17. Embora sem resultados para comparar, Pekmezci et al. (2012) afirmam que a introdução de cal na argamassa afeta o coeficiente de capilaridade.

Analisando toda a bibliografia é possível verificar que, dos estudos comparáveis, os maiores valores de resistência à compressão foram verificados por Fopossi et al. (2014) com valores de 2,80 MPa para adobe com cal adicionada a 6%, verificando-se contudo uma grande diferença quando comparado com os valores obtidos por Molina et al. (2012), com 0,2 MPa, também para adobe com adição de cal, que optaram por uma estabilização por quantificação de pH, o que pode justificar esta diferença. Depreende-se assim que a estabilização da terra com recurso a materiais como a cal pode ser benéfico para a sua resistência à compressão.

Relativamente à resistência à flexão Martínez-Gabarrón et al. (2014) apresentam os valores mais elevados, com 6,51 MPa para argamassas de gesso com fibras, material diferente do apresentado nos restantes estudos. Entre estes os valores mais elevados foram apresentados por W. Martínez-Molina et al. (2010) com 0,42 MPa. Embora o material seja diferente, o estudo de Martínez Gabarrón et al. (2014) sugere um bom comportamento à flexão para materiais com introdução de fibras.

Assim sendo indicia ser útil estudar as características da terra como material de construção com adições como a cal ou o gesso para melhorar as propriedades deste material. A análise da incorporação de fibras e canas é ainda mais encorajado uma vez que, pelos estudos mostrados, estas introduções trazem grandes benefícios em termos estruturais.

3 CAMPANHA EXPERIMENTAL

Como referido anteriormente, a solução construtiva da alvenaria desenvolvida é constituída por camadas alternadas de argamassa à base de terra, cal aérea, pozolana e fibras de canas, com ou sem agente secante e areão, intercaladas com camadas de canas. A camada de argamassa tem aproximadamente 3 cm de espessura mas envolve completamente cada cana na respetiva camada, garantindo a ligação do conjunto. As canas apresentam diâmetro variável, da ordem de 2-3 cm, e são colocadas de forma a garantir espaço suficiente entre elas para que a argamassa da camada superior contacte com a argamassa da camada inferior.

A campanha experimental contemplou ensaios de caracterização dos agregados constituintes das argamassas (granulometria e baridade), ensaios mecânicos das amostras estudadas (módulo de elasticidade dinâmico, resistências à tração por flexão e à compressão) e ensaios de caracterização física (massa volúmica no estado seco, comportamento face à água - absorção capilar e secagem -, condutibilidade térmica e determinação da resistência térmica, adsorção e permeabilidade ao vapor de água).

3.1 Materiais, provetes e cura

Os materiais constituintes das argamassas são: terra T1 e terra T2 provenientes respetivamente de um terreno junto da Fradical (Charneca da Caparica) e de um terreno da FCT UNL (Monte da Caparica); uma cal em pasta cálcica Fradical, classificada como CL90-S PL; um aditivo pozolânico em pó à base de metacaulino e pó de tijolo e identificado como aditivo pozolânico em pó Fradical; fibras de canas correntes (*arundo donax*); por vezes um areão com máxima dimensão de 4,75 mm e um secante à base de óxido de cálcio, como composto principal e óxidos de alumínio e sílica e identificado como secante pozolânico Fradical. A preparação prévia das terras consistiu em remover a camada de recobrimento vegetal superficial, extrair a quantidade de terra suficiente para a execução dos provetes a ensaiar e seu destorroamento.

As argamassas formuladas apresentam diferentes constituições, que são apresentadas no Quadro 3.1 em termos de traços volumétricos.

Quadro 3.1 - Traços volumétricos das argamassas em estudo

Argamassa	Terra	Areão	Cal em pasta	Pozolana	Fibras	Secante
R	1	0,5	0,04	0,11	1,5	0,08
B	1	1	0,05	0,15	2	0,11
W	1	0	0,025	0,075	1	0,06
Y	1	0	0,09	0,06	0,5	0,06
G	1	0	0,09	0,06	1	0,05
G_SF	1	0	0,09	0,06	0	0,05
P	1	1	0,175	0,125	2	-
P_SF	1	1	0,175	0,125	0	-

As argamassas R, B, W, Y, G e G_SF foram produzidas com a terra T1; as argamassas P e P_SF foram produzidas com a terra T2. Como se pode verificar, nem todas as argamassas contêm areão. A única diferença existente entre as argamassas G e G_SF, bem como entre as argamassas P e P_SF, é a ausência de fibras de canas. Ao material de alguns provetes de algumas argamassas foi por vezes introduzido secante.

Para cada argamassa foram realizados provetes de diferentes dimensões, dependendo dos ensaios a realizar: provetes 1 – cilíndricos com 90 mm de diâmetro e 20 mm de espessura; provetes 2 – prismáticos de 30x100x200 [mm³]; provetes 3 – prismáticos de 40x40x160 [mm³]; provetes 4 – prismáticos de 100x100x200 [mm³]; provetes 5 – cúbicos de 150 mm de aresta. As dimensões dos provetes, inclusão ou não de secante (SE) ou de canas (C) e os ensaios a que foram sujeitos apresentam-se no Quadro 3.2, complementado pela Figura 3.1.

Quadro 3.2 - Provetes, dimensões e ensaios realizados

Provete				Ensaio
Denominação	Dimensões [mm ³]	Secante	Canas	
1	$\varphi = 90$ e = 20	Não	Não	MV, λ , adsorção, Pva
1_SE	$\varphi = 90$ e = 20	Sim	Não	MV, λ , adsorção, Pva
2	30x100x200	Não	Não	MV, λ , adsorção
2_SE	30x100x200	Sim	Não	MV, λ , adsorção
3	40x40x160	Não	Não	MV, λ , absorção capilar (argamassas R, G, G_SF e P_SF), secagem (argamassas R, G, G_SF e P_SF), Rt, Rc, MED
3_SE	40x40x160	Sim	Não	MV, λ , absorção capilar (argamassa R), secagem (argamassa R), Rt, Rc, MED
4	100x100x200	Não	Não	MV, λ , absorção capilar (argamassa P), secagem (argamassa P), Rt, Rc, MED
4_SE	100x100x200	Sim	Não	MV, λ , Rt, Rc, MED
4_C	100x100x200	Não	Sim	MV, cálculo da resistência térmica, Rt
4_C_SE	100x100x200	Sim	Sim	MV, cálculo da resistência térmica, Rc
5_C	150x150x150	Não	Sim	MV, cálculo da resistência térmica, Rc
5_C_SE	150x150x150	Sim	Sim	MV, cálculo da resistência térmica, Rc

Nota: MV – massa volúmica, λ – condutibilidade térmica, MED – módulo de elasticidade dinâmico, Rt e Rc – resistências à tração por flexão e à compressão, Pva – permeabilidade ao vapor de água

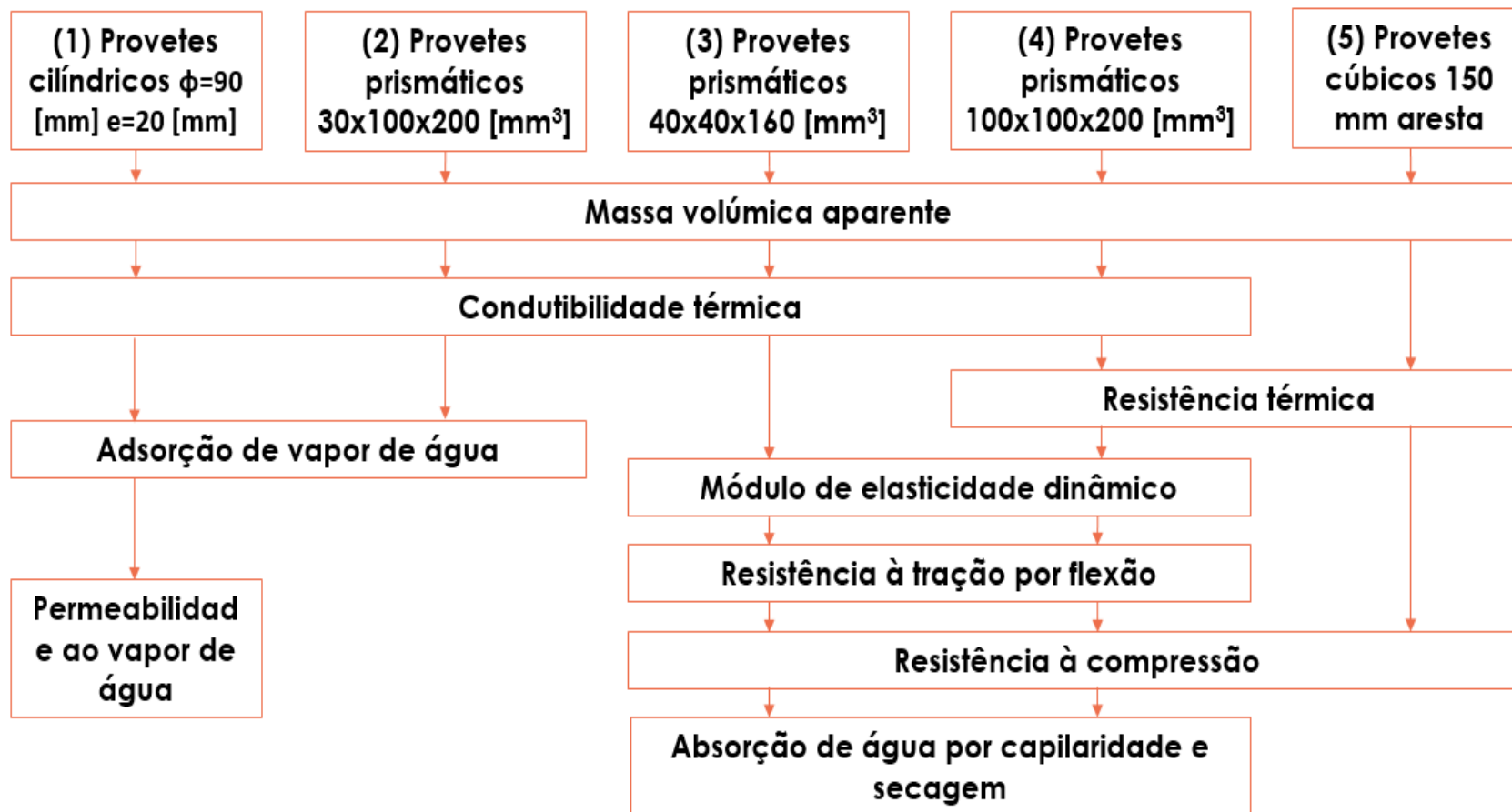


Figura 3.1 – Provetes e ensaios a realizados

Assim sendo, a partir deste momento os provetes passarão a ser designados por: tipo de argamassa_tipo de provete_materiais complementares. Por exemplo um provete constituído por argamassa R, de dimensões 100x100x200 [mm³], com canas e com secante designa-se como R_4_C_SE.

Os provetes com as argamassas R, B, W, Y, G e G_SE foram realizados nas instalações da Fradical e os provetes com as argamassas P e P_SE foram realizados na FCT UNL. Esta situação de produção exterior ao laboratório condicionou de algum modo a existência e o estado de alguns tipos de provetes. Com a argamassa G_SF apenas foram realizados provetes das tipologias 1 e 3 e com a argamassa P_SF apenas foram realizados provetes das tipologias 1, 2 e 3 (todos estes sem fibras). Apenas os provetes 5 e alguns dos 4 foram realizados com canas e sempre com fibras. Foi realizado um mínimo de 3 e um máximo de 6 provetes de cada. Todos os provetes permaneceram em condições de cura à temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e humidade relativa (HR) de $65 \pm 5\%$ durante um período mínimo de 60 dias.

3.2 Caracterização experimental – Procedimentos e resultados

3.2.1 Análise granulométrica

A determinação da granulometria das terras (após preparação prévia) e do areão constituintes das argamassas tomou por base a norma NP EN 933-1 (IPQ, 2000). O ensaio foi realizado com a finalidade de aferir as características relativas à distribuição da dimensão dos grãos de cada tipo de material utilizado e permite determinar as curvas granulométricas dos agregados. O ensaio foi realizado através do processo de peneiração utilizando uma série de peneiros de abertura conhecida, apresentada no Quadro 3.3, e um agitador mecânico de peneiros.

Quadro 3.3 - Peneiros utilizados e respectivas dimensões

Peneiros	
nº	mm
4	4,75
10	2,00
20	0,84
40	0,42
60	0,25
80	0,177
140	0,105
200	0,075
Refugo	-

Fazendo um acumulado da massa dos agregados retidos em cada peneiro é possível obter as curvas granulométricas de cada agregado, apresentadas na Figura 3.2 com a percentagem de massa de material acumulado passado em função da dimensão de cada peneiro utilizado no ensaio.

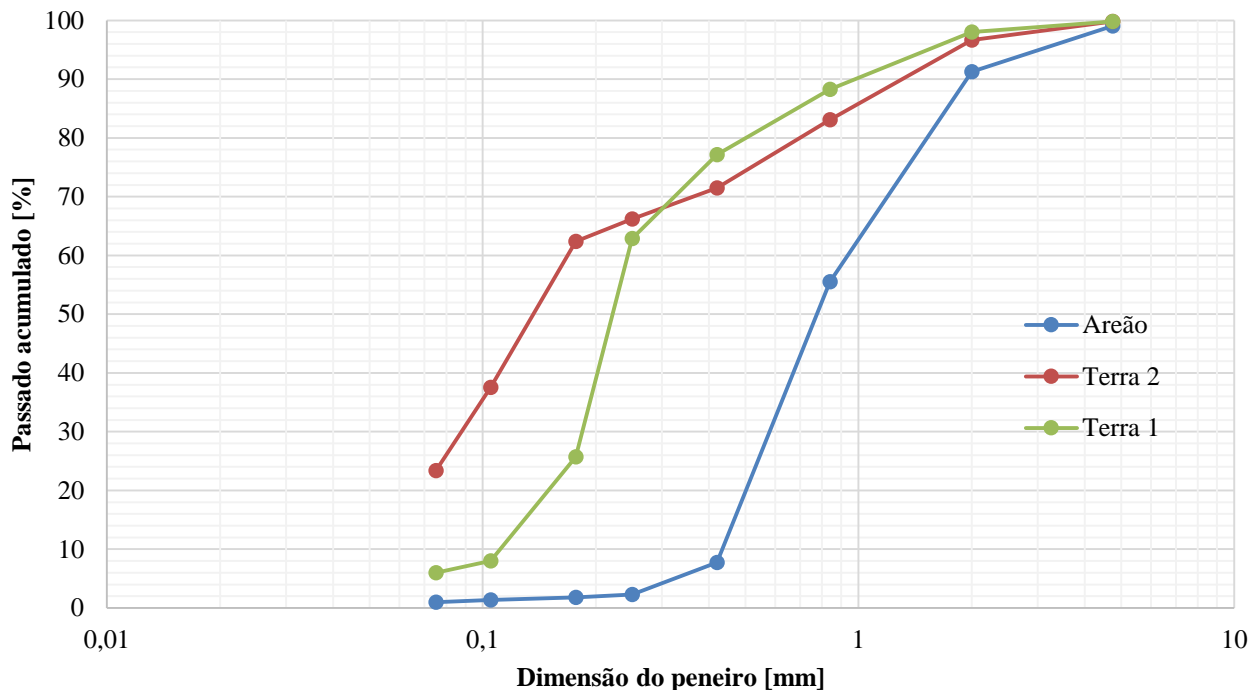


Figura 3.2 - Curva granulométrica a seco das terras e do areão

Verifica-se que a distribuição granulométrica apresentada pela terra T1 revela uma grande quantidade de material (cerca de 37%) retido no peneiro n° 80 e uma distribuição uniforme nos peneiros com malhas de maior dimensão. A terra T2 tem cerca de 23% de material de dimensões menores que as da malha do peneiro n° 200 (0,075 mm), tendo uma granulometria extensa nos peneiros restantes. O areão é um material claramente mais grosso, com cerca de 92% de material retido acumulado no peneiro n° 40.

3.2.2 Baridade

Após o ensaio de granulometria aferiu-se a baridade das terras e do areão segundo a norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2002). A determinação da baridade baseia-se na determinação da massa de material seco que preenche um recipiente de capacidade conhecida (no caso 0,749 dm³). Inicialmente colocou-se o material a ensaiar num funil tapado na base, colocado a uma altura de cerca de (inferior a) 50 mm acima de um recipiente. Esse recipiente, em aço, foi colocado num tabuleiro de modo a evitar perdas de material. Colocou-se o funil cheio no suporte e abriu-se a sua base e o material caiu por gravidade para dentro do recipiente cilíndrico colocado inferiormente. Quando o recipiente ficou cheio, alisou-se a superfície e pesou-se. Este procedimento foi repetido mais duas vezes. A baridade é então dada pela média dos quocientes da massa de material contido no recipiente pelo respetivo volume. O Quadro 3.4 mostra a média e o desvio padrão dos valores obtidos para a baridade das terras T1 e T2 e para o areão.

Quadro 3.4 - Baridade

Material	Baridade [kg/dm ³]	
	Média	DP
Terra T1	2,02	0,02
Terra T2	2,04	0,03
Areão	2,27	0,03

Verifica-se que o areão tem a baridade mais elevada e as terras T1 e T2 apresentam valores muito semelhantes.

3.2.3 Massa volúmica aparente dos provetes

Após um mínimo de 60 dias em condições de laboratório à temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $65 \pm 5\%$ os diferentes provetes foram medidos e a sua massa avaliada de forma a ser possível determinar a sua massa volúmica geometricamente, com base na EN 1015-10+A1 (CEN, 1999/2006). Para a sua determinação utilizou-se uma craveira digital de precisão de 0,01mm (Figura 3.3) e uma balança de precisão de 0,001g. A massa volúmica de cada provete é determinada através do quociente da massa pelo volume. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.4.



Figura 3.3 - Medição das dimensões dos provetes com recurso a craveira digital de precisão 0,01 mm

Verifica-se que, como seria expectável, a inclusão de canas e de fibras reduz a massa volúmica dos provetes, que a introdução de secante não aparenta ser muito relevante deste ponto de vista, assim como a geometria dos provetes, para a mesma constituição. Entre composições das argamassas, a Figura 3.3 permite visualizar algumas diferenças, aparentando ser a formulação P a que conduz a um material com maior massa volúmica.

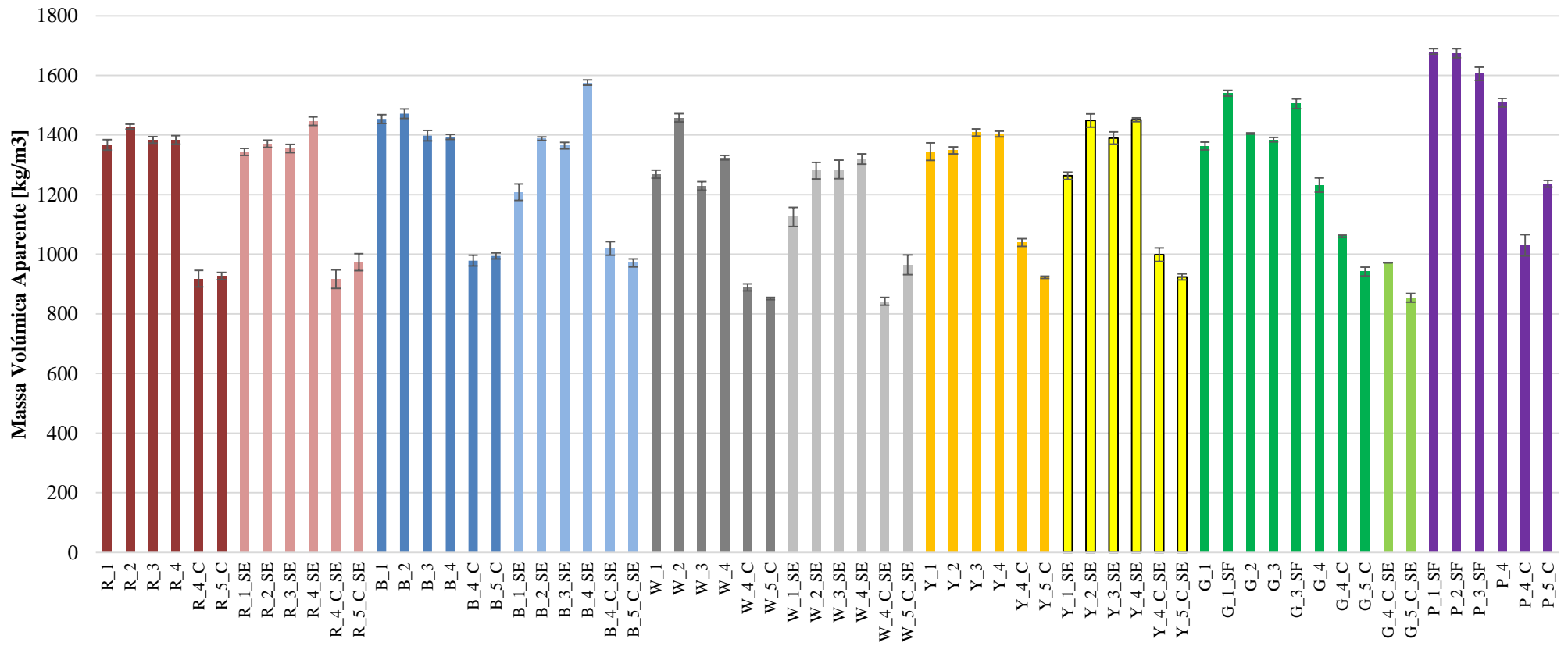


Figura 3.4 - Massa volúmica dos provetes

3.2.4 Condutibilidade térmica e resistência térmica

O ensaio da condutibilidade térmica realizou-se com recurso ao equipamento ISOMET 2104 (Heat Transfer Analyser) e respetiva sonda de superfície API 210412 com 60 mm de diâmetro (Figura 3.5). Este equipamento emite um fluxo térmico e avalia a resposta do material em estudo.



Figura 3.5 - Ensaio de condutibilidade térmica nos provetes 3 e equipamento ISOMET 2104

O equipamento define uma espessura mínima de 15 mm e uma face com um mínimo de 60 mm de lado para os provetes de material que se pretende ensaiar. É de notar que a sonda de superfície utilizada tem área superior à área de contacto com os provetes 3, pelo que os resultados obtidos para estes prismas só são totalmente comparáveis com ensaios realizados com provetes com a mesma dimensão.

Para a realização deste ensaio os provetes sem canas foram mantidos nas condições de cura inicial e foram efetuadas 3 medições em cada um, sendo alternadas entre provetes para evitar que o aumento de temperatura dos provetes, provocado pela sonda em cada ensaio, falsificasse as diferentes medições em cada provete. Para garantir as condições de fronteira homogéneas, os provetes foram colocados em cima de uma placa de XPS. Nestas condições, seleccionou-se a opção Thermal Conductivity do aparelho, iniciando-se o ensaio. Os resultados da condutibilidade térmica (λ) são expressos em W/(m.K), e o valor de cada material corresponde à média e desvio-padrão das medições realizadas em todos os provetes desse material. Os valores obtidos são apresentados na Figura 3.6.

Verifica-se que todas as formulações apresentam condutibilidade térmica entre 0,21 e 0,71 W/m.K. É de notar que os maiores valores pertencem aos provetes realizados com as argamassas P e P_SF e os menores aos provetes da argamassa W. Aparentemente a introdução de secante não induz mudanças significantes nos valores de condutibilidade térmica dos provetes.

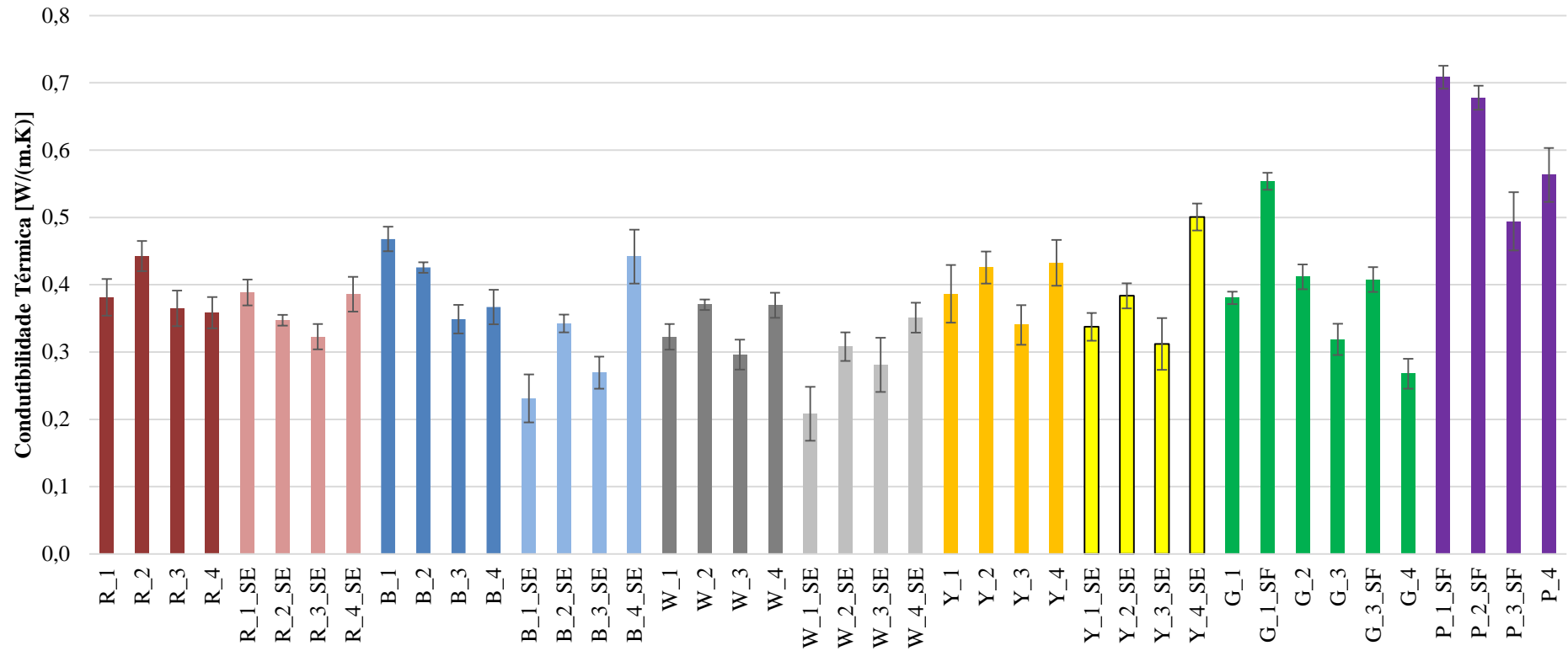


Figura 3.6 - Condutibilidade térmica dos provetes

A resistência térmica foi aferida para os provetes com canas com base nos valores de condutibilidade térmica obtidos para as argamassas, sem entrar em conta com o material constituinte das canas e aproximando o ar dentro das canas a geometrias regulares (tubos quadrangulares). O cálculo foi realizado para o provete que se considerou melhor representar cada conjunto. Assim, em secção, as zonas onde existiam canas foram aproximadas a retângulos com a mesma área, tal como representa a Figura 3.7.

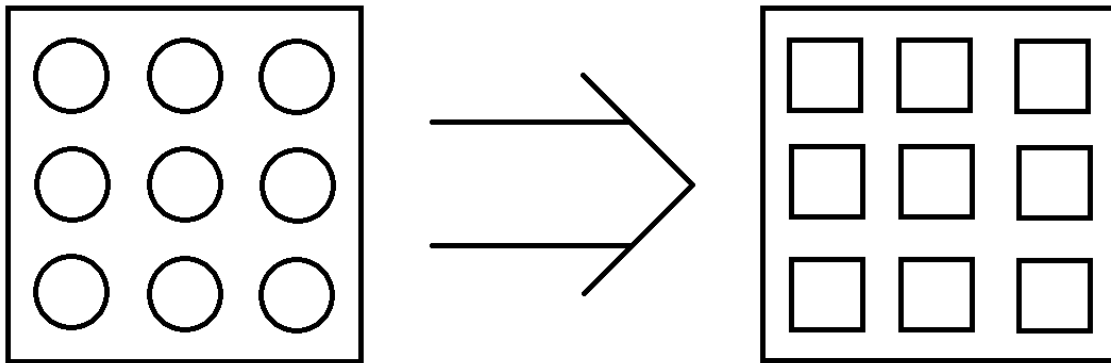


Figura 3.7 - Aproximação adoptada para cálculo da resistência térmica

Uma vez que esta solução construtiva não é homogénea, há que recorrer a uma homogeneização, efetuada por meio de uma ponderação do coeficiente de transmissão térmica das diferentes zonas dos provetes com a sua área. Tomando por base a Figura 3.7, o fluxo é horizontal pelo que se podem distinguir dois tipos de zonas, sendo um composto apenas por argamassa e outro por tantos espaços de ar não ventilados quanto o número de canas nessa zona, com espessura igual à média das espessuras das canas, sendo a restante largura do provete considerada argamassa, considerando ainda 10 mm de argamassa de cada lado.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear parcial é dado pelo inverso da resistência térmica de cada zona que é dado, por sua vez, através do quociente da espessura pela condutibilidade térmica da argamassa nas zonas em que apenas esta existe e através da soma do quociente referido para a argamassa lateral e a resistência térmica dos espaços de ar não ventilados. Segundo Pina dos Santos e Matias (2006) a resistência térmica do espaço de ar não ventilado varia de 0,11 (m².K)/W a 0,18 (m².K)/W consoante a largura dos espaços de ar resultantes. Após o cálculo do coeficiente de transmissão térmica linear parcial procede-se à ponderação do mesmo com a área, resultando num coeficiente de transmissão térmica linear homogéneo, o qual é invertido para se obter a resistência térmica. De notar que esta resistência térmica não inclui valores de resistência térmica superficial.

Apresenta-se de seguida, a título de exemplo, o cálculo efetuado para um provete R_4_C. Este provete tem uma altura de 102,24 mm, uma largura de 102,18 mm e contem 3 filas horizontais com 3 canas cada, pelo que se tem 7 zonas diferentes (4 só com argamassa e 3 com espaços de ar). As áreas das canas das 3 filas são aferidas e os seus diâmetros dados pela equação 3.1.

$$D = 2 * \sqrt{\frac{\text{Área}}{\pi}} \text{ [mm]} \quad (3.1)$$

A espessura da zona correspondente a cada fila de canas será então igual à média dos valores dos diâmetros dessas canas. Para que os vazios tenham a mesma área que as canas respectivas, será efetuado o quociente das áreas pela espessura de cada fila. A resistência térmica RT_i de cada zona é então calculada e, conseqüentemente, através do seu inverso, o coeficiente de transmissão térmica linear parcial U_{pi} . Segue-se então o cálculo do coeficiente de transmissão térmica linear homogêneo U_h de acordo com a equação 3.2.

$$U_h = \frac{\sum_{i=1}^7 (U_i * A_i)}{\sum_{i=1}^7 A_i} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]} \quad (3.2)$$

Este valor é invertido para se obter a resistência térmica RT do provete e extrapolado para uma parede de 30 cm. Os valores obtidos para este provete são apresentados no Quadro 3.5 e para todos os provetes na Figura 3.8.

Quadro 3.5 - Valores de todo o cálculo da resistência térmica do provete R_4_C

Zonas	Área das canas [mm ²]			Diâmetros das canas [mm]			Espessura equivalente [mm]	Largura dos vazios [mm]		
1	-	-	-	-	-	-	13,52	-	-	-
2	235,86	101,17	208,75	17,33	11,35	16,30	14,99	15,72	6,74	13,92
3	-	-	-	-	-	-	13,52	-	-	-
4	266,35	229,05	236,25	18,42	17,08	17,34	17,61	15,12	13,01	13,41
5	-	-	-	-	-	-	13,52	-	-	-
6	214,29	235,17	129,79	16,52	17,3	12,85	15,56	13,77	15,11	8,34
7	-	-	-	-	-	-	13,52	-	-	-

Zonas	RT_i [(m ² .K)/W]	U_{pi} [W/(m ² .K)]	U_h [W/(m ² .K)]	RT [(m ² .K)/W]
1	0,28	3,51	2,57	0,39
2	0,65	1,55		
3	0,28	3,51		
4	0,67	1,48		
5	0,28	3,51		
6	0,66	1,52		
7	0,28	3,51		

Verifica-se que para uma parede de 30 cm de largura este valor de resistência térmica será de 1,14 (m².K)/W.

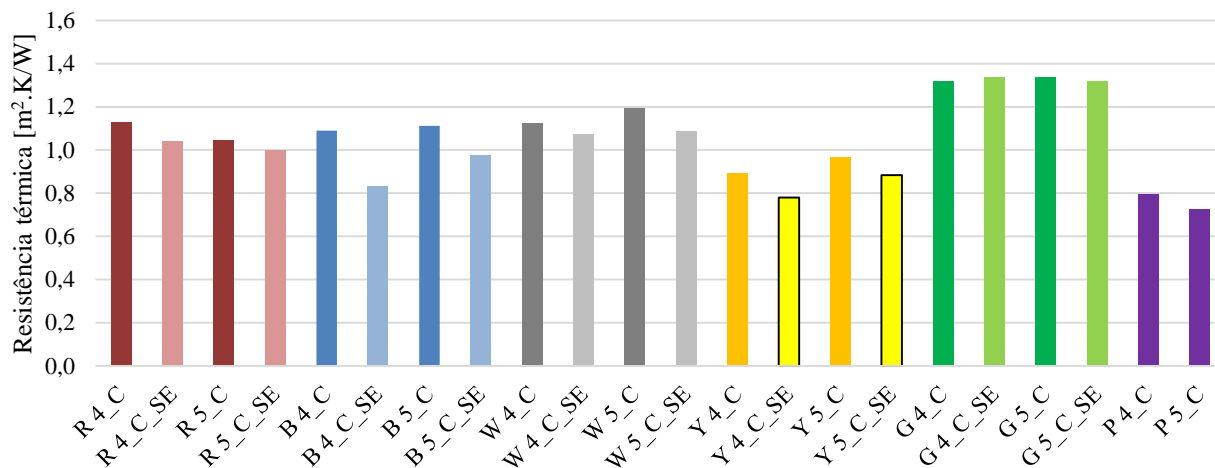


Figura 3.8 - Resistência térmica para paredes de 30 cm de espessura com base na condutibilidade térmica dos provetes com as diferentes argamassas

De uma forma geral verifica-se que os provetes que contêm secante apresentam um menor valor de resistência térmica. Tal facto apenas poderá resultar de uma diferente distribuição das canas no interior de cada provete, uma vez que a presença de secante não introduz mudanças nos valores de condutibilidade térmica. De notar que os provetes G têm valores de resistência térmica a rondar os 1,3 m².K/W, sendo o maior valor obtido de todos os provetes.

De uma forma geral, os provetes da tipologia 4 (100x100x200 [mm³]) apresentam menores resultados do que os de tipologia 5 (150x150x150 [mm³]). Através da observação dos provetes conclui-se que, num caso prático, tal facto se poderá verificar devido à falta de alinhamento das canas (que é tão menor quanto maior forem as dimensões do elemento) que obriga ao “desvio” do fluxo de calor, obrigando-o a percorrer um maior trajeto.

3.2.5 Módulo de elasticidade dinâmico e resistências à tração por flexão e à compressão

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico recorreu-se ao método da ressonância forçada, com base na norma NP EN 14146 (IPQ, 2006) Esta norma aplica-se a pedra natural e padroniza os procedimentos necessários para a determinação da frequência fundamental de ressonância para uma vibração induzida na direção longitudinal. Este ensaio foi realizado para os provetes das tipologias 3 e 4 sem canas, tendo em conta os dados geométricos e a respetiva massa. Após serem retirados da sala condicionada colocou-se cada um dos provetes no suporte existente no equipamento “ZEUS Resonance Meter” (ZRM 001) (Figura 3.9), ficando um topo do provete em contacto com o emissor de vibrações e o outro com o recetor. São então inseridas as características do provete (massa em gramas e dimensões em milímetros) no programa de cálculo do equipamento e dá-se início ao ensaio. Seguidamente registam-se as leituras do módulo de elasticidade determinado e roda-se o provete de modo a efetuar um mínimo de 4 medições em cada provete, com os topos dos provetes colocados em posições diferentes. O programa de cálculo do equipamento utilizado regista o valor do módulo de elasticidade seguindo a equação (3.3).

$$E_d = (2 * L * f_0)^2 * \frac{\rho}{g} * 10^{-6} \text{ [MPa]} \quad (3.3)$$

em que:

L – comprimento do provete [m];

f_0 – frequência de ressonância longitudinal [Hz];

ρ – peso específico [N/mm³];

g – aceleração da gravidade [9,806655 m/s²].



Figura 3.9 - Equipamento “ZEUS Resonance Meter” e provete em ensaio

Após o ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, realizou-se o ensaio de resistência à tração por flexão, tendo por base a norma EN 1015-11 (CEN, 1999). Inicialmente preparou-se a máquina universal Zwick/Rowell Z050 (Figura 3.10) com a introdução de uma célula de carga de 2 kN associada ao dispositivo de flexão por três pontos. Seguidamente colocou-se um provete sobre os apoios distanciados entre si de 100 mm para os provetes da tipologia 3 e 150 mm para os provetes da tipologia 4. Ao colocar o provete, teve-se o cuidado de colocar a face mais rugosa disposta lateralmente de forma a permitir que a carga atuasse numa superfície o mais lisa possível, sem irregularidades, garantindo a perpendicularidade entre o provete e a célula de carga, por forma a não influenciar os resultados. Deu-se então início ao programa de *software* do equipamento de ensaio, que produz um gráfico da força aplicada (em N) em função do tempo (em s), registando a força máxima Fr aplicada, que leva à rotura do provete. Através da equação (3.4) é possível obter a resistência à tração por flexão R_t (em MPa) dos provetes, como é indicado na norma EN 1015-11 (CEN, 1999).

$$R_t = \frac{Fr * l}{4} * \frac{h}{2} * \frac{12}{b * h^3} = \frac{3}{2} * \frac{Fr * l}{b * h^2} \text{ [MPa]} \quad (3.4)$$

em que:

l – distância entre apoios, em milímetros (100 ou 150 mm, respetivamente);

b – lado horizontal da secção, em milímetros;

h – lado vertical da secção, em milímetros;

Fr – força máxima registada, em N.

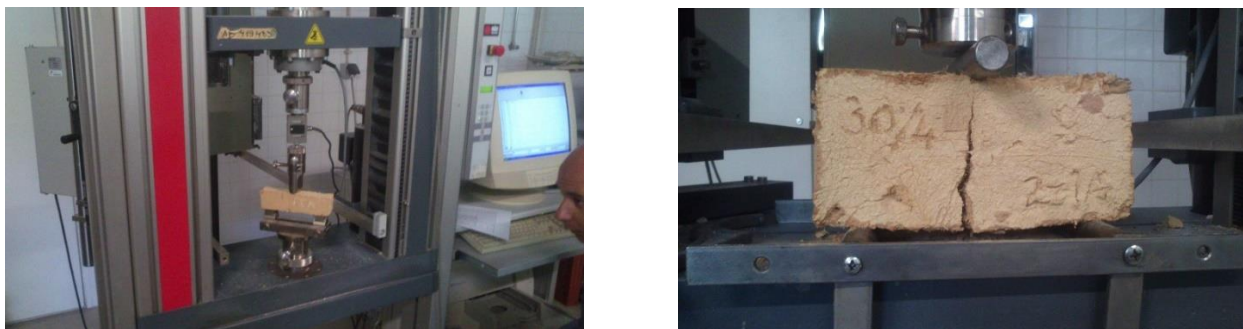


Figura 3.10 - Equipamento Zwick/Rowell Z050 em ensaio de resistência à tração por flexão dos provetes do tipo R_3 (esq.) e tipo R_4 (dir.)

Foi realizado o ensaio de resistência à compressão (Figura 3.11) com metade de cada provete resultante do ensaio de resistência à tração por flexão, com base também na norma EN 1015-11 (CEN, 1999). No caso dos provetes com canas não foi possível aproveitar as metades dos provetes provenientes do ensaio à flexão uma vez que este ensaio desfaz o provete por completo e desagrega todas as canas. Por esse motivo os ensaios à compressão, nos provetes com canas foram apenas efetuados com os que tinham secante; todos os restantes provetes com canas e sem secante foram ensaiados apenas à flexão. Apenas os provetes de tipologia 5 foram ensaiados à compressão tanto com como sem secante, uma vez que, devido às suas dimensões, não foram submetidos ao ensaio de resistência à tração por flexão.



Figura 3.11 - Ensaio de resistência à compressão

De forma semelhante ao ensaio anterior, preparou-se a máquina universal Zwick/Rowell Z050 com a introdução da célula de carga de 50 kN. Colocou-se um provete entre os dispositivos de compressão e deu-se início ao carregamento do provete através do *software* do equipamento anteriormente referido, com velocidades variáveis de provete para provete. Ficam registados os valores da força aplicada em função do tempo, bem como a força máxima de compressão (F_c). A resistência à compressão R_c (em MPa) é obtida através do quociente entre a força máxima F_c (em N) registada pelo *software* do equipamento e a secção de aplicação da carga (em mm^2). Os resultados obtidos nos três últimos ensaios descritos são apresentados na Figura 3.12.

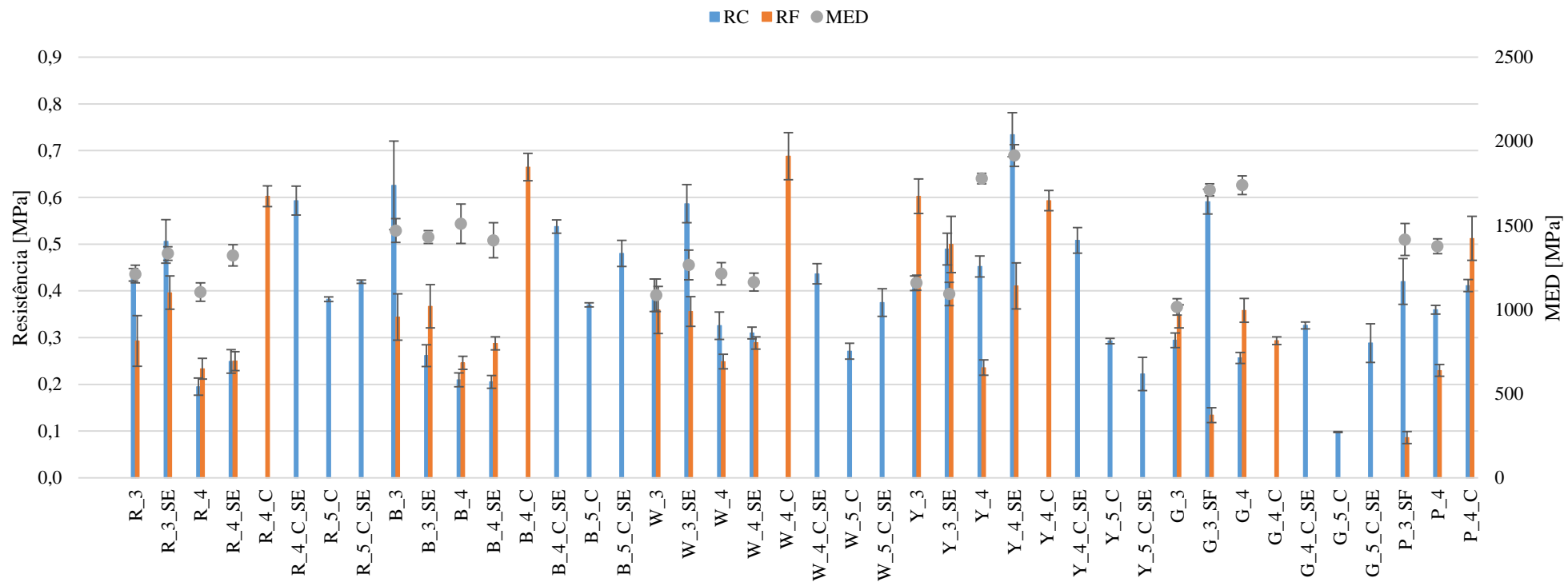


Figura 3.12 - Módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão Rt e resistência à compressão Rc

Verifica-se que, de um modo geral a introdução de secante aumenta a resistência à compressão, mas não apresenta influência na resistência à flexão dos materiais. É de notar que a introdução de canas aumenta os valores das resistências à flexão e que, por comparação dos provetes P_4 e P_4_C, aumenta a resistência à compressão. Esta característica deve-se ao facto de as canas dos provetes P_4_C estarem alinhadas, formando colunas de argamassa sem canas, o que favorece o comportamento à compressão. Salienta-se contudo que os ensaios de resistência à tração apresentam gráficos (com a carga aplicada em função da deformação) com vários patamares de cedência (Figura 3.13). Por comparação dos provetes G_3 e G_3_SF verifica-se que a introdução de fibras faz diminuir os valores do módulo de elasticidade dinâmico e da resistência à compressão e faz aumentar a resistência à tração por flexão. Verificou-se que, para uma mesma argamassa, o aumento das dimensões dos provetes é acompanhado pela diminuição das resistências mecânicas. Deste modo verifica-se a existência de influência da dimensão das fibras em relação ao volume do provete. Verifica-se que os valores do módulo de elasticidade dinâmico têm a mesma tendência que os valores de resistência à compressão.

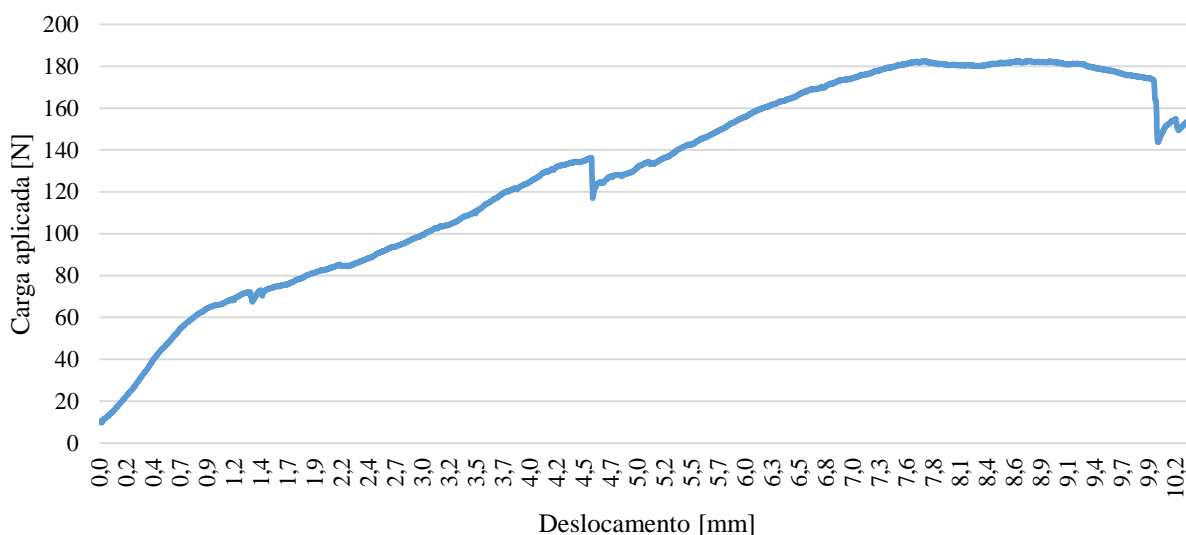


Figura 3.13 - Patamares no ensaio de resistência à flexão de um provete W_3

3.2.6 Absorção de água por capilaridade e secagem

O ensaio de capilaridade apenas se realizou para os provetes R_3, com e sem secante para se aferir a influência da presença ou não de secante nas argamassas, G_3, com e sem fibras para se perceber a influência das mesmas e P_3 sem fibras e P_4 para se poder compreender a influência das dimensões dos provetes no comportamento face à presença de água. Foi realizado com base nos procedimentos das normas EN 1015-18 (2002) e EN 15801 (2009), com algumas adaptações para não ocorrerem perdas de massa provenientes da degradação dos provetes de argamassa, por contacto prolongado com água. A finalidade deste ensaio foi a de determinar o coeficiente de capilaridade (CC), que traduz a velocidade inicial com que ocorre a absorção capilar. Para a realização deste ensaio, alguns provetes que resultaram do ensaio de resistência à tração por flexão foram cortados com altura igual ao comprimento e largura, tanto quanto possível de forma a resultarem

prismas com dimensões de $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ para os provetes da tipologia 3 e de $100 \times 100 \times 50 \text{ mm}^3$ para os provetes 4. O ensaio foi realizado numa sala condicionada à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $65 \pm 5\%$. Antes da realização do ensaio os provetes foram impermeabilizados nas quatro faces laterais, com recurso a uma mistura de cera de abelha e pés de louro com traço em massa de 1:1, para garantir que a absorção se efetuasse apenas na base e fosse unidirecional, evitando perdas pelas faces laterais (Figura 3.14). A face inferior de todos os provetes foi coberta com um tecido de algodão preso por um elástico, permitindo a passagem da água e evitando a perda de material durante a fase de absorção.



Figura 3.14 - Provetes do tipo P_4 impermeabilizado

A curva de absorção de água por capilaridade é apresentada num gráfico que regista a quantidade de água absorvida por área da base (em kg/m^2) em ordenadas e a raiz quadrada do tempo (em $\text{min}^{1/2}$) em abcissas. O CC, expresso em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$, resulta do declive (m) da reta obtida através de uma regressão linear dos pontos do segmento representativo da absorção inicial: $y=mx+b$. A curva de capilaridade apresenta-se na Figura 3.15 e os valores médios e desvio-padrão do CC encontram-se no Quadro 3.6.

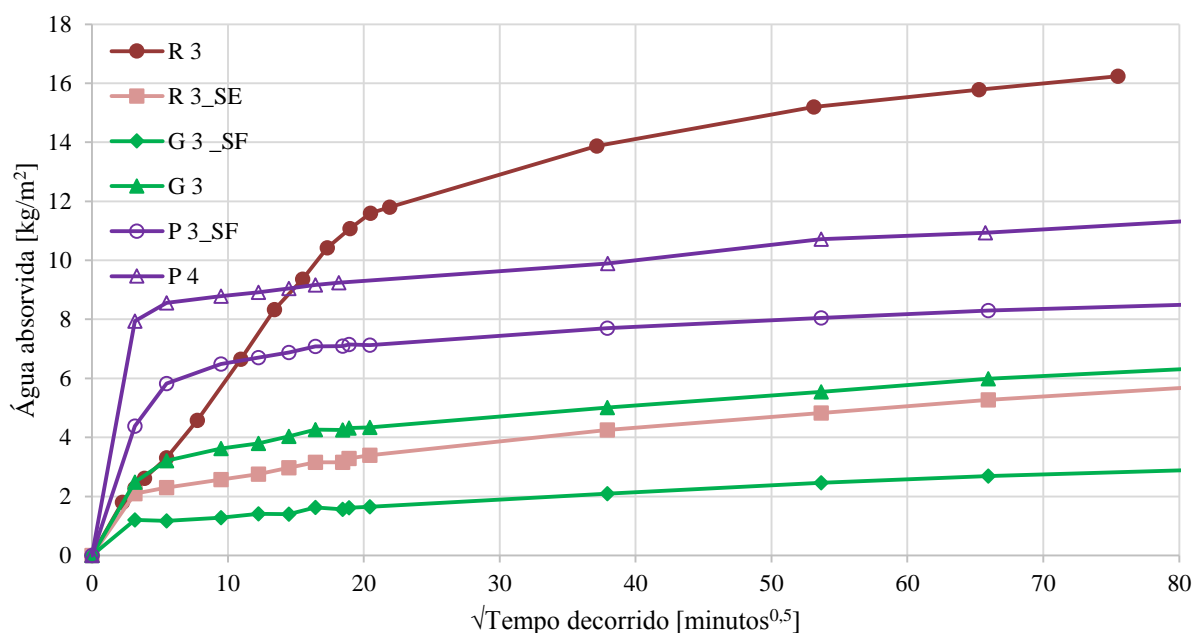


Figura 3.15 - Curvas de capilaridade

Quadro 3.6 - Coeficiente de capilaridade CC, taxa de secagem TS e índice de secagem IS às 200 horas

Provete	CC [kg/(m ² .min ^{0.5})]		TS [kg/(m ² .h)]		IS [-]	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
R_3	0,719	0,125	0,318	0,031	0,370	0,019
R_3_SE	0,660	0,292	0,116	0,012	0,284	0,081
G_3_SF	0,382	0,039	0,103	0,005	0,209	0,014
G_3	0,786	0,399	0,125	0,015	0,274	0,036
P_3_SF	1,385	0,397	0,136	0,007	0,330	0,021
P_4	2,510	0,236	0,051	0,007	0,742	0,010

O ensaio de secagem teve por base o procedimento definido na norma EN 16322 (CEN, 2013). Este ensaio decorreu na sequência do ensaio de absorção de água por capilaridade nas mesmas condições de temperatura e humidade relativa. Determinou-se a curva de evaporação, com o tempo em abcissas e a percentagem (ou a massa de água não evaporada por unidade de área de secagem) em ordenada. Para a determinação da curva de secagem de cada conjunto de provetes, estes foram retirados da caixa em que se realizou o ensaio de absorção de água por capilaridade e colocados em caixas de Petri, pesadas anteriormente (Figura 3.16). Os conjuntos provetes+caixas de Petri foi pesado numa balança de precisão 0,001g e colocados numa bancada metálica lisa. Durante o primeiro dia de ensaio os provetes foram pesados de hora a hora. Nos dias seguintes as pesagens passaram a ser realizadas de 24 em 24 horas até à estabilização da massa (diferença de massa de 1% entre duas pesagens consecutivas). A taxa de secagem (TS) expressa a velocidade com que esta se processa inicialmente, e obtém-se pelo declive do troço inicial da curva de secagem com a horizontal (em kg.m⁻².h⁻¹). O índice de secagem (IS) traduz a dificuldade de se atingir a secagem completa, em equilíbrio com o ambiente. Este parâmetro foi determinado de acordo com a equação simplificada (3.5) definida por Grilo et al. (2014).

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [(t_i - t_{i-1}) * (\frac{w_{t_{i-1}} + w_{t_i}}{2})]}{w_{max} * t_f} \quad (3.5)$$

em que:

IS – índice de secagem, adimensional;

t_i – instante de tempo, em horas;

w_{ti} – teor de água no instante t_i, em percentagem;

w_{max} – teor de água máximo no instante inicial, em percentagem.

A curva de secagem apresenta-se na Figura 3.17 e os valores médios e desvio-padrão da TS e do IS às 200 horas apresentam-se no Quadro 3.6.



Figura 3.16 - Provetes do tipo 3 durante o ensaio de secagem

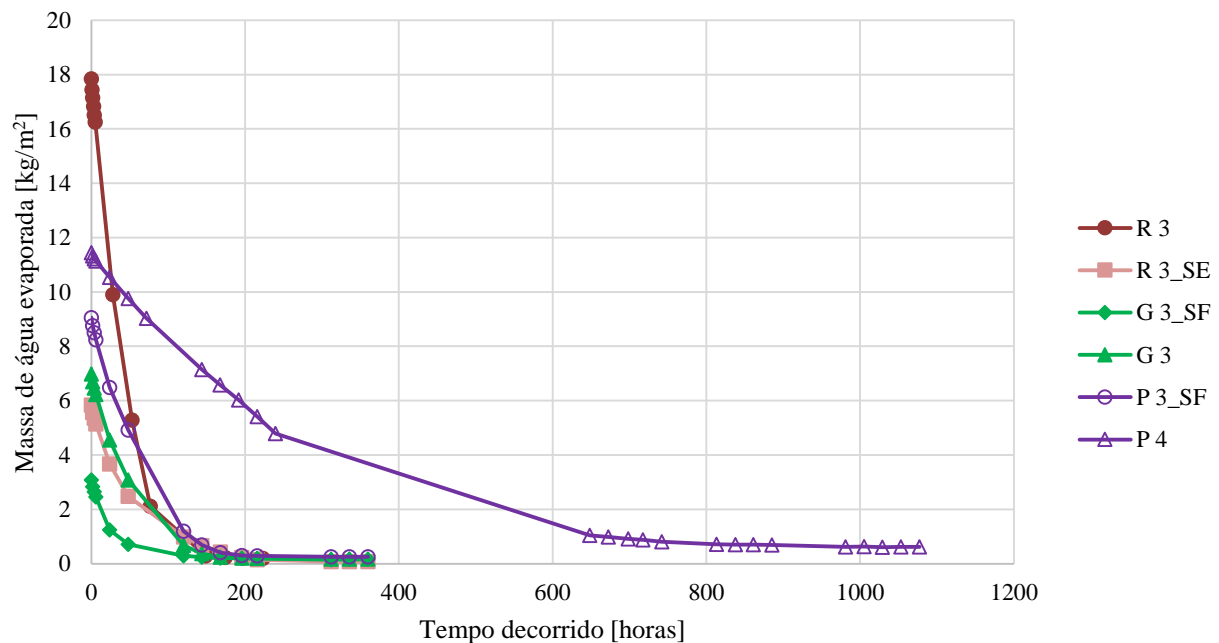


Figura 3.17 - Curvas de secagem

Em termos da absorção capilar verifica-se que ocorrem diferenças significativas em função do tipo de provetes, mesmo quando produzidos a partir de argamassa semelhante. Essa diferença está relacionada com a área de contacto com a água e principalmente com o volume total do provete e a sua composição. A formulação R_3, embora apresentando um CC relativamente baixo quando comparado com P_4 e P_3_SF, indicia absorver uma quantidade de água muito elevada para provetes da tipologia 3.

Para os provetes ensaiados, um maior valor de TS é acompanhado por um maior valor de IS. Comparando os provetes G_3_SF e G_3 verifica-se que a presença de fibras faz aumentar os valores de CC, TS e IS. O inverso é verificado para o secante quando comparados os provetes R_3 e R_3_SE, uma vez que a sua presença faz diminuir os valores de CC, TS e IS.

3.2.7 Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio foi realizado aos provetes tipo 1 de todas as argamassas, com base nas normas EN ISO 12572 (CEN, 2001), NP EN 1015-19 (IPQ, 1998) e EN 15803 (CEN, 2009). Este ensaio pode ser efetuado utilizando dois métodos distintos: método da cápsula húmida ou método da cápsula seca (Figura 3.18).

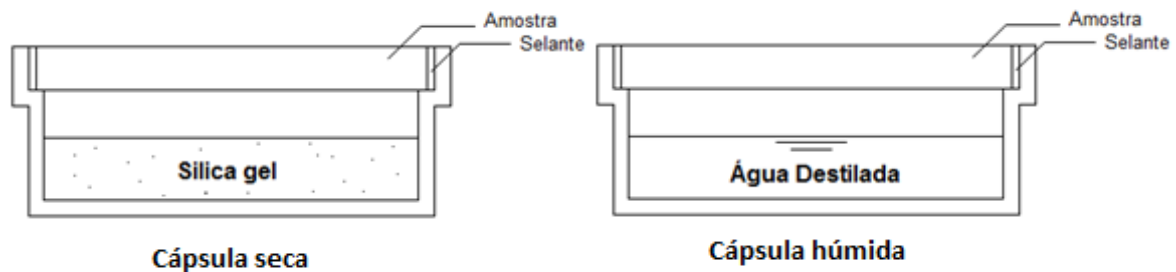


Figura 3.18 - Representação dos dois métodos possíveis para realizar o ensaio de resistência à difusão ao vapor de água: método da cápsula seca ou método da cápsula húmida

O método utilizado para a realização deste ensaio foi o método da tina húmida. O procedimento consistiu em colocar uma camada de algodão embebido em água no interior de cada cápsula (por forma a garantir a permanência de água no interior da capsula até à conclusão do ensaio e minorar a possibilidade de ocorrência de salpicos durante o manuseamento da cápsula) (Faria, 2004) (Figura 3.19 – à esquerda). Colocou-se cada provete centrado nas cápsulas de ensaio, tendo a área de influência da cápsula sido marcada na face do provete através de um aro metálico. Vedou-se com silicone toda a envolvente entre o círculo definido pelo interior do aro e o bordo da cápsula, tornando todo este perímetro impermeável ao vapor. A massa do conjunto (cápsula e provete) foi medida numa balança de precisão de 0,001g, imediatamente após o conjunto ser selado (Figura 3.19 – à direita). O conjunto foi então colocado numa câmara climática com 23°C de temperatura e 40% de humidade relativa, registando-se o instante de tempo. Registou-se diariamente a massa do conjunto a fim de se determinar a quantidade de vapor de água que atravessava os provetes, registando simultaneamente o tempo. As medições de massa diárias continuaram até se atingir um regime estacionário que ocorrerá quando, num gráfico que apresente a variação de massa em ordenadas (g) em função do tempo decorrido em abcissa (hora), a curva tenda para um valor assintótico, ou seja, quando a quantidade de vapor de água que atravessa o provete na unidade de tempo for constante.



Figura 3.19 - Preparação da cápsula com água e algodão (à esquerda); conjunto de ensaio (à direita)

A permeabilidade ao vapor de água, π , em $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$, é dada pela equação 3.3:

$$\pi = \frac{G}{S \times \Delta P} \quad (3.6)$$

em que:

G – fluxo de vapor de água por unidade de tempo; é o valor assintótico (calculado a partir da média dos valores em regime estacionário), dada pelo quociente entre a quantidade de vapor de água que atravessa o provete e a unidade de tempo [g/h];

S – área de ensaio do provete [m^2];

ΔP – diferencial de pressão de água entre os dois lados do provete [Pa].

Sabe-se que a pressão de vapor P , em Pa, é expressa pela equação 3.4:

$$P = P_s \times \frac{HR}{100} \quad (3.7)$$

em que:

P_s – pressão de saturação, que depende da temperatura (Quadro 3.7) [Pa];

HR – humidade relativa [%].

Desta forma tem-se:

$$P_{40} = 2806 \times \frac{40}{100} = 1122,40 \text{ Pa} \quad (3.8)$$

$$P_{100} = 2806 \text{ Pa} \quad (3.9)$$

$$\Delta P = 2806 \times \frac{(100 - 40)}{100} = 1683,6 \text{ Pa} \quad (3.10)$$

Quadro 3.7 - Pressão de saturação em função da temperatura

Temperatura [°C]	P_s [Pa]
18	2060
19	2195
20	2336
21	2483
22	2640
23	2806
24	2980
25	3164

Os resultados obtidos neste ensaio são apresentados na Figura 3.20.

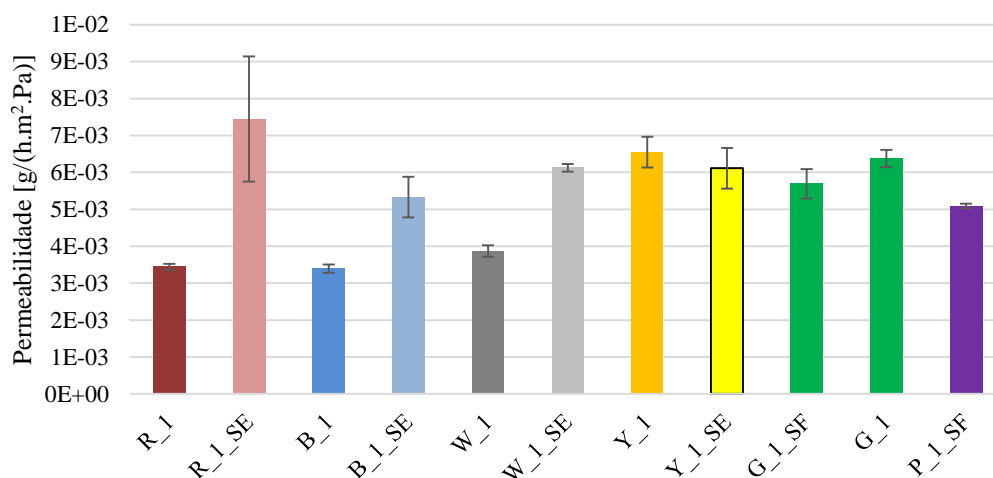


Figura 3.20 - Ensaio de permeabilidade ao vapor de água

De um modo geral a introdução de secante nos provetes faz aumentar a permeabilidade ao vapor de água, facto que apenas não se verifica nos provetes da argamassa Y. Esta característica pode ser justificada pelo facto de o secante promover uma secagem mais rápida dos provetes, dificultando o rearranjo entre partículas e facilitando a formação de microfissuras.

É de salientar que os provetes R_1_SE apresentam os valores mais elevados, possivelmente devido a fissuras na estrutura de alguns dos provetes, facto que poderá justificar o elevado desvio padrão apresentado por este tipo de provetes.

Por comparação dos provetes G_1_SF e G_1 pode-se afirmar que a introdução de fibras se traduz no aumento da permeabilidade ao vapor de água.

3.2.8 Adsorção de vapor de água

Este ensaio foi realizado com base na norma DIN 18947 (2013). Foram ensaiados os provetes das tipologias 1, 2 (excetuando os provetes W_2 devido à total degradação destes provetes aquando da sua impermeabilização) e 4 (apenas para a argamassa P devido à inexistência de provetes P_2, com fibras), de muito menor área superficial do que a especificada nesta norma (1000 cm²). O ensaio regista a capacidade de adsorção de vapor de água do ambiente pelo elemento de construção.

Inicialmente os provetes da tipologia 1 foram impermeabilizados na face inferior e ao longo do seu perímetro com película aderente de polietileno e colocados no molde no qual foram elaborados, ficando apenas exposta a face superior (Figura 3.21 – à esquerda), com área de 64 cm². Os provetes da tipologia 2 foram impermeabilizados com película aderente de polietileno, fixada com auxílio de um elástico, em todas as fases exceto a superior (Figura 3.21 – ao centro), com área de 200 cm². Após a impermeabilização os provetes foram colocados numa câmara climática com uma temperatura constante de 20±2°C e 50±5% de humidade relativa. Os provetes mantiveram-se nestas condições durante 24 horas, até estabilizarem o seu teor de humidade de

equilíbrio. De seguida, a humidade relativa no interior da câmara climática foi elevada para 80%, mantendo-se a temperatura de 20°C (Figura 3.21 – à direita). Os provetes foram pesados numa balança de precisão de 0,001g às 0h, 1h, 3h, 6h e 12h a partir desse instante. Os resultados obtidos neste ensaio são apresentados na Figura 3.22.



Figura 3.21 - Provetes da tipologia 1 (à esquerda) e da tipologia 2 (ao centro); provetes na câmara climática para ensaio de adsorção do vapor de água (à direita)

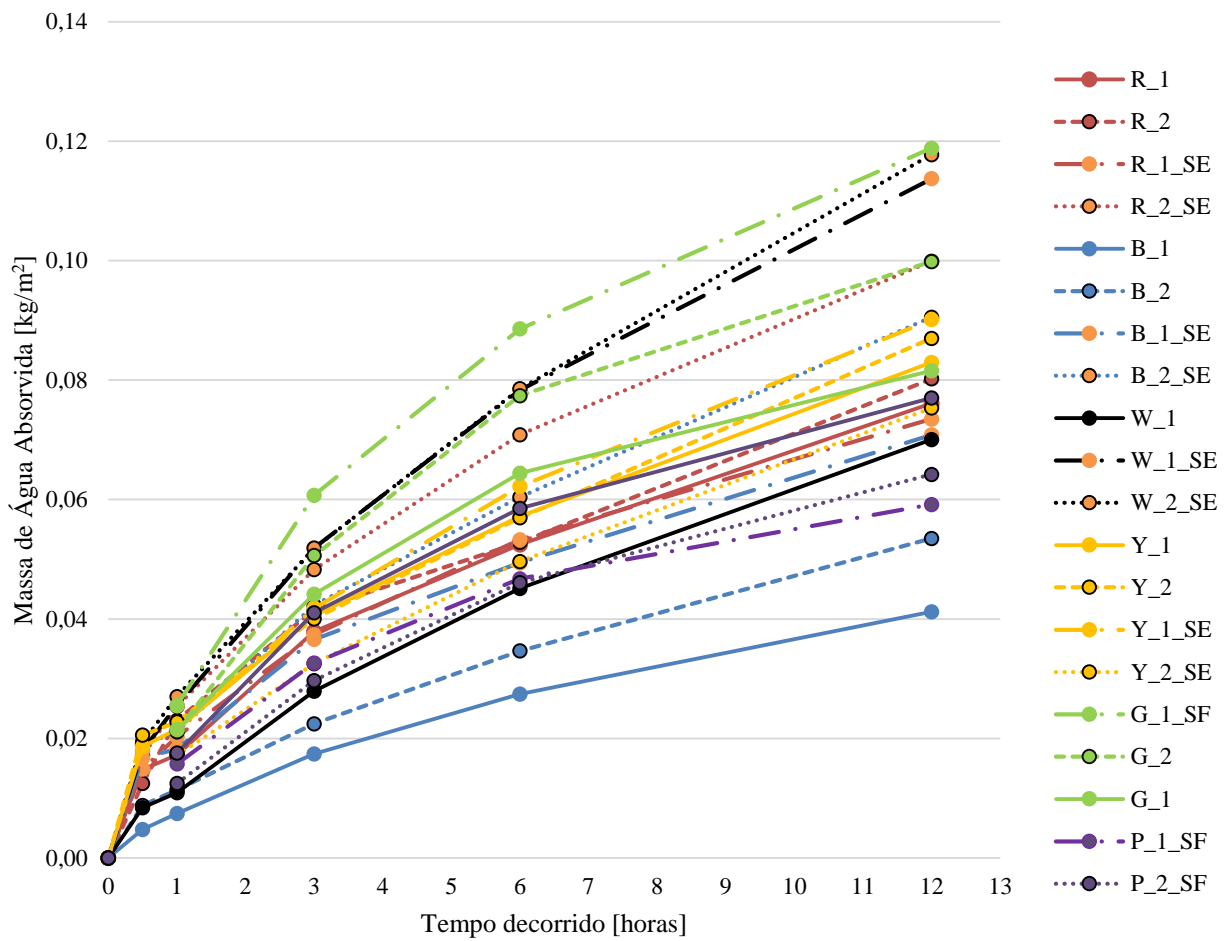


Figura 3.22 - Curva de adsorção

É de notar que os provetes B adsorvem menos vapor de água, tendo os provetes G o comportamento oposto. De um modo geral, a introdução de secante faz aumentar a capacidade de adsorção de um material e o aumento das dimensões dos provetes conduz ao aumento da adsorção por área unitária, o que se pode dever a efeito de bordo dos provetes. Por comparação dos provetes G_1 e G_1_SF pode-se assumir que a introdução de fibras provoca o decréscimo da capacidade de adsorção de um material.

3.3 Síntese dos resultados

Os Quadros 3.8, 3.9 e 3.10 apresentam a compilação de todos os resultados obtidos no âmbito deste trabalho.

Quadro 3.8 - Síntese dos resultados obtidos para os provetes R e B

Ensaio		Provetes											
		R_1	R_1_SE	R_2	R_2_SE	R_3	R_3_SE	R_4	R_4_SE	R_4_C	R_4_C_SE	R_5_C	R_5_C_SE
Massa volúmica [kg/m ³]	Média	1367	1343	1428	1371	1384	1354	1383	1447	918	916	927	973
	DP	35	24	16	24	22	28	28	29	56	63	24	57
λ [W/(m.K)]	Média	0,38	0,39	0,44	0,35	0,36	0,32	0,36	0,39	-	-	-	-
	DP	0,05	0,04	0,04	0,02	0,05	0,04	0,05	0,05	-	-	-	-
Resistência térmica [m ² .K/W]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	1,14	1,04	1,04	1,00
MED [MPa]	Média	-	-	-	-	1211	1333	1104	1322	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	53	40	55	63	-	-	-	-
Resistência flexão [Mpa]	Média	-	-	-	-	0,293	0,396	0,233	0,250	0,603	-	-	-
	DP	-	-	-	-	0,054	0,035	0,022	0,020	0,022	-	-	-
Resistência compressão [Mpa]	Média	-	-	-	-	0,434	0,506	0,195	0,249	-	0,593	0,382	0,420
	DP	-	-	-	-	0,013	0,047	0,018	0,025	-	0,031	0,005	0,003
Capilaridade (CC) [kg/(m ² .min ^{0,5})]	Média	-	-	-	-	0,719	0,66	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	0,125	0,292	-	-	-	-	-	-
Secagem (TS) [kg/(m ² .h)]	Média	-	-	-	-	0,318	0,116	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	0,031	0,012	-	-	-	-	-	-
Secagem (IS)	Média	-	-	-	-	0,370	0,284	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	0,019	0,081	-	-	-	-	-	-
Permeabilidade vapor de água [g/(h.m ² .Pa)]	Média	3,44E-03	7,45E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	1,60E-04	3,40E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensaio		B_1	B_1_SE	B_2	B_2_SE	B_3	B_3_SE	B_4	B_4_SE	B_4_C	B_4_C_SE	B_5_C	B_5_C_SE
		Massa volúmica [kg/m ³]	Média	1454	1208	1472	1388	1398	1364	1394	1576	979	1020
	DP	29	55	32	12	36	22	17	18	36	45	20	27
λ [W/(m.K)]	Média	0,47	0,23	0,43	0,34	0,35	0,27	0,37	0,44	-	-	-	-
	DP	0,04	0,07	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,08	-	-	-	-
Resistência térmica [m ² .K/W]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	1,09	0,83	1,11	0,97
MED [MPa]	Média	-	-	-	-	1470	1431	1510	1411	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	71	38	118	104	-	-	-	-
Resistência flexão [Mpa]	Média	-	-	-	-	0,344	0,367	0,246	0,288	0,665	-	-	-
	DP	-	-	-	-	0,050	0,046	0,014	0,014	0,029	-	-	-
Resistência compressão [Mpa]	Média	-	-	-	-	0,626	0,261	0,210	0,205	-	0,538	0,370	0,480
	DP	-	-	-	-	0,095	0,023	0,015	0,014	-	0,014	0,004	0,028
Capilaridade (CC) [kg/(m ² .min ^{0,5})]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Secagem (TS) [kg/(m ² .h)]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Secagem (IS)	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Permeabilidade vapor de água [g/(h.m ² .Pa)]	Média	3,39E-03	5,33E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	2,26E-04	1,10E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 3.9 - Síntese dos resultados obtidos para os provetes W e Y

Ensaio		Provetes											
		W_1	W_1_SE	W_2	W_2_SE	W_3	W_3_SE	W_4	W_4_SE	W_4_C	W_4_C_SE	W_5_C	W_5_C_SE
Massa volúmica [kg/m ³]	Média	1269	1125	1458	1281	1229	1284	1324	1320	889	842	852	965
	DP	27	64	27	56	28	62	15	34	24	26	7	66
λ [W/(m.K)]	Média	0,32	0,21	0,37	0,31	0,30	0,28	0,37	0,35	-	-	-	-
	DP	0,04	0,08	0,02	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	-	-	-	-
Resistência térmica [m ² .K/W]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	1,13	1,07	1,19	1,08
MED [MPa]	Média	-	-	-	-	1085	1266	1213	1163	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	97	88	66	53	-	-	-	-
Resistência flexão [Mpa]	Média	-	-	-	-	0,359	0,356	0,249	0,289	0,688	-	-	-
	DP	-	-	-	-	0,050	0,032	0,016	0,013	0,050	-	-	-
Resistência compressão [Mpa]	Média	-	-	-	-	0,391	0,586	0,326	0,310	-	0,436	0,271	0,375
	DP	-	-	-	-	0,035	0,041	0,029	0,013	-	0,022	0,017	0,030
Capilaridade (CC) [kg/(m ² .min ^{0,5})]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Secagem (TS) [kg/(m ² .h)]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Secagem (IS)	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Permeabilidade vapor de água [g/(h.m ² .Pa)]	Média	3,87E-03	6,12E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	3,15E-04	2,07E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensaio		Y_1	Y_1_SE	Y_2	Y_2_SE	Y_3	Y_3_SE	Y_4	Y_4_SE	Y_4_C	Y_4_C_SE	Y_5_C	Y_5_C_SE
		Massa volúmica [kg/m ³]	Média	1344	1263	1348	1449	1409	1390	1404	1451	1039	999
	DP	59	24	24	44	24	41	19	12	26	45	7	20
λ [W/(m.K)]	Média	0,39	0,34	0,43	0,38	0,34	0,31	0,43	0,50	-	-	-	-
	DP	0,09	0,04	0,05	0,04	0,06	0,08	0,07	0,04	-	-	-	-
Resistência térmica [m ² .K/W]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	0,89	0,78	0,96	0,88
MED [MPa]	Média	-	-	-	-	1159	1093	1779	1916	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	45	69	31	65	-	-	-	-
Resistência flexão [Mpa]	Média	-	-	-	-	0,603	0,499	0,236	0,411	0,593	-	-	-
	DP	-	-	-	-	0,037	0,060	0,016	0,049	0,022	-	-	-
Resistência compressão [Mpa]	Média	-	-	-	-	0,416	0,489	0,452	0,734	-	0,508	0,293	0,222
	DP	-	-	-	-	0,016	0,034	0,023	0,047	-	0,027	0,006	0,036
Capilaridade (CC) [kg/(m ² .min ^{0,5})]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Secagem (TS) [kg/(m ² .h)]	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Secagem (IS)	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Permeabilidade vapor de água [g/(h.m ² .Pa)]	Média	6,55E-03	6,11E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	8,33E-04	1,11E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 3.10 - Síntese dos resultados obtidos para os provetes G e P

Ensaio		Provetes									
		G_1	G_1_SF	G_2	G_3	G_3_SF	G_4	G_4_C	G_4_C_SE	G_5_C	G_5_C_SE
Massa volúmica [kg/m ³]	Média	1363	1540	1405	1384	1505	1232	1060	972	942	854
	DP	26	20	4	15	32	47	8	2	29	29
λ [W/(m.K)]	Média	0,38	0,55	0,41	0,32	0,41	0,27	-	-	-	-
	DP	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	-	-	-	-
Resistência térmica [m ² .K/W]	Média	-	-	-	-	-	-	1,32	1,33	1,34	1,32
MED [MPa]	Média	-	-	-	1711	1016	1739	-	-	-	-
	DP	-	-	-	36	48	55	-	-	-	-
Resistência flexão [Mpa]	Média	-	-	-	0,134	0,346	0,359	0,293	-	-	-
	DP	-	-	-	0,016	0,025	0,025	0,008	-	-	-
Resistência compressão [Mpa]	Média	-	-	-	0,294	0,591	0,257	-	0,326	0,098	0,288
	DP	-	-	-	0,016	0,027	0,012	-	0,007	0,001	0,041
Capilaridade (CC) [kg/(m ² .min ^{0,5})]	Média	-	-	-	0,786	0,382	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	0,399	0,039	-	-	-	-	-
Secagem (TS) [kg/(m ² .h)]	Média	-	-	-	0,125	0,103	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	0,015	0,005	-	-	-	-	-
Secagem (IS)	Média	-	-	-	0,274	0,209	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	0,036	0,014	-	-	-	-	-
Permeabilidade vapor de água [g/(h.m ² .Pa)]	Média	6,38E-03	5,69E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	4,65E-04	7,94E-04	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensaio		P_1_SF	P_2_SF	P_3_SF	P_4	P_4_C	P_5_C
Massa volúmica [kg/m ³]	Média	1681	1675	1606	1509	1030	1236
	DP	18	31	44	28	71	23
λ [W/(m.K)]	Média	0,71	0,68	0,49	0,56	-	-
	DP	0,03	0,04	0,09	0,08	-	-
Resistência térmica [m ² .K/W]	Média	-	-	-	-	0,79	0,72
MED [MPa]	Média	-	-	1416	1376	-	-
	DP	-	-	95	44	-	-
Resistência flexão [Mpa]	Média	-	-	0,086	0,230	0,512	-
	DP	-	-	0,013	0,013	0,047	-
Resistência compressão [Mpa]	Média	-	-	0,420	0,360	0,411	0,321
	DP	-	-	0,049	0,009	0,013	0,019
Capilaridade (CC) [kg/(m ² .min ^{0,5})]	Média	-	-	1,385	2,510	-	-
	DP	-	-	0,397	0,236	-	-
Secagem (TS) [kg/(m ² .h)]	Média	-	-	0,136	0,051	-	-
	DP	-	-	0,007	0,007	-	-
Secagem (IS)	Média	-	-	0,330	0,742	-	-
	DP	-	-	0,021	0,010	-	-
Permeabilidade vapor de água [g/(h.m ² .Pa)]	Média	5,09E-03	-	-	-	-	-
	DP	1,27E-04	-	-	-	-	-

3.4 Discussão dos resultados

Neste capítulo vai efetuar-se um cruzamento dos resultados dos ensaios, procurando assim justificar características e comportamentos obtidos pelas argamassas, correlacionando os parâmetros analisados e os resultados da bibliografia analisada.

3.4.1 Características físicas

De um modo geral os valores de condutibilidade térmica são diretamente proporcionais aos apresentados pela massa volúmica. Os valores mais elevados são apresentados pelas formulações P e P_SF, que também apresentavam massas volúmicas das mais elevadas. Estes provetes foram também os únicos que foram realizados por operador distinto e em local distinto, o que pode ter tido também alguma influência. Era espectável que esta relação entre condutibilidade térmica e massa volúmica se verificasse pois se a segunda for maior, a amostra será, à partida, mais compacta, conterá menos vazios e, portanto, a primeira será maior. De facto alguns dos provetes ensaiados apresentam resultados de condutibilidade térmica inferiores aos obtidos por Isik e Tulbentci (2008) com 0,40 W/(m.K) para blocos de terra estabilizada, por Pekmezci, Kafesçioğlu e Agahzadeh (2012) com 0,22 W/(m.K) para provetes estabilizados com 10% de gesso e 5% de cal e por Faria e Santos (2014) com resultados obtidos de 0,40 W/(m.K) para provetes de argamassas de terra sem fibras com recurso a materiais de mudança de fase.

Os valores de resistência térmica obtidos no âmbito da presente dissertação chegam aos 1,34 m².K/W, valor equiparado ao de uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado de 15+15 cm com caixa de ar totalmente preenchida com 3 cm de XPS no interior, com reboco em argamassa tradicional com 1 cm de cada lado, que, segundo Santos e Matias, (2006) é de 1,48 m².K/W.

Aquando do cruzamento de dados dos ensaios de capilaridade e de secagem pode-se afirmar que os provetes com maior coeficiente de capilaridade também apresentam uma maior taxa de secagem e, como esperado, um maior índice de secagem, o que indica que os provetes que absorvem a água mais rapidamente (numa fase inicial), também secam mais rápido (na fase inicial de secagem) mas demoram mais tempo a secar a totalidade do interior do material.

Como foi referido anteriormente, a introdução de fibras aumenta o coeficiente de capilaridade dos provetes. Este facto pode estar associado à ocorrência de efeito de parede na interface das fibras com a argamassa. Segundo Savastano e Agopyan (1999) a elevada absorção das fibras conduz a este efeito de parede, fazendo a água migrar na sua direção conferindo uma zona de maior porosidade na vizinhança das fibras. Foi também referido que a introdução de secante baixa o coeficiente de capilaridade, facto justificado pela secagem mais rápida dos provetes, que não permite o arranjo das partículas, levando a microfissuras que dificultam a absorção por capilaridade. É possível afirmar, analisando a constituição de cada provete, que o teor de cal introduzida na argamassa é diretamente proporcional ao coeficiente de capilaridade, facto também afirmado por Pekmezci et al., (2012). A bibliografia consultada oferece ainda resultados comparáveis através do estudo

de Faria e Santos (2014), que obtiveram valores de coeficiente de capilaridade para argamassas com muito menor teor de fibras de $2,56 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$, valores de taxa de secagem de $0,23 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ e índices de secagem de 0,17. Na presente campanha experimental foram obtidos valores de coeficiente de capilaridade e taxa de secagem inferiores e valores de índice de secagem superiores, o que indica que os provetes do estudo referido têm um pior comportamento do ponto de vista da absorção capilar, mas apresentam muito melhor desempenho no que toca à secagem a curto e longo prazo.

Comparando os ensaios de massa volúmica e permeabilidade ao vapor de água é visível que, para os provetes R, B, e W, um aumento de massa volúmica comporta um decréscimo da permeabilidade ao vapor de água. Esta afirmação é de fácil compreensão uma vez que uma maior massa volúmica conduzirá a um menor volume de vazios no interior dos provetes, traduzindo-se numa menor permeabilidade ao vapor de água. A maior quantidade de cal nos provetes Y, G e P aumenta o rácio agregado-ligante, fazendo com que se criem espaços que contenham uma menor quantidade de agregado, fragilizando essas zonas e levando à fissuração dos provetes, pelo que a relação entre massa volúmica e permeabilidade ao vapor de água seja de proporcionalidade direta, ao contrário do esperado.

Finalmente é de referir que o facto dos provetes B adsorverem menos água, tal como referido no capítulo anterior, pode conduzir a uma maior eficiência de paredes efetuadas com esse material quando expostas a ambientes mais húmidos.

Pode analisar-se em mais detalhe apenas os resultados dos provetes com as argamassas G, Y e G_SF (com teores de fibras decrescentes) e com as argamassas P e P_SF. As argamassas G, Y e G_SF apresentam a mesma composição de terra, sem areão, com cal e pozolana, apenas com diferentes quantidades de fibras, sendo que a argamassa G_SF não tem fibras e a argamassa G tem o dobro das fibras da argamassa Y. As argamassas P e P_SF tem com posições diferentes das anteriores e diferem entre si apenas pela ausência de fibras na argamassa P_SF.

Foi referido anteriormente que a introdução de fibras faz diminuir os valores da massa volúmica, fenómeno verificado quando comparadas as argamassas P e P_SF, G e G_SF e Y e G_SF. Tal não é possível afirmar quando comparadas as argamassas Y e G, não se observando diferenças significativas nos resultados, excetuando para os provetes 4, o que indica que a introdução de fibras, para provetes de menor dimensão, tem influência nos resultados mas apenas até uma determinada quantidade das mesmas. Uma vez que os resultados de condutibilidade térmica são diretamente proporcionais aos valores de massa volúmica, o referido em cima também é válido para os resultados de condutibilidade térmica.

Relativamente aos ensaios de permeabilidade ao vapor de água e adsorção de vapor de água e analisando, através da comparação dos provetes de argamassas G, G_SF e Y e P e P_SF, a influência que as fibras têm nos resultados provenientes destes ensaios, pode-se ver que a introdução de fibras aumenta a permeabilidade ao vapor de água e diminui a capacidade de adsorção de vapor de água. Esta tendência só não se verifica ao serem comparados os provetes Y com os provetes G, entre os quais não existe uma diferença aparente para ambos os ensaios, o que indica que a presença de fibras altera o comportamento dos provetes, mas apenas até uma dada quantidade de fibras.

3.4.2 Características mecânicas

Como referido anteriormente verifica-se que os valores do módulo de elasticidade dinâmico têm a mesma tendência que os valores de resistência à compressão. Esta afirmação resulta do facto de um maior módulo de elasticidade conferir, à partida, uma maior compacidade do material, conduzindo a uma maior resistência à compressão. A menor resistência à compressão verificada para os provetes P pode ser justificada pela granulometria da terra utilizada na sua produção (terra T2). A granulometria da terra T2, que se pode visualizar na Figura 3.1, é menos extensa, pelo que haverá mais espaços vazios no interior do provete que não serão colmatados por partículas de menores dimensões, levando a uma menor compacidade do material e, conseqüentemente, uma menor resistência à compressão. Não se exclui, contudo, o facto de ter sido um operador distinto a executar este tipo de provetes (no caso o signatário da presente dissertação), o que poderá ter influência neste aspeto.

O facto de as amostras apresentarem vários patamares de cedência quando submetidas ao ensaio de tração por flexão (Figura 3.12) salienta a importância e influência das fibras na argamassa. Os vários patamares correspondem à cedência das fibras, a qual é efetuada por fases, ou seja, quando algumas fibras cedem, outras começam a desempenhar o papel das primeiras, permitindo uma maior resistência.

De um modo geral a bibliografia pesquisada aponta para valores de resistência à compressão superiores aos obtidos no âmbito do presente trabalho. Mas não se encontraram dados que possam ser diretamente comparados com a solução de parede monolítica com terra empilhada aligeirada pela introdução das canas, o que pode justificar as diferenças encontradas.

Em relação à resistência à tração por flexão e ao módulo de elasticidade esta tendência inverte-se, já que estas características mecânicas apresentam valores dos mais elevados, quando comparados com toda a bibliografia. Para melhor se compararem estes valores apresenta-se o Quadro 4.1 com os valores das características mecânicas e a bibliografia a que pertencem, comparadas aos valores do presente trabalho. Os provetes do presente estudo que são apresentados no Quadro 4.1 pertencem à série Y.

Quadro 4.1 - Comparação com resultados mecânicos de bibliografia

	Bibliografia						Presente trabalho
	W. Martínez-Molina et al. (2010)	Molina et al. (2012)	Fopossi, Mutuku e Ngapgue (2014)	Pekmezci, Kafesçioğlu e Agahzadeh (2012)	Yetgin, ÇAVDAR e Çavdar (2008)	Martínez Gabarrón et al. (2014)	
Tipo de amostra	Adobe com gesso	Adobe com cal	Adobe com cal a 6%	Terra com 10% de gesso e 5% de cal	Adobe com fibras vegetais	Gesso com fibras de esparto	Terra com cal e fibras vegetais
Rc [Mpa]	0,47	0,2	2,80	1,30	1,60	-	0,73
Rt [Mpa]	0,42	0,01	-	-	0,27	6,51	0,59
ME [Mpa]	159	-	-	762	-	-	1916

Acrescenta-se que Molina et al. (2012) apresentam valores superiores aos presentes no Quadro 4.1, para provetes com gesso e fibras de nopal mas a estabilização destes através da quantificação do pH não cumpriu os requisitos da norma ASTM D-6276 (1999), seguida neste estudo. Fopossi et al. (2014) também apresentam valores de resistência à compressão de amostras de adobe com adição de 6% de cimento de 3,1 MPa.

Verifica-se que a resistência à compressão do presente trabalho é das mais baixas, mas apresenta os maiores valores de resistência à tração por flexão e de módulo de elasticidade.

À semelhança ao realizado para as características físicas, pode analisar-se também em mais detalhe apenas os resultados dos provetes com as argamassas G, Y e G_SF (com teores de fibras decrescentes) e com as argamassas P e P_SF.

Para o ensaio de resistência à tração por flexão a introdução de fibras confere um aumento da resistência, quando comparados os provetes G e G_SF, P e P_SF e Y e G_SF. Quando comparados os provetes Y_4 e G_4 com maior quantidade de fibras, a tendência referida inverte-se, uma vez que os provetes Y_4 têm uma maior resistência à flexão com uma menor quantidade de fibras. Pode-se assim afirmar que o excesso de fibras e redução de argamassa e conseqüente perda de coesão dos provetes G_4 resultam na redução da resistência à tração por flexão comparativamente com os provetes Y_4.

Para o ensaio de resistência à compressão, o excesso de fibras nos provetes G mencionado no parágrafo anterior não comporta alterações na influência que estas têm neste ensaio (o aumento de fibras traduz-se na redução da resistência à compressão) pelo que os provetes G têm maior resistência que os provetes Y, que têm maior resistência que os provetes G_SF.

O módulo de elasticidade dinâmico é influenciado pela presença de fibras (a presença de fibras reduz os valores do módulo de elasticidade dinâmico) mas apenas até uma determinada quantidade de fibras, uma vez que os valores para os provetes de argamassas Y e G_SF são semelhantes, sendo contudo inferiores aos valores dos provetes de argamassa G_SF.

4 CONCLUSÕES

4.1 Conclusões gerais

A caracterização de provetes de argamassa, e de argamassa e canas, com diversas proporções e tipos de constituintes permitiu avaliar o comportamento expectável de paredes monolíticas de terra empilhada com esse tipo de material. Dessa forma considera-se que foram atingidos os objetivos inicialmente definidos para a dissertação.

Para além da menor massa volúmica e maior resistência térmica da solução de terra empilhada aligeirada com canas, comparativamente a outras soluções de paredes de terra (maciças), as resistências mecânicas dos materiais ensaiados demonstraram poder ser particularmente controladas através da proporção (e tipo) de constituintes.

O facto da massa volúmica dos provetes com argamassa P ser a mais elevada é congruente com o facto de ser a argamassa que tem terra e areão, mas também tem a maior quantidade de partículas finas (cal e pozolana); a argamassa P_SF não tem fibras, sendo a sua massa volúmica superior a todas as outras. A variação da condutibilidade térmica é diretamente proporcional à massa volúmica.

A introdução de canas na constituição do material das paredes proporciona um enorme contributo no acréscimo das resistências mecânicas. Os valores do módulo de elasticidade dinâmico têm a mesma tendência dos valores de resistência à compressão.

O contributo que as fibras têm para o comportamento mecânico (ocorrência de vários patamares de cedência) permite um acréscimo significativo na resistência à flexão para este tipo de materiais e possibilita a percepção visual da integridade estrutural do elemento.

A área de contacto com a água, o volume total do provete e a sua composição são determinantes nos resultados do ensaio de capilaridade. A presença de fibras de canas nos provetes faz aumentar os valores de CC, TS e IS, o que significa que a água é absorvida mais rapidamente mas também que a secagem começa por ocorrer rapidamente. No entanto a secagem completa tem mais dificuldade em ser atingida. A presença de secante faz diminuir os valores de CC, TS e IS.

Os provetes ensaiados apresentam bom comportamento em relação à adsorção de vapor de água, em particular os provetes B, pelo que apresentam um comportamento mais adequado para ambientes mais húmidos. Adicionalmente a introdução de fibras provoca o decréscimo da capacidade de adsorção de um material.

Pela experiência de construção dos provetes considera-se que este tipo de solução de construção de parede monolítica é particularmente interessante pela facilidade de execução, que permite ser realizada por mão-de-obra pouco ou não especializada, podendo dessa forma promover a criação de emprego. Poderá vir a constituir uma solução fácil de implementar particularmente em países com grandes carências habitacionais e de outros equipamentos sociais de pequeno porte.

4.2 Desenvolvimentos futuros

Finalizado o trabalho, considera-se ser de interesse futuro a continuação do desenvolvimento de trabalhos na continuação do apresentado com os seguintes pressupostos:

- ❖ Validar as características obtidas por ensaios complementares realizados em muretes construídos com os materiais que demonstraram ser mais interessantes na caracterização laboratorial em provetes de pequenas dimensões
- ❖ Complementar o comportamento da solução construtiva através de simulação mecânica e térmica e com ensaios realizados na célula já executada com uma das dosagens de argamassa.
- ❖ Aprofundar o estudo sobre o comportamento dos materiais face à ação da água, relacionando a secagem com a adsorção de água.
- ❖ Avaliar as características microestruturais deste tipo de argamassas.
- ❖ Avaliar o comportamento deste tipo de argamassas face a um ensaio de resistência a sais que simule um ataque por contaminação por exemplo com água do mar.
- ❖ Avaliar o comportamento deste tipo de argamassas com um traço mais fraco em ligante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO-IBÁÑEZ, Q., MAS-TOMÁS, Á., GALVAÑ-LLOPIS, V., SÁNTOLARIA-MONTESINOS, J. L. (2012). Traditional braces of earth constructions. *Construction and Building Materials*, 30, 389–399. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.024
- BRUNO, P.; FARIA, P. (2008). Earth building materials in pre-historic domestic architectures on the south of Portugal. In HERITAGE 2008 - International Conference on World Heritage and Sustainable Development, Amoêda, Lira, Pinheiro, Pinheiro & Pinheiro (Eds.). Vila Nova de Foz Côa, The Green Lines Institute for Sustainable Development, p. 571-579
- BRUNO, P.; FARIA, P.; CANDEIAS, A.; MIRÃO, J. (2010). Earth mortars from on pre-historic habitat settlements in south Portugal. Case studies. *J. Iberian Archaeology* 13, p. 51-67.
- DEGIRMENCI, N. (2008). The using of waste phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization. *Construction and Building Materials*, 22, 1220–1224. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.01.027
- EN 1015-10+A1:1999/2006. Methods of test for mortars for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar. Brussels, CEN.
- EN 1015-11+A1:1999. Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels, CEN.
- EN 1015-18:2002. Methods of test for mortar for masonry. Part 18: Determination of water-absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels, CEN.
- EN 12572:2001. Hygrothermal performance of building materials and products: Determination of water vapour transmission properties. Brussels, CEN.
- EN 15801:2009. Conservation of cultural property - Test methods - Determination of water absorption by capillarity. Brussels, CEN.
- EN 16322:2013. Conservation of Cultural Heritage. Test methods - Determination of drying properties. Brussels, CEN.
- FARIA, P., SANTOS, T. (2014). Hygrothermal Behaviour of Earthen plasters for Sustainable Housing Construction. In *40th IAHS World Congress on Housing - Sustainable Housing Construction* (CD-rom).
- FERNANDES, M., VARUM, H. (2011). Adobe construction in Portugal, There is a future for vernacular architecture? *ICOMOS 17th General Assembly, Paris, France* , 339–341.
- FOPOSSI, A. J., MUTUKU, R. N., NGAPGUE, F. (2014). Effects of stabilizers on compressive strength of soil blocks: A case study using Mangu soil. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 3, 122–130.
- GRILO, J. et al. (2014). New natural hydraulic lime mortars. Physical and microstructural properties in different curing conditions”. *Construction and Building Materials*, 54, 378-384.
- ISIK, B., TULBENTCI, T. (2008). Sustainable housing in island conditions using Alker-gypsum-stabilized earth: A case study from northern Cyprus. *Building and Environment*, 43, 1426–1432. doi:10.1016/j.buildenv.2007.06.002

- JOSEPH, P., TRETSAKOVA-MCNALLY, S. (2010). Sustainable non-metallic building materials. *Sustainability*, 2, 400-427. doi:10.3390/su2020400
- KITA, Y. (2013). The functions of vegetable mucilage in lime and earth mortars - A Review. In *3rd Historic Mortars Conference* (CD-rom).
- MARTÍNEZ-GABARRÓN, A., FLORES-YEPES, J. A., PASTOR-PÉREZ, J. J., BERNÁ-SERNA, J. M., ARNOLD, L. C., SÁNCHEZ-MEDRANO, F. J. (2014). Increase of the flexural strength of construction elements made with plaster (calcium sulfate dihydrate) and common reed (*Arundo donax* L.). *Construction and Building Materials*, 66, 436-441. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.05.083
- MATTONE, M., BIGNAMINI, E. (2012). Conservation of earthen constructions: Earth-gypsum plasters. In *RESTAPIA - 1st International Conference on Rammed Earth Conservation*, 687-691).
- MICCOLI, L., MÜLLER, U., FONTANA, P. (2014). Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob. *Construction and Building Materials*, 61, 327-339. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.03.009
- MARTINEZ-MOLINA, W., SIL, J. L. R., ALONSO-GUZMÁN, E. M., RENTERÍA, A. F., ORTEGA, M. M., TORRES-ACOSTA, A. A. (2012). Additions of minerals in clays of Morelia region, Mexico: Effects on volumetric stabilization and color. *MRS Proceedings*. doi:10.1557/opl.2012.1391
- DIN 18947:2013 - Earth plasters, Terms and definitions, requirements, test methods (in German). DIN, Berlin.
- NP EN 933-1:2000. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração. Caparica, IPQ.
- 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.
- NP EN 1015-19:1998. Methods of test for mortar for masonry; Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars. Caparica, IPQ.
- NP EN 1097-3:2002. Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios. Caparica, IPQ.
- PEKMEZCI, B. Y., KAFESÇIOĞLU, R., AGAHZADEH, E. (2012). Improved performance of earth structures by lime and gypsum addition. *Metu Journal of the Faculty of Architecture*, 29, 205-221. doi:10.4305/METU.JFA.2012.2.9
- SANTOS, C. A. P., MATIAS, L. (2006). Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. ITE 50, LNEC
- SAVASTANO, H., AGOPYAN, V. (1999). Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites. *Cement and Concrete Composites*, 21, 49-57. doi:10.1016/S0958-9465(98)00038-9
- THOMSON, A., E WALKER, P. (2014). Durability characteristics of straw bales in building envelopes. *Construction and Building Materials*, 68, 135-141. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.06.041
- VAL D, FARIA P, SILVA V (2015). Solução construtiva eco-eficiente de paredes monolíticas. Contributo para a sua caracterização. CONPAT 2015 - XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção, XV Congresso de Controlo de Qualidade na Construção, Construção 2015 - Congresso Luso-Africano da Construção. Lisboa, IST, 8-10 Setembro 2015 (aceite para publicação).

VARGAS, J., DANDONA, B., BLONDET, M., CANCINO, C., IWAKI, C., MORALES, K. (2008). An experimental study of the use of soil-ased grouts for the repair of historic earthen walls and a case study of an early period Buddhist monastery. In *Terra 2008*, 301–306.

W. MARTÍNEZ-MOLINA, E. M. ALONSO-GUZMÁN, F. A. VELASCO-ÁVALOS, A. A. TORRES ACOSTA, F. MÉNDEZ FLORES, C. LARA GÓMEZ, H. L., CHÁVEZ GARCÍA, J. A. B. A. (2010). Módulo de elasticidad dinámico en especimenes de adobe estabilizados con minerales. In *9º Seminário Ibero-Americano de Construção e Arquitectura com Terra* (CD-rom).

YETGIN, Ş., ÇAVDAR, Ö. ÇAVDAR, A. (2008). The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes. *Construction and Building Materials*, 22, 222–227. doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.08.022

ANEXO

Resultados individuais da campanha experimental

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ_1	λ_2	λ_3	$\lambda_{\text{médio}}$	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
R_1	R 1.1	159,962	-	85,31	20,80	0,365	-	-	0,365	0,381	0,054	1,345	1345	1367	35
	R 1.2	159,021	-	85,13	20,02	0,487	-	-	0,487			1,396	1396		
	R 1.3	150,982	-	85,01	19,19	0,365	-	-	0,365			1,386	1386		
	R 1.4	165,692	-	83,84	21,45	0,361	-	-	0,361			1,399	1399		
	R 1.5	161,453	-	85,71	21,56	0,309	-	-	0,309			1,298	1298		
	R 1.6	163,810	-	85,10	20,93	0,401	-	-	0,401			1,376	1376		
R_2	R 2.1	794,766	197,87	99,50	27,96	0,451	-	-	0,451	0,443	0,045	1,443	1443	1428	16
	R 2.2	869,832	197,23	98,89	31,73	0,384	-	-	0,384			1,406	1406		
	R 2.3	756,863	197,74	98,77	26,99	0,493	-	-	0,493			1,435	1435		
R_3	R 3.1	338,376	161,44	43,11	36,05	0,426	0,389	0,367	0,394	0,365	0,053	1,349	1349	1384	22
	R 3.2	339,267	160,13	42,16	36,85	0,399	0,405	0,308	0,371			1,363	1363		
	R 3.3	342,895	159,22	41,39	37,77	0,402	0,382	0,405	0,396			1,377	1377		
	R 3.4	341,282	161,53	41,89	35,85	0,460	0,338	0,344	0,381			1,407	1407		
	R 3.5	331,272	160,86	42,70	34,31	0,390	0,242	0,334	0,322			1,405	1405		
	R 3.6	341,661	159,13	41,05	37,34	0,381	0,302	0,293	0,325			1,400	1400		
R_4	R 4.1	2452,9	200,45	100,32	90,40	0,246	0,361	0,336	0,314	0,359	0,046	1,349	1349	1383	28
	R 4.2	2571,2	200,41	100,05	90,38	0,433	0,358	0,405	0,399			1,419	1419		
	R 4.3	2550,8	203,85	101,42	86,78	0,287	0,369	0,384	0,347			1,422	1422		
	R 4.4	2473,4	200,71	100,05	90,76	0,422	0,364	0,407	0,398			1,357	1357		
	R 4.5	2481,8	202,65	102,84	87,09	0,365	0,389	0,366	0,373			1,367	1367		
	R 4.6	2535,5	200,52	100,87	90,42	0,322	0,332	0,309	0,321			1,386	1386		
R_4_C	R 4.1_C	1800,3	198,70	99,98	99,27	-	-	-	-	-	-	0,913	913	918	56
	R 4.2_C	2013,7	200,72	100,45	101,06	-	-	-	-			0,988	988		
	R 4.3_C	1772,2	199,00	102,17	102,23	-	-	-	-			0,853	853		
R_5_C	R 5.1_C	3383,1	153,64	156,76	146,22	-	-	-	-	-	-	0,961	961	927	24
	R 5.2_C	3229,2	153,70	155,26	148,29	-	-	-	-			0,912	912		
	R 5.3_C	3263,3	153,98	157,78	148,16	-	-	-	-			0,907	907		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ_1	λ_2	λ_3	$\lambda_{\text{médio}}$	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
R_1_SE	R 1.1_SE	162,456	-	86,12	21,05	0,412	-	-	0,412	0,389	0,039	1,325	1325	1343	24
	R 1.2_SE	160,946	-	86,38	20,77	0,357	-	-	0,357			1,322	1322		
	R 1.3_SE	155,605	-	86,23	20,04	0,394	-	-	0,394			1,330	1330		
	R 1.4_SE	167,555	-	86,29	20,84	0,367	-	-	0,367			1,375	1375		
	R 1.5_SE	167,931	-	86,24	20,87	0,458	-	-	0,458			1,378	1378		
	R 1.6_SE	156,854	-	86,34	20,16	0,343	-	-	0,343			1,329	1329		
R_2_SE	R 2.1_SE	757,566	199,32	103,08	26,64	0,341	-	-	0,341	0,347	0,016	1,384	1384	1371	24
	R 2.2_SE	778,124	200,16	102,39	28,40	0,332	-	-	0,332			1,337	1337		
	R 2.3_SE	972,712	200,41	102,31	34,11	0,369	-	-	0,369			1,391	1391		
R_3_SE	R 3.1_SE	339,528	160,05	40,59	38,28	0,315	0,308	0,365	0,329	0,323	0,038	1,365	1365	1354	28
	R 3.2_SE	336,068	158,12	40,49	37,94	0,341	0,302	0,323	0,322			1,384	1384		
	R 3.3_SE	333,236	159,02	40,86	39,08	0,326	0,292	0,271	0,296			1,313	1313		
	R 3.4_SE	326,307	160,41	41,20	36,81	0,335	0,332	0,283	0,317			1,342	1342		
	R 3.5_SE	340,412	158,06	40,63	38,15	0,398	0,396	0,311	0,368			1,390	1390		
	R 3.6_SE	325,020	158,12	40,59	37,98	0,272	0,279	0,363	0,305			1,334	1334		
R_4_SE	R 4.1_SE	2834,2	199,41	100,08	94,79	0,291	0,492	0,477	0,420	0,386	0,052	1,498	1498	1447	29
	R 4.2_SE	2758,0	198,59	99,70	95,07	0,363	0,388	0,356	0,369			1,465	1465		
	R 4.3_SE	2707,3	199,67	100,63	95,16	0,407	0,389	0,404	0,400			1,416	1416		
	R 4.4_SE	2687,3	198,40	99,96	95,62	0,335	0,346	0,400	0,360			1,417	1417		
	R 4.5_SE	2719,7	199,24	100,53	93,82	0,415	0,464	0,363	0,414			1,447	1447		
	R 4.6_SE	2700,8	198,50	100,33	94,48	0,314	0,382	0,362	0,353			1,435	1435		
R_4_C_SE	R 4.1_C_SE	1666,6	197,30	101,71	100,33	-	-	-	-	-	-	0,828	828	916	63
	R 4.2_C_SE	1850,3	198,47	97,89	99,41	-	-	-	-			0,958	958		
	R 4.3_C_SE	1898,1	197,96	99,83	99,69	-	-	-	-			0,964	964		
R_5_C_SE	R 5.1_C_SE	3434,1	152,57	153,12	148,33	-	-	-	-	-	-	0,991	991	973	57
	R 5.2_C_SE	2988,2	151,92	151,69	144,62	-	-	-	-			0,897	897		
	R 5.3_C_SE	3524,3	152,29	152,23	147,24	-	-	-	-			1,033	1033		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ_1	λ_2	λ_3	$\lambda_{\text{médio}}$	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
B_1	B 1.1	171,288	-	85,10	21,03	0,437	-	-	0,437	0,468	0,037	1,432	1432	1454	29
	B 1.2	170,395	-	84,70	20,36	0,433	-	-	0,433			1,486	1486		
	B 1.3	170,908	-	85,02	20,22	0,510	-	-	0,510			1,489	1489		
	B 1.4	167,096	-	85,33	20,31	0,472	-	-	0,472			1,439	1439		
	B 1.5	162,670	-	85,53	19,30	0,522	-	-	0,522			1,467	1467		
	B 1.6	161,044	-	85,81	19,75	0,434	-	-	0,434			1,410	1410		
B_2	B 2.1	876,863	202,07	100,50	28,48	0,441	-	-	0,441	0,426	0,016	1,516	1516	1472	32
	B 2.2	815,840	201,56	100,79	27,60	0,404	-	-	0,404			1,455	1455		
	B 2.3	809,754	201,53	101,53	27,40	0,432	-	-	0,432			1,444	1444		
B_3	B 3.1	353,205	158,73	41,10	39,88	0,383	0,339	0,265	0,329	0,349	0,043	1,358	1358	1398	36
	B 3.2	343,973	158,57	40,78	38,65	0,365	0,308	0,375	0,349			1,377	1377		
	B 3.3	348,283	156,90	42,61	38,18	0,405	0,311	0,347	0,354			1,365	1365		
	B 3.4	351,496	156,32	40,72	39,30	0,434	0,309	0,312	0,352			1,405	1405		
	B 3.5	354,584	159,03	41,01	37,24	0,368	0,315	0,345	0,343			1,460	1460		
	B 3.6	360,399	157,22	40,43	39,89	0,421	0,352	0,326	0,366			1,422	1422		
B_4	B 4.1	2652,0	210,25	105,84	86,34	0,376	0,298	0,416	0,363	0,367	0,052	1,380	1380	1394	17
	B 4.2	2608,0	204,00	103,38	88,25	0,450	0,324	0,321	0,365			1,401	1401		
	B 4.3	2599,1	205,00	103,13	89,79	0,389	0,368	0,360	0,372			1,369	1369		
	B 4.4	2650,9	205,00	103,81	90,09	0,340	0,365	0,401	0,369			1,383	1383		
	B 4.5	2619,4	205,50	103,11	87,21	0,423	0,388	0,251	0,354			1,418	1418		
	B 4.6	2657,1	205,00	104,29	88,12	0,440	0,393	0,302	0,378			1,410	1410		
B_4_C	B 4.1_C	1975,6	200,80	100,01	96,23	-	-	-	-	-	-	1,022	1022	979	35
	B 4.2_C	1931,2	199,24	99,30	99,70	-	-	-	-			0,979	979		
	B 4.3_C	1832,2	198,03	99,87	99,06	-	-	-	-			0,935	935		
B_5_C	B 5.1_C	3273,1	152,63	151,89	146,10	-	-	-	-	-	-	0,966	966	995	20
	B 5.2_C	3355,9	150,65	152,86	145,14	-	-	-	-			1,004	1004		
	B 5.3_C	3470,5	152,85	154,15	145,37	-	-	-	-			1,013	1013		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ_1	λ_2	λ_3	$\lambda_{\text{médio}}$	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
B_1_SE	B 1.1_SE	130,013	-	85,25	20,45	0,102	-	-	0,102	0,231	0,071	1,114	1114	1208	55
	B 1.2_SE	175,810	-	86,48	24,53	0,207	-	-	0,207			1,221	1221		
	B 1.3_SE	158,991	-	86,42	21,46	0,297	-	-	0,297			1,263	1263		
	B 1.4_SE	150,780	-	84,45	22,72	0,268	-	-	0,268			1,185	1185		
	B 1.5_SE	157,022	-	86,09	21,45	0,282	-	-	0,282			1,258	1258		
	B 1.6_SE	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-		
B_2_SE	B 2.1_SE	888,316	200,63	102,79	30,76	0,322	-	-	0,322	0,343	0,026	1,400	1400	1388	12
	B 2.2_SE	905,972	201,90	103,11	31,29	0,326	-	-	0,326			1,391	1391		
	B 2.3_SE	826,204	201,11	103,24	29,00	0,380	-	-	0,380			1,372	1372		
B_3_SE	B 3.1_SE	340,830	162,16	41,10	37,04	0,321	0,259	0,313	0,298	0,269	0,048	1,381	1381	1364	22
	B 3.2_SE	340,160	159,46	40,40	39,30	0,282	0,253	0,197	0,244			1,344	1344		
	B 3.3_SE	341,948	158,49	40,42	38,57	0,274	0,278	0,271	0,274			1,384	1384		
	B 3.4_SE	334,043	160,31	41,07	37,02	0,363	0,239	0,272	0,291			1,371	1371		
	B 3.5_SE	332,231	158,23	41,51	38,17	0,250	0,183	0,270	0,234			1,325	1325		
	B 3.6_SE	345,463	164,34	41,61	36,59	0,335	0,306	0,182	0,274			1,381	1381		
B_4_SE	B 4.1_SE	2850,500	199,01	101,69	88,49	0,444	0,446	0,357	0,416	0,442	0,080	1,592	1592	1576	18
	B 4.2_SE	2818,800	198,41	99,82	91,14	0,496	0,433	0,467	0,465			1,562	1562		
	B 4.3_SE	2857,000	201,17	103,00	88,27	0,482	0,339	0,241	0,354			1,562	1562		
	B 4.4_SE	2880,000	198,36	102,13	91,18	0,423	0,466	0,441	0,443			1,559	1559		
	B 4.5_SE	2935,700	198,67	100,56	93,40	0,632	0,409	0,411	0,484			1,573	1573		
	B 4.6_SE	2975,700	201,90	104,53	87,66	0,516	0,528	0,420	0,488			1,609	1609		
B_4_C_SE	B 4.1_C_SE	2075,3	198,68	99,77	97,59	-	-	-	-	-	-	1,073	1073	1020	45
	B 4.2_C_SE	2015,0	199,77	99,41	99,04	-	-	-	-			1,025	1025		
	B 4.3_C_SE	1897,3	198,22	99,15	100,36	-	-	-	-			0,962	962		
B_5_C_SE	B 5.1_C_SE	3267,9	152,04	152,01	148,37	-	-	-	-	-	-	0,953	953	971	27
	B 5.2_C_SE	3294,1	152,59	154,78	146,70	-	-	-	-			0,951	951		
	B 5.3_C_SE	3473,8	152,77	153,41	146,87	-	-	-	-			1,009	1009		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ_1	λ_2	λ_3	$\lambda_{\text{médio}}$	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
W_1	W 1.1	167,248	-	85,84	22,86	0,281	-	-	0,281	0,323	0,038	1,264	1264	1269	27
	W 1.2	143,308	-	85,80	20,36	0,274	-	-	0,274			1,217	1217		
	W 1.3	153,810	-	85,70	21,13	0,303	-	-	0,303			1,262	1262		
	W 1.4	150,039	-	85,46	20,51	0,368	-	-	0,368			1,275	1275		
	W 1.5	147,335	-	84,74	20,11	0,365	-	-	0,365			1,299	1299		
	W 1.6	151,223	-	84,53	20,81	0,345	-	-	0,345			1,295	1295		
W_2	W 2.1	859,347	200,15	100,97	29,95	0,390	-	-	0,390	0,370	0,016	1,420	1420	1458	27
	W 2.2	901,540	199,01	100,63	30,41	0,351	-	-	0,351			1,480	1480		
	W 2.3	891,254	201,20	98,72	30,46	0,370	-	-	0,370			1,473	1473		
W_3	W 3.1	307,771	159,74	42,25	37,42	0,346	0,272	0,334	0,317	0,296	0,044	1,219	1219	1229	28
	W 3.2	314,162	159,38	40,81	37,49	0,324	0,307	0,306	0,312			1,289	1289		
	W 3.3	302,599	160,12	40,98	38,48	0,243	0,355	0,249	0,282			1,199	1199		
	W 3.4	306,872	156,81	42,80	37,51	0,302	0,186	0,231	0,240			1,219	1219		
	W 3.5	309,182	157,28	41,92	38,44	0,359	0,320	0,306	0,328			1,220	1220		
	W 3.6	310,673	159,31	40,98	38,66	0,302	0,308	0,284	0,298			1,231	1231		
W_4	W 4.1	2385,6	197,29	97,85	93,42	0,352	0,366	0,316	0,345	0,370	0,037	1,323	1323	1324	15
	W 4.2	2346,3	194,33	98,06	92,15	0,382	0,409	0,404	0,398			1,336	1336		
	W 4.3	2399,0	197,00	98,40	93,71	0,364	0,381	0,313	0,353			1,321	1321		
	W 4.4	2392,0	197,19	97,73	92,45	0,365	0,344	0,352	0,354			1,343	1343		
	W 4.5	2326,4	193,38	97,17	93,28	0,411	0,436	0,427	0,425			1,327	1327		
	W 4.6	2365,2	197,81	98,64	93,66	0,326	0,318	0,387	0,344			1,294	1294		
W_4_C	W 4.1_C	1645,6	197,43	98,86	98,36	-	-	-	-	-	-	0,857	857	889	24
	W 4.2_C	1709,5	197,53	97,89	96,55	-	-	-	-			0,916	916		
	W 4.3_C	1706,1	198,22	97,83	98,50	-	-	-	-			0,893	893		
W_5_C	W 5.1_C	2920,5	151,76	155,12	143,98	-	-	-	-	-	-	0,862	862	852	7
	W 5.2_C	2876,9	151,29	153,35	146,04	-	-	-	-			0,849	849		
	W 5.3_C	2857	152,47	154,89	143,37	-	-	-	-			0,844	844		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ_1	λ_2	λ_3	$\lambda_{\text{médio}}$	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
W_1_SE	W 1.1_SE	107,855	-	86,16	17,99	0,170	-	-	0,170	0,208	0,080	1,029	1029	1125	64
	W 1.2_SE	133,187	-	85,21	20,12	0,254	-	-	0,254			1,161	1161		
	W 1.3_SE	117,470	-	85,07	18,97	0,064	-	-	0,064			1,089	1089		
	W 1.4_SE	129,585	-	85,66	20,80	0,215	-	-	0,215			1,081	1081		
	W 1.5_SE	130,551	-	84,51	19,15	0,325	-	-	0,325			1,216	1216		
	W 1.6_SE	135,795	-	85,17	20,27	0,223	-	-	0,223			1,176	1176		
W_2_SE	W 2.1_SE	900,534	198,89	100,29	33,71	0,353	-	-	0,353	0,308	0,042	1,339	1339	1281	56
	W 2.2_SE	815,863	197,42	98,01	32,52	0,320	-	-	0,320			1,297	1297		
	W 2.3_SE	731,160	197,47	98,36	31,21	0,251	-	-	0,251			1,206	1206		
W_3_SE	W 3.1_SE	278,307	154,10	37,68	36,24	0,383	0,207	0,150	0,247	0,281	0,080	1,323	1323	1284	62
	W 3.2_SE	287,366	156,30	38,08	36,19	0,398	0,278	0,182	0,286			1,334	1334		
	W 3.3_SE	301,868	158,32	38,64	37,48	0,346	0,311	0,247	0,301			1,317	1317		
	W 3.4_SE	260,981	158,06	38,62	37,10	0,308	0,258	0,128	0,231			1,152	1152		
	W 3.5_SE	282,831	157,48	38,03	36,97	0,382	0,269	0,278	0,310			1,277	1277		
	W 3.6_SE	286,653	154,28	37,51	38,03	0,412	0,272	0,249	0,311			1,302	1302		
W_4_SE	W 4.1_SE	2302,0	197,37	99,57	91,93	0,351	0,281	0,291	0,308	0,351	0,045	1,274	1274	1320	34
	W 4.2_SE	2405,3	196,14	98,87	91,20	0,342	0,417	0,393	0,384			1,360	1360		
	W 4.3_SE	2351,0	197,01	99,05	89,20	0,309	0,442	0,378	0,376			1,351	1351		
	W 4.4_SE	2305,4	195,78	99,15	90,81	0,400	0,336	0,370	0,369			1,308	1308		
	W 4.5_SE	2309,8	196,79	99,42	92,27	0,319	0,342	0,356	0,339			1,279	1279		
	W 4.6_SE	2359,6	195,27	99,90	89,96	0,384	0,286	0,323	0,331			1,345	1345		
W_4_C_SE	W 4.1_C_SE	1634,8	199,39	99,13	95,91	-	-	-	-	-	-	0,862	862	842	26
	W 4.2_C_SE	1538,7	196,89	99,16	97,86	-	-	-	-			0,805	805		
	W 4.3_C_SE	1624,0	199,93	99,33	95,27	-	-	-	-			0,858	858		
W_5_C_SE	W 5.1_C_SE	3326,1	150,89	153,35	139,77	-	-	-	-	-	-	1,029	1029	965	66
	W 5.2_C_SE	2823,9	151,54	153,08	139,38	-	-	-	-			0,873	873		
	W 5.3_C_SE	3240,4	152,70	155,08	137,90	-	-	-	-			0,992	992		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	$\lambda 1$	$\lambda 2$	$\lambda 3$	λ médio	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
Y_1	Y 1.1	152,585	-	85,33	20,33	0,240	-	-	0,240	0,387	0,086	1,312	1312	1344	59
	Y 1.2	142,546	-	86,05	19,44	0,378	-	-	0,378			1,261	1261		
	Y 1.3	148,985	-	84,52	19,35	0,486	-	-	0,486			1,373	1373		
	Y 1.4	158,962	-	84,45	19,60	0,488	-	-	0,488			1,448	1448		
	Y 1.5	165,767	-	85,62	21,19	0,389	-	-	0,389			1,359	1359		
	Y 1.6	162,943	-	86,00	21,38	0,339	-	-	0,339			1,312	1312		
Y_2	Y 2.1	766,444	190,53	103,26	28,98	0,359	-	-	0,359	0,426	0,048	1,345	1345	1348	24
	Y 2.2	793,741	197,11	98,85	29,54	0,451	-	-	0,451			1,379	1379		
	Y 2.3	838,538	198,42	101,17	31,62	0,467	-	-	0,467			1,321	1321		
Y_3	Y 3.1	306,065	161,14	39,58	33,48	0,389	0,401	0,359	0,383	0,340	0,059	1,434	1434	1409	24
	Y 3.2	304,905	156,53	39,92	35,00	0,251	0,243	0,308	0,267			1,394	1394		
	Y 3.3	305,227	158,01	40,98	34,41	0,347	0,288	0,382	0,339			1,370	1370		
	Y 3.4	309,927	158,69	40,11	34,08	0,362	0,321	0,250	0,311			1,429	1429		
	Y 3.5	310,565	157,53	40,13	34,32	0,437	0,296	0,429	0,387			1,431	1431		
	Y 3.6	306,512	159,25	40,63	34,00	0,406	0,333	0,325	0,355			1,393	1393		
Y_4	Y 4.1	2554,8	194,12	101,05	93,75	0,365	0,416	0,367	0,383	0,432	0,068	1,389	1389	1404	19
	Y 4.2	2575,5	193,74	100,32	94,29	0,516	0,464	0,342	0,441			1,406	1406		
	Y 4.3	2499,1	193,34	99,35	92,28	0,443	0,531	0,434	0,469			1,410	1410		
	Y 4.4	2463,6	193,97	99,61	91,13	0,579	0,409	0,399	0,462			1,399	1399		
	Y 4.5	2556,9	194,15	99,02	92,39	0,538	0,426	0,447	0,470			1,440	1440		
	Y 4.6	2543,7	195,33	101,13	93,48	0,338	0,396	0,374	0,369			1,378	1378		
Y_4_C	Y 4.1_C	1888,0	196,76	98,62	94,01	-	-	-	-	-	-	1,035	1035	1039	26
	Y 4.2_C	1977,1	195,88	99,73	94,33	-	-	-	-			1,073	1073		
	Y 4.3_C	1853,1	196,84	99,96	93,25	-	-	-	-			1,010	1010		
Y_5_C	Y 5.1_C	3001,0	150,06	152,10	140,95	-	-	-	-	-	-	0,933	933	923	7
	Y 5.2_C	2973,5	149,50	151,86	142,28	-	-	-	-			0,921	921		
	Y 5.3_C	2941,1	150,81	151,11	140,98	-	-	-	-			0,915	915		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ_1	λ_2	λ_3	$\lambda_{\text{médio}}$	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
Y_1_SE	Y 1.1_SE	140,531	-	85,54	20,01	0,328	-	-	0,328	0,338	0,041	1,222	1222	1263	24
	Y 1.2_SE	131,572	-	85,12	17,88	0,383	-	-	0,383			1,294	1294		
	Y 1.3_SE	145,634	-	85,71	20,16	0,302	-	-	0,302			1,252	1252		
	Y 1.4_SE	139,156	-	84,99	19,04	0,271	-	-	0,271			1,288	1288		
	Y 1.5_SE	131,982	-	85,02	18,32	0,361	-	-	0,361			1,269	1269		
	Y 1.6_SE	142,259	-	85,54	19,74	0,380	-	-	0,380			1,254	1254		
Y_2_SE	Y 2.1_SE	830,121	195,40	99,02	30,84	0,331	-	-	0,331	0,384	0,037	1,391	1391	1449	44
	Y 2.2_SE	912,595	194,47	99,79	31,37	0,406	-	-	0,406			1,499	1499		
	Y 2.3_SE	966,829	195,67	100,44	33,79	0,414	-	-	0,414			1,456	1456		
Y_3_SE	Y 3.1_SE	326,187	160,60	39,96	35,76	0,440	0,300	0,268	0,336	0,312	0,077	1,422	1422	1390	41
	Y 3.2_SE	306,468	159,49	40,14	35,32	0,352	0,272	0,350	0,325			1,356	1356		
	Y 3.3_SE	312,071	157,63	38,75	35,07	0,425	0,320	0,460	0,402			1,457	1457		
	Y 3.4_SE	314,535	160,87	39,27	35,46	0,278	0,149	0,298	0,242			1,404	1404		
	Y 3.5_SE	305,611	158,25	40,37	35,31	0,244	0,351	0,306	0,300			1,355	1355		
	Y 3.6_SE	305,977	158,60	40,33	35,55	0,302	0,190	0,312	0,268			1,346	1346		
Y_4_SE	Y 4.1_SE	2431,9	190,14	96,42	92,48	0,515	0,476	0,528	0,506	0,501	0,040	1,435	1435	1451	12
	Y 4.2_SE	2433,8	191,75	96,04	90,31	0,501	0,503	0,457	0,487			1,463	1463		
	Y 4.3_SE	2447,9	190,57	96,47	91,22	0,587	0,509	0,506	0,534			1,460	1460		
	Y 4.4_SE	2460,9	191,60	96,15	91,56	0,475	0,501	0,517	0,498			1,459	1459		
	Y 4.5_SE	2437,7	191,00	96,08	92,65	0,401	0,531	0,452	0,461			1,434	1434		
	Y 4.6_SE	2462,2	191,68	96,52	91,32	0,551	0,477	0,523	0,517			1,457	1457		
Y_4_C_SE	Y 4.1_C_SE	1721,1	196,03	97,33	96,18	-	-	-	-	-	-	0,938	938	999	45
	Y 4.2_C_SE	1872,8	193,87	97,35	94,79	-	-	-	-			1,047	1047		
	Y 4.3_C_SE	1880,5	197,29	98,98	95,18	-	-	-	-			1,012	1012		
Y_5_C_SE	Y 5.1_C_SE	2965,4	150,34	151,10	141,41	-	-	-	-	-	-	0,923	923	924	20
	Y 5.2_C_SE	2837,8	150,68	149,09	140,31	-	-	-	-			0,900	900		
	Y 5.3_C_SE	3106,6	149,86	150,14	145,41	-	-	-	-			0,950	950		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV [kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ_1	λ_2	λ_3	$\lambda_{\text{médio}}$	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
G_1	G 1.1	158,521	-	85,44	20,59	0,389	-	-	0,389	0,381	0,018	1,343	1343	1363	26
	G 1.2	175,929	-	85,47	22,07	0,401	-	-	0,401			1,390	1390		
	G 1.3	160,642	-	85,86	20,94	0,400	-	-	0,400			1,325	1325		
	G 1.4	168,999	-	85,20	21,32	0,362	-	-	0,362			1,391	1391		
	G 1.5	138,850	-	85,92	17,83	0,352	-	-	0,352			1,344	1344		
	G 1.6	162,999	-	85,20	20,65	0,379	-	-	0,379			1,385	1385		
G_1_SF	G 1.1_SF	167,559	-	83,98	19,20	0,589	-	-	0,589	0,554	0,025	1,576	1576	1540	20
	G 1.2_SF	190,377	-	84,18	22,18	0,524	-	-	0,524			1,543	1543		
	G 1.3_SF	175,543	-	83,64	20,76	0,560	-	-	0,560			1,539	1539		
	G 1.4_SF	169,872	-	84,08	20,24	0,561	-	-	0,561			1,512	1512		
	G 1.5_SF	178,766	-	83,81	21,26	0,518	-	-	0,518			1,524	1524		
	G 1.6_SF	165,189	-	83,76	19,40	0,570	-	-	0,570			1,546	1546		
G_2_SF	G 2.1_SF	981,790	199,84	100,65	34,79	0,360	-	-	0,360	0,412	0,037	1,403	1403	1405	4
	G 2.2_SF	904,659	199,01	100,18	32,39	0,431	-	-	0,431			1,401	1401		
	G 2.3_SF	925,024	200,02	100,08	32,76	0,444	-	-	0,444			1,411	1411		
G_3	G 3.1	349,342	157,13	40,49	39,11	0,301	0,348	0,295	0,315	0,319	0,046	1,404	1404	1384	15
	G 3.2	352,109	154,29	40,32	40,78	0,289	0,331	0,371	0,330			1,388	1388		
	G 3.3	334,617	157,17	40,40	38,71	0,337	0,380	0,314	0,344			1,361	1361		
	G 3.4	343,189	155,48	40,29	39,24	0,413	0,215	0,362	0,330			1,396	1396		
	G 3.5	327,488	158,43	42,20	35,80	0,346	0,271	0,279	0,299			1,368	1368		
	G 3.6	345,471	157,31	40,53	39,06	0,272	0,318	0,297	0,296			1,388	1388		
G_3_SF	G 3.1_SF	337,608	150,72	38,94	38,39	0,383	0,433	0,439	0,418	0,408	0,037	1,499	1499	1505	32
	G 3.2_SF	357,535	154,38	40,57	37,80	0,347	0,339	0,357	0,348			1,510	1510		
	G 3.3_SF	333,348	151,29	39,12	37,17	0,433	0,414	0,435	0,427			1,516	1516		
	G 3.4_SF	337,068	151,36	38,98	38,57	0,432	0,410	0,429	0,424			1,482	1482		
	G 3.5_SF	377,544	155,91	40,84	37,94	0,454	0,395	0,474	0,441			1,563	1563		
	G 3.6_SF	334,082	151,62	39,13	38,57	0,401	0,358	0,407	0,389			1,460	1460		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ1	λ2	λ3	λmédio	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
G_4	G 4.1	2079,3	197,71	98,75	93,20	0,221	0,256	0,218	0,232	0,268	0,044	1,143	1143	1232	47
	G 4.2	2227,1	196,91	100,02	89,17	0,265	0,233	0,331	0,276			1,268	1268		
	G 4.3	2152,3	196,80	99,69	91,75	0,284	0,262	0,268	0,271			1,196	1196		
	G 4.4	2232,5	198,07	99,44	89,48	0,264	0,287	0,366	0,306			1,267	1267		
	G 4.5	2206,1	196,26	99,90	89,07	0,325	0,284	0,228	0,279			1,263	1263		
	G 4.6	2201,9	197,29	99,75	89,08	0,279	0,169	0,283	0,244			1,256	1256		
G_4_C	G 4.1_C	2036,6	198,68	100,14	97,29	-	-	-	-	-	-	1,052	1052	1060	-
	G 4.2_C	2085,1	197,43	99,38	99,49	-	-	-	-			1,068	1068		
	G 4.3_C	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-		
G_4_C_SE	G 4.1_C_SE	1939,2	199,92	100,81	99,21	-	-	-	-	-	-	0,970	970	972	-
	G 4.2_C_SE	1917,0	201,08	100,40	97,52	-	-	-	-			0,974	974		
	G 4.3_C_SE	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-		
G_5_C	G 5.1_C	3078,5	152,61	156,10	139,93	-	-	-	-	-	-	0,924	924	942	29
	G 5.2_C	3094,6	151,88	155,45	142,56	-	-	-	-			0,920	920		
	G 5.3_C	3248,0	152,77	153,83	140,56	-	-	-	-			0,983	983		
G_5_C_SE	G 5.1_C_SE	2728,1	152,42	152,02	144,80	-	-	-	-	-	-	0,813	813	854	29
	G 5.2_C_SE	2901,1	151,37	151,36	145,23	-	-	-	-			0,872	872		
	G 5.3_C_SE	2951,3	152,25	152,27	145,27	-	-	-	-			0,876	876		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ1	λ2	λ3	λmédio	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
P_1_SF	P 1.1_SF	216,893	-	85,275	22,240	0,731	-	-	0,731	0,708	0,034	1,708	1708	1681	18
	P 1.2_SF	195,290	-	85,435	20,585	0,762	-	-	0,762			1,655	1655		
	P 1.3_SF	212,374	-	85,545	21,805	0,700	-	-	0,700			1,695	1695		
	P 1.4_SF	206,104	-	85,420	21,495	0,669	-	-	0,669			1,673	1673		
	P 1.5_SF	202,007	-	85,355	21,100	0,680	-	-	0,680			1,673	1673		
	P 1.6_SF	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-		
P_2_SF	P 2.1_SF	969,737	194,990	98,180	30,250	0,669	-	-	0,669	0,678	0,036	1,675	1675	1675	31
	P 2.2_SF	977,445	196,130	97,860	30,908	0,620	-	-	0,620			1,648	1648		
	P 2.3_SF	938,051	195,875	97,290	30,163	0,709	-	-	0,709			1,632	1632		
	P 2.4_SF	990,319	195,060	98,285	30,155	0,655	-	-	0,655			1,713	1713		
	P 2.5_SF	979,288	195,085	97,585	30,870	0,685	-	-	0,685			1,666	1666		
	P 2.6_SF	984,161	195,755	98,780	29,700	0,729	-	-	0,729			1,714	1714		
P_3_SF	P 3.1_SF	386,240	157,59	39,180	38,410	0,533	0,554	0,559	0,549	0,494	0,087	1,629	1629	1606	44
	P 3.2_SF	388,550	157,02	39,020	38,380	0,575	0,491	0,408	0,491			1,652	1652		
	P 3.3_SF	396,039	156,95	39,240	39,220	0,523	0,527	0,574	0,541			1,640	1640		
	P 3.4_SF	395,596	158,06	39,005	39,690	0,544	0,573	0,566	0,561			1,617	1617		
	P 3.5_SF	381,043	159,54	39,445	38,560	0,482	0,257	0,422	0,387			1,570	1570		
	P 3.6_SF	367,942	157,38	39,665	38,635	0,512	0,330	0,467	0,436			1,526	1526		

Massa Volúmica e Condutibilidade Térmica

Provete	Referência	Massa (g)	Dimensões do Provete			Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				λ [W/(m.K)]		Massa volúmica		MV[kg/m ³]	
			L (mm)	b (mm)	c (mm)	λ1	λ2	λ3	λmédio	Med	Dp	(g/dm ³)	(kg/m ³)	Med	Dp
P_4	P 4.1	2740,2	196,735	98,700	97,335	0,490	0,550	0,598	0,546	0,563	0,080	1,450	1450	1509	28
	P 4.2	2852,1	198,325	98,373	97,058	0,478	0,423	0,620	0,507			1,506	1506		
	P 4.3	2796,4	196,785	98,653	95,430	0,415	0,495	0,531	0,480			1,509	1509		
	P 4.4	3093,0	199,325	101,943	99,040	0,625	0,586	0,520	0,577			1,537	1537		
	P 4.5	3003,1	200,550	99,845	98,518	0,567	0,616	0,649	0,611			1,522	1522		
	P 4.6	2943,3	196,755	99,563	98,365	0,730	0,607	0,638	0,658			1,527	1527		
P_4_C	P 4.1_C	2074,9	201,430	100,208	100,810	-	-	-	-	-	-	1,020	1020	1030	71
	P 4.2_C	2349,4	200,180	99,790	102,315	-	-	-	-			1,150	1150		
	P 4.3_C	1919,5	200,310	101,748	102,200	-	-	-	-			0,922	922		
	P 4.4_C	2210,7	201,330	100,233	101,568	-	-	-	-			1,079	1079		
	P 4.5_C	2073,6	203,500	100,968	101,600	-	-	-	-			0,993	993		
	P 4.6_C	2093,5	202,025	99,948	101,810	-	-	-	-			1,018	1018		
P_5_C	P 5.1_C	3998,1	149,580	149,005	148,330	-	-	-	-	-	-	1,209	1209	1236	23
	P 5.2_C	4094,5	149,755	148,990	149,648	-	-	-	-			1,226	1226		
	P 5.3_C	4015,7	150,968	149,383	147,188	-	-	-	-			1,210	1210		
	P 5.4_C	4141,0	149,553	148,665	147,500	-	-	-	-			1,263	1263		
	P 5.5_C	4118,1	149,738	148,890	148,158	-	-	-	-			1,247	1247		
	P 5.6_C	4165,1	150,028	149,008	147,465	-	-	-	-			1,263	1263		

Resistência Térmica

Provete	Uparc. [W/m ² .K]		Uparc. Eq. [W/(m ² .K)]	RT Eq. (parede de 300 mm) [m ² .K/W]
	Zona c/ Ar	Zona s/ Ar		
R 4_C	4,242	3,514	3,675	1,14
R 4_C_SE	4,314	3,943	4,019	1,04
R 5_C	4,242	2,290	2,532	1,04
R 5_C_SE	4,314	2,545	2,798	1,00
B 4_C	4,264	3,696	3,802	1,09
B 4_C_SE	4,440	4,430	4,431	0,83
B 5_C	4,264	2,416	2,742	1,11
B 5_C_SE	4,440	2,856	3,145	0,97
W 4_C	4,273	3,743	3,866	1,13
W 4_C_SE	4,220	3,540	3,668	1,07
W 5_C	4,273	2,385	2,840	1,19
W 5_C_SE	4,220	2,289	2,532	1,08
Y 4_C	4,419	4,332	4,347	0,89
Y 4_C_SE	4,547	5,062	4,972	0,78
Y 5_C	4,419	2,859	3,151	0,96
Y 5_C_SE	4,547	3,360	3,606	0,88
G 4_C	3,927	2,697	2,894	1,32
G 4_C_SE	3,927	2,669	2,891	1,33
G 5_C	3,927	1,742	2,087	1,34
G 5_C_SE	3,927	1,760	2,054	1,32
P 4_C	4,640	5,633	5,411	0,79
P 5_C	4,640	3,787	3,908	0,72

Resistência à Flexão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
R_3	R 3.1	36,270	38,610	92,02	0,255	0,293	0,109
	R 3.2	35,510	38,470	108,10	0,309		
	R 3.3	37,150	39,190	105,72	0,278		
	R 3.4	38,460	39,230	94,78	0,240		
	R 3.5	34,300	39,320	57,16	0,162		
	R 3.6	39,030	38,670	200,00	0,514		
R_4	R 4.1	88,200	97,000	966,800	0,262	0,233	0,044
	R 4.2	89,560	96,480	796,700	0,215		
	R 4.3	85,770	94,410	803,150	0,236		
	R 4.4	89,760	97,190	1137,740	0,302		
	R 4.5	87,250	96,670	568,310	0,157		
	R 4.6	89,090	96,370	839,850	0,228		
R_3_SE	R 3.1_SE	38,280	40,590	185,160	0,440	0,396	0,071
	R 3.2_SE	37,935	40,485	169,810	0,410		
	R 3.3_SE	39,075	40,855	127,010	0,292		
	R 3.4_SE	36,805	41,200	144,660	0,347		
	R 3.5_SE	38,145	40,630	156,400	0,373		
	R 3.6_SE	37,975	40,590	215,180	0,516		
R_4_SE	R 4.1_SE	94,788	100,078	714,425	0,169	0,250	0,041
	R 4.2_SE	95,065	99,703	1111,300	0,265		
	R 4.3_SE	95,160	100,628	1044,310	0,244		
	R 4.4_SE	95,623	99,958	1195,660	0,282		
	R 4.5_SE	93,818	100,528	1016,843	0,241		
	R 4.6_SE	94,483	100,330	1257,040	0,297		
R_4_C	R 4.1_C	99,268	99,978	2637,000	0,598	0,603	0,044
	R 4.2_C	101,065	100,448	2495,000	0,551		
	R 4.3_C	102,235	102,180	3127,000	0,659		

Resistência à Flexão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	f _c [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
B_3	B 3.1	39,875	41,095	224,790	0,501	0,344	0,099
	B 3.2	38,645	40,775	126,910	0,296		
	B 3.3	38,175	42,610	112,910	0,244		
	B 3.4	39,295	40,720	113,320	0,261		
	B 3.5	37,240	41,010	174,440	0,418		
	B 3.6	39,885	40,430	-	-		
B_4	B 4.1	86,335	105,843	920,890	0,214	0,246	0,028
	B 4.2	88,253	103,375	1087,430	0,259		
	B 4.3	89,790	103,130	939,080	0,221		
	B 4.4	90,085	103,810	980,230	0,227		
	B 4.5	87,210	103,105	1065,880	0,259		
	B 4.6	88,115	104,293	1259,570	0,296		
B_3_SE	B 3.1_SE	37,04	41,10	142,853	0,343	0,367	0,092
	B 3.2_SE	39,30	40,40	154,226	0,361		
	B 3.3_SE	38,57	40,42	238,322	0,567		
	B 3.4_SE	37,02	41,07	137,630	0,331		
	B 3.5_SE	38,17	41,51	127,787	0,292		
	B 3.6_SE	36,59	41,61	130,947	0,310		
B_4_SE	B 4.1_SE	88,49	101,69	1072,398	0,264	0,288	0,028
	B 4.2_SE	91,14	99,82	1099,300	0,272		
	B 4.3_SE	88,27	103,00	1361,580	0,327		
B_4_C	B 4.1_C	96,230	100,008	2721,640	0,636	0,665	0,059
	B 4.2_C	99,700	99,298	3263,780	0,747		
	B 4.3_C	99,058	99,868	2685,270	0,612		

Resistência à Flexão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
W_3	W 3.1	37,415	42,245	-	-	0,359	0,101
	W 3.2	37,490	40,805	182,63	0,439		
	W 3.3	38,475	40,980	126,02	0,293		
	W 3.4	37,510	42,795	125,64	0,274		
	W 3.5	38,435	41,915	122,34	0,272		
	W 3.6	38,655	40,975	224,22	0,518		
W_4	W 4.1	93,415	97,845	912,80	0,230	0,249	0,031
	W 4.2	92,148	98,060	1001,48	0,254		
	W 4.3	93,710	98,400	868,60	0,215		
	W 4.4	92,453	97,725	975,75	0,249		
	W 4.5	93,275	91,170	1076,17	0,312		
	W 4.6	93,663	98,643	945,25	0,233		
W_3_SE	W 3.1_SE	36,24	37,68	81,74	0,238	0,356	0,063
	W 3.2_SE	36,19	38,08	107,38	0,307		
	W 3.3_SE	37,48	38,64	145,84	0,391		
	W 3.4_SE	37,10	38,62	156,68	0,425		
	W 3.5_SE	36,97	38,03	138,74	0,389		
	W 3.6_SE	38,03	37,51	137,73	0,386		
W_4_SE	W 4.1_SE	91,93	99,57	1222,73	0,302	0,289	0,026
	W 4.2_SE	91,20	98,87	997,76	0,252		
	W 4.3_SE	89,20	99,05	1215,15	0,312		
W_4_C	W 4.1_C	98,363	98,855	3542,97	0,829	0,688	0,101
	W 4.2_C	96,550	97,893	2604,42	0,633		
	W 4.3_C	98,500	97,825	2521,90	0,602		

Resistência à Flexão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	f _c [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
Y_3	Y 3.1	33,48	39,58	241,42	0,691	0,603	0,074
	Y 3.2	35,00	39,92	227,99	0,613		
	Y 3.3	34,41	40,98	251,29	0,652		
	Y 3.4	34,08	40,11	182,36	0,499		
	Y 3.5	34,32	40,13	186,81	0,507		
	Y 3.6	34,00	40,63	244,43	0,653		
Y_4	Y 4.1	93,75	101,05	849,60	0,200	0,236	0,033
	Y 4.2	94,29	100,32	809,76	0,192		
	Y 4.3	92,28	99,35	955,94	0,236		
	Y 4.4	91,13	99,61	1021,60	0,254		
	Y 4.5	92,39	99,02	1159,64	0,288		
	Y 4.6	93,48	101,13	1042,08	0,245		
Y_3_SE	Y 3.1_SE	35,76	39,96	120,37	0,316	0,499	0,120
	Y 3.2_SE	35,32	40,14	265,93	0,701		
	Y 3.3_SE	35,07	38,75	154,10	0,439		
	Y 3.4_SE	35,46	39,27	211,74	0,581		
	Y 3.5_SE	35,31	40,37	174,39	0,455		
	Y 3.6_SE	35,55	40,33	194,38	0,504		
Y_4_SE	Y 4.1_SE	92,48	96,42	1251,06	0,327	0,411	0,099
	Y 4.2_SE	90,31	96,04	1042,08	0,281		
	Y 4.3_SE	91,22	96,47	2221,34	0,589		
	Y 4.4_SE	91,56	96,15	1649,10	0,438		
	Y 4.5_SE	92,65	96,08	1446,85	0,381		
	Y 4.6_SE	91,32	96,52	1690,62	0,447		
Y_4_C	Y 4.1_C	94,01	98,62	2524,95	0,621	0,593	0,043
	Y 4.2_C	94,33	99,73	2610,53	0,626		
	Y 4.3_C	93,25	99,96	2204,81	0,532		

Resistência à Flexão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
G_3	G 3.1	39,105	40,490	51,76	0,121	0,134	0,032
	G 3.2	40,775	40,320	41,57	0,094		
	G 3.3	38,710	40,400	76,05	0,181		
	G 3.4	39,240	40,285	48,89	0,115		
	G 3.5	35,795	42,200	68,20	0,160		
	G 3.6	-	-	-	-		
G_3_SF	G 3.1_SF	38,385	38,940	127,57	0,329	0,346	0,049
	G 3.2_SF	37,800	40,570	121,86	0,294		
	G 3.3_SF	37,165	39,115	143,91	0,380		
	G 3.4_SF	38,565	38,975	125,21	0,321		
	G 3.5_SF	37,940	40,840	184,92	0,438		
	G 3.6_SF	38,570	39,130	122,86	0,312		
G_4	G 4.1	93,198	98,753	1658,96	0,411	0,359	0,051
	G 4.2	89,173	100,015	1147,54	0,289		
	G 4.3	91,745	99,690	1521,36	0,375		
G_4_C	G 4.1_C	97,288	100,140	1202,46	0,277	0,293	-
	G 4.2_C	99,490	99,380	1352,11	0,310		

Resistência à Flexão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
P_3	P 3.1	38,41	39,18	28,25	0,072	0,086	0,026
	P 3.2	38,38	39,02	47,57	0,122		
	P 3.3	39,22	39,24	26,01	0,065		
P_4	P 4.1	97,34	98,70	1100,53	0,261	0,230	0,025
	P 4.2	97,06	98,37	853,35	0,204		
	P 4.3	95,43	98,65	1045,04	0,253		
	P 4.4	99,04	101,94	1090,72	0,238		
	P 4.5	98,52	99,85	1007,20	0,231		
	P 4.6	98,37	99,56	825,33	0,190		
P_4_C	P 4.1_C	100,81	100,21	1722,67	0,383	0,512	0,094
	P 4.2_C	102,32	99,79	2729,87	0,603		
	P 4.3_C	102,20	101,75	2592,28	0,551		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
R_3	R 3.1	40,00	36,05	643,72	0,446	0,434	0,027
	R 3.2	40,00	36,86	568,72	0,386		
	R 3.3	40,00	37,77	621,34	0,411		
	R 3.4	40,00	35,85	640,37	0,447		
	R 3.5	40,00	34,32	633,65	0,462		
	R 3.6	40,00	37,35	679,44	0,455		
R_4	R 4.1	100,00	90,41	2196,95	0,243	0,195	0,037
	R 4.2	100,00	90,38	1678,98	0,186		
	R 4.3	100,00	86,78	2095,40	0,241		
	R 4.4	100,00	90,76	1747,54	0,193		
	R 4.5	100,00	87,09	1293,38	0,149		
	R 4.6	100,00	90,42	1436,93	0,159		
R_4_C_SE	R 4.1_C_SE	100,00	100,00	5057,15	0,506	0,593	0,062
	R 4.2_C_SE	100,00	97,89	6234,04	0,637		
	R 4.3_C_SE	100,00	99,83	6353,55	0,636		
R_5_C	R 5.1_C	153,65	156,76	9499,41	0,394	0,382	0,010
	R 5.2_C	153,70	155,27	9106,00	0,382		
	R 5.3_C	153,99	157,78	8995,02	0,370		
R_5_C_SE	R 5.1_C_SE	152,57	153,15	10024,20	0,429	0,420	0,007
	R 5.2_C_SE	151,92	151,69	9618,37	0,417		
	R 5.3_C_SE	152,29	152,23	9570,00	0,413		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
R_3_SE	R 3.1_SE	40,00	38,28	701,50	0,458	0,506	0,094
	R 3.2_SE	40,00	37,94	656,77	0,433		
	R 3.3_SE	40,00	39,08	637,45	0,408		
	R 3.4_SE	40,00	36,81	746,00	0,507		
	R 3.5_SE	40,00	38,15	822,14	0,539		
	R 3.6_SE	40,00	37,98	1049,17	0,691		
R_4_SE	R 4.1_SE	100,00	94,79	2922,16	0,308	0,249	0,050
	R 4.2_SE	100,00	95,07	2442,05	0,257		
	R 4.3_SE	100,00	95,16	2630,96	0,276		
	R 4.4_SE	100,00	95,62	1769,11	0,185		
	R 4.5_SE	100,00	93,82	1664,56	0,177		
	R 4.6_SE	100,00	94,48	2740,26	0,290		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
B_3	B 3.1	40,00	39,88	1221,00	0,766	0,626	0,190
	B 3.2	40,00	38,65	584,11	0,378		
	B 3.3	40,00	38,18	844,96	0,553		
	B 3.4	40,00	39,30	1460,98	0,929		
	B 3.5	40,00	37,24	659,12	0,442		
	B 3.6	40,00	39,89	1093,77	0,686		
B_4	B 4.1	100,00	86,34	1688,67	0,196	0,210	0,030
	B 4.2	100,00	88,25	1791,67	0,203		
	B 4.3	100,00	89,79	2079,00	0,232		
	B 4.4	100,00	90,09	-	-		
	B 4.5	100,00	87,21	2201,17	0,252		
	B 4.6	100,00	88,12	1468,70	0,167		
B_4_C_SE	B 4.1_C_SE	120,00	97,59	6119,87	0,523	0,538	0,029
	B 4.2_C_SE	120,00	99,04	6089,67	0,512		
	B 4.3_C_SE	120,00	100,36	6958,38	0,578		
B_5_C	B 5.1_C	152,625	151,89	8712,88	0,376	0,370	0,009
	B 5.2_C	150,648	152,86	8237,60	0,358		
	B 5.3_C	152,850	154,15	8885,30	0,377		
B_5_C_SE	B 5.1_C_SE	152,043	152,01	11858,17	0,513	0,480	0,056
	B 5.2_C_SE	152,585	154,78	9473,66	0,401		
	B 5.3_C_SE	152,770	153,41	12329,50	0,526		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
B_3_SE	B 3.1_SE	40,00	37,04	398,33	0,269	0,261	0,046
	B 3.2_SE	40,00	39,30	429,08	0,273		
	B 3.3_SE	40,00	38,57	283,17	0,184		
	B 3.4_SE	40,00	37,02	359,99	0,243		
	B 3.5_SE	40,00	38,17	395,82	0,259		
	B 3.6_SE	40,00	36,59	498,68	0,341		
B_4_SE	B 4.4_SE	100,00	91,18	2216,56	0,243	0,205	0,028
	B 4.5_SE	100,00	93,40	1667,33	0,179		
	B 4.6_SE	100,00	87,66	1699,59	0,194		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
W_3	W 3.1	40,00	37,42	610,70	0,408	0,391	0,069
	W 3.2	40,00	37,49	591,67	0,395		
	W 3.3	40,00	38,48	587,19	0,382		
	W 3.4	40,00	37,51	508,54	0,339		
	W 3.5	40,00	38,44	802,98	0,522		
	W 3.6	40,00	38,66	460,96	0,298		
W_4	W 4.1	100,00	93,42	3144,45	0,337	0,326	0,059
	W 4.2	100,00	92,15	3641,60	0,395		
	W 4.3	100,00	93,71	2795,10	0,298		
	W 4.4	100,00	92,45	2624,40	0,284		
	W 4.5	100,00	93,28	3741,20	0,401		
	W 4.6	100,00	93,66	2238,40	0,239		
W_4_C_SE	W 4.1_C_SE	120,00	95,91	5411,92	0,470	0,436	0,043
	W 4.2_C_SE	120,00	97,86	4407,60	0,375		
	W 4.3_C_SE	120,00	95,27	5300,92	0,464		
W_5_C	W 5.1_C	151,76	155,12	6837,77	0,290	0,271	0,034
	W 5.2_C	151,29	153,35	6946,08	0,299		
	W 5.3_C	152,47	154,89	5281,67	0,224		
W_5_C_SE	W 5.1_C_SE	150,89	153,35	10605,14	0,458	0,375	0,059
	W 5.2_C_SE	151,54	153,08	7503,59	0,323		
	W 5.3_C_SE	152,70	155,08	8128,17	0,343		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	f _c [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
W_3_SE	W 3.1_SE	40,00	36,24	843,30	0,582	0,586	0,082
	W 3.2_SE	40,00	36,19	864,59	0,597		
	W 3.3_SE	40,00	37,48	937,19	0,625		
	W 3.4_SE	40,00	37,10	934,75	0,630		
	W 3.5_SE	40,00	36,97	613,29	0,415		
	W 3.6_SE	40,00	38,03	1018,05	0,669		
W_4_SE	W 4.4_SE	100,00	90,81	2886,97	0,318	0,310	0,025
	W 4.5_SE	100,00	92,27	3099,60	0,336		
	W 4.6_SE	100,00	89,96	2483,89	0,276		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
Y_3	Y 3.1	40,00	33,48	500,76	0,374	0,416	0,032
	Y 3.2	40,00	35,00	575,69	0,411		
	Y 3.3	40,00	34,41	545,99	0,397		
	Y 3.4	40,00	34,08	645,68	0,474		
	Y 3.5	40,00	34,32	598,23	0,436		
	Y 3.6	40,00	34,00	552,73	0,406		
Y_4	Y 4.1	100,00	93,75	-	-	0,452	0,045
	Y 4.2	100,00	94,29	3932,56	0,417		
	Y 4.3	100,00	92,28	4277,30	0,464		
	Y 4.4	100,00	91,13	3754,59	0,412		
	Y 4.5	100,00	92,39	3998,42	0,433		
	Y 4.6	100,00	93,48	5001,82	0,535		
Y_4_C_SE	Y 4.1_C_SE	120,00	96,18	6748,55	0,585	0,508	0,055
	Y 4.2_C_SE	120,00	94,79	5269,32	0,463		
	Y 4.3_C_SE	120,00	95,18	5434,02	0,476		
Y_5_C	Y 5.1_C	150,06	152,10	-	-	0,293	-
	Y 5.2_C	149,50	151,86	6898,66	0,304		
	Y 5.3_C	150,81	151,11	6412,97	0,281		
Y_5_C_SE	Y 5.1_C_SE	150,34	151,10	4252,78	0,187	0,222	0,071
	Y 5.2_C_SE	150,68	149,09	3551,60	0,158		
	Y 5.3_C_SE	149,86	150,14	7231,43	0,321		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
Y_3_SE	Y 3.1_SE	40,00	35,76	836,61	0,585	0,489	0,068
	Y 3.2_SE	40,00	35,32	572,79	0,405		
	Y 3.3_SE	40,00	35,07	772,17	0,551		
	Y 3.4_SE	40,00	35,46	603,35	0,425		
	Y 3.5_SE	40,00	35,31	621,78	0,440		
	Y 3.6_SE	40,00	35,55	753,31	0,530		
Y_4_SE	Y 4.1_SE	100,00	92,48	8046,05	0,870	0,734	0,094
	Y 4.2_SE	100,00	90,31	5470,44	0,606		
	Y 4.3_SE	100,00	91,22	7396,40	0,811		
	Y 4.4_SE	100,00	91,56	5892,88	0,644		
	Y 4.5_SE	100,00	92,65	7254,18	0,783		
	Y 4.6_SE	100,00	91,32	6314,50	0,691		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
G_3	G 3.1	40,00	39,11	432,11	0,276	0,294	0,031
	G 3.2	40,00	40,78	493,20	0,302		
	G 3.3	40,00	38,71	556,82	0,360		
	G 3.4	40,00	39,24	418,38	0,267		
	G 3.5	40,00	35,80	400,17	0,279		
	G 3.6	40,00	39,06	441,08	0,282		
G_3_SF	G 3.1_SF	40,00	38,39	907,94	0,591	0,591	0,053
	G 3.2_SF	40,00	37,80	1040,77	0,688		
	G 3.3_SF	40,00	37,17	754,38	0,507		
	G 3.4_SF	40,00	38,57	921,67	0,597		
	G 3.5_SF	40,00	37,94	897,57	0,591		
	G 3.6_SF	40,00	38,57	877,96	0,569		
G_4	G 4.1	100,00	93,20	-	-	0,257	0,023
	G 4.2	100,00	89,17	1961,88	0,220		
	G 4.3	100,00	91,75	2487,59	0,271		
	G 4.4	100,00	89,48	2141,51	0,239		
	G 4.5	100,00	89,07	2527,11	0,284		
	G 4.6	100,00	89,08	2396,81	0,269		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
G_4_C_SE	G 4.1_C_SE	120,00	99,21	3705,75	0,311	0,326	0,015
	G 4.2_C_SE	120,00	97,52	3989,62	0,341		
G_5_C	G 5.1_C	152,61	156,10	2733,92	0,115	0,098	0,002
	G 5.2_C	151,88	155,45	2167,01	0,092		
	G 5.3_C	152,77	153,83	2059,97	0,088		
G_5_C_SE	G 5.1_C_SE	152,42	152,02	4812,56	0,208	0,288	0,083
	G 5.2_C_SE	151,37	151,36	9202,45	0,402		
	G 5.3_C_SE	152,25	152,27	5922,40	0,255		

Resistência à Compressão

Provete	Referência	Dimensões dos provetes		Carga de cedência [N]	Tensão de cedência [MPa]	fc [MPa]	
		b [mm]	h [mm]			MÉDIA	DP
P_3_SF	P 3.1_SF	-	-	-	-	0,420	0,098
	P 3.2_SF	40,00	38,38	779,92	0,508		
	P 3.3_SF	40,00	39,22	865,68	0,552		
	P 3.4_SF	40,00	39,69	661,66	0,417		
	P 3.5_SF	40,00	38,56	483,98	0,314		
	P 3.6_SF	40,00	38,64	479,50	0,310		
P_4	P 4.3	100,00	95,43	3684,11	0,386	0,360	0,019
	P 4.5	100,00	98,52	3433,57	0,349		
	P 4.6	100,00	98,37	3395,18	0,345		
P_4_C	P 4.4_C	120,00	101,57	4595,10	0,377	0,411	0,026
	P 4.5_C	120,00	101,60	5354,31	0,439		
	P 4.6_C	120,00	101,81	5100,40	0,417		
P_5_C	P 5.1_C	149,58	149,01	8112,26	0,364	0,321	0,037
	P 5.2_C	149,76	148,99	7486,61	0,336		
	P 5.3_C	150,97	149,38	6917,06	0,307		
	P 5.4_C	149,55	148,67	5650,58	0,254		
	P 5.5_C	149,74	148,89	6801,18	0,305		
	P 5.6_C	150,03	149,01	8022,48	0,359		

Módulo de Elasticidade Dinâmico

Provete	Referência	Massa [g]	Dimensões [mm]			Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]	MED [MPa]	
			L	b	c		MÉDIA	DP
R_3	R_3.1	338,376	161,44	43,11	36,05	1117	1211	53
	R_3.2	339,267	160,13	42,17	36,86	1118		
	R_3.3	342,895	159,22	41,40	37,77	1190		
	R_3.4	341,282	161,53	41,89	35,85	1219		
	R_3.5	331,272	160,86	42,71	34,32	1213		
	R_3.6	341,661	159,13	41,06	37,35	1407		
R_4	R_4.1	2349,2	196,00	97,00	88,20	1131	1104	55
	R_4.2	2470,7	197,50	96,48	89,56	1157		
	R_4.3	2343,5	196,00	94,41	85,77	1160		
	R_4.4	2375,8	195,00	97,19	89,76	1037		
	R_4.5	2272,2	195,00	96,67	87,25	1032		
	R_4.6	2397,7	196,50	96,37	89,09	1108		
R_3_SE	R_3.1_SE	339,528	160,05	40,59	38,28	1279	1333	40
	R_3.2_SE	336,068	158,12	40,49	37,94	1265		
	R_3.3_SE	333,236	159,02	40,86	39,08	1410		
	R_3.4_SE	326,307	160,41	41,20	36,81	1434		
	R_3.5_SE	340,412	158,06	40,63	38,15	1340		
	R_3.6_SE	325,020	158,12	40,59	37,98	1272		
R_4_SE	R_4.1_SE	2834,2	199,41	100,08	94,79	1223	1322	63
	R_4.2_SE	2758,0	198,59	99,70	95,07	1214		
	R_4.3_SE	2707,3	199,67	100,63	95,16	1225		
	R_4.4_SE	2687,3	198,40	99,96	95,62	1298		
	R_4.5_SE	2719,7	199,24	100,53	93,82	1551		
	R_4.6_SE	2700,8	198,50	100,33	94,48	1419		

Módulo de Elasticidade Dinâmico

Provete	Referência	Massa [g]	Dimensões [mm]			Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]	MED [MPa]	
			L	B	c		MÉDIA	DP
B_3	B_3.1	353,004	158,73	41,10	39,88	1296	1470	71
	B_3.2	343,383	158,57	40,78	38,65	1434		
	B_3.3	347,796	156,90	42,61	38,18	1488		
	B_3.4	351,081	156,32	40,72	39,30	1751		
	B_3.5	354,391	159,03	41,01	37,24	1417		
	B_3.6	360,004	157,22	40,43	39,89	1433		
B_4	B_4.1	2648,8	210,25	105,84	86,34	1433	1510	118
	B_4.2	2601,1	204,00	103,38	88,25	1941		
	B_4.3	2593,4	205,00	103,13	89,79	1391		
	B_4.4	2645,3	205,00	103,81	90,09	1467		
	B_4.5	2614,3	205,50	103,11	87,21	1243		
	B_4.6	2653,4	205,00	104,29	88,12	1585		
B_3_SE	B_3.1_SE	340,830	162,16	41,10	37,04	1495	1431	38
	B_3.2_SE	340,160	159,46	40,40	39,30	1426		
	B_3.3_SE	341,948	158,49	40,42	38,57	1523		
	B_3.4_SE	334,043	160,31	41,07	37,02	1472		
	B_3.5_SE	332,231	158,23	41,51	38,17	1360		
	B_3.6_SE	345,463	164,34	41,61	36,59	1310		
B_4_SE	B_4.1_SE	2850,5	199,01	101,69	88,49	1290	1411	104
	B_4.2_SE	2818,8	198,41	99,82	91,14	1500		
	B_4.3_SE	2857,0	201,17	103,00	88,27	1268		
	B_4.4_SE	2880,0	198,36	102,13	91,18	1264		
	B_4.5_SE	2935,7	198,67	100,56	93,40	1349		
	B_4.6_SE	2975,7	201,90	104,53	87,66	1798		

Módulo de Elasticidade Dinâmico

Provete	Referência	Massa [g]	Dimensões [mm]			Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]	MED [MPa]	
			L	b	c		MÉDIA	DP
W_3	W_3.1	307,407	159,74	42,25	37,42	1126	1085	97
	W_3.2	313,478	159,38	40,81	37,49	995		
	W_3.3	301,789	160,12	40,98	38,48	763		
	W_3.4	306,512	156,81	42,80	37,51	1040		
	W_3.5	308,768	157,28	41,92	38,44	1193		
	W_3.6	310,243	159,31	40,98	38,66	1396		
W_4	W_4.1	2375,2	197,29	97,85	93,42	1151	1213	63
	W_4.2	2344,7	194,33	98,06	92,15	1289		
	W_4.3	2394,3	197,00	98,40	93,71	1154		
	W_4.4	2388,9	197,19	97,73	92,45	1148		
	W_4.5	2326,0	193,38	91,17	93,28	1256		
	W_4.6	2362,6	197,81	98,64	93,66	1280		
W_3_SE	W_3.1_SE	278,307	154,10	37,68	36,24	1361	1266	88
	W_3.2_SE	287,366	156,30	38,08	36,19	1358		
	W_3.3_SE	301,868	158,32	38,64	37,48	1339		
	W_3.4_SE	260,981	158,06	38,62	37,10	1077		
	W_3.5_SE	282,831	157,48	38,03	36,97	981		
	W_3.6_SE	286,653	154,28	37,51	38,03	1479		
W_4_SE	W_4.1_SE	2302,0	197,37	99,57	91,93	1148	1163	53
	W_4.2_SE	2405,3	196,14	98,87	91,20	1151		
	W_4.3_SE	2351,0	197,01	99,05	89,20	1192		
	W_4.4_SE	2305,4	195,78	99,15	90,81	-		
	W_4.5_SE	2309,8	196,79	99,42	92,27	-		
	W_4.6_SE	2359,6	195,27	99,90	89,96	-		

Módulo de Elasticidade Dinâmico

Provete	Referência	Massa [g]	Dimensões [mm]			Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]	MED [MPa]	
			L	b	c		MÉDIA	DP
Y_3	Y_3.1	306,065	161,14	39,58	33,48	1201	1159	45
	Y_3.2	304,905	156,53	39,92	35,00	1073		
	Y_3.3	305,227	158,01	40,98	34,41	1205		
	Y_3.4	309,927	158,69	40,11	34,08	1206		
	Y_3.5	310,565	157,53	40,13	34,32	1039		
	Y_3.6	306,512	159,25	40,63	34,00	1232		
Y_4	Y_4.1	2554,8	194,12	101,05	93,75	1758	1779	31
	Y_4.2	2575,5	193,74	100,32	94,29	1721		
	Y_4.3	2499,1	193,34	99,35	92,28	1838		
	Y_4.4	2463,6	193,97	99,61	91,13	1829		
	Y_4.5	2556,9	194,15	99,02	92,39	1703		
	Y_4.6	2543,7	195,33	101,13	93,48	1825		
Y_3_SE	Y_3.1_SE	326,187	160,60	39,96	35,76	845	1093	69
	Y_3.2_SE	306,468	159,49	40,14	35,32	1011		
	Y_3.3_SE	312,071	157,63	38,75	35,07	1181		
	Y_3.4_SE	314,535	160,87	39,27	35,46	-		
	Y_3.5_SE	305,611	158,25	40,37	35,31	1225		
	Y_3.6_SE	305,977	158,60	40,33	35,55	1204		
Y_4_SE	Y_4.1_SE	2431,9	190,14	96,42	92,48	1878	1916	65
	Y_4.2_SE	2433,8	191,75	96,04	90,31	-		
	Y_4.3_SE	2447,9	190,57	96,47	91,22	1803		
	Y_4.4_SE	2460,9	191,60	96,15	91,56	1787		
	Y_4.5_SE	2437,7	191,00	96,08	92,65	2035		
	Y_4.6_SE	2462,2	191,68	96,52	91,32	2075		

Módulo de Elasticidade Dinâmico

Provete	Referência	Massa [g]	Dimensões [mm]			Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]	MED [MPa]	
			L	b	c		MÉDIA	DP
G_3	G_3.1	349,342	157,13	40,49	39,11	1113	1016	48
	G_3.2	352,109	154,29	40,32	40,78	1038		
	G_3.3	334,617	157,17	40,40	38,71	1017		
	G_3.4	343,189	155,48	40,29	39,24	984		
	G_3.5	327,488	158,43	42,20	35,80	929		
	G_3.6	345,471	157,31	40,53	39,06	-		
G_3_SF	G_3.1_SF	337,608	150,72	38,94	38,39	1783	1711	36
	G_3.2_SF	357,535	154,38	40,57	37,80	1584		
	G_3.3_SF	333,348	151,29	39,12	37,17	1736		
	G_3.4_SF	337,068	151,36	38,98	38,57	1729		
	G_3.5_SF	377,544	155,91	40,84	37,94	1733		
	G_3.6_SF	334,082	151,62	39,13	38,57	1705		
G_4	G_4.1	2079,3	197,71	98,75	93,20	1621	1739	55
	G_4.2	2227,1	196,91	100,02	89,17	1607		
	G_4.3	2152,3	196,80	99,69	91,75	1820		
	G_4.4	2232,5	198,07	99,44	89,48	1884		
	G_4.5	2206,1	196,26	99,90	89,07	-		
	G_4.6	2201,9	197,29	99,75	89,08	1766		

Módulo de Elasticidade Dinâmico

Provete	Referência	Massa [g]	Dimensões [mm]			Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]	MED [MPa]	
			L	b	c		MÉDIA	DP
P_3_SF	P_3.1_SF	386,240	157,59	39,18	38,41	1416	1416	95
	P_3.2_SF	388,550	157,02	39,02	38,38	Provete fissurado		
	P_3.3_SF	396,039	156,95	39,24	39,22	Provete fissurado		
	P_3.4_SF	395,596	158,06	39,01	39,69	Provete fissurado		
	P_3.5_SF	381,043	159,54	39,45	38,56	Provete fissurado		
	P_3.6_SF	367,942	157,38	39,67	38,64	Provete fissurado		
P_4	P_4.1	2740,2	196,74	98,70	97,34	1300	1376	44
	P_4.2	2852,1	198,33	98,37	97,06	1400		
	P_4.3	2796,4	196,79	98,65	95,43	1509		
	P_4.4	3093,0	199,33	101,94	99,04	1418		
	P_4.5	3003,1	200,55	99,85	98,52	1340		
	P_4.6	2943,3	196,76	99,56	98,37	1292		

Absorção de Água por Capilaridade

$\sqrt{\text{Tempo}}$ [min ^{0,5}]	Provetes
	R_3 Massa de água absorvida [kg/m ²]
0,000	0,000
2,236	1,796
3,162	2,274
3,873	2,610
5,477	3,306
7,746	4,573
10,954	6,646
13,416	8,330
15,492	9,364
17,321	10,429
18,974	11,081
20,494	11,593
21,909	11,802
37,148	13,875
53,104	15,197
65,269	15,788
75,498	16,237

$\sqrt{\text{Tempo}}$ [min ^{0,5}]	Provetes			
	R_3_SE	G_3_SF	G_3	P_3_SF
	Massa de água absorvida [kg/m ²]			
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,162	2,088	1,208	2,484	4,379
5,477	2,300	1,169	3,206	5,825
9,487	2,565	1,278	3,626	6,488
12,247	2,752	1,405	3,798	6,702
14,491	2,972	1,393	4,032	6,878
16,432	3,156	1,627	4,262	7,084
18,439	3,156	1,566	4,254	7,095
18,921	3,290	1,615	4,313	7,151
20,445	3,389	1,649	4,339	7,126
37,921	4,248	2,092	5,010	7,703
53,647	4,828	2,458	5,544	8,048
65,939	5,272	2,688	5,990	8,298
85,018	5,808	2,954	6,423	8,560
92,293	5,977	3,061	6,563	8,702
99,790	6,139	3,117	6,552	8,677
106,761	6,038	2,946	6,485	8,613

$\sqrt{\text{Tempo}}$ [min ^{0,5}]	Provetes
	P_4 Massa de água absorvida [kg/m ²]
0,000	0,000
3,162	7,938
5,477	8,559
9,487	8,790
12,247	8,918
14,491	9,051
16,432	9,165
18,166	9,239
37,947	9,890
53,666	10,722
65,727	10,936
100,399	11,855

Secagem

Tempo [horas]	Provetes
	R_3 Massa de Água [kg/m ²]
0	17,839
1	17,447
2	17,144
3	16,827
4	16,514
5	16,248
28	9,901
53	5,289
77	2,117
149	0,290
174,25	0,227
197,25	0,205
223,25	0,195

Tempo [horas]	Provetes			
	R 3_SE	G 3_SF	G 3	P 3_SF
	Massa de Água [kg/m ²]			
0	5,844	3,079	6,979	9,058
2	5,562	2,839	6,692	8,759
4	5,359	2,651	6,461	8,503
6	5,147	2,461	6,232	8,239
24	3,671	1,244	4,552	6,491
48	2,484	0,708	3,084	4,924
120	0,985	0,286	0,674	1,202
144	0,667	0,245	0,375	0,690
168	0,430	0,212	0,237	0,406
196	0,226	0,199	0,208	0,307
216	0,144	0,190	0,197	0,288
312	0,076	0,151	0,168	0,253
336	0,076	0,155	0,170	0,252
360	0,076	0,159	0,173	0,255

Tempo [horas]	Provetes
	R_3 Massa de Água [kg/m ²]
0	11,446
2	11,330
4	11,218
6	11,138
24	10,543
48	9,762
71,75	9,034
143,75	7,141
167,75	6,577
191,75	6,029
215,75	5,413
239,75	4,787
648,5	1,041
672,5	0,985
698,5	0,913
717,75	0,876
742,25	0,803
813,25	0,712
837,75	0,700
861,25	0,696
885,25	0,690
981,25	0,620
1005,25	0,631
1029,25	0,612
1053,25	0,614
1077,25	0,625

Permeabilidade ao Vapor de Água

Provete	Referência	Permeabilidade [g/(h.m ² .Pa)]	MÉDIA	DP	Provete	Referência	Permeabilidade [g/(h.m ² .Pa)]	MÉDIA	DP
R_1	R 1.1	3,41E-03	3,44E-03	1,60E-04	R_1_SE	R 1.1_SE	5,23E-03	7,45E-03	3,40E-03
	R 1.2	3,69E-03				R 1.2_SE	5,84E-03		
	R 1.3	3,27E-03				R 1.3_SE	-		
	R 1.4	3,26E-03				R 1.4_SE	1,42E-02		
	R 1.5	3,40E-03				R 1.5_SE	5,49E-03		
	R 1.6	3,61E-03				R 1.6_SE	6,51E-03		
B_1	B 1.1	3,85E-03	3,39E-03	2,26E-04	B_1_SE	B 1.1_SE	7,47E-03	5,33E-03	1,10E-03
	B 1.2	3,18E-03				B 1.2_SE	4,78E-03		
	B 1.3	3,19E-03				B 1.3_SE	4,63E-03		
	B 1.4	3,29E-03				B 1.4_SE	5,30E-03		
	B 1.5	3,41E-03				B 1.5_SE	4,50E-03		
	B 1.6	3,44E-03				B 1.6_SE	-		
W_1	W 1.1	3,53E-03	3,87E-03	3,15E-04	W_1_SE	W 1.1_SE	-	6,12E-03	2,07E-04
	W 1.2	4,00E-03				W 1.2_SE	6,08E-03		
	W 1.3	4,50E-03				W 1.3_SE	-		
	W 1.4	3,71E-03				W 1.4_SE	-		
	W 1.5	3,78E-03				W 1.5_SE	5,89E-03		
	W 1.6	3,71E-03				W 1.6_SE	6,40E-03		
Y_1	Y 1.1	6,55E-03	6,55E-03	8,33E-04	Y_1_SE	Y 1.1_SE	8,51E-03	6,11E-03	1,11E-03
	Y 1.2	8,04E-03				Y 1.2_SE	5,87E-03		
	Y 1.3	5,92E-03				Y 1.3_SE	5,28E-03		
	Y 1.4	7,19E-03				Y 1.4_SE	5,87E-03		
	Y 1.5	5,92E-03				Y 1.5_SE	5,28E-03		
	Y 1.6	5,69E-03				Y 1.6_SE	5,87E-03		

Permeabilidade ao Vapor de Água

Provete	Referência	Permeabilidade [g/(h.m ² .Pa)]	MÉDIA	DP
G_1_SF	G 1.1_SF	5,24E-03	5,69E-03	7,94E-04
	G 1.2_SF	5,67E-03		
	G 1.3_SF	5,02E-03		
	G 1.4_SF	5,57E-03		
	G 1.5_SF	5,25E-03		
	G 1.6_SF	7,40E-03		
P_1_SF	P 1.1_SF	4,92E-03	5,09E-03	1,27E-04
	P 1.2_SF	5,17E-03		
	P 1.3_SF	5,23E-03		
	P 1.4_SF	4,95E-03		
	P 1.5_SF	5,17E-03		
G_1	G_1	7,34E-03	6,38E-03	4,65E-04
	G_2	5,94E-03		
	G_3	6,33E-03		
	G_4	5,99E-03		
	G_5	6,41E-03		
	G_6	6,26E-03		

Adsorção de Vapor de Água

Provete	Tempo decorrido [horas]					
	0	0,5	1	3	6	12
	Massa de água adsorvida [g]					
R_1	0,000	0,015	0,017	0,038	0,052	0,076
R_1_SE	0,000	0,015	0,020	0,037	0,053	0,073
R_2	0,000	0,012	0,023	0,041	0,053	0,080
R_2_SE	0,000	0,017	0,025	0,048	0,071	0,100
B_1	0,000	0,005	0,007	0,017	0,027	0,041
B_1_SE	0,000	0,017	0,018	0,037	0,049	0,071
B_2	0,000	0,009	0,011	0,022	0,035	0,054
B_2_SE	0,000	0,019	0,021	0,042	0,060	0,091
W_1	0,000	0,008	0,011	0,028	0,045	0,070
W_1_SE	0,000	0,018	0,026	0,052	0,078	0,114
W_2	-	-	-	-	-	-
W_2_SE	0,000	0,019	0,027	0,052	0,079	0,118
Y_1	0,000	0,019	0,022	0,041	0,057	0,083
Y_1_SE	0,000	-	0,021	0,042	0,062	0,090
Y_2	0,000	0,021	0,023	0,040	0,057	0,087
Y_2_SE	0,000	-	0,017	0,033	0,050	0,075
G_1	0,000	-	0,022	0,044	0,064	0,082
G_1_SF	0,000	-	0,026	0,061	0,089	0,119
G_2	0,000	-	0,021	0,051	0,077	0,100
P_1_SF	0,000	-	0,016	0,033	0,047	0,059
P_2_SF	0,000	-	0,012	0,030	0,046	0,064
P_4	0,000	-	0,018	0,041	0,059	0,077